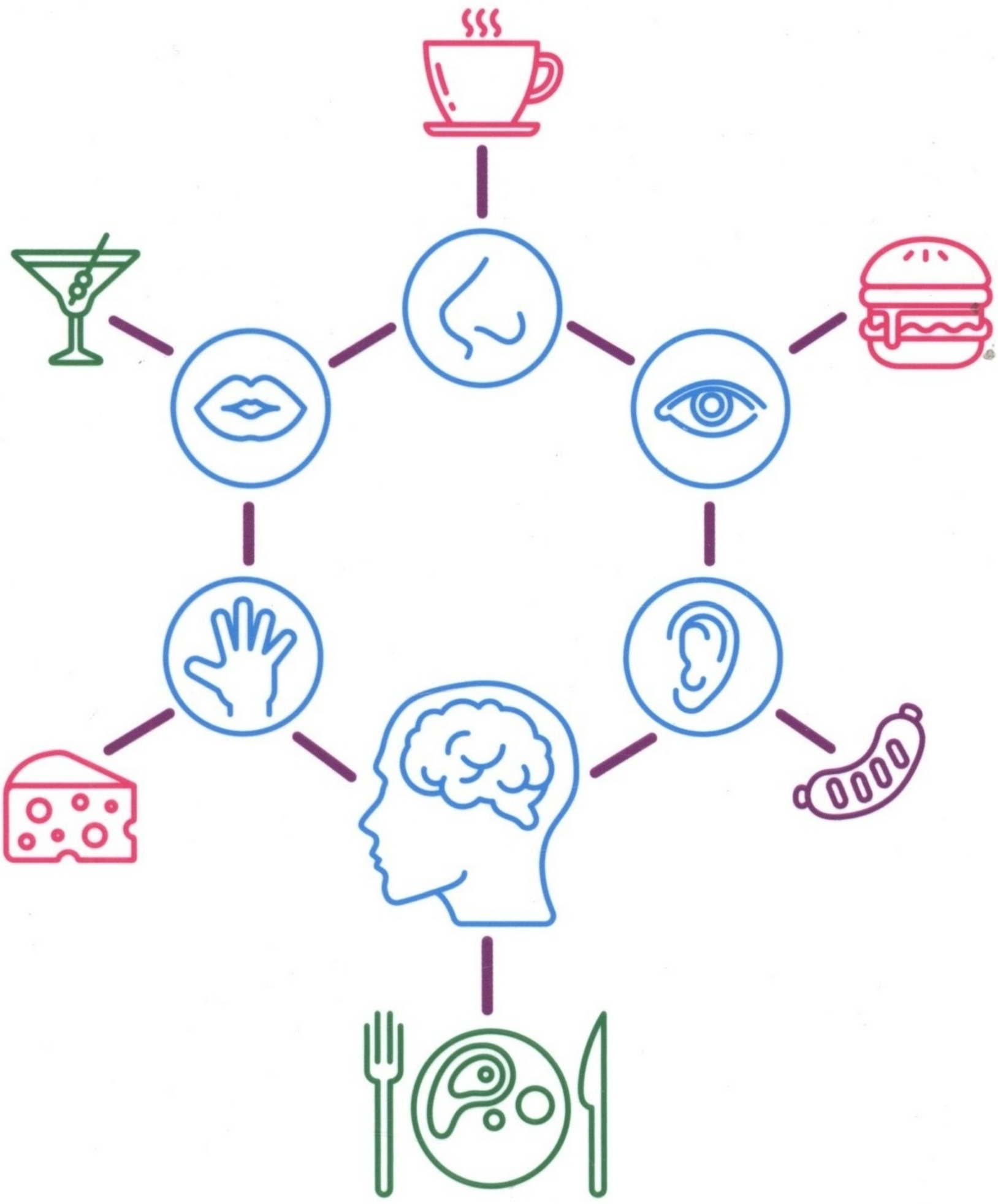
ГОРДОН ШЕПЕРД, НЕЙРОБИОЛОГ
Под редакцией Василия Олейникова, невролога, автора блога @dr_oleinikov (33 000 подписчиков)

НЕЙРОГАСТРОНОМИЯ

ПОЧЕМУ МОЗГ СОЗДАЕТ ВКУС ЕДЫ И КАК ЭТИМ УПРАВЛЯТЬ



ЧТО В ВОСПРИЯТИИ ПИЩИ ВАЖНЕЕ – ВКУС ИЛИ ЗАПАХ?

ВНЕШНИЙ ВИД ПИЩИ И СТЕРЕОТИПЫ О НЕЙ ВЛИЯЮТ НА ТО, КАК МЫ ОЩУЩАЕМ ЕЕ ВКУС?

ГДЕ НА САМОМ ДЕЛЕ ВОЗНИКАЕТ ВКУС – ВО РТУ ИЛИ В МОЗГЕ?

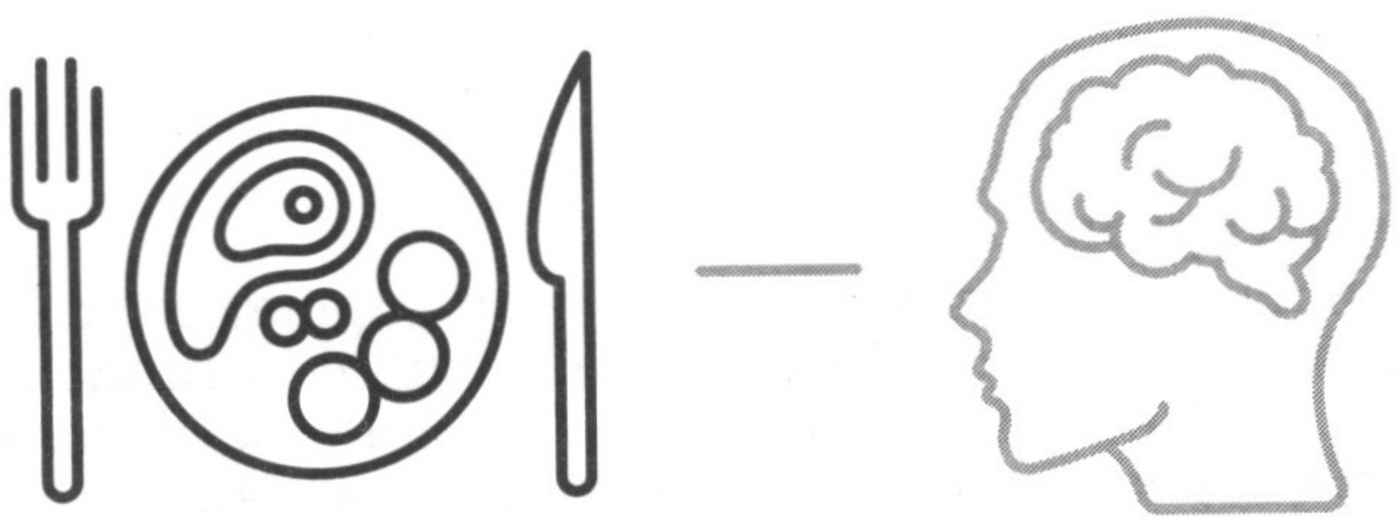
КТО РАЗЛИЧАЕТ БОЛЬШЕ ЗАПАХОВ – ЧЕЛОВЕК ИЛИ СОБАКА?



ГОРДОН ШЕПЕРД, НЕЙРОБИОЛОГ

НЕИРОГАСТРОНОМИЯ

ПОЧЕМУ МОЗГ СОЗДАЕТ ВКУС ЕДЫ И КАК ЭТИМ УПРАВЛЯТЬ



БОМБОРА™
Москва 2021

УДК 615.874
ББК 51.230
Ш48

Gordon Shepherd

NEUROGASTRONOMY:
How the Brain Creates Flavor and Why It Matters

© 2012 Columbia University Press.
This Russian language edition is a complete translation of the U.S. edition, specially authorized by the original publisher, Columbia University Press.

Во внутреннем оформлении использованы иллюстрации:
Victoria Sergeeva / Shutterstock.com
Используется по лицензии от Shutterstock.com

Шеперд, Гордон.

Ш48 Нейрогастрономия. Почему мозг создает вкус еды и как этим управлять / Гордон Шеперд ; [перевод с английского К. Д. Алиевой]. — Москва : Эксмо, 2021. — 320 с.: ил. — (рЕволюция в медицине. Самые громкие и удивительные открытия).

ISBN 978-5-699-96292-1

Про еду нам важно знать все: какого она цвета, какова она на запах и вкус, приятны ли ее текстура и температура. Ведь на основе этих знаний мы принимаем решение о том, стоит или не стоит это есть, удовлетворит ли данное блюдо наши физиологические потребности. На восприятие вкуса влияют практически все ощущения, которые мы испытываем, прошлый опыт и с кем мы ели то или иное блюдо.

Нейрогастрономия (наука о вкусовых ощущениях) не пытается «насильно» заменить еду на более полезную, она направлена на то, как человек воспринимает ее вкус. Профессор Гордон Шеперд считает, что мы можем не только привыкнуть к более здоровой пище, но и не ощущать себя при этом так, будто постоянно чем-то жертвуем. Чтобы этого добиться, придется ввести в заблуждение мозг и заставить его думать, например, что вареное вкуснее жареного. А как это сделать — расскажет автор книги.

Внимание! Информация, содержащаяся в книге, не может служить заменой консультации врача. Перед совершением любых рекомендуемых действий необходимо проконсультироваться со специалистом.

УДК 615.874
ББК 51.230

© Алиева К.Д., перевод на русский язык, 2019
© Панков А.И., иллюстрации, 2020
© Давлетбаева В.В., художественное оформление, 2020
ISBN 978-5-699-96292-1
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 10

Благодарности 12

Вступление. Ретроназальное обоняние
и Новый век вкуса 15

ЧАСТЬ I
НОСЫ И ЗАПАХИ

ГЛАВА 1.
Революция запаха и вкуса 24

ГЛАВА 2.
Собаки, люди и ретроназальное обоняние 34

ГЛАВА 3.
Как рот обманывает мозг 45

ГЛАВА 4.
Молекулы вкуса 51

ЧАСТЬ II
СОЗДАВАЯ ОБРАЗЫ ЗАПАХОВ

ГЛАВА 5.
Молекулы запаха и их рецепторы 66

ГЛАВА 6.
Создание сенсорного образа 81

ГЛАВА 7.
Образ запаха: момент озарения 90

ГЛАВА 8.
Запахи как лица 102

ГЛАВА 9.
Пуантилизм образов запаха 113

ГЛАВА 10.
Усиление образа 121

ГЛАВА 11.
Создание, изучение и запоминание запахов 130

ЧАСТЬ III
СОЗДАНИЕ ВКУСА

ГЛАВА 12.
Запах и вкус 140

ГЛАВА 13.
Вкус и вкусовые ощущения 149

ГЛАВА 14.
Ощущения в полости рта и вкус 162

ГЛАВА 15.
Зрение и вкус 170

ГЛАВА 16.
Слух и вкус 180

ГЛАВА 17.
Мышцы вкуса 184

ГЛАВА 18.
Сводя все воедино: система восприятия
вкусовых ощущений человеческим мозгом 193

ЧАСТЬ IV
ПОЧЕМУ ЭТО ВАЖНО

ГЛАВА 19.
Вкус и эмоции 204

ГЛАВА 20.
Вкус и память: новая интерпретация Пруста 214

ГЛАВА 21.
Вкус и ожирение 226

ГЛАВА 22.
Принятие решений: нейроэкономика вкуса
и питательной ценности 236

ГЛАВА 23.
Пластичность человеческой системы восприятия вкуса 247

ГЛАВА 24.
Запах, вкус и речь 256

ГЛАВА 25.
Запах, вкус и сознание 268

ГЛАВА 26.
Роль запаха и вкуса в эволюции человека 278

ГЛАВА 27.
Почему вкус — это важно? 290

Источники 303

Алфавитный указатель 316

Ссылки на сетевые ресурсы в тексте были актуальны на момент написания книги. Ни автор, ни издательство Колумбийского университета не несут ответственности за изменение ссылок на сетевые ресурсы с момента публикации.

Посвящается Грете

ПРЕДИСЛОВИЕ

Потребление пищи — необходимое условие для существования каждого из нас. В нормальных обстоятельствах мы едим ежедневно на протяжении всей нашей жизни. За последние 20 лет ученым удалось установить, что наше желание есть обусловлено по большей части гормональными процессами — именно гормоны подают сигнал о том, что тело нуждается в пище, и о том, что мы уже наелись. Вот только это гормональное управление никоим образом не объясняет, почему мы предпочитаем определенные виды продуктов; что заставляет нас объедаться тем, что нам нравится, или есть слишком мало того, что неприятно? Для изучения вопросов, связанных с гастрономическими предпочтениями и вкусом пищи, постепенно сформировалась абсолютно новая научная сфера.

Одно из самых распространенных заблуждений гласит, что у всякой еды есть вкус. В любой еде действительно содержатся молекулы вкуса, вот только сам вкус этих молекул формируется лишь в нашем мозге. Если мы стремимся к здоровому питанию и хотим избежать множества хронических заболеваний, ассоциируемых с неправильным рационом и нехваткой питательных веществ, нам важно понимать, как наш мозг создает те вкусовые ощущения, что мы испытываем, — проще говоря, нам предстоит освоить упомянутую ранее новую науку о вкусовых ощущениях, которую я называю нейрогастрономией.



То, что у любой еды есть вкус, — распространенное заблуждение. В пище содержатся лишь его молекулы, а вот сам он формируется только в мозге.

Я впервые узнал о ней, когда изучал, как наш мозг формирует образы запахов. Новейшие исследования, проводимые во множестве лабораторий по всему миру, коренным образом меняют наши знания об обонянии — если раньше оно считалось наименее развитым из человеческих чувств, то теперь, благодаря своему огромному влиянию на восприятие вкусовых ощущений, рассматривается как один из важнейших компонентов, оказывающих постоянное воздействие на нашу повседневную жизнь. Нейрогастрономия формирует совершенно новую концепцию уникальной системы вос-

приятия вкусовых ощущений человеческим мозгом, которая, возможно, является наиболее сложной и разветвленной из всех наших систем восприятия — на основе молекул вкуса эта система формирует ощущения, эмоции, воспоминания, сознание, речь и мотивирует к принятию решений. Нейрогастрономия совмещает науку о мозге с наукой о еде и учитывает влияние на наше пищевое поведение того обмена мнениями, что сопровождает всякий прием пищи в кругу семьи. Благодаря этой науке мы можем лелеять надежду, что однажды мы сформируем концепцию здорового питания на основе комплексных исследований и прочном научном фундаменте. В этой книге я расскажу вам об исследованиях, которые формируют новую сферу научного знания, и объясню, каким образом это улучшит жизнь каждого из нас.

БЛАГОДАРНОСТИ

Я многих хочу поблагодарить за то, что эта книга увидела свет.

Джин Блэк из Йельского университета с самого начала поддерживала мою идею написать книгу о запахе. Когда я отказался от своей затеи, сочтя проект слишком сложным, мой коллега Стюарт Файрстайн вернул к жизни как меня, так и мою рукопись, познакомив с Патриком Фицджеральдом из *Columbia University Press* — они смогли убедить меня в том, что я справлюсь. Также я благодарен редакторам журнала *Nature*, которые попросили написать статью о запахах для раздела «Суть природы»[1] и рассказать в ней о новых исследованиях. Кристиан Маргот настоял на том, чтобы в статье я сосредоточился в первую очередь на ретроназальном ощущении запаха и вкуса; благодаря его совету из той статьи со временем возникла эта книга.

Тема запаха объединяет меня со многими коллегами, с кем я на протяжении многих лет исследовал механизмы формирования схем обонятельной активности, которые являются основой восприятия ароматов. Перед Стюартом я в долгу, но я благодарен и Чарльзу Гриру за его поддержку в Йельском университете, и своим бывшим студентам, упоминаемым в этой книге, в числе которых Льюис Хаберли, Джон Кауэр, Том Гетчелл, Уильям Стюарт, Кенсаку Мори, Доron Ланцет, Патриция Педерсен, Фрэнк Зуфал, Трезе Лейндерс-Зуфал, Вей Чэн, Минхог Ма, Хавьер Гросмэтр, Дэйвид Уилхайт; нашим гостям — Деннису Линкольну, Бёртону Слотнику, Маттиасу Ласка.

Я благодарю Терри Акри за приглашение в ряды научных сотрудников лаборатории запаха, где я познакомился с Гарольдом Макги.

Спасибо моей жене Грете и нашей дочери Лизбет — их любовь к Франции и французской культуре открыла передо мной многие двери. Начиная с 1986 года и академического отпуска, проведенного в Париже, я имел честь неоднократно общаться с Жаном-Дидье Венсаном, одним из ведущих французских ученых и философов в сферах, касающихся вина и культуры. Он и его друзья подарили нам с Гретой поистине незабываемый вечер с ортоланами[2]. Благо-

---

[1] Nature Insight.

[2] Садовая овсянка — птица из рода настоящие овсянки семейства овсянковые.

даря Жану-Дидье в 2000 году я смог принять участие в радиопередаче о винах, которая транслировалась на французском радио, — это стало еще одним шагом к написанию книги. Участие в этой программе свело меня с Жан-Клодом Бертруэ, главным дегустатором вин дома Петрус, который устроил для меня незабываемую дегустацию 10 различных вин разной выдержки их производства. Именно тогда я смог опробовать свою теорию образов вкусовых ощущений вина на практике. Спасибо и Пьеру-Мари Лледо, который много раз гостеприимно принимал меня у себя и сопровождал во время моих приездов в Париж: мы работали над нашими общими проектами по изучению распространения запаха в лаборатории и экспериментировали с дегустацией вина за ее пределами.

Когда я только начинал познавать нейронауки, что легли в основу этой книги, мне довелось учиться в Оксфордском университете под руководством Чарльза Филлипса и Томаса Пауэлла. Том был сотрудником факультета анатомии, возглавляемого Уилфредом ле Грос Кларком, который по совместительству являлся и ведущим специалистом в антропологии; именно благодаря знакомству с ним я заинтересовался антропологией человеческого обоняния. Недавно я продолжил свои изыскания в данной сфере, и в этом мне очень помогли Ричард Рэнгем и Дэн Либерман из Гарварда, которые позволили мне попасть на семинар факультета антропологии и в деталях обсудить с Дэном эволюцию человеческой головы, в том числе ретроназальный путь, столь важный для моих исследований. После Оксфорда я продолжил изыскания уже в Национальных институтах здравоохранения под чутким руководством моего друга и наставника Уилфрида Ралла и при поддержке моих коллег Томаса Риза и Милтона Брайтмана. Впоследствии труды Фрэнка Шарпа и Эда Эвартса из Национальных институтов здравоохранения позволили нам изолировать схемы мозговой активности и соотнести их с тем, как тело реагирует на те или иные молекулы запаха.

Мое погружение в науки о вкусах и строении мозга прошло бы гораздо сложнее без поддержки коллег, в особенности Линды Бартошук, Валери Даффи, Терри Акри, Кристиана Маргот, Авери Гилберт, Брюса Халперна, Юстуса Верхагена, Даны Смолл, Дэёль Ли и Гэри Бошампа, которые помогали мне, вычитывая главы моей книги и критически оценивая их в рамках своих специальностей. Гарольд Макги и Дональд Уилсон читали и комментировали текст

целиком. Тем не менее любые проскользнувшие в текст ошибки остаются всецело на моей совести.

Я благодарю всех, чьи профессиональные консультации позволили моей книге пройти все стадии от рукописи до печати. Спасибо Уэндолин Хилл за преобразование моих научных слайдов в изысканные иллюстрации к этой книге, а Бриджет Флэннери-Коннор за ее профессиональное руководство при работе над текстом. Я благодарю Памелу Нельсон за курирование публикации и моего редактора Патрика Фицджеральда за неустанную поддержку, которую он оказывал мне на протяжении всей работы над книгой. Спасибо и Стюарту Файрстайну за его мудрые и уместные советы. Моей жене Грете и нашей семье, которые терпели меня все это время, я могу сказать лишь: «Так! Манге так!»[1]

Исследования, давшие основу этой книге, проводились при поддержке программы «Химических чувств»[2] Национального института глухоты и других коммуникативных расстройств[3] при Национальных институтах здравоохранения в Бетесде, штат Мэриленд. Мой основной грант непрерывно финансируется уже на протяжении 42 лет. Я также получал поддержку от Национального научного фонда[4], НАСА[5], Национального института по проблемам старения[6], Национального института по проблемам злоупотребления наркотиками[7] и Медицинской научно-исследовательской лаборатории Военно-морских сил[8]. Все исследования получали финансирование на конкурсной основе. Я очень благодарен комиссиям учебного отдела за оценку моей работы и советам институтов за финансирование. Наши проекты были посвящены исследованиям строения и свойств обонятельных путей на животных. То, что благодаря им мы можем по-новому посмотреть на механизмы восприятия вкуса у людей, стало возможно лишь из-за величайшего блага науки — свободы исследований.

---

1 «Tak! Mange tak!» — «Спасибо! Огромное спасибо!» (дат.).

2 Chemical Senses Program.

3 National Institute for Deafness and Other Communication Disorders.

4 National Science Foundation.

5 National Aeronautics and Space Administration.

6 National Institute on Aging.

7 National Institute for Drug Abuse.

8 Naval Medical Research Laboratory.

Вступление

РЕТРОНАЗАЛЬНОЕ ОБОНЯНИЕ И НОВЫЙ ВЕК ВКУСА

У истоков этой книги стоят тарелки с горячим домашним ужином и кухонный стол, за которым мы с моей женой Гретой ели каждый вечер в те далекие годы, когда вместе учились в университете.

У моей жены множество увлечений, в том числе еда (она повар-гурман), книги (по профессии она библиограф-консультант и к тому же обожает читать), цветы и садоводство (она занимается нашим садом как в США, так и в Дании), путешествия, друзья, опера, а также поддержание отношений с нашим разрастающимся семейством. Я же привык проводить большую часть времени в лаборатории, изучая часть мозга, ответственную за обоняние. В течение многих лет нашей совместной студенческой, а затем семейной жизни — будь мы в Англии, Вашингтоне, Стокгольме, Нью-Хейвене, Филадельфии, Париже, в нашем доме в Коннектикуте или летнем доме в Дании — домашний ужин неизменно объединял нас, оставаясь неизменным атрибутом нашего быта. Он начинается с глоточка шерри, вина или фруктового сока с кусочком чего-нибудь вкусного для подготовки пищеварительной системы к полноценному приему пищи — традиционному ужину с мясом, овощами и салатом. Затем можно выпить бокал вина и приступить к сладкому — десерту или фруктам; и наконец завершить ужин чашечкой чая (кофе мы пьем по утрам). Каждый день на ужин было что-то новое. Грета как никто другой умеет добавить блюдам элегантности кухни своей родной Дании и тех мест, где мы бывали и жили; у нее всегда полно идей и есть огромная коллекция вырезок с рецептами из газет и журна-

лов, собранных по всему миру. Мы очень ценим возможность насладиться вкусом пищи и одновременно обдумать события прошедшего дня.

Наш повседневный ритуал так и остался бы элементом нашего семейного быта, если бы в 1986 году журнал *National Geographic* не опубликовал статью «Интимное чувство обоняния», которая стала первым из доступных широкой аудитории комплексных исследований, посвященных столь недооцененному чувству. Так как я уже изучал запахи, автор статьи взял у меня интервью. Вы, возможно, видели фотографии из этой статьи — наиболее известная из них показывает ряд обнаженных по пояс молодых мужчин с поднятыми руками и приятных женщин средних лет в лабораторных халатах, уткнувшихся носом мужчинам в подмышки; таким образом проверялась эффективность последнего разработанного дезодоранта.



Кажется, что главный канал восприятия человека — зрение. Но чем ближе время ужина, тем яснее видно, что истинное удовольствие мы получаем благодаря обонянию.

Статья начинается с идеи, что запах стал менее значим для человека с тех пор, как наши предки перешли на прямохождение и стали больше полагаться на зрение: «…но Гордон Шеперд, нейрофизиолог из Йельского университета, считает, что люди сильно недооценивают свое обоняние. Он говорит: “Нам кажется, что мы ориентируемся с помощью зрения, но чем ближе время ужина, тем лучше мы понимаем, что истинное удовольствие получаем именно благодаря обонянию. Запахи влияют на все наши эмоции. Именно запахи формируют наши модели поведения и делают нашу жизнь приятной или отвратительной, а заодно и более питательной”».

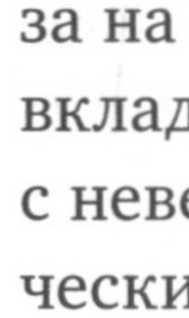
Когда автор зачитал мне эту цитату и сказал, что собирается использовать ее в статье, я запротестовал — мне хотелось перефразировать свое высказывание, чтобы оно звучало изящнее. В результате он настоял на том, чтобы оставить все как есть, аргументировав решение тем, что именно это я и говорил. Своим рассказом о том, как много для меня значат воспоминания об аромате и вкусе семейных ужинов, я хотел донести мысль о несостоятельности популярного мнения об обонянии как незначительном и поч-

ти не влияющем на жизнь человека виде восприятия (разумеется, речь не о парфюмерах).

После этой беседы я осознал, что упустил кое-что очень важное — посвятив свою жизнь исследованиям физиологии обоняния, я еще ни разу не пытался проанализировать, как ароматы влияют на удовольствие, которое я получаю от своих вечерних приемов пищи. Я почувствовал, что пришло время подойти к вопросу с точки зрения нейронаук и узнать, как именно запах еды, находящейся у меня во рту, добирается до чувствительных клеток в моем носу и как эти запахи объединяются с другими ощущениями, создавая вкусовые ощущения.

В поисках ответа на эти вопросы я ступил на путь своей личной одиссеи, каждый новый шаг которой был потрясающе увлекательным. Я познакомился со многими исследователями самых разных профилей, чьи сферы интересов ранее не пересекались; повстречался со специалистами нейронауки и со множеством людей, никак не связанных с научными изысканиями. Я узнал о существовании физиологов питания — ученых, исследующих процесс разжевывания и проглатывания еды. Они изучают то, как запахи достигают рецепторов в носу при вдохе, например, когда мы вдыхаем аромат горячего кофе, или при выдохе, когда жуем и проглатываем пищу. Психологи изучают, как запах вместе с импульсами от иных чувств формирует то, что мы знаем как вкус, хотя на самом деле это вкусовое ощущение — совокупность вкуса, запаха и текстуры пищи, одно из наиболее сложных ощущений, испытываемых человеком. Когнитивные нейробиологи используют визуализацию мозга, чтобы показать, как возникает аромат в результате активности на самых высоких когнитивных уровнях нашего мозга. Нейрофармакологи изучают, как области мозга, которые активируются пристрастием к еде, включают те же области, которые активируются пристрастием к табаку, алкоголю и наркотикам. Биохимики определяют, какие гормоны наше тело выбрасывает в кровь, когда подает сигналы о голоде и требует пищи, а какие использует, чтобы сообщить о насыщении. Антропологи предполагают, что, научившись готовить пищу, человечество совершило настоящий эволюционный прорыв. Молекулярные биологи заявляют, что обонятельные рецепторы кодируются самым обширным семейством генов в нашем геноме; они изучают то, как молекулы позволяют нам ощущать те или иные запахи. У нас от-

личное обоняние — специалисты по поведенческой психологии установили, что обезьяны, как и люди, куда более чувствительны к запахам, чем предполагалось ранее.



Вкусовое ощущение — совокупность вкуса, запаха и текстуры пищи, одно из наиболее сложных ощущений, испытываемых человеком.

Все перечисленные специалисты, которые, как правило, работали лишь в рамках своей сферы интересов и не вникали в труды других исследователей, в наши дни объединили усилия и создают абсолютно новую науку о вкусе. Стоит упомянуть и ресторанных критиков — они уже давно подталкивали нас к новому восприятию вкуса пищи. В их число входит и Гарольд Макги, чья книга «О еде и кулинарии: наука и знания кухни»[1] открыла тысячам людей глаза на то, как еда формирует наши вкусовые ощущения. Огромный вклад в образование новой науки внесли Николас Курти и Эрве Тис, с невероятным энтузиазмом погрузившись в «физические и химические аспекты кулинарии» и организуя мастер-классы. Они создали новую науку «о кулинарных трансформациях и феноменах восприятия, связанных с поглощением пищи», которую Тис подробно описал в своей книге «Молекулярная гастрономия: изучая науку вкуса»[2].

Некоторые из приведенных им тезисов показались мне особенно интересными.

1. Мы воспринимаем вкус находящейся у нас во рту пищи не на вдохе, словно принюхиваясь к некоему аромату, а наоборот, на выдохе — выдыхая, мы проталкиваем небольшие фрагменты запаха пищи или напитка глубже в полость рта, оттуда он при жевании и проглатывании попадает в носоглотку и продвигается выше, в полость носа. Этот «обратный» способ попадания запаха к рецепторам называется ретроназальным обонянием, от латинского «retro» — «назад» или «сзади»; мы также называем его «ротовым» обонянием. Оно противопоставляется ортоназальному обонянию,

---

[1] McGee, Harold On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen. Scribner, 2004.

[2] This, Hervé. Molecular Gastronomy: Exploring the Science of Flavor. Columbia UP, 2005.

от греческого «ορθός» — «прямой» или «правильный», который мы называем просто нюхом.

2. При поступлении к рецепторам ретроназальным путем запах доминирует над вкусом. Мы часто говорим, что у еды тот или иной «вкус», но с точки зрения науки мы воспринимаем лишь пять вкусов: сладкий, соленый, кислый, горький и умами[1]. То, что мы называем вкусом, на самом деле является вкусовым ощущением, и формируется оно по большей части за счет ретроназального обоняния. Ретроназальное обоняние является новой гранью изучения запаха и вкуса, и именно оно выступает системообразующим элементом новой науки, изучающей то, как мозг формирует наше вкусовое восприятие. Распознавание простых вкусов заложено в нас с рождения, а вот ретроназальное восприятие запахов является приобретенным навыком и может существенно разниться от человека к человеку. Именно благодаря такому обонянию кухни народов мира разительно отличаются друг от друга, а каждый посетитель «Макдональдса» заказывает себе разное сочетание бургеров, наггетсов, картошки фри, салата и соусов к нему, выпечки и колы. Да здравствует разнообразие!



Человек способен воспринимать лишь пять вкусов: сладкий, соленый, кислый, горький и умами. В обиходе словом «вкус» мы называем совокупность множества ощущений.

3. Наши собственные исследования показали: когда мы принюхиваемся к какому-то запаху, то возникает пространственный образ активности нашего мозга. Эти схемы и есть образы запаха, и каждая из них соответствует конкретному аромату в той же мере, в которой лица разных людей распознаются нашей зрительной системой как уникальные образы. Человеческий мозг очень хорошо распознает лица, и это свидетельствует о крайне развитой системе идентификации паттернов. По итогам наших исследований мы предполагаем, что эта способность отвечает и за восприятие запахов, то есть позволяет вычленять и распознавать в дальнейшем множество схем, соответствующих разным ароматам.

4. У человека мозг большого размера. Возможно, у наших органов чувств меньше рецепторных молекул или клеток, чем

---

[1] В русском языке «умами» иногда переводят как «мясной вкус».

у иных млекопитающих, но это абсолютно не мешает нам обладать острым обонянием. Может, у людей и нет таких чувствительных ушей и глаз, как у некоторых из братьев наших меньших, но это ничуть не помешало нашим предкам развить такой сложный навык, как речь, ведь наш «большой мозг» мог проводить сложные операции, непосильные для более компактного звериного. Во время моей одиссеи за вкусовыми ощущениями, в 2004 году, я написал статью, в которой выдвинул гипотезу о том, что человек обладает очень острым нюхом. Материал назывался: «Человеческое обоняние: мы лучше, чем думаем?»[1] После его выхода мой коллега Авери Гилберт, уже написавший превосходную книгу о запахах — «Что знает нос: наука о запахах в повседневной жизни»[2], — прислал мне письмо на электронную почту. Он заявлял, что мой заголовок был не совсем верным, и писал, что книгу стоило назвать «Человеческое обоняние: мы лучше потому, что мы думаем». Очень верно подмечено. Размер мозга играет огромную роль в восприятии вкусовых ощущений. Ключевая идея этой книги в том, что у людей очень развитое обоняние именно благодаря огромной вычислительной мощности нашего крупного мозга, позволяющей ему проводить сложнейшие операции. Высшие мыслительные функции — а к ним относятся системы, отвечающие за память, эмоции, высшие когнитивные функции, и речевые центры — во многом и формируют то, что я называю уникальной системой восприятия вкуса человеческим мозгом.



Мозг не только получает сенсорную стимуляцию от рецепторов на языке, но и сам активно участвует в процессе формирования вкусовых ощущений.

Резюмируя, можно сказать, что на данный момент наука о еде сосредоточена в основном на составе пищи и восприятии вкуса. Уже установлено, что некоторые явления можно отследить вплоть до механизмов мозговой активности. Теперь нам нужно лишь сменить направление исследования на противоположное и начать его

---

[1] Shepherd GM (2004) The Human Sense of Smell: Are We Better Than We Think? PLoS Biol 2(5): e146. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0020146.

[2] Gilbert, Avery. What the Nose Knows: The Science of Scent in Everyday Life. Crown/Archetype, 2008.

с мозга; это позволит нам показать, что он не только получает сенсорную стимуляцию от рецепторов, но и сам активно участвует в процессе формирования вкусовых ощущений. Важно понимать, что во вкусной еде вкуса ничуть не больше, чем цвета в цветастом предмете. Цвет возникает благодаря различной длине волн, отраженных от объекта, а наш мозг преобразовывает их в цвет и придает ему смысл, влияющий на поведение. Аналогичным образом и запах — ключевой компонент вкусовых ощущений — существует лишь в виде отличий между молекулами; наш мозг преобразовывает эту разницу в схемы и совмещает их со вкусами и информацией, поступающей от иных органов чувств, создавая запахи и вкусовые ощущения, влияющие на восприятие пищи.

Из осознания того, как именно мозг преобразовывает получаемую информацию, и складывается новая наука о вкусе. В 2006 году, после публикации упомянутой ранее статьи о том, что человеческое обоняние куда острее, чем нам кажется, я обозревал статьи о самых разных исследованиях из многих сфер научного знания, так или иначе связанных с формированием нового видения роли мозга в восприятии вкуса, для специального выпуска журнала *Nature* под названием «Суть природы». Мне нужен был термин, который обобщал бы эти разрозненные сферы науки в единую дисциплину о вкусе. Тогда мне и пришло в голову слово «нейрогастрономия», и теперь именно так я и буду ее называть. К уже существующему термину «гастрономия», который был придуман древними греками для обозначения хорошего питания и образа жизни, а затем популяризирован во Франции в начале XIX века, добавляется греческого же происхождения слово «нейро», подчеркивающее отношение новой науки к мозгу. Иные сферы науки сначала изучают еду и лишь затем рассматривают то, как она стимулирует чувства. Нейрогастрономия начинается с мозга и в первую очередь изучает то, как он формирует ощущения от пищи.

Судя по всему, создание новой науки пришлось ко времени. За последние несколько лет роль запаха в формировании вкусовых ощущений и то, как он попадает к рецепторам через носоглотку, стало куда более востребованной темой для исследований. В то же время роль запаха по-прежнему остается тайной для подавляющего большинства людей. Всякий раз, обсуждая с коллегами это новое направление исследования — ретроназальное обоняние и его роль в формировании вкусовых ощущений, — я испытываю ото-

ропь, когда они искренне удивляются тому, что мы чувствуем вкус на выдохе и что не все вкусовые ощущения связаны со вкусом как таковым. Как мы можем высказывать свое мнение о еде и ее питательности, гурманстве, кулинарии, фастфуде и ожирении, если большинство даже не подозревает о первостепенной роли запаха в формировании вкусовых ощущений? Когда вкусовые ощущения не признаются одним из ключевых факторов, влияющих на нашу повседневную жизнь, а люди знать не знают о том, что зоны мозга, заставляющие нас облизываться при виде любимого блюда, в других ситуациях пробуждают в нас жажду насилия и злоупотребление наркотиками? Очевидно, час настал, и в XXI веке нам предстоит заново открыть для себя мозг и то, как он создает запахи и вкусовые ощущения.

ЧАСТЬ I

Носы и запахи



Глава 1

РЕВОЛЮЦИЯ ЗАПАХА И ВКУСА

Однажды я познакомился с мужчиной из Дании, который провел с друзьями неделю в парке Disney World во Флориде.

— Как провели время? — спросил я у него. — Вам понравилась американская культура?

— Еще как, — ответил он. — Мы отлично отдохнули.

Моя жена — датчанка; прекрасно зная, что датчане крайне щепетильно относятся к пище, я шутливо поинтересовался: «Понравилось вам целыми днями есть одни гамбургеры да хот-доги?»

— Мы их даже не пробовали, — услышал я в ответ.

— Чем вы там вообще питались? — спросил я.

— Мы привезли с собой недельный запас ругбрёда[1], салями и сыра из Дании. Мы даже прихватили немного копченого угря.



Патриотизм — это тоска по блюдам родной кухни.

Полагаю, их недельный запас продуктов был невероятно тяжелым; я и сам, возвращаясь из Старого Света, чемоданами возил датский ругбрёд через Атлантический океан. Его насыщенный терпкий аромат и упругая текстура уникальны. Не менее уникальным вкусом обладают соленое, мясистое датское салями с привычным мне сыром хаварти с укропом. Для меня эти продукты лишь часть моей приобретенной личности, пробуждающейся, когда я попадаю в Данию, а вот для моих датских друзей эта пища является частью исконного быта.

---

[1] С датского rugbrød — датский ржаной хлеб.

* * *

Пример моих знакомых в очередной раз доказывает правдивость старой поговорки: «Патриотизм — это тоска по блюдам родной кухни». Так выглядит преданность родной стране, проявляющаяся через пристрастие к знакомым с детства вкусам.

Во время Олимпийских игр, когда спортсмены представляют свою страну, они выступают и во имя вкуса родной еды. Даже в наш век глобализации, когда повседневный рацион может состоять из традиционных блюд любого государства (в Лос-Анджелесе популярны суши, в Нью-Йорке — итальянская паста, а в Париже можно поесть в «Макдональдс»), для каждого из нас вкус пищи, на которой мы выросли, навсегда остается частью национальной идентичности. Отправляясь в отпуск в дальние страны, мы пару раз едим блюда местной кухни и начинаем тихо скучать по бургерам, рыбе с картошкой фри, суши, лазанье или прочей привычной еде. Я люблю вкус сои, но, попав в Японию, уже через несколько дней захотел чего-нибудь привычного. Грета раздобыла маленькие коробочки хлопьев для завтрака и холодное молоко, и я смог насладиться своим обычным утренним рационом.

Я понимаю, как много для нас значат полюбившиеся вкусы. Но мне кажется невероятным и несколько печальным, что большинство людей понятия не имеют о том, что аромат играет ключевую роль в формировании вкусовых ощущений и что самым важным для вкуса является именно запах пищи, который мы ощущаем на выдохе, когда жуем. Не многие знают о новейших исследованиях, доказавших, что запахи формируют в нашем мозге схемы активности, так называемые образы запаха, и именно они лежат в основе восприятия вкусовых ощущений. Образы запахов являются скрытым фактором, оказывающим существенное влияние на удовольствие, получаемое от пищи; они же отчасти повинны в проблемах со здоровьем, возникающих при бесконтрольном потреблении вредной пищи. Если мы будем понимать первостепенную роль обоняния, мы сможем избежать многих проблем и сделать жизнь куда более приятной.

Для того чтобы в полной мере осознать важность механизма ретроназального обоняния в нашей повседневной жизни, нам нужно вернуться в прошлое и изучить историю некоторых идей, уходящих корнями в Древнюю Грецию.

* * *

Большинство людей не воспринимают обоняние всерьез. Такое отношение сложилось еще во времена Аристотеля. Рассматривая органы чувств в своем труде «О душе»[1], он отметил, что «наше обоняние менее острое, чем у прочих живых существ, и является наименее развитым из наших чувств».

С тех пор прошло две с половиной тысячи лет, но многие и по сей день продолжают принимать его слова на веру. Если вы оказались в их числе, спешу заверить — вы далеко не одиноки в таком заблуждении. Как и большинство людей, вы наверняка получаете удовольствие от приятных запахов: хороших духов, ароматных цветов или стейка, скворчащего на гриле, — и морщитесь от запахов неприятных: вони немытого тела, «ароматов» в туалете и грязного воздуха. Вполне возможно, что ваш интерес к возможностям обоняния этим и ограничивается.

Может показаться, что запахи менее важны, чем зрительные или звуковые ощущения. Обоняние кажется блеклым и несущественным в сравнении с прочими видами восприятия, но лишь до тех пор, пока человек не лишается его в результате несчастного случая или инфекции. В своей книге «Вспоминая запахи: история об утрате — и возвращении — первобытного чувства восприятия»[2] Бонни Блогетт подробно описывает катастрофические последствия утраты вкусового восприятия. В таких случаях неспособность чувствовать вкус по большей части обусловлена именно утратой ретроназального обоняния. Вкусовое восприятие и обоняние важны, но можете ли вы представить человека, который, будучи поставлен перед выбором утраты одного из чувств, отказался бы от зрения или слуха вместо обоняния? Очевидно, что именно возможность видеть и слышать являются самыми жизненно важными видами восприятия, без которых невозможны полноценная жизнь и общение.

В то же время суть проблемы искажается в корне неверной постановкой вопросов. Какие факторы влияют на наше повседневное поведение? От какого вида сенсорной информации, поступающей в наш мозг, зависит ежедневное качество нашей жизни и как она влияет на принимаемые нами решения, связанные со здоровьем,

---

[1] «De Anima» (*лат.*).

[2] Blodgett, Bonnie Remembering Smell: A Memoir of Losing — and Discovering — the Primal Sense. Houghton Mifflin Harcourt, 2010.

взаимодействием с окружающими нас людьми, выбором питания и партнера? Если мы будем ориентироваться только на самые «очевидные» из наших впечатлений, то многого лишимся. Запахи и есть одни из тех неочевидных, но крайне важных факторов, которые управляют нашей жизнью.

* * *

Как уже упоминалось во вступлении, истинная значимость обоняния подтверждается исследованиями во многих сферах научного знания. В совокупности эти изыскания показывают, как обоняние и неотделимая от него способность воспринимать вкус сопряжены с неожиданно высокой активностью человеческого мозга. Интересны эти труды как широкой аудитории, так и специалистам, потому что раскрывают и позволяют лучше понимать биологическую суть человека. Сегодня многие исследователи осознали, что восприятие запахов является одним из наиболее увлекательных и перспективных векторов изучения головного мозга. Их интригуют механизмы этой системы восприятия, которая, вполне вероятно, поможет нам разгадать многие тайны человеческого тела. Десятилетия тому назад к такому же выводу пришел врач и писатель Льюис Томас: «Полагаю, мы сможем достаточно точно предположить, сколько столетий уйдет на развитие биологической науки, если вычислим, сколько времени уйдет на комплексное понимание восприятия запаха. Проблема эта может показаться недостаточно значимой, чтобы от ее решения зависело развитие всех естественных наук, но в ней скрыты фрагменты ответов на все загадки».



Считается, что человеческое обоняние слабое, но на деле оно весьма чувствительное, правда сравнивать его, например, с собачьим нет смысла: оно отличается качественно.

Одной из этих загадок является механизм, позволяющий мозгу формировать вкусовые ощущения на основе запаха.

Текущие исследования уже показали, что человеческое обоняние значительно острее, чем мы привыкли считать. Вопреки устоявшемуся мнению о том, что человеческое обоняние слабое и рудиментарное, на деле оно достаточно чувствительное. Некоторые исследователи даже предполагают, что люди и родственные

им приматы являются своего рода «сверхнюхачами» животного мира. Таким образом, настало время отдать должное этому недооцененному чувству и положить конец исторически сложившемуся пренебрежению к его роли в нашей жизни. Цель этой книги — продемонстрировать истинную силу человеческого обоняния, проявляющуюся в формировании наших вкусовых ощущений.

ВКУС КАК ДВИЖУЩАЯ СИЛА ИСТОРИИ

Несмотря на пренебрежительное отношение Аристотеля к значимости обоняния, последнее отвоевало свои позиции благодаря важной роли в формировании вкусовых ощущений, которые, в свою очередь, оказали немалое влияние на развитие человечества в те или иные моменты истории. В своей книге «Нация фастфуда: темная сторона американской кухни»[1] Эрик Шлоссер открыто отводит обонянию первостепенную роль в формировании вкусовых ощущений: «По сути, вкус — это в первую очередь запах летучих частиц, выделяемых тем, что вы только что положили в свой рот». Он особо отмечает поистине магическое воздействие вкусовых ощущений на человека:

«История практически не уделяет внимания человеческой жажде вкусовых ощущений. Тем не менее благодаря торговле специями строились империи и исследовались неведомые земли; под ее влиянием менялись великие религии и философские течения. В 1492 году Колумб отправился в свое великое путешествие именно ради приправ. По сей день вкус играет огромную роль на мировом рынке. Взлет и падение корпораций, производящих газированные напитки, закуски, и сетевых империй фастфуда — их судьба зависит именно от вкуса продукции».

Целью великого путешествия Христофора Колумба было не доказательство теории круглой земли, а поиск более простого пути к специям и вкусовым ощущениям, которые они дают.

Получается, что вкус в течение многих столетий не рассматривался как движущая сила истории, а запах, в свою очередь,

---

[1] Schlosser, Eric Fast Food Nation: The Dark Side of the All-American Meal. Houghton Mifflin Harcourt, 2001.

не рассматривался как ключевая составляющая вкусовых ощущений. Это кажется невероятным, особенно если учесть, что растительные приправы и специи являлись неотъемлемой частью кухни Рима более двух тысяч лет тому назад. Приведенная выше цитата подчеркивает, что в поисках новых вкусовых ощущений и ароматов человечество освоило путешествия на огромные расстояния и создало новые торговые пути. Многие упускают тот момент, что за тысячу лет до того, как Марко Поло «открыл» Китай, торговый путь Римской империи, проложенный ради специй, растянулся от берегов Средиземного моря до Поднебесной и южнее, до берегов Тихого океана — благодаря этому жизнь населения Южной Европы скрашивалась блюдами, сдобренными специями из далеких краев. Целью великого путешествия Христофора Колумба было не доказательство теории о круглой земле, а поиск более простого пути к специям и вкусовым ощущениям, которые они дают.

Путешественники XVI и XVII веков уплывали за горизонт не только в поисках золота, но и в надежде захватить контроль над поставками и производством специй. Для достижения этих целей люди творили поистине чудовищные вещи, которые по сей день остаются черными страницами человеческой истории. Впрочем, у этих обстоятельств есть и положительная сторона — отмечается, что развитие морских маршрутов в XVIII и XIX веках, по которым быстрые суда-клиперы поставляли специи и чай из Индии и Индонезии, вероятно, заложило фундамент становления Британской империи, а вслед за этим — и формирование крупнейших мировых держав и их экономики в XIX и XX веках. Мы унаследовали и видоизменили эти торговые пути, охватывающие весь земной шар, и теперь они открыли путь к источникам нефти, а также позволили капитализму прошлых веков выйти на абсолютно новый, глобальный уровень.

Контраст между исторически сложившимся мнением о незначительности вкуса и запаха и объективной реальностью очевиден — в повседневной жизни люди придают им очень большое значение. Эти недооцененные чувства через наши повседневные потребности влияют в том числе и на экономические силы, способствуя таким образом развитию общества.

В этой книге вы узнаете, почему запах и вкусовые ощущения, получаемые нами от пищи, так сильно влияют на человеческое поведение. Нынешнее понимание их роли сложилось далеко не сразу.

ПЕРВАЯ «ФИЗИОЛОГИЯ ВКУСОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ»

Впервые на значимость запаха и его роль в формировании вкуса, который воспринимался как эквивалент вкусовых ощущений, обратил внимание Жан Антельм Брийя-Саварен. Рожденный в 1755 году, он был юристом, а впоследствии — мэром города. Во время Французской революции был вынужден покинуть Францию и провел два года в США. После победы над якобинцами в 1796 году вернулся во Францию и стал судьей при правительстве Наполеона. На новой должности у него было куда больше свободного времени, и он наконец-то смог посвятить себя самой большой страсти — вкусной еде или гурманству. Незадолго до смерти в 1826 году он опубликовал свои соображения о пище в книге, которая называлась «Физиология вкуса, или Трансцендентная кулинария; теоретическая, историческая и тематическая работа, посвященная кулинарии Парижа профессором, членом нескольких литературных и ученых сообществ»[1].

Из вычурного названия очевидно, что эта книга не являлась сугубо научным трудом. Тем не менее она заслуженно стала классическим трудом благодаря тому, как тщательно и комплексно рассматриваются в ней всевозможные грани наслаждения пищей и как хорошо короткие очерки иллюстрируют зависимость человеческого общества от социальных взаимодействий, возможных только при совместном приеме пищи. Отчасти популярность книги связана с литературным талантом автора; именно благодаря его стилю и наблюдательности у нас есть прекрасные выражения:

«Скажи мне, что ты ешь, и я скажу тебе, кто ты»

и

«Открытие нового блюда важнее для счастья человечества, чем открытие новой звезды».

Наибольший интерес в его труде для нас представляет страсть к раскрытию физиологических и психологических механизмов, отвечающих за восприятие вкуса. В книге он ассоциируется не со вкусом как таковым, а с его сочетанием с запахом, то есть с тем видом восприятия, который мы называем вкусовыми ощущениями.

---

[1] Brillat-Savarin Jean Anthelme. Physiologie du gout, ou Meditations de Gastronomie Transcendante; ouvrage théorique, historique et a l'ordre du jour, Dédiée aux Gastronomes parisiens, par un Professeur, membre de plusieurs sociétés litteraires et savants (*фр.*).

Брийя-Саварен признавал, что запах играет ключевую роль в формировании вкуса и вкусовых ощущений:

«Я вынужден признать первостепенную важность обоняния и его огромный вклад в наше восприятие вкусов; из множества прочитанных мной книг я еще ни разу не встречал той, в которой автор в должной мере оценивал обоняние.

Что до меня, я не только уверен в том, что без участия обоняния невозможно полноценно почувствовать вкус, более того — мне хочется предположить, что обоняние и восприятие вкуса являются, по сути, частями единого чувства».

Брийя-Саварен, подчеркивая исключительную важность запаха, к сожалению, не отделял вкус как одно из чувств от «вкуса» как совокупности восприятия вкуса и запаха. Именно для дифференциации этих понятий мы называем первое вкусом, а второе — вкусовым ощущением. Тесная взаимосвязь между этими двумя чувствами долгое время скрывала от нас то, что именно запаху в ней отводится главная роль. Цель этой книги — распутать хитросплетение этих чувств и расставить их по местам.

Брийя-Саварен также отметил, что вкус и запах могут смешиваться лишь тогда, когда аромат находящейся во рту пищи попадает в заднюю часть ротовой полости и перемещается в полость носа посредством того, что мы сегодня называем ретроназальным трактом. Он не упоминал, что этот путь задействуется лишь при выдохе; зато придумал красочную аналогию для описания задней поверхности гортани, назвав ее «дымоходом» вкусового восприятия.

* * *

Прошло еще много лет, прежде чем научное сообщество признало, что вклад запаха в формирование вкусовых ощущений возможен благодаря ретроназальному тракту и выдыханию воздуха. В книге «Что знает нос» Авери Гилберт упоминает Генри Т. Финка, американского мыслителя, который в 1886 году опубликовал в журнале *Contemporary Review* статью под названием «Гастрономическая ценность запахов»[1]. В ней описывалось, как заглатывание пищи

---

[1] Fink, Henry. “The Gastronomic Value of Odours”, The Contemporary Review 50 (November 1886), 680.

«проталкивает» ее запах вверх по задней стенке ротовой полости, через носоглотку и в полости носа; автор называл это «нашим вторым путем обоняния». Тем не менее на протяжении XIX и начала XX века исследования обоняния были сосредоточены на попытках разложить вдыхаемые запахи на несколько простых категорий, по аналогии с основными цветами. В ходе этих опытов обнаружилось, что запахов слишком много, их спектр слишком велик, а работа по их классификации не имеет никакого практического значения.

Роль ретроназального обоняния в формировании вкусовых ощущений была выделена как отдельный объект интереса лишь в 1982 году, благодаря статье психолога Пола Розина из Пенсильванского университета. Он отметил, что мы воспринимаем обоняние как одно чувство, в то время как его следует разделять на ортоназальное (на вдохе) и ретроназальное (на выдохе). Он провел серию экспериментов, доказывающих, что один и тот же запах воспринимается по-разному в зависимости от того, используется первый или второй вид обоняния. Подопытные, обученные различать запахи на вдохе, затруднялись с их распознанием в том случае, когда те подавались напрямую к задней стенке полости рта.



Один и тот же запах может восприниматься по-разному в зависимости от того, какой вид обоняния используется: на вдохе или на выдохе.

Говоря о «нюхе», мы чаще всего подразумеваем ортоназальное обоняние, и это далеко не случайность. Оно дает доступ к огромному множеству стимулов: благодаря ему мы принюхиваемся к аромату еды, особенно той, что еще готовится; оцениваем богатство винного букета; нюхаем цветы и духи; погружаемся в мистическую атмосферу с помощью благовоний. Им же мы воспринимаем социальные запахи: сладость дыхания любимого человека; запахи тела и пота; нестабильные химические соединения, содержащиеся в фекалиях и урине; молекулы феромонов, передающих информацию о половой принадлежности, половозрелости, территории и агрессивности. При вдохе мы можем почувствовать угрожающие, тревожные запахи, сигнализирующие о пожаре или утечке газа. Все эти функции обоняния раскрываются именно на вдохе, когда мы принюхиваемся и втягиваем в себя воздух, — говоря об обонянии,

человечество испокон веков подразумевало только его ортоназальный аспект. Ретроназальное обоняние настолько отличается от ортоназального, что его и впрямь можно считать отдельным чувством. Во-первых, оно воспринимает запах изнутри, в полости рта — это единственное дистантное ощущение, работающее внутри тела. Во-вторых, благодаря его возникновению в полости рта его функционирование всегда сопряжено с работой других чувств, как правило, вкуса и осязания. Для запуска ретроназального обоняния пища должна находиться во рту, а значит, это обоняние сопряжено с подвижностью языка, челюстных мышц и щек — в отличие от «внешнего» обоняния и других дистантных чувств оно подразумевает физическую активность. Процесс жевания высвобождает из пищи молекулы запаха, которые переносятся по носоглотке к обонятельным рецепторам, расположенным в полости носа. К тому же ретроназальное обоняние, по сути, иллюзорно — нам лишь кажется, что оно работает в полости рта, там, где находится пища; на самом деле запах, конечно, воспринимается рецепторами в носу, куда попадает по обонятельному пути. Неудивительно, что мы так долго не понимали всей невероятности ретроназального обоняния.

Давайте поближе рассмотрим, как оно работает.

Глава 2

СОБАКИ, ЛЮДИ И РЕТРОНАЗАЛЬНОЕ ОБОНЯНИЕ

Чтобы в полной мере оценить, насколько организм человека приспособлен к ретроназальному восприятию запаха, логично было бы провести параллели между нами и видом животных, зарекомендовавших себя настоящими чемпионами обоняния, — собаками, лучшими друзьями человека. Для начала нам надо разобраться, как строение обонятельных систем этого вида адаптировано под свои функции. Полагаю, ни для кого не станет сюрпризом, что строение собачьего носа — это настоящая мечта инженера. А как насчет носа человеческого? Неужели Аристотель был прав и мы ущербны? Нужно понимать, что нос собаки предназначен в первую очередь для обоняния внешнего, в то время как человеческий нюх наиболее остер при восприятии вкусовых ощущений. Следовательно, нос собаки создан преимущественно для ортоназального обоняния, а нос человеческий — для ретроназального; именно благодаря этому он является центральным элементом нейрогастрономии.

ЖИДКОСТНАЯ ДИНАМИКА ОДОРИРОВАННОГО ВОЗДУХА НА ВЫДОХЕ И ВЫДОХЕ

Гэри Сэттлз — профессор машиностроения в Пенсильванском государственном университете. Он специализируется на жидкостной динамике, которая изучает перемещение воздуха или воды, когда они проходят над крылом или проталкиваются через трубки. Эта сфера науки нужна не только для того, чтобы

понимать принцип работы и проектировать эффективные крылья для самолетов, сопла реактивных двигателей и бытовые вентиляторы; благодаря ей работают устройства, которые втягивают воздух и анализируют его на наличие частиц, — такие устройства используются для поиска как взрывчатых веществ в контейнерах на грузовых кораблях, так и наркотиков в чемоданах. Его интерес к этим устройствам был настолько велик, что он решил изучить подобные процессы в природе и занялся исследованием носа собаки. Один из его последних проектов называется: «Аэродинамика собачьего обоняния при поисковых работах по обнаружению неразорвавшихся снарядов»[1].

Однажды я попал на лекцию Сэттлза, где он объяснял жидкостную динамику воздуха в собачьем носу. Он начал с рассказа о том, что исследование митохондриальной ДНК[2], извлеченной из окаменевших останков, подтверждает теорию о том, что собакообразные животные — в том числе волки, лисы, еноты, медведи, семейство куньих и шакалы — выделились в отдельную ветвь млекопитающих порядка 50 миллионов лет тому назад. Примерно в тот же период первобытные обезьяны, предки человека, выделились в отряд приматов. Как и другие млекопитающие, собакообразные животные втягивали и выдыхали воздух через нос при помощи дыхательных мышц легких, словно накачивая его кузнечными мехами. Следовательно, их обоняние должно было быть точнейшим образом синхронизировано с функцией дыхания.

Собачий нос идеально приспособлен для того, чтобы принюхиваться, то есть втягивать воздух и чувствовать витающие в нем запахи. Уникальность строения начинается с ноздрей. Если вы посмотрите на «пятачок» собаки, то увидите, что у ноздрей необычная форма: основное отверстие окружено мембранами — так называемыми крыловидными складками, — и от них вбок отходят изогнутые щели. Внешне собачьи ноздри похожи на лежащие на боку запятые. Когда собака нюхает землю, она втягивает воздух через центральные отверстия ноздрей, расширяя их при помощи мышц в крыловидных складках, а вот при выдохе задействуются другие

---

[1] The Aerodynamics of Canine Olfaction for Unexploded Ordnance Detection.

[2] Это особый вид ДНК, заключенный в форму кольца (в отличие от обычной двуспиральной ДНК) и находящийся в митохондриях, а не в ядре клетки (в отличие от обычной ДНК).

мышцы, перенаправляющие ток воздуха в боковые щели. Система с расширением основных отверстий ноздрей дает одно огромное преимущество — она предотвращает смешивание выдыхаемого воздуха с вдыхаемым, одорированным. Чем ближе нос собаки к земле, тем важнее эта физиологическая особенность для ее обоняния. Вот как это описывает Сэттлз:

«Направление струй выдыхаемого воздуха <…> обусловлено формой “выпускного отверстия”, сформированного крыловидными складками и расширенными крыльями носа <…> Следовательно, внешняя часть ноздрей выполняет функцию устройства отклонения потока с изменяемой геометрией. Это дает сразу три преимущества: 1) предотвращает нарушение целостности источника запаха, перенаправляя выдыхаемый воздух вбок; 2) взбивает частицы, находящиеся рядом с источником запаха, потенциально выпуская продолжение одорированного следа; 3) при помощи направленных струй выдыхаемого воздуха закручивает окружающий воздух <…>, затягивает его с ростральной (находящейся прямо перед) точки точно к ноздрям. Этот “эжектирующий эффект”[1] <…> помогает обонянию; другими словами, это и есть “реактивное обоняние”».



Нос собаки предназначен в первую очередь для внешнего обоняния, а человеческий нюх наиболее остер при восприятии внутренних вкусовых ощущений.

Когда собака принюхивается, ее нос втягивает сферу воздуха диаметром около 4 дюймов (10 сантиметров), центр которой находится у ноздрей. Эта сфера называется пределом обоняния, в рамках которого собака улавливает даже низкую концентрацию одорированных молекул. Когда пес нюхает воздух, он делает глубокие, медленные вдохи и держит рот открытым, чтобы у обонятельных мембран в носу было достаточно времени на выявление одорированных частиц. Благодаря этому собаки, почуявшие запах добычи, «указывают» носом в ее направлении.

Чтобы обнаружить запах на земле, собака старается сократить предел обоняния до минимума; именно поэтому, взяв след,

---

[1] Эффект эжекции заключается в том, что поток с более высоким давлением, движущийся с большой скоростью, увлекает за собой среду низкого давления.

она практически утыкается носом в землю. Чем меньше предел, тем плотнее струи воздуха, а следовательно, выше и концентрация одорированных молекул. Сэттлз тщательно задокументировал движение потоков, которые собирались в центре основных отверстий ноздрей, а затем выбрасывались через боковые щели. Собаки обладают потрясающе гармоничной системой отслеживания запахов: восприятие усиливается подобно тому, как в центральной части сетчатки, фовеоле, усиливается острота зрения[1].



Система обоняния собаки работает почти как глаз человека: есть специальные, наиболее чувствительные к молекулам запаха (у глаза — к свету) области, где система концентрирует восприятие.

Сэттлз также проанализировал, как собаки используют свою обонятельную систему вместе со зрительной для изучения нового источника запаха. Сначала животное утыкается ноздрями в землю и идет по следу нарастающей концентрации запаха до тех пор, пока одорант не достигнет предельной концентрации и не начнет ослабевать. Затем продолжает обнюхивать землю вокруг источника, одновременно оценивая его визуально. На этом этапе у выдыхаемого воздуха своя роль — боковые струи раздувают частицы вокруг источника, поднимая маленькие облачка частиц почвы и одоранта, которые затем втягиваются в ноздри с вдыхаемым воздухом.

Стоит также отметить, что нос собаки не только является органом чувств, но выполняет и ряд моторных функций: 1) с его помощью собака передвигает элементы среды, высвобождая частицы запаха; 2) подвижный нос позволяет подстраивать положение ноздрей для захвата наибольшей концентрации запаха от источника; 3) разделение входящих и исходящих потоков одорированного воздуха способствует достижению баланса и предельной эффективности обоняния.

Типы запахов, привлекающих внимание собак, во многом зависят от расположения их обонятельного аппарата. У собак, как и большинства четвероногих сухопутных животных, голова

---

[1] Это обусловлено высокой плотностью зрительных рецепторов в данной зоне.

находится достаточно близко к земле — уткнуться носом в землю естественно как для собак, так и для более крупных зверей. Перемещение на четырех ногах также подразумевает, что голова и бедра находятся примерно на одной высоте. Это напрямую влияет на социальные взаимодействия с представителями своего вида — когда две собаки здороваются, расположение носа позволяет обнюхивать не только голову нового знакомца, но и заднюю его часть. Именно поэтому для них естественно наличие одорантных меток с обоих концов туловища. В социальных ситуациях собаки также стараются минимизировать расстояние до источника запаха, вследствие чего их приветствие подразумевает достаточно тесный физический контакт. Интересный факт: собаки принюхиваются не только к запаху изо рта, чтобы узнать, что ела другая собака, но и к запаху мочи и кала, узнавая таким образом о прошлых, уже выведенных из организма порциях пищи. Обнюхивая друг друга сзади, собаки также получают сведения о гормональном статусе и фазе половой активности.

Пока что мы рассматривали исключительно внешнюю часть обонятельной системы. А что происходит внутри собачьего носа?

ВНУТРИ НОСА СОБАКИ

Почти у всех животных есть выступающий нос или морда, которая выдается вперед и находится между глаз; в ней располагаются пасть и полости с обонятельными сенсорами. У рыб, лягушек и рептилий эти полости имеют простое строение: молекулы запаха поступают к чувствительным клеткам вместе с водой (у рыб) или с водой и воздухом (у амфибий и рептилий). От мешочка с чувствительными клетками отходит длинный нервный отросток, соединяющий его с обонятельной луковицей, которая, в свою очередь, соединена с головным мозгом. У аллигатора такая длинная морда, потому что в ней размещаются зубы верхней челюсти, предназначенные для дробления добычи, а не потому, что у него крупная, вытянутая носовая полость.

Более 200 миллионов лет тому назад, когда млекопитающие только выделились в отдельное царство, оно предположительно состояло из мелких животных, напоминающих современных мышей или крыс. Их носы стали одним из важнейших элементов адаптации к сухопутной жизни. В отличие от морды аллигатора, их вы-

тянутые мордочки были именно носами — внутри них до самого кончика растянулась удлиненная носовая полость.

У современных млекопитающих, в том числе собак, обонятельные рецепторы сосредоточены в глубине носовой полости и, как правило, располагаются на извилистых костных формированиях, благодаря которым существенно расширяется сенсорная поверхность (рис. 2.1). Между ноздрями и обонятельными рецепторами находится потрясающий дополнительный орган — множество хрящевых складок, покрытых дыхательной оболочкой. В научной терминологии эти складки называются обонятельной раковиной и нижней носовой раковиной.

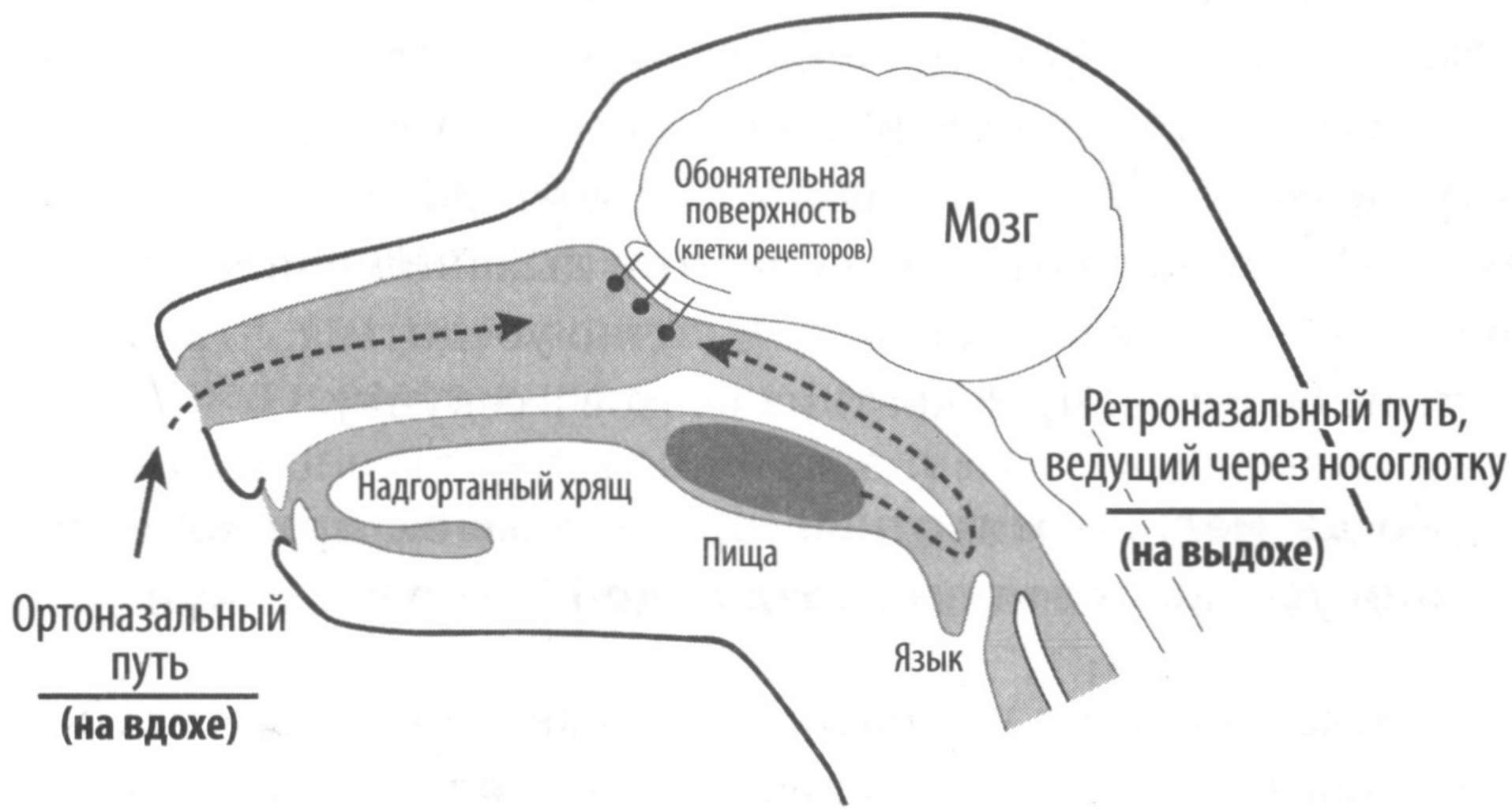


Рис. 2.1. Голова собаки. Стрелки показывают движение воздуха по ортоназальному пути (при обнюхивании) и ретроназальному пути (при восприятии запаха пищи во рту). Обратите внимание на расстояние между полостью рта и обонятельными рецепторами в случае ретроназального пути

Виктор Негус, британский специалист по болезням уха, горла и носа, посвятил долгие годы ставшему классическим трактату о строении носов разных животных и их сравнении с носом человеческим. Он продемонстрировал, что хрящевая ткань является своего рода фильтром, как в кондиционере, и у нее три функции: нагрев, увлажнение и очищение. Нагрев вдыхаемого воздуха приводит его в равновесие с температурой воздуха в дыхательном тракте. Увлажнение вдыхаемого воздуха делает его таким же влажным, как и находящийся в дыхательном тракте. Очищение воздуха на вдохе убирает из него посторонние частицы, такие как пыль, дым и бактерии.

Негус изучил многие виды животных и обнаружил, что у большинства из них в носу в том или ином виде присутствует фильтрующий аппарат. Но были и исключения — приматы, к которым относится и человек.

Мышцы ноздрей не только управляют тем, откуда забирается воздух, но и направляют поток внутри носа. При обычном дыхании воздух проходит по центральному пути, через фильтрующие хрящи. Когда животные принюхиваются, воздух перенаправляется в обход хрящевой массы, чтобы быстрее достигнуть обонятельной поверхности в глубине носовой полости, покрытой обонятельным эпителием, где и происходит восприятие запахов.

Когда собака активно принюхивается к некоему предмету, частота вдохов существенно повышается — с одного-двух в секунду до шести-восьми (у мелких грызунов, таких как мыши и крысы, частота вдохов может повышаться вплоть до десяти-двенадцати в секунду). Для человека такая частота дыхания попросту недостижима — вы можете попробовать и лично убедиться, что возможно сделать не более четырех кратких вдохов в секунду.



Когда мелкие животные вроде мышей принюхиваются, они успевают втянуть воздух до 10–12 раз в секунду.

Несмотря на все улучшения, направленные на усиление ортоназального обоняния, на иллюстрации видно, что ретроназальный обонятельный путь, протянувшийся от ротовой полости вверх, по носоглотке, длинный и достаточно узкий. Судя по всему, обоняние собаки предназначено преимущественно для ортоназального восприятия запаха. А как насчет людей?

ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО НОСА

В процессе эволюции человек стал прямоходящим, постепенно буквально возвысившись над пыльной окружающей средой и почвой. Вместе с прямохождением снизилась и периодичность контакта обонятельных клеток с инфекционными агентами. Сложная система очищения воздуха стала рудиментарной и постепенно выродилась, а вместе с ее исчезновением к рецепторам стали попадать те молекулы запаха, что раньше терялись в ее изгибах. У большинства млекопитающих обонятельный эпителий занимает нема-

лую площадь; обонятельная система человека же адаптировалась к более низкой нагрузке на рецепторы запаха, пропорционально уменьшив объем обонятельного эпителия. В итоге мы лишились вытянутой морды и практически всей системы очистки воздуха и остались при своих относительно компактных носах с небольшими внутренними полостями.

Несмотря на логичность изложенной выше гипотезы, она, как и многие другие эволюционные механизмы, носит спекулятивный характер. Другая версия гласит, что форма носа человека связана не столько с ослабевающим обонянием, сколько с уменьшением верхней и нижней челюстей по мере того, как приматы и доисторические люди адаптировались к рациону из менее грубой пищи.

Эти изменения строения позволяют предположить, что выступающая часть носа может быть пропорционально уменьшена в размере и сложности без понижения количества одорированных частиц, достигающих обонятельного эпителия. Общепризнанная теория гласит, что благодаря укорочению морды глаза смогли сдвинуться вперед и расстояние между ними сократилось, обеспечивая более эффективное стереоскопическое зрение. Предполагается, что благодаря этим изменениям зрение вышло на первый план, фактически заняв место обоняния; это является наиболее популярным объяснением нашего «слабого» нюха. И только теперь, когда важность ретроназального обоняния человека получила должное признание, эта гипотеза утратила состоятельность. Новое видение предполагает, что ослабление ортоназального обоняния не играет особой роли; действительно важным является сообщение полости носа с задней частью полости рта и сопутствующее усиление у человека ретроназального обоняния.

Сравнение собаки и человека показывает, насколько отличаются наши виды в этом аспекте. Собаки обладают сложным аппаратом очистки воздуха для ортоназального обоняния и длинной трубкой носоглотки, соединяющей полость носа с зевом для обоняния ретроназального. У человека же ортоназальное обоняние идет через короткую носовую полость, а ретроназальное — через короткую же носоглотку (рис. 2.2). Именно носоглотка проводит запахи от находящейся в полости рта пищи к обонятельным рецепторам в носовой полости. Эта особенность физиологии человека доказывает, что мы куда лучше приспособлены для ретроназального обоняния, чем собаки и иные млекопитающие.

Процесс ретроназального восприятия запахов начинается лишь тогда, когда пища или напиток попадают к нам в рот. Затем пища перемещается по ротовой полости, подталкиваемая языком, и пережевывается (измельчается). Считается, что только человек может скручивать язык в трубочку, и вполне возможно, что эта способность дает нам определенные преимущества при разжевывании и восприятии пищи.

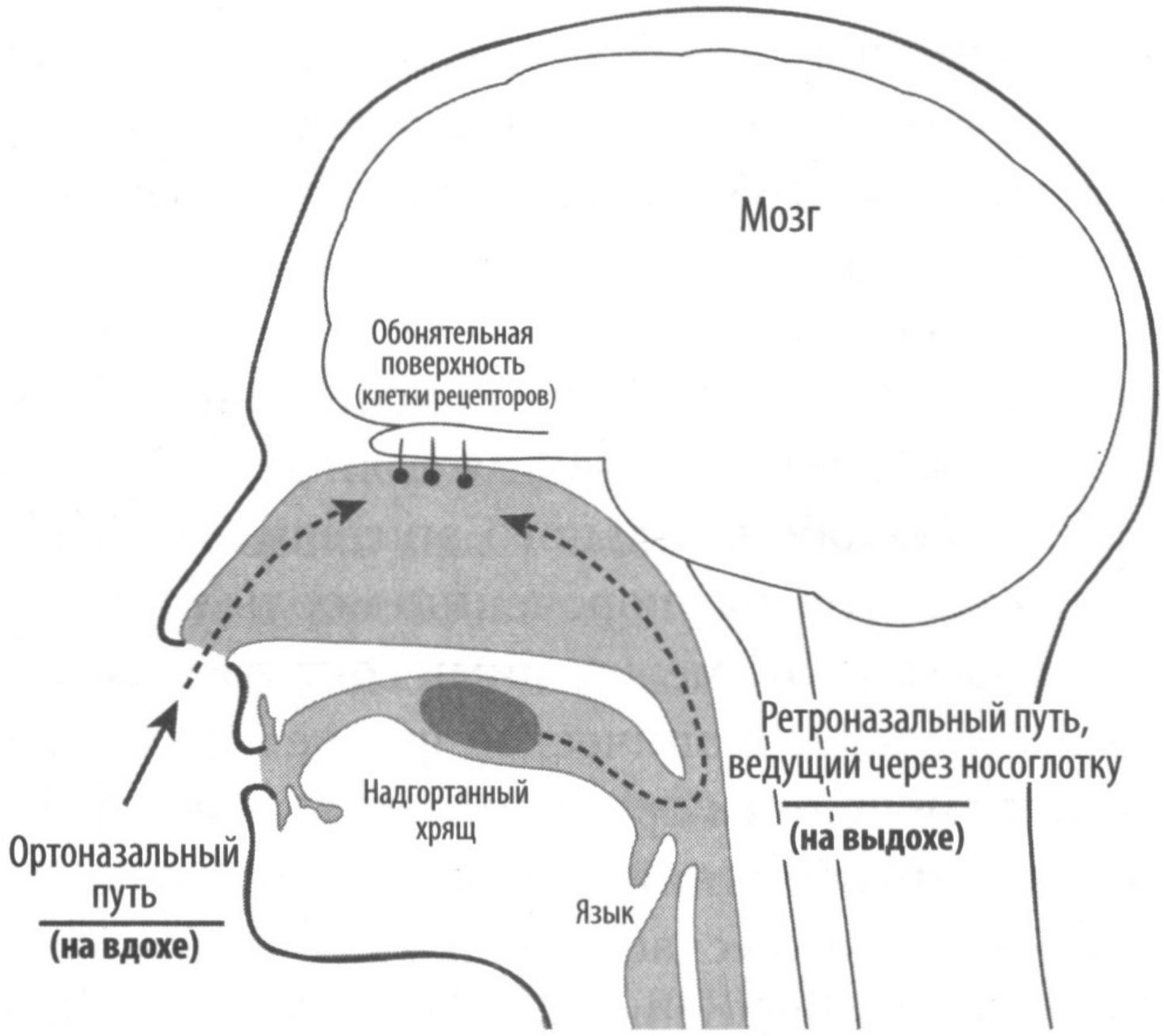


Рис. 2.2. Строение головы человека. Стрелки указывают направление воздуха при ортоназальном (через нос) и ретроназальном (через рот) обонянии. По сравнению с аналогичными путями у собаки человеческие — относительно прямые

В то же время вкус пищи воспринимается вкусовыми рецепторами-сосочками, расположенными на языке, и направляется вглубь рта, в глотку. Когда жующий человек делает выдох, поднимающийся из легких воздух проходит через надгортанный хрящ и нагнетается в носоглотку, находящуюся у дальней стенки полости рта. Там воздух насыщается одорированными частицами, высвобожденными из теплой, влажной, измельченной пищи, находящейся у основания языка. Поскольку в этот момент рот закрыт, воздух проталкивается в нос и выходит через ноздри, создавая в носовой полости вихревые потоки; они доставляют запах к обонятельной поверхности и стимулируют нейроны ее рецепторов.

Можем ли мы сравнить ретроназальное обоняние человека и собаки? Я не знаю исследований, посвященных эффективности узкой, длинной носоглотки собаки в проведении запаха к обонятельным рецепторам, так что мы можем лишь предполагать, что такое строение носоглотки менее эффективно выполняет эту функцию, чем при короткой и относительно широкой, как у человека. На основании этих выводов мы можем предположить, что человеческая носоглотка предназначена именно для усиления ретроназального восприятия запахов.



Считается, что только человек может скручивать язык в трубочку.

Есть ряд причин, по которым ретроназальное обоняние может быть важнее для человека, чем для представителей других видов.

1. При переходе на прямохождение предки человека значительно расширили свой ареал обитания. Покинув Африку и распределившись по всему земному шару, они разнообразили свой рацион и попутно совершенствовали свое ретроназальное обоняние.

2. Открыв для себя огонь (а это произошло не менее четырехсот тысяч лет тому назад или и того раньше), люди сделали свою пищу вкуснее и ароматнее. Можно долго рассказывать о бесконечном множестве вариаций национальных блюд, об их вкусах и ароматах, возникших с тех пор, как человек научился готовить на огне. Уже в XVIII веке Джеймс Босуэлл предположил, что именно изобретение кулинарии отличает людей от прочих видов, населяющих Землю. Ричард Рэнгем из Гарвардского университета в своих трудах и недавно изданной книге «Зажечь огонь: как кулинария сделала нас людьми»[1] утверждает, что именно искусство приготовления является отличительной чертой человечества. Большой вклад в подтверждение этой гипотезы внес Дэниел Либерман, рассмотревший роль полости рта, глотки и ретроназального обоняния в своей книге «Эволюция строения головы человека»[2] (см. также главу 17).

3. Помимо приготовления пищи на огне, человек также освоил ферментацию продуктов питания и напитков, что не только

---

[1] Wrangham, Richard Catching Fire: How Cooking Made Us Human. Profile Books, 2009.

[2] Lieberman, Daniel. The Evolution of the Human Head. Belknap Press, 2011.

пуще прежнего расширило рацион, но и дополнило его еще более интенсивными вкусами и ароматами.

Все перечисленное возникло в период раннего развития человеческой культуры, когда люди занимались лишь собирательством, охотой и рыболовством, и продолжало развиваться вплоть до окончания последнего ледникового периода. Порядка десяти тысяч лет тому назад, с переходом человечества к земледелию и началом урбанизации, человеческая кухня стала обширнее, а состав блюд — стабильнее. К уже имеющемуся выбору ингредиентов добавились продукты от одомашненного скота, культивируемые растения и специи, развились процедуры приготовления таких технологически сложных продуктов и напитков, как сыр и вино. Все эти новшества способствовали все большему насыщению вкусовых ощущений, возникающих при стимуляции ретроназального обоняния через носоглотку.

Анализ перечисленных факторов говорит, что ретроназальный путь обоняния позволяет человеку воспринимать куда более обширный репертуар вкусовых ощущений, чем иным высшим приматам, собакам и другим млекопитающим. Если это так, то я предполагаю, что система восприятия вкусовых ощущений человеческого мозга сыграла куда большую роль в эволюционном развитии древнего человека, чем считалось ранее, и играет куда большую роль в нашей повседневной жизни (к примеру, она крайне важна для моего ужина).

Глава 3

КАК РОТ ОБМАНЫВАЕТ МОЗГ

Я утверждал, что запах является ключевым компонентом вкусовых ощущений и это объясняется стимуляцией обоняния по ретроназальному пути. Могу ли я подтвердить свои слова?

Психологи и физиологи питания отвечают на этот вопрос, создавая сложные методики, позволяющие выводить пищевые летучие вещества к задней стенке полости рта, чтобы продемонстрировать активацию обонятельных рецепторов от частиц, поступивших по ретроназальному пути. На самом деле есть и более простой способ продемонстрировать взаимосвязь вкуса и запаха, и его показывают детям на уроках естествознания в школах во время научных опытов. Этот метод называется «угадай на вкус», или опыт с зажиманием носа, который, как правило, проводится с кусочком сладости, но можно использовать и любой небольшой кусочек пищи с насыщенным вкусом, даже ложечку острого соуса.

ОПЫТ С ЗАЖИМАНИЕМ НОСА ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ РЕТРОНАЗАЛЬНОГО ОБОНЯНИЯ

Для этого опыта вам нужно взять «вкусный кусочек», положить его на язык и задержать дыхание, одновременно зажимая себе нос, чтобы вы могли дышать только через рот. Если вы хорошо управляете своими мышцами, то можете перекрыть доступ воздуха к носу, прижав язык к нёбу, к задней стенке ротовой полости, при этом продолжить дышать через рот. Какой бы способ вы ни выбрали, цель одна — предотвратить выдыхание воздуха через нос.

Держа кусочек пищи на языке, вы сможете изучить его с помощью некоторых из своих чувств. Если вы используете для опыта конфету, то почувствуете сладкий вкус содержащегося в ней сахара. С помощью осязания вы будете чувствовать, что кусочек лежит у вас на языке, и знать, где именно он находится. Кусочек может быть твердым или мягким на ощупь, горячим или, наоборот, холодным. И если вы почувствовали что-то, помимо всего этого, то наверняка не задержали дыхание!

Теперь расслабьте нёбо или отпустите нос. Вы тотчас же почувствуете вкус находящейся у вас во рту конфеты, пищи или специи. Внезапность, с которой возникнут вкусовые ощущения, может застать вас врасплох. Почти бессознательно вы позволили воздуху прорваться из полости рта в носоглотку и попасть в нос, стимулируя находящиеся там обонятельные рецепторы. Достаточно выдохнуть совсем немного воздуха, и вы получите такой же результат. По сути, именно диффузия летучих молекул в носоглотке и отвечает за большую часть получаемых вами вкусовых ощущений.

Вкусовые ощущения возникают в основном благодаря ретроназальному обонянию.

Этот опыт, как и многие другие научные эксперименты, демонстрирует несколько важных аспектов роли запаха в формировании вкусовых ощущений.

1. Очевидно, что если воздух не выдыхается, то нет ни вкусовых ощущений, ни запаха. В этом легко убедиться, сделав после разжимания носа вдох, а не выдох — вкуса вы не почувствуете. Это доказывает, что обонятельная составляющая вкусовых ощущений возникает только благодаря ретроназальному обонянию.

2. Способность определять конкретный вкус, например лимона или клубники, также связана с восприятием их аромата, ощущающегося вместе со сладостью и осязанием на языке.

3. Ретроназальное обоняние настолько сливается с восприятием вкуса и осязанием еды, что запах отдельно от них не ощущается. Именно за счет этой особенности люди так долго не знали, насколько важную роль играют запахи в формировании вкусовых ощущений.

4. Вы только что доказали, что запах является ключевой составляющей вкусовых ощущений. Несмотря на то что без участия обоняния мы все равно ощущаем сладость конфет или иной пищи, сам сахар на вкус просто сладкий и не более того. Вкусовые ощущения от сладости мы получаем лишь благодаря обонянию.

5. Когда вы разжали нос, то доказали, что вкусовые ощущения от сладости возникают благодаря попавшему в полость носа запаху, но, когда запах сливается со вкусом и осязанием, нам кажется, что вкусовые ощущения формируются во рту. Запах не воспринимается как часть вкусовых ощущений, а вкус, в свою очередь, не распознается как некое ощущение в носу; мы отчетливо чувствуем, что источник вкусовых ощущений находится именно в полости рта. Получается, что рот присвоил все заслуги обоняния!

РОТ И ВСЕ ЗАСЛУГИ ОБОНЯНИЯ

Почему это работает так, а не иначе? Есть ли иное чувство восприятия, поделенное на две части, одна из которых скрывается в тени других систем восприятия? Ученые лишь недавно стали осознавать, насколько эти вопросы интересны с точки зрения психологии и нейронаук в целом, ведь, разобравшись, мы сможем многое выяснить, в том числе о пище, которую покупаем и едим.

Пока мы не знаем ответы на эти вопросы, но они точно связаны с тем, что для употребления пищи нам нужно сначала положить ее в рот. Мы воспринимаем это действие как должное, но, если взглянуть на него с точки зрения животного поведения, то окажется, что это крайне важно, как с практической, так и с символической точки зрения. Предмет извне вводится в тело. Животное добыло себе то, что может оказаться его пищей: убило другое животное, сорвало пучок травы, нашло фрукт; потенциальная пища кажется вкусной и питательной, но для начала нужно удостовериться в ее удобоваримости.

Несмотря на то что вкус мы чувствуем благодаря молекулам запаха и нашему обонянию, он воспринимается как ощущение именно во рту. Рот просто присвоил все заслуги обоняния!

Благодаря осязанию мы узнаем, что пища попала в рот; пока мы ее оцениваем, наше внимание сосредоточено на содержимом полости рта. На первом этапе мы убеждаемся, что положили в рот то, что хотели. Нет ли во рту чего-нибудь неприятного, например рыбьей кости или привкуса гнили? Не слишком ли пища соленая;

нет ли горечи, которая может означать, что в еде есть опасные или ядовитые вещества? Нормальной ли она температуры, не слишком горячая или холодная? Мы можем до бесконечности перечислять всевозможные факторы, нуждающиеся в проверке. Затем, когда еда прошла проверку и не вызвала отторжения, начинаем разбираться — а нравится ли нам эта пища? Если нравится, то мы еще больше сосредоточиваемся на ней, ведь приятные вкусовые ощущения являются одним из величайших источников наслаждения в человеческой жизни.



Мы не задумываемся об этом, но каждый раз перед пережевыванием пищи проверяем множество факторов: нет ли чего-то лишнего, привкуса гнили, горечи — признака опасной или ядовитой еды, оцениваем температуру.

Поскольку наше внимание сфокусировано на пище во рту, на том же сосредоточено и наше восприятие. Судя по всему, это происходит благодаря ретроназальному обонянию. Мы концентрируемся на содержимом полости рта, а благодаря поднимающимся по носоглотке молекулам запаха в оценке пищи, наряду с другими чувствами, участвует и обоняние.

Нам кажется, что запах находится не в носу, а во рту, потому что существует такое свойство нервной системы, как рефлекторное ощущение — эффект, когда ощущение воспринимается там, где происходит стимуляция. В данном случае оно не только воспринимается в другом месте, но и скрыто под покровом тех ощущений, что и правда там возникают.

ОТДЕЛЕНИЕ ЗАПАХА ОТ ВКУСОВОГО ОЩУЩЕНИЯ

Зачем нам это делать? Вычленив запах из воспринимаемого вкуса, мы можем по достоинству оценить тонкость нашего обоняния. Мы уже узнали, что обоняние на самом деле является двумя разными чувствами — одним на выдохе, другим на вдохе. То обоняние, что работает через нос на вдохе, мы считаем непосредственно обонянием; при этом второе, на выдохе, никогда не рассматривается как отдельное чувство, ведь оно всегда сливается со вкусом и осязанием и создает отдельный вид чувств — вкусовые

ощущения, которые еще и воспринимаются в другом месте. Все это делает ретроназальное обоняние действительно уникальным чувством. Если Брийя-Саварен был прав, заявляя: «Скажи мне, что ты ешь, и я скажу тебе, кто ты», — то получается, что именно скрытое влияние ретроназального обоняния и делает нас собой.

Уникальные свойства ретроназального обоняния означают, что в нашем понимании вкусовых ощущений еще немало пробелов. Опыт с зажиманием носа показывает, что каждый из нас может самостоятельно расширить свое понимание вклада ретроназального обоняния в восприятие вкуса. Может показаться, что отделение воспринимаемого ретроназальным путем запаха от других ощущений в первую очередь представляет интерес для физиологов питания или поваров-гурманов, которым хочется отдельно проанализировать каждый воспринимаемый аспект приготавливаемого блюда и установить, как каждый из них зависит от состава пищи на молекулярном уровне. Именно эту цель и ставит перед собой новая сфера кулинарии, называемая молекулярной кухней. Мне кажется, что в дальнейшем молекулярной кухне и нейрогастрономии предстоит тесное сотрудничество.

С учетом того, что ретроназальное обоняние стимулируется молекулами запаха от поглощаемой пищи, можно предположить, что мы ощущаем запах пищи отдельно от стимуляции вкусовых рецепторов языка и осязательных рецепторов на языке и во рту. Опыт с зажиманием носа показывает, что почувствовать запах в отдельности мы можем лишь тогда, когда задерживаем дыхание и изолируем его, а затем отпускаем нос. Во всех остальных случаях при употреблении пищи мы воспринимаем вкусовые ощущения комплексно.



Запах — явление синтетическое, несколько запахов объединяются в один новый. Вкус же, наоборот, имеет аналитическую природу: смешав кислое и сладкое, мы получим кисло-сладкое, а не новый вкус.

Следовательно, когда мы готовим блюдо, то стремимся в итоге получить именно комплекс вкусовых ощущений. Пытаемся определить, положили ли мы в этот раз слишком много или слишком мало соли, достаточно ли карри, передержали или недодержали блюдо на огне и так далее, в зависимости от того, сколь-

ко дюжин различных факторов нужно учесть при приготовлении конкретного блюда. Запах — явление синтетическое, то есть несколько запахов объединяются, синтезируя один новый. Вкус же, наоборот, имеет аналитическую природу: смешав кислое и сладкое, мы получим кисло-сладкое, а не некий объединенный, ранее не существовавший вкус.

Синтетическое свойство запаха ставит перед нами новую задачу — нам предстоит разобраться и объяснить, каким образом осуществляется избирательная стимуляция чувствительных рецепторных молекул в системе обонятельного восприятия, и углубить наше понимание роли запаха в формировании вкусовых ощущений. Для начала я вкратце расскажу об основных видах вкусовых молекул, встречающихся в пище, которые и активируют наше ретроназальное обоняние.

Глава 4

МОЛЕКУЛЫ ВКУСА

Жан Антельм Брийя-Саварен утверждал:

«Вкусов бессчетное множество, ведь у любого растворимого вещества есть свой уникальный вкус, не похожий ни на что другое. <…> До сего момента ни разу не проводилось пристального анализа отдельно взятого вкуса. <…> В будущем люди будут куда больше нашего знать о вкусе, и, бесспорно, именно благодаря химической науке будут раскрыты причины возникновения вкусовых ощущений и базовые элементы, из которых складывается вкус».

Его предсказание сбылось. Сейчас, спустя много лет, действительно есть люди, разбирающиеся в химии вкусовых ощущений и молекулярном составе употребляемой нами еды. Вам тоже пригодятся познания об основных видах этих молекул, чтобы понять, каким образом мозг преобразовывает их во вкусовые ощущения.



За вкус и запах кофе отвечают порядка шестисот составляющих.

Как уже упоминалось во вступлении, изучением ароматов и вкусов пищи занимаются специалисты разных сфер науки, чьи интересы и задачи в целом различны, но в вопросах обоняния пересекаются. Психологи и психофизиологи заинтересованы в изучении человеческого восприятия. Работающие в индустрии вкуса и парфюмерии специалисты по органической химии систематически изучают запахи синтезируемых веществ, чтобы в дальнейшем использовать их для создания новых вкусовых ощущений и ароматов. Физиологи питания пытаются разобрать, как конкретный вид пищи дает те или иные вкусовые ощущения, а затем стимулируют или усиливают имеющийся вкус с помощью искусственно одорированных молекул. Они классифицируют ароматические частицы эмпирически, разделяя их в зависимости от реакции, которую те вызывают в организме, или же по отдельным видам пищевых вку-

совых ощущений и отдушек. С помощью современных технологий они разбирают пищу на молекулы, а затем сопоставляют их со вкусовыми ощущениями, возникающими от этого вида пищи.

Отличным примером сложности запаха является кофе. Предполагается, что за вкус и запах кофе отвечают порядка шестисот ингредиентов. Как определить, какой из них отвечает за конкретный аромат? Сегодня основным инструментом для проведения таких исследований является газовый хроматограф/масс-спектрометр (ГХМС), использующийся для изучения состава множества материалов. Молекулы изучаемого вещества в газообразном состоянии вводятся в ГХМС по длинной трубке, а затем оседают на принимающую поверхность, распределяясь в зависимости от молекулярной массы. Молекулы разных видов отражают свет в виде волн разной длины, и благодаря этому свойству они распознаются масс-спектрометром, способным вычленить отдельное вещество из массы при концентрации вплоть до одной миллионной. Результат исследования выглядит как график с пиками в разных местах (это позволяет идентифицировать вещество) разной высоты (чем выше, тем больше объем вещества).

ГХМС является чрезвычайно ценным инструментом для определения молекулярного состава вещества, но запахи ему не всегда «по зубам». Нередко высота пиков масс-спектрометрии плохо соотносится с реальной силой запаха от изучаемого сложного вещества. Часто основным источником аромата пищи оказываются молекулы, с трудом регистрирующиеся с помощью масс-спектрометрии.



Несмотря на дурную репутацию «слабого» человеческого обоняния, наш нюх острее, чем у самого мощного современного оборудования для молекулярного анализа.

Хороший пример того, как малое количество вещества влияет на общее восприятие, — драгоценные камни. В таких драгоценных камнях, как сапфир или рубин, завораживающий цвет обусловлен не основными компонентами их химического состава, а веществами, содержащимися в них в остаточных, то есть крайне малых, объемах. Аналогично дело обстоит и в случае запахов — отличительный аромат пищи может диктоваться остаточным количеством одного вида одорированной молекулы. Эксперименты психофизиологов показали, что мы можем определить присутствие одорирован-

ного соединения даже в случаях, когда его концентрация слишком мала для распознания с помощью ГХМС. Получается, что, несмотря на дурную репутацию «слабого» человеческого обоняния, наш нюх острее, чем у самого мощного современного оборудования для молекулярного анализа.

* * *

Чтобы понять, как наш мозг создает восприятие запаха, нужно для начала разобраться с тем, как работают молекулы — те частицы, из которых запах состоит. Питер Эткинс из Оксфордского университета — один из лучших популяризаторов молекулярной природы всего сущего. В своей книге «Молекулы»[1] он подробно и понятно описывает химические структуры, из которых состоит вся окружающая нас материя и которые способны стимулировать наше обоняние. Я кратко расскажу вам о молекулах и о том, как формируются различные одорированные соединения, а также объясню, каким образом они передают рецепторам информацию о своем источнике. Эти данные фундаментальны как для молекулярной кухни, так и для нейрогастрономии.

ФРУКТОВЫЕ АРОМАТЫ

Люди произошли от подотряда приматов, представители которого питаются преимущественно фруктами, а потому логично в первую очередь рассказать вам о фруктовых ароматах.

Этилен (C_2H_4) играет ключевую роль в созревании фруктов. Это летучее соединение, в газообразном состоянии легко высвобождающееся из плода. Выброс этилена показывает, что процесс созревания достиг пика — это может говорить о роли вещества в запуске метаболических процессов, участвующих в созревании плода, в том числе в размягчении целлюлозы в клеточных мембранах. Эткинс отмечает, что фрукты нередко перевозят в недозрелом состоянии, а затем помещают в насыщенную этиленом среду, чтобы те дозрели для продажи (судя по безвкусности растительной продукции из супермаркетов, на бумаге эта технология куда эффективнее, чем на практике).

---

[1] Atkins, Peter William. Molecules. Henry Holt and Company, 1987.

Этилен используется не только в пищевой промышленности: например, он выделяется в процессе крекинга, очистки нефтепродуктов и разделения их на фракции. Этилен может участвовать в длинных цепочках превращения и преобразовываться в полиэтилен. Последний благодаря инертности химических связей является хорошим изоляционным материалом и основой для многих пластмасс. Эткинс приводит множество других примеров использования одной и той же молекулы в самых разных целях.

Физиологи питания детально анализируют многие дюжины и даже сотни соединений, которые могут присутствовать в отдельно взятом продукте питания. Они хотят знать, что именно привносит каждое соединение в получаемые нами вкусовые ощущения всякий раз, когда мы разжевываем пищу, высвобождая летучие одорированные частицы, стимулирующие ретроназальное обоняние. Интересует их и воздействие одорантов на наши чувства на разных стадиях питания — при попадании в полость рта, разжевывании и проглатывании.

Как пример такого исследования можно привести анализ аромата банана, проведенный в 2003 году Д. Мауром и его коллегами в Швейцарии, в Лозаннском исследовательском центре Нестле. В статье процесс исследования описывается как «поэтапный (по одному вдоху-выдоху за раз) анализ летучих соединений, высвобождающихся в полость рта в процессе поглощения спелого и неспелого банана с помощью масс-спектрометрии с реакцией переноса протона (РПП/МС)». Говоря иными словами, они хотели показать высвобождение одорированных молекул при каждом выдохе и разницу между таковым в случае пережевывания спелого и неспелого банана. Целью их эксперимента было исследование поступающих в мозг потребителя сигналов, которые позволяют идентифицировать фрукт и определить степень его зрелости.



Этилен — летучее соединение, выделяющееся при созревании плода и говорящее о его зрелости. Фрукты нередко перевозят в недозрелом состоянии, а затем помещают в насыщенную этиленом среду, чтобы те дозрели для продажи.

Ретроназальное обоняние съеденного кусочка фрукта активизируется при первом выдохе, который «заталкивает» высвобожденные одорированные молекулы из полости рта в носоглотку и доносит до обонятельных клеток носа. Запах состоит из дюжин разновидно-

стей летучих молекул, высвобожденных из клеток, например банана. Больше всего среди них простых спиртов, таких как двууглеродный этиловый спирт, входящий в состав алкогольных напитков. Некоторые даже предполагают, что любовь наших предков-приматов к перееданию спелых бананов легла в основу пристрастия человека к алкогольным напиткам и склонности к алкоголизму.



Некоторые ученые предполагают, что любовь наших предков-приматов к поеданию переспелых бананов легла в основу пристрастия человека к алкоголю, ведь в них содержится много простых спиртов.

Простые спирты дают ощущение сладости, но это так лишь по аналогии со сладким привкусом сахара на вкусовых рецепторах. Мы предполагаем, что термин сладость связан со вкусом сахара, а следовательно, и с запахом спирта. Возникла ли эта аналогия благодаря наличию у сахара или спиртов неких уникальных свойств или же это влияние языка и речи? Различает ли не владеющий речью примат ощущения от этих двух вкусов? Различали ли их наши доисторические, еще не умевшие говорить предки? Как по мере развития устной речи возникли слова, описывающие впечатления от этих двух веществ? Все эти вопросы подчеркивают, что взаимосвязь между обонянием и речью требует отдельных исследований, некоторые из уже предпринятых будут рассмотрены далее, в главе 24.

АНАЛИЗ ВКУСОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ

Говорят, что исследования вкусовых ощущений от пищи начались с труда Брийя-Саварена, а именно с раздела «Анализ вкусовых ощущений»:

«Человек, желая отведать персик, <…> в первую очередь ощущает выдыхаемый фруктом аромат; он кладет кусочек в рот и наслаждается ощущением терпкой манящей прохлады, приглашающей к продолжению; но лишь в момент проглатывания, когда содержимое рта проходит под носовым каналом, ему раскрываются все грани аромата. <…> Лишь проглотив кусочек фрукта, человек, испытавший все это, наконец скажет себе: “О, это было действительно вкусно!”»

В другом разделе «Физиологии вкуса», озаглавленном «Превосходство человека», он проводит еще более глубокий анализ процес-

са поглощения, уделяя особое внимание движениям губ, рта, языка и горла, которые он считает уникальной привилегией человека:

«Строение человеческого аппарата восприятия вкуса отточено до безупречности; дабы вы могли лично убедиться в этом, давайте же рассмотрим его в работе. Как только съедобный предмет попадает в рот, он тотчас подвергается необратимому воздействию газов, влажности и иже с ними. Губы препятствуют выпадению кусочков пищи обратно; зубы грызут и размалывают ее; язык ее давит и перемешивает; подобная дыханию тяга влечет пищу в сторону глотки; язык же приподнимает ее и позволяет соскальзывать вглубь; обоняние оценивает пищу, когда та проходит под носовым каналом; затем пища затягивается вниз, в желудок, <…> ни один <…> атом, частица или капля не ускользает от внимания этой могучей системы оценки вкуса. Именно благодаря этой стройной системе получение истинного наслаждения от приема пищи является уникальной прерогативой человека. Стремление к этому удовольствию заразительно, и мы достаточно быстро прививаем его тем животным, которых приручаем».

В наше время физиологи питания стремятся подробно изучить процесс поглощения пищи, с помощью высокотехнологичного оборудования анализируя как сенсорные отклики, так и моторные функции.

Из всех продуктов наиболее любимым объектом исследований, скорее всего, является банан, и это кажется вполне логичным. Бананы — символ, излюбленная пища приматов, к тому же их в мире за год съедают больше, чем любых других фруктов. В банане содержится свыше 300 летучих соединений. Как правило, исследования фокусируются на двух основных типах соединений, регистрирующихся при помощи масс-спектрометрии с реакцией переноса протона (РПП/МС): сложных эфирах и веществах карбонильной группы. В эксперименте со сравнением высвобождения летучих соединений из зрелого и незрелого банана для механического пережевывания пищи использовался искусственный рот. Было установлено, что незрелый фрукт даже при предельно активном пережевывании выделяет достаточно мало сложных эфиров и карбонильных летучих веществ. Зрелые же фрукты, напротив, выделяют множество летучих соединений, придающих плоду его наиболее привлекательные качества — вкус в эксперименте описывали как фруктовый, яблочный, конфетный, цветочный, карамельный и, конечно же, — «банановый».

Как правило, «фруктовый» вкус возникает в первую очередь благодаря сложным эфирам, то есть молекулам, в которых кислород образует двойную связь с углеродом — они получаются в результате ферментативной активности созревающего фрукта, при взаимодействии кислот со спиртами. В обычных условиях, по мере того, как мы пережевываем фрукт, к изначальным распознаваемым ретроназальным обонянием летучим соединениям прибавляются и те, что высвобождаются благодаря ферментам, содержащимся в слюне. С их помощью заполняются пробелы в органолептическом профиле фрукта, позволяя мозгу сопоставить его с сохраненными в памяти вариантами, формирующими вкусовые предпочтения, и точно определить степень спелости употребляемого в данный момент плода.



Как правило, «фруктовый» вкус возникает в результате ферментативной активности.

При описании летучих соединений им присваивается основной (фруктовый, конфетный (сладкий), банановый) и второстепенный признак (сырный, зеленый, яблочный, ананасовый, цветочный, шоколадный, карамельный, грибной). Может ли это означать, что обонятельный «образ» спелого банана отчасти пересекается с «образами» упомянутых продуктов? Этот набор молекул является своего рода «подписью» спелого банана — мозг обезьяны или человека распознает ее, подтверждая, что поедаемый плод соответствует всем качествам, что привлекают нас в натуральных, спелых, вкусных фруктах.

РАСТЕНИЯ-ВИРТУОЗЫ

Гарольд Макги полагает, что «растения являются виртуозами в биохимии», ведь они умеют распространять сразу несколько разных ароматов.

Макги был прилежным учеником с крайне обаятельным характером, его нередко принимали за преподавателя английской литературы. Впрочем, он им и был, пока не заинтересовался пищевой химией. Теперь наряду с такими специалистами, как Ширли Корриxер, он считается одним из первопроходцев научного подхода к приготовлению пищи и того, как это создает вкусовые ощущения. Я познакомился с ним в научной секции, где выступал с докладом об образах запаха и системе восприятия вкуса человеческим моз-

гом, а он, вечно ищущий возможности узнать что-то новое о пище и мозге, был одним из слушателей.

В своих книгах Макги раскрывает многие особенности молекулярной структуры пищи и возникающих благодаря им вкусовых ощущений — это исключительно прикладная информация, которая в равной мере пригодится как новичкам в кулинарии, так и профессиональным шеф-поварам. Вот кое-какие из наблюдений о растениях и о том, что делает их «виртуозами запаха и вкуса», которые он приводит в книге «О еде и кулинарии: наука и знания кухни».

- **Зеленый** (он же аромат зелени) — этот аромат почти незаметен до момента разрывания, разрезания ножом или разжевывания растительных волокон. Такие воздействия разрушают клеточные мембраны, состоящие из жировых молекул, и позволяют ферменту под названием липоксигеназа (от слов «липид», то есть жир, и «оксигенация» — расщепление при помощи кислорода) расщепить их до состояния мелких летучих молекул жирных кислот, которые, в свою очередь, ферментируются другими веществами, содержащимися в клетке. Следовательно, зеленый аромат не является основным, характерным признаком, то есть запахом, издаваемым целым растением в сколько-то заметном объеме; это один из вторичных ароматов, высвобождающихся только в процессе приготовления или употребления растения.
- **Терпены** — класс пятиуглеродных углеводородов, способных принимать самые разные формы. Их часто можно обнаружить в составе растений, фруктов, приправ и специй. За вызываемое ими ощущение «легкости» их также называют «эфирными» соединениями. Характерный аромат хвойных деревьев возникает благодаря содержащимся в их смоле терпенам. Они крайне летучи: начинают высвобождаться, как только сырой овощ разрезают или раскусывают, и быстро улетучиваются при термообработке. Вещества этого класса активно вступают в реакции как между собой, так и с другими молекулами.
- **Фенолы** — класс шестиуглеродных углеводородов ароматического ряда со множеством производных подклассов, образующихся отходящими от бензольного кольца боковыми цепями. Различные фенольные соединения отвечают за основные «нотки» ароматов приправ и специй.

- **Сера** — молекулы, содержащие серу, часто вырабатываются растениями для защиты. Их аромат обладает некой «гранью», придающей запаху «пикантность», чаще всего за счет прямой стимуляции осязательных волокон на мембранах носа.

ПРИПРАВЫ И СПЕЦИИ

Среди растений-виртуозов первое место по ароматности и силе вкусовых ощущений, безусловно, занимают приправы и специи. С начала письменной истории человечества они передавали пище свои насыщенные запахи. Можно даже предположить, что приправы и специи использовались и в доисторические времена, а может, и вовсе сподвигли наших древних предков мигрировать за пределы Африки, ведь в ту пору растения, не потревоженные антропогенным влиянием, процветали.

Приправы и специи играют ведущую роль в создании вкусовых ощущений, типичных для блюд многих народов мира. В то время как другие растения добавляют блюдам как вкус, так и питательность, приправы и специи кладут исключительно вкуса ради. Удивительно, но в ходе дебатов о формировании правильного рациона и здоровом питании почти никогда не поднимается вопрос о специях и травах.



Несмотря на невысокую питательность, специи обладают большим количеством полезных веществ. Уже во времена Римской империи они использовались в качестве антибактериальных средств.

Каждое растение содержит множество летучих молекул, из совокупности которых складывается его характерный запах. Как и у других видов пищи, за узнаваемый аромат растений отвечает всего несколько видов молекул. Их стимулирующий эффект настолько ярко выражен, что их часто используют в исследованиях реакции мозга на запахи.

Специи обладают и другими немаловажными свойствами. Эткинс описывает вещество с формулой 2-трет-бутил-4-метоксифенол («BHA») ($C_{11}H_{16}O_2$) — несколько лет тому назад было обнаружено, что оно антиоксидант, то есть не позволяет кислороду расщеплять молекулы. Многие специи, такие как шалфей, клевер, розмарин и тмин, являются богатыми источниками соединений, схожих с BHA.

Уже во времена Римской империи специи использовались в качестве пищевых добавок при консервации и даже антибактериальных средств.

ПОЧЕМУ У МЯСА МЯСНОЙ ВКУС

Огромному прорыву как в кулинарии народов мира, так и в сопряженных с ней сферах человеческой культуры и языка способствовало открытие управляемого огня как способа приготовления пищи. Ричард Рэнгем подробно описывает процесс и последствия его усмирения в своей книге «Зажечь огонь: как кулинария сделала нас людьми». Больше всего на развитие человечества повлияло новообретенное умение готовить мясо.

В приготовленном мясе для человека есть что-то неумолимо манящее. Его привлекательность обусловлена запахом — как тем, что мы вдыхаем носом (ортоназальным), так и ретроназальным, который мы ощущаем лишь в процессе еды и который привыкли называть «вкусом» пищи. Наиболее притягательные из содержащихся в мясе летучих соединений высвобождаются в результате так называемой реакции Майяра[1]. Вкусовые ощущения от приготовленного мяса совсем иные, чем от сырого; говоря словами Макги: «Сырое мясо дает больше вкуса, чем вкусовых ощущений. Мы чувствуем вкус соли, пикантный привкус аминокислот и кислотность крови, но ярко выраженным ароматом оно не обладает». Получается, что прочувствовать ретроназальным обонянием сырое мясо собакам и другим хищникам мешает не только узкий и длинный канал носоглотки, но и то обстоятельство, что вкусовых ощущений от него достаточно мало.



Приготовленное мясо кажется нам приятнее сырого, потому что при нагревании высвобождаются молекулы запаха, которые мы воспринимаем как тот самый мясной вкус.

Когда люди научились готовить мясо, они не только усилили вкусовые ощущения от него, но и смогли в полной мере насладиться им благодаря своей короткой носоглотке. Макги пишет:

---

[1] Химическая реакция между аминокислотами и сахарами, которая происходит при нагревании. В процессе возникает типичный запах, цвет и вкус приготовленной пищи.

«Приготовление делает вкус мяса интенсивнее и высвобождает его аромат. <…> [Вплоть до достижения] точки кипения вкусовые ощущения от него обусловлены преимущественно побочными продуктами распада белков и жиров. При жарке, тушении и запекании у мяса образуется корка с еще более интенсивным вкусом, потому что поверхность куска высыхает и нагревается настолько, что запускается реакция Майяра, также известная как "реакция потемнения". В результате мы получаем обобщенный "жареный" аромат, который в зависимости от вида приготовленного мяса может также иметь второстепенные травяные, цветочные, луковые, пикантные или землистые нотки. Исследования показали, что в запеченном мясе содержится несколько сотен видов одорированных летучих соединений».

Получается, что в процессе приготовления вкусовые качества мяса кардинально меняются и становятся гораздо разнообразнее. Именно благодаря им вкус мяса является фундаментальным и одним из столь любимых человечеством.

Термообработка расщепляет клетки мышечной ткани и высвобождает молекулы, дающие узнаваемый «мясной» аромат; при нагреве расщепляются и другие белковые и жировые молекулы, они затем преобразовываются в молекулы иных веществ, среди которых много сложных эфиров, кетонов и альдегидов — благодаря им мясо становится еще ароматнее и обзаводится фруктовыми, цветочными, ореховыми и травянистыми элементами запаха. Аромат, присущий конкретному виду мяса, образуется в основном благодаря жирам. Эти запахи высвобождаются при готовке на умеренном огне. Сложно представить восторг наших далеких предков, впервые почувствовавших аромат жареного мяса — похоже, это произвело на них настолько сильное впечатление, что они всерьез взялись за кулинарию, а мясо стало (и остается) желанной частью человеческого рациона.



При приготовлении мясо может обзавестись даже фруктовыми, цветочными, ореховыми и травянистыми элементами запаха, помимо собственно мясного.

При высокой температуре, когда на мясе образуется корочка, химические реакции выходят на новый уровень — наиболее заметна из них реакция молекул сахара, образованных в результате расщепления углеводов, с аминокислотами, получившимися от расщепления белков. Эти новые молекулы формируются в результате

реакции Майяра, названной так в честь французского ученого Луи Камиля Майяра, впервые описавшего ее почти сто лет тому назад. В результате этой реакции на поверхности зажаренного мяса образуется темно-коричневая корочка. Реакция высвобождает наиболее летучие одорированные частицы, придающие мясу еще более насыщенный аромат с мясными, цветочными и фруктовыми нотками.

Чем выше температура термообработки, тем меньше ощущается аромат этого вида мяса (или овоща, если на то пошло) и сильнее — молекул, появившихся в результате реакции Майяра. (Макги отмечает, что вторая категория частиц обладает более интенсивным, но и менее характерным ароматом.) Профессиональные повара исследуют этот спектр мясных ароматов с помощью различных способов приготовления — от самых низких температур (отваривание) до наиболее высоких (обжаривание).

Мы можем почувствовать запах готовящегося мяса, вдохнув его носом, но это лишь малая часть запаха, высвободившегося с его поверхности в виде летучих соединений. А вот когда мы кладем это мясо в рот и разжевываем, то благодаря слаженной работе ретроназального обоняния, осязания и вкусовых рецепторов наконец раскрывается весь спектр возникших при готовке вкусовых ощущений и ароматов.

Текстура приготовленного мяса складывается из соотношения белковых клеток в мышечной ткани к коллагену в соединительной, а также воды, содержащейся как в самих тканях, так и вокруг них. При термообработке это соотношение изменяется. Макги выделяет три степени готовности. Слабая, при которой мясо наиболее сочное, а белок мышечной ткани только начинает сворачиваться. Средняя, при которой коллагеновые волокна денатурируют и усыхают, выжимая воду и делая мясо более упругим и сухим; и сильная, на которой мышечные волокна становятся менее плотными, а коллаген размягчается, превращаясь в желатин. Переход между стадиями готовности обусловлен температурой и временем приготовления, но зависит в том числе и от вида мяса.

МОЛОЧНЫЕ ЗАПАХИ

Молочные продукты, такие как масло и сыр, делаются из молока одомашненных коров и коз, а потому принято считать, что они стали частью человеческого рациона лишь около десяти тысяч лет

тому назад. Вкусовые ощущения от масла и сыра, в основном благодаря их аромату, сделали эти продукты частью повседневного питания людей многих культур. Давайте же обратимся к трудам Эткинса и рассмотрим некоторые из наиболее привлекательных для нас веществ, содержащихся в молочных продуктах.

Бутандион ($C_4H_6O_2$) обладает сырным, масляным, едким запахом. Это кетон (их также называют диацетилами), потому что у него есть карбонильная группа C=O; такие вещества могут иметь широкий спектр запахов и вкусовых оттенков. Запах бутандиона напоминает сырный, и именно он создает основной вкус сливочного масла. Это же вещество входит в состав пота и запаха из подмышек. Опыты психологов показали, что эта категория запахов в зависимости от контекста может ассоциироваться как с подмышками, так и с сыром.

Бутандион добавляют в маргарин для придания ему сливочного запаха. В его состав входит и линолевая кислота ($C_{18}H_{32}O_2$) — основная жирная кислота растительных масел, таких как хлопковое, кукурузное, соевое и рапсовое. Эта же кислота используется для осадки теста и содержится в салатных и кулинарных маслах, хотя сама по себе практически не обладает запахом. Перед добавлением в маргарин линолевую кислоту гидрогенизируют (пропускают через нее пузырьки водорода), чтобы маргарин не стал прогорклым. Правда, из-за гидрогенизации он приобретает белый цвет, а потому в него добавляют каротин, возвращая таким образом желтизну; а сливочный запах придает бутандион. Маргарин является отличным примером того, как молекулярный состав позволяет нам преображать питательный мир.

В детстве, во время Второй мировой войны, когда я жил в Айове, фермеры, занимающиеся молочной продукцией, настаивали на том, что маргарин по вкусу не похож на настоящее сливочное масло. Его продавали неокрашенным и прилагали краситель-каротин в отдельном пластиковом пакете; нужно было разорвать пакет и самостоятельно замешать краситель в маргарин. Такой глупый подход продолжался до тех пор, пока на заключительном банкете конференции молочной индустрии вместо сливочного масла тайно не подали маргарин, а потом сообщили об этом. Но во время банкета на вкус никто и не думал жаловаться! Эта история отлично иллюстрирует то, как внешний вид пищи влияет на вкусовое восприятие; подробнее об этом будет рассказано в главе 15.

Помимо рассмотренных базовых одорированных молекул, в сыре есть и молекулы травы, которой питались коровы. Углубленное исследование этого вопроса было проведено в 2004 году в Сицилии исследователями Стефанией Карпино, Гильермо Личитра, Терри Акри и их коллегами. Собирая материал для своего дипломного исследования, Карпино расположилась на пастбище и тщательно документировала все виды трав, которые коровы ели в течение дня и сезона. Она сопоставила эти данные с пиками РПП/МС полученного из их молока сыра и доказала, что его молекулярный состав варьировался в зависимости от видов трав, входящих в рацион коров, степени их зрелости в разные сезоны. Затем она провела экспериментальную дегустацию сыров, в ходе которой было установлено, что подопытные — то есть потенциальные потребители — по вкусу и запаху различали сыры из молока коров, питавшихся разными травами.



Внешний вид пищи и стереотипы о ней влияют на то, как мы ощущаем ее вкус. Например, маргарин считался совершенно непохожим на сливочное масло, пока его не подали под видом последнего — и никто не заметил разницы.

Личитра возглавляет сицилийский молочный кооператив и использует новейшие достижения науки в прагматичных целях — чтобы делать традиционные сыры с более ярко выраженным вкусом. Подобные опыты проводятся во многих странах; к счастью, в последнее время этим все больше интересуются производители молочной продукции и в США — они надеются таким образом противостоять наплыву безвкусной стереотипной продукции в сетевых супермаркетах и в полной мере продемонстрировать разнообразие вкусов качественной продукции местного производства.

* * *

Подводя итоги, можно сказать, что у каждого продукта есть присущая лишь ему молекулярная структура, неоднократно изменяющаяся в процессе приготовления. Сами продукты не обладают вкусом — они только сырье, из которого мозг создает вкусовые ощущения.

ЧАСТЬ II

Создавая образы запахов



Глава 5

МОЛЕКУЛЫ ЗАПАХА И ИХ РЕЦЕПТОРЫ

Большинство объяснений того, как системы мозга вовлечены в создание вкусовых ощущений, начинаются с восприятия вкуса. Тем не менее мы уже обосновали, что непосредственно вкусу в формировании вкусовых ощущений отведена второстепенная роль, а главной же составляющей является запах, так что мы сосредоточимся именно на запахе. Это первый шаг к пониманию научного фундамента нейрогастрономии.

Восприятие запаха начинается с попадания одорированных молекул на молекулы обонятельных рецепторов нашего носа. Здесь мы сталкиваемся с еще одним парадоксом. Исследователи уже много лет изучают одорированные молекулы в нашей пище. Компании — производители полуфабрикатов содержат целую армию специалистов по органической химии, которые изучают стимулирующие свойства тысяч химических соединений и пытаются соотнести их с тем, как на них реагируют наши органы чувств. Вот только танго всегда танцуют двое — то есть молекулы запаха и рецепторные молекулы[1], которые их воспринимают. До 1991 года мы ничего не знали о рецепторных молекулах; в более ранних исследованиях просто не учитывалась молекулярная основа обонятельных механизмов, а следовательно, не было и понимания того, как запахи воспринимаются.

С открытием обонятельных рецепторных молекул в 1991 году в танго наконец вступил и второй участник. Несмотря на научный прорыв, к исследованию их взаимодействий научное сообщество приступило далеко не сразу: сначала ученым пришлось решить

---

[1] Рецептор — объединение нервных окончаний нервной клетки, которое улавливает стимулы и преобразует их в импульсы, при этом стимул меняет структуру чувствительных молекул — клеточных рецепторов.

целый ряд вопросов, связанных с непростым процессом изучения рецепторов. Становление молекулярной кухни, начавшееся в конце 90-х годов, тоже пришлось на период, когда наука почти ничего не знала о рецепторных молекулах, — с этим и связано ее медленное развитие, ведь многие проблемы изучения рецепторов до сих пор не решены. В этом и кроется парадокс. Может показаться, что молекулярная кухня называется так потому, что работает как с молекулами запаха, так и с рецепторными. На самом же деле она фокусируется почти исключительно на молекулах запаха.



У производителей полуфабрикатов целые армии специалистов, которые изучают стимулирующие свойства тысяч химических соединений и пытаются соотнести их с тем, как на них реагируют наши органы чувств.

В отличие от молекулярной кухни, в нейрогастрономии рецепторные молекулы имеют критическое значение для понимания системы восприятия вкусовых ощущений человеческого мозга, а следовательно, нас интересует именно взаимодействие между молекулами запаха и рецепторными молекулами, находящимися в носу. Рассматривая обоняние с этой точки зрения, мы углубляемся в один из подразделов нейрогастрономии, а именно — молекулярную. Это совсем молодая сфера науки, а потому у нее, в отличие от кулинарии и молекулярной кухни, еще не накопился достаточный багаж знаний. Но со временем эти знания будут аккумулироваться, все теснее переплетаться, разжигая как научный интерес, так и человеческий аппетит.

Все в восприятии запахов и вкусовых ощущений начинается с этого завораживающего взаимодействия между молекулами, содержащимися в нашей пище, и теми, из которых состоят клетки наших рецепторов. Как же это происходит?

КОНЦЕПЦИЯ ЗАМКА И КЛЮЧА

Представьте себе, что молекула похожа на ключ от входной двери вашего дома. Проведите пальцем по его зазубринам, идеально совпадающим с бороздками внутри замка. Когда вы вставляете ключ в замок, они совмещаются, и вы можете повернуть ключ, убрать язычок замка и отворить дверь. Биологи уже больше столетия используют концепцию «ключ-замок» для описания взаи-

модействия между двумя молекулами. Когда ключ в замке поворачивается, структура молекулы меняется. Это изменение дает микроскопический толчок соседней молекуле, а та передает его следующей — запускается цепная реакция, и клетка, в которой эти молекулы находятся, выполняет свою задачу.

Молекула запаха состоит из разных видов атомов, придающих ей нерегулярную структуру — эта структурная особенность означает, что в данном случае молекула является ключом. Каков же тогда замок и как он работает? Поиск ответа на этот вопрос был одной из наиболее важных задач современной науки о запахе. Когда ответ был найден, мы наконец-то узнали главное, а именно — как содержащаяся в молекуле запаха информация преобразовывается мозгом в образ запаха.

СЛОЖНЫЕ МОМЕНТЫ

Процесс активации обонятельного рецептора молекулой запаха лишь одна из составляющих процесса преобразования информации из стимула, воздействующего на рецептор, в сигнал нервной системы. Наиболее очевиден этот процесс в случае зрения — отдельные фотоны активируют молекулы родопсина в зрительных рецепторах сетчатки нашего глаза. Хорошо изучен и процесс активации слуха, где звуковые волны сначала преобразовываются в вибрации во внутреннем ухе, а вибрации затем активируют рецепторные волосковые клетки в улитке. В обоих случаях нам прекрасно известен оптимальный способ стимуляции, и мы можем взять его под строгий контроль.



Эксперименты с обонянием требуют очень много времени, потому что рецепторы человека «замыливаются» при повторной стимуляции. Благодаря этому мы можем привыкнуть даже к очень сильным запахам.

В случае сенсорных стимулов обонятельных рецепторов все не так просто. Мы лишены возможности «увидеть» или «услышать» используемый в опытах стимул. Контролировать молекулы запаха мы можем лишь опосредованно, инструментальными методами. Рецепторные клетки и вовсе скрыты внутри носовой полости — их труднодоступность мешает фиксировать результаты исследования. При повторной стимуляции рецепторы быстро устают (имен-

но поэтому мы быстро привыкаем даже к самой пахучей среде), а потому эксперименты с обонянием не терпят торопливости. Как правило, мы не знаем заранее, какой из тысячи возможных запахов активирует конкретную рецепторную молекулу; чтобы определить это, нужно очень много времени. Даже когда нужный запах наконец обнаружен, мы все равно должны идентифицировать иные запахи, попадающие в обонятельный спектр изучаемой рецепторной молекулы. Хотя исследования проводятся преимущественно на ортоназальном обонянии, которое можно контролировать, распыляя перед носом облачка одорированных частиц, ретроназальное обоняние функционирует по тому же принципу.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛЕКУЛ ЗАПАХА

В нашей аналогии ключами являются молекулы запаха, многие из которых уже были рассмотрены в прошлой главе. Они бывают как совсем маленькими, так и более крупными, такими как мускус, феромоны и даже фрагменты выделяемого телом белка, переносимого по воздуху. Этот обширный спектр молекул запахов особенно сильно воздействует на наши рецепторы, когда мы принюхиваемся, вдыхая воздух через нос. Стоящая перед исследователями задача слегка упрощается благодаря тому, что ретроназальное обоняние реагирует в основном на более мелкие молекулы, которые становятся летучими (испаряются) из жидкостей и пищи уже в полости рта.

Какая часть этих маленьких молекул стимулирует наши рецепторы? Разгадав эту тайну, мы сможем приблизиться к пониманию формы, которую принимает информация при поступлении в мозг. Специалисты по органической химии знают (и это подтверждено множеством физиологических исследований), что **замена даже одного из атомов в составе молекулы может изменить восприятие ее запаха**. Получается, что фундаментальная информация, содержащаяся в молекулах запаха и воспринимаемая мозгом, вероятнее всего, связана с индивидуальными характеристиками молекул запаха. Эти характеристики, позволяющие классифицировать одорированные молекулы, подразделяются на несколько категорий.

Рассказывать о них я буду на основе информации, рассмотренной в четвертой главе. Перечисленные далее черты являются одним из элементов, объединяющих нейрогастрономию с молекулярной кухней.

Во-первых, очевидно, что одорированные молекулы могут быть разной длины. К примеру, основой молекул с линейной или разветвленной цепью (они же алифатические[1]) является «скелет», который может состоять как из одной, так и из нескольких дюжин атомов углерода.

Вторая отличительная характеристика кроется в терминальной функциональной группе. У многих молекул запаха она определяет их принадлежность к щелочам, кислотам или альдегидам — эти категории веществ обладают характерными запахами. Мы уже знаем, что эти вещества содержатся во многих продуктах питания. Отталкиваясь от первых двух черт, мы можем описать гомологический ряд как ряд веществ с одинаковой терминальной функциональной группой (то есть гомологических[2]), но с цепочками, состоящими из разного количества атомов углерода (это и есть ряд).

Третий параметр классификации молекул запаха — наличие или отсутствие в углеводной цепи функциональной группы, например атома кислорода в кетоне. Четвертая характеристика зависит от того, является ли структура углеводной цепи линейной, или же от нее отходит боковая группа, например фенольное кольцо. Пятым параметром служит хиральность молекулы, то есть отклоняется ли она от виртуальной оси симметрии вправо или влево. Шестая характеристика — геометрическая форма молекулы, например, углеводороды терпеновой группы могут иметь форму кольца. Заключительной, седьмой характеристикой является общий размер молекулы.



Обонятельная система человека может различать молекулы запаха, отличающиеся друг от друга даже на один-единственный атом.

То, что обонятельная система может различать молекулы запаха, отличающиеся друг от друга даже на один атом, означает, что она обладает одним из наиболее чувствительных механизмов распознавания молекул в нашем организме. Для сравнения — наша иммунная система заметно отстает от обонятельной в точ-

---

[1] Соединения, не содержащие в себе специфических циклических (ароматических) связей.

[2] Или одного структурного типа.

ности распознавания — там антитело взаимодействует с антигеном, у которого может быть сразу несколько дюжин рецепторных молекул.

ГОНКА К ОБОНЯТЕЛЬНЫМ РЕЦЕПТОРАМ

Какой рецептор способен заметить даже малейшее отличие между молекулами и попутно проверить еще тысячи других? Ответ на этот вопрос был одной из величайших загадок науки. Первые предположения о его природе были выдвинуты специалистами химической промышленности, работавшими с органическими веществами. В основу их суждений легла теория о том, что некие характеристики позволяют молекулам взаимодействовать с неустановленным видом рецепторов. Эта теория со временем слилась с более обширной сферой исследований, занимающейся поиском соотношений «структура-свойство» (или «структура-активность») во взаимодействиях между молекулами. Эти исследования затем развились в поиск количественных отношений «структура-свойство» («QSAR») — сейчас это один из стандартных методов прогнозирования взаимодействий на молекулярном уровне, которым пользуются в числе прочих фармацевтические компании при разработке новых лекарственных препаратов.

Благодаря этим исследованиям нам открылась пугающе сложная структура молекул запаха и то, как они воспринимаются. С одной стороны, молекулы со схожими характеристиками — например, спирты, сложные эфиры и альдегиды — могут восприниматься схожим образом. С другой стороны, схожие молекулы могут восприниматься и абсолютно по-разному. Классический QSAR-подход привел в тупик.

Взяв за основу анализ формы молекул, биохимик из Оксфордского университета Джон Эймур предположил, что рецепторы настроены на форму молекул запаха, заложив таким образом основу стереохимической теории обоняния. В то же время белковый состав клеточной мембраны рецепторов по-прежнему оставался загадкой.

Первым прорывом стало биохимическое исследование израильского ученого Дорона Ланцета, когда-то бывшего одним из моих студентов. В 1985 году он произвел фурор в исследовании запахов, продемонстрировав, что молекулы запаха стимулируют фермент под названием аденилатциклаза, который выступает катализато-

ром в образовании широко известной сигнальной молекулы под названием циклическая АМФ[1] (цАМФ). Мы уже знали, что цАМФ возникает при передаче сигнала от рецептора, который дает микротолчок так называемому G-белку[2]; эти рецепторы образовывают обширное семейство рецепторов, сопряженных с G-белками (GPCRs). Ланцет воспользовался своими знаниями, полученными в ходе обучения на иммунолога, и предположил, что для кодирования всех видов молекул запаха потребуется очень много разных рецепторов — от 100 до 10 000. Его предположение оказалось на удивление точным. Отталкиваясь от гипотезы еще одного из моих бывших студентов, Джона Кауера, и предшествовавшего их работам исследования Кьелла Девинга из Норвегии, Ланцет также предположил, что отношения между рецепторами и молекулами запаха будут иметь «комбинаторный» характер — один рецептор сможет взаимодействовать со множеством разных молекул, а одна молекула будет взаимодействовать с разными рецепторами.

Многие микробиологические лаборатории внезапно осознали, что развенчание загадки этих рецепторов превратилось в самую востребованную тему исследований в современной биологии; это и ознаменовало начало гонки. В кратчайшие сроки промежуточные «микротолчковые» молекулы обонятельного сигнала были клонированы, идентифицированы и классифицированы по своим фармакологическим характеристикам: G-белок, аденилатциклаза и белок, который образовывает активирующийся от цАМФ канал, пропускающий заряженные частицы, создающие электрический отклик. Впервые обонятельная реакция была задокументирована Стюартом Файрстайном, тогда еще студентом старших курсов в Беркли. Он зафиксировал электрический отклик самих ресничек обонятельных рецепторов. Это были потрясающие времена. Перед нами постепенно раскрывалась большая часть сигнального каскада.

В этом каскаде не хватало лишь одного элемента — рецепторов. Неоднократные попытки их идентификации неизменно

---

[1] Вещество, выполняющее в организме роль вторичного посредника, использующегося для внутриклеточного распространения сигнала некоторых гормонов (например, адреналин), не проникающих через клеточную мембрану.

[2] G-белки — семейство белков, функционирующих в качестве вторичных посредников во внутриклеточных сигнальных каскадах.

заканчивались провалом. Исследователи почувствовали, что для открытия такого масштаба нужны ресурсы и данные крупной микробиологической лаборатории. Собственно, так и вышло.

ПРЕКРАСНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Постдокторант[1] Линда Бак работала в лаборатории при Колумбийском университете под руководством Ричарда Акселя, ведущего специалиста по микробиологии. К тому моменту она уже несколько лет вела ряд проектов по изучению эндокринных рецепторов и антител иммунной системы. Заинтересовавшись запахами, она стала читать о них; эта сфера исследований и проблематика изучения обонятельных рецепторов очаровали ее.



Определенный ген в клетке можно найти почти так же, как по одной фразе — целый текст в интернет-браузере. Крошечный фрагмент гена взаимодействует с целым и выдает его местоположение.

Несколькими годами ранее был изобретен метод инструментального исследования под названием полимеразная цепная реакция (ПЦР), благодаря которой можно было взять крошечный фрагмент гена и подвергнуть его воздействию любую ткань тела, где предполагалось наличие полного гена. Крошечный фрагмент гена («проба») выступал детектором как целого гена, так и аналогичных генов, если они там присутствовали; проба повышала концентрацию гена до уровня, на котором его можно было опознать, выделить и использовать запланированным образом. Вы и сами применяете метод поиска по «пробе», когда ищете какой-то конкретный фрагмент из всей мировой литературы. К примеру, вбив в Гугл запрос «Мы считаем очевидными следующие истины»[2], вы обнаружите полный текст Декларации независимости США (можете опробовать этот метод и на других фразах — он крайне эффективен). По сути,

---

[1] Постдокторантура (постдокторат, постдок) — в странах Западной Европы, Америки, в Австралии научное исследование, выполняемое ученым, недавно получившим степень PhD, кандидата наук.

[2] Перевод Е.И. Бошняк, из приложения к русскому переводу книги Э. Чаннинга «История Северо-Американских Соединенных Штатов» (М., 1897).

ПЦР был идеальным инструментом для охоты за неуязвимыми генами обонятельных рецепторов; просто до этого момента никто не пытался использовать его в этих целях.

Основываясь на предположении, что обонятельные рецепторы относятся к обширному семейству рецепторов, сопряженных с G-белками, Бак подобрала пробы, которые позволили бы обнаружить любые ранее неизвестные рецепторы этого семейства в обонятельном эпителии крысы. С помощью обрезающих ферментов она урезала полученные последовательности генов и запечатлела на биохимическом геле ряд маркеров-полосок, которые доказывали наличие в обонятельном эпителии нового и крайне обширного подсемейства генов GPCR.

Рассказывая эту историю, Бак признается, что поначалу просто не поверила своим глазам, а потому убрала полученные маркеры и ушла домой. На следующее утро она осознала, что результаты очень даже реальны, и показала их Акселю, который пришел в полный восторг от увиденного. В 1991 году в своем докладе они назвали долгожданное открытие генами ольфакторных (обонятельных) рецепторов, ведь именно они несли в себе код, позволяющий клеткам запускать программу производства белков обонятельных рецепторов. Ученые предположили, что в новом подсемействе может обнаружиться до тысячи новых генов.

Открытие генов ольфакторных рецепторов не только позволило разгадать загадку обонятельных рецепторов, но и распахнуло перед человечеством дверь в новую эру исследования механизмов восприятия запахов. За их вклад в развитие науки и открытие, считающееся одним из величайших прорывов в биологии, в 2004 году Бак и Акселю присудили Нобелевскую премию по медицине.

КОНЦЕПЦИЯ БЕЛКОВОГО «КАРМАНА» ДЛЯ ЗАПАХА

Каким же образом эти рецепторы вписываются в нашу аналогию «ключ-замок»? Несколько лет тому назад мы (и другие ученые) начали думать над этим вопросом. Мы выдвинули гипотезу, что взаимодействие одорированной молекулы и рецептора происходит не в узком «замке», к которому подходит лишь один ключ, а в более объемном пространстве, так называемом «кармане» (или «лунке») связующего белка, по аналогии со структурами, имеющими-

ся у многих других рецепторов, участвующих в передаче сигналов на молекулярном уровне. Мы также предположили, что одна рецепторная клетка может иметь только один вид рецептора, а следовательно, рецептор этот не узкоспециализированный, как рецепторы нейромедиаторов, а обладает широким спектром аффинности[1], совпадающей известными реакциями обонятельных рецепторных клеток на разные раздражители. Привлекательность этой гипотезы в том, что обонятельные рецепторы в ней схожи с фоторецепторами сетчатки глаза, каждый из которых обладает лишь одним видом цветовых рецепторов из трех возможных, но при этом способен воспринимать световое излучение с разной длиной волн.

Концепция «одна клетка — один рецептор» была экспериментально подтверждена в лаборатории Ричарда Акселя и при исследованиях отдельных клеток крыс в лаборатории Линды Бак, а впоследствии — в Гарвардском университете и в энтомологических исследованиях Джона Карлсона в Йельском университете.

Это изменило проблематику изучения рецепторов. Теперь нужно было найти эти связующие «карманы», аналогичные тем, что есть у других рецепторов-медиаторов и фоторецепторов, но при этом способные по-разному взаимодействовать с разными молекулами запаха. Получается, что классическая схема «ключ-замок», уместная для описания работы ферментов и других рецепторов, в случае обонятельных рецепторов не подходит, ведь, согласно гипотезе, они обладают уникальным механизмом широкой аффинности. Это прекрасный пример новой концепции рецепторной активности с расширенным спектром взаимодействий.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛЕКУЛ ЗАПАХА И ОБОНЯТЕЛЬНЫХ РЕЦЕПТОРОВ

Стандартным методом исследований сигнальных молекул рецепторов в фармацевтической индустрии является «экспрессия» — профессиональный жаргонизм, означающий, что рецептор заставляют проявиться в клетке-носителе, а затем испытывают на нем различные типы сигнальных молекул и препараты, которые потенциально могут блокировать или усилить передачу сигнала. Благодаря генной инженерии любую аминокислоту в генетической цепоч-

---

[1] То же, что и сродство.

ке рецептора можно заменить на другую, в ходе чего ученые могут установить, какие аминокислоты жизненно необходимы для функционирования рецептора, а также узнать, какие из них распознаются определенными белковыми комплексами сигнальных молекул.



Современные генные инженеры могут заменить любую аминокислоту в ДНК обонятельного рецептора на другую, чтобы опытным путем узнать, какие из них за что отвечают.

К сожалению, обонятельные рецепторы с трудом поддавались экспериментальной экспрессии в клетках-носителях. Решение этой проблемы в 1998 году нашли один из моих бывших студентов Стюарт Файрстайн, его аспирант Хайсин Жао и их коллеги-ученые из Йельского и Колумбийского университетов. Они исхитрились и прикрепили один из рецепторных генов к вирусу, а потом подсадили его к рецепторным клеткам в носу крысы. Это позволило вирусу заразить все рецепторные клетки, заставляя их «экспрессировать» содержащийся в вирусе рецепторный ген OR-I7. Затем ученые смогли зафиксировать данные от всех рецепторных клеток и узнать, какие молекулы запаха их активируют. Было установлено, что примерно из двухсот опробованных ими молекул запаха рецепторы отдавали предпочтение алифатическим (линейным) альдегидам с цепочкой из восьми атомов углерода (C_8, то есть октаналь, октиловый или каприловый альдегид), при этом реакция на боковые группы снижалась при длине цепочек от C_6 до C_{10}.

Получалось, что связующий «карман» обладает избирательностью по как минимум двум параметрам: терминальной функциональной группе и длине цепи. Чтобы проверить эту гипотезу, Майкл Сингер, студент Йельского университета и аспирант нашей лаборатории, провел дополнительное исследование. Предприняты в 2000 году компьютерный анализ модели рецептора OR-I7 показал, что при проведении автоматического докинга вслепую октаналь в связующем «кармане» взаимодействует так, как и предполагалось. Это исследование позволило выделить четыре вида стимулирующих характеристик молекул запаха: функциональная группа, длина цепи, размер молекулы и ее форма.

Самым важным открытием этого компьютерного анализа стало понимание истинного охвата связей рецептора OR-I7. Резуль-

таты оказались практически идентичными: при моделировании сохранилось соотношение приоритетности октаналя над боковыми группами альдегидов. В то же время в лаборатории Файрстайна было проведено другое исследование, показавшее, что при взаимодействии с рецептором OR-I7 молекулы запаха, являясь изомерами, крепко связываются с рецептором со стороны «головы» и образуют более свободную связь со стороны «хвоста» цепочек. Предположительно, именно благодаря этой особенности связей рецептор OR-I7 и формирует градацию предпочтительных молекул запаха.

Совокупность экспериментальных и полученных в результате компьютерного моделирования данных подтверждает гипотезу о том, что детерминанты (определители) запаха взаимодействуют со связующим «карманом» обонятельных рецепторов аналогично тому, как это происходит у других рецепторов, сопряженных с G-белками. При этом у молекул запаха есть целый набор сайтов-детерминантов для связи с разными видами рецепторов, что позволяет обонятельным рецепторам избирательно взаимодействовать с детерминантами различных молекул.

КОМБИНАТОРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЛЕКУЛ ЗАПАХА И ОБОНЯТЕЛЬНЫХ РЕЦЕПТОРОВ

В 1999 году для проверки этой гипотезы Беттина Малник и ее коллеги из лаборатории Линды Бак провели серию независимых экспериментов. Сначала они зафиксировали физиологический обонятельный спектр — совокупность молекул запаха, вызывающих отклик, — отдельных, изолированных обонятельных нейронов. Затем с помощью специальной тонкой пипетки вытянули ядро, содержащее генетическую информацию, и восстановили ген рецептора методом ПЦР. Таким образом им удалось продемонстрировать разную силу связей, возникающих между уже известными видами рецепторов и различными молекулами запаха. Эти эксперименты и теоретические выкладки подтверждают гипотезу о том, что сайты связи на молекулах запаха (мы называем их «детерминантами») трансдуцируются (то есть преобразовываются) в связующем «кармане» обонятельного рецептора. Множество сочетаний аминокислотных остатков и детерминантов молекул запахов, как и было предположено задолго до проведения дополнительных исследований, создают в связующем белковом «кармане» крайне питатель-

ную среду для комбинаторных взаимодействий с кодирующими запах молекулами.

Благодаря сложным взаимодействиям с рецепторами, комбинаций становится гораздо больше, а сами они — более утонченными. Здесь можно провести параллель с фармацевтикой. Фармацевтические компании инвестируют миллионы долларов в поиски молекул, которые можно было бы использовать в лекарственных целях для усиления или подавления реакции рецептора на нейромедиатор. Мы предположили, что подобным образом можно изменить и восприимчивость обонятельных рецепторов, но происходить это будет из-за нескольких молекул запаха, претендующих на один связующий карман. В ходе дальнейших экспериментов это предположение подтвердилось — были зафиксированы случаи, когда реакция возникала на молекулу А, но не на молекулу Б; зато, когда эти молекулы были представлены вместе, реакция на молекулу А ослаблялась эффектом от «немого» эффекта молекулы Б, выступающей в данном случае в роле антагониста. Эти взаимодействия в связующем «кармане» рецептора показывают, насколько сложна система восприятия запаха и что ее сложность начинается с самого первого этапа восприятия.

Понимание системы восприятия запаха и вкусовых ощущений возможно лишь тогда, когда человек имеет некоторое представление о молекулярных свойствах одорированных частиц и основных механизмах их восприятия на молекулярном уровне.

ШИРОТА СПЕКТРА ВОСПРИЯТИЯ ОБОНЯТЕЛЬНЫХ РЕЦЕПТОРОВ

Экспериментальные данные и компьютерный анализ показали, что у рецепторов достаточно обширные спектры восприятия, которые к тому же пересекаются друг с другом. Они называются молекулярными рецептивными спектрами («MRRs»)[1]; это название им дали японские ученые — один из моих бывших студентов Кенсаку Мори и его коллега Йошихоро Йошихара. Наименование было выбрано по аналогии с пространственными рецептивными полями («RFs»)[2] клеток зрительных рецепторов сетчатки глаза.

---

[1] Molecular receptive ranges.

[2] Receptive field.

Многих сбивает с толку широта охвата пересекающихся молекулярных рецептивных спектров — может показаться, что их реакции неспецифичны, но это не так.

Объяснить это явление можно, сравнив систему восприятия запахов с системой восприятия цвета зрением. Конические рецепторы (колбочки) сетчатки глаза, аккумулирующие весь видимый спектр излучения, бывают трех видов: красные, зеленые и синие. Названия колбочек соответствуют пику их восприимчивости к излучению. По обе стороны от пика их восприимчивость снижается, но не исчезает — они пересекаются, перекрывая друг друга. Следовательно, волна любой длины воспринимается сразу тремя видами рецепторов, и такое уникальное сочетание реакций мы видим как цвет. Эта комбинация остается неизменной вне зависимости от интенсивности освещения, что позволяет нам отличить один цвет от другого вне зависимости от того, на свету он находится или в тени[1].



Обоняние работает почти как зрение: как с помощью трех видов колбочек мы различаем множество оттенков цвета, так с помощью специфических рецепторов — множество оттенков запаха за счет смешения нейронных сигналов.

Мы и другие исследователи предполагали, что аналогичным образом формируется восприятие запаха, только складывается оно из сотен пересекающихся рецептивных спектров, а не из трех рецептивных полей, как в случае цвета. Тем не менее именно благодаря пересечению рецептивных спектров мы и смогли идентифицировать уникальные сочетания реакций, из которых складывалось восприятие конкретного запаха, вне зависимости от того, насколько он слабый или сильный. Получается, что обоняние все же специфично, ведь мозг воспринимает не разрозненные неспецифические сигналы от отдельных нейронов, а объединенный образ, сформированный совокупностью множества нейронных сигналов.

---

[1] Тем не менее надо отметить, что при низкой освещенности наша система зрения использует не колбочки, а палочки — чувствительные к свету, но не цвету, поэтому в сумерках насыщенность цветов окружающего мира снижается.

МНОГОМЕРНАЯ ПРИРОДА МИРА ЗАПАХОВ

В отличие от цветового восприятия, где длина волны изменяется в одном измерении, молекулы запаха отличаются по множеству уже рассмотренных ранее параметров. «Пространство запахов», в котором происходят процессы обонятельного восприятия, можно назвать «многомерным». Вы уже знаете, что молекулы запаха могут обладать разными характеристиками и качествами; следовательно, молекула запаха может проявляться в более чем одном измерении, в зависимости от того, какие у нее функциональные группы, длины ее гомологического ряда, степени атомарной насыщенности и формы молекулы в трех измерениях. Значит, определение молекулярных характеристик является непременным условием формирования полноценной картины мира запахов. Далее я расскажу вам, каким образом многомерная природа мира запахов существенно усложняет процесс картирования нейронной активности головного мозга.

СОСТАВЛЕНИЕ БАЗЫ ОБОНЯТЕЛЬНЫХ РЕЦЕПТОРОВ

Считается, что в геноме млекопитающих содержится порядка тридцати тысячи генов. Около 3% этих генов (приблизительно тысяча) относятся к самому обширному генному семейству — к генам обонятельных рецепторов. Только для того, чтобы идентифицировать, сравнить и классифицировать такое количество генов, потребовалось провести огромную работу. Для этих целей в моей лаборатории была создана база данных ольфаторных рецепторов (ORDB). На данный момент туда внесено более четырнадцати тысяч рецепторных генов и белков, обнаруженных в обонятельной системе человека, мышей, крыс, собак, шимпанзе, беспозвоночных, мух-дрозофил (*Drosophila melanogaster*), комаров, пчел и кольчатого червя (*Cenorhabditis elegans*). Ознакомиться и скачать себе актуальную версию базы обонятельных рецепторов вы можете на сайте нашей лаборатории SenseLab[1] при Йельском университете.

---

[1] База ORDB лаборатории SenseLab: https://senselab.med.yale.edu/ordb/.

Глава 6

СОЗДАНИЕ СЕНСОРНОГО ОБРАЗА

Как отображается в нашем мозге мир ощущений, основа нашего чувственного восприятия? Этим вопросом задавались еще древние философы, но поиск ответа на него по сей день является одной из ключевых задач современных физиологических и нейронаук; не менее важен он и для нейрогастрономии.

Современные нейронауки доказали, что системы восприятия других органов чувств создают некую пространственную проекцию поступающего стимула. Поверхность тела представляется в виде карты, называемой сенсорным гомункулом. Обозреваемый мир воплощается в сенсорных образах. Слух воспринимается в виде пространственной «тонотопической» карты. Во всех перечисленных случаях пространственная проекция начинает формироваться на поверхности сенсорной мембраны, состоящей из рецепторных клеток, и оттуда передается в кору головного мозга, где и осуществляется непосредственно процесс восприятия.

Исследования последних пятидесяти с лишним лет свидетельствуют о том, что информация о молекулах запаха тоже передается в мозг в виде пространственных проекций. Эти проекции не являются частью рассмотренных нами ранее реакций рецепторных клеток, они возникают чуть позже, в следующей структуре обонятельной чувствительности — обонятельных луковицах. Этап формирования этих проекций является фундаментальным для нашей «гипотезы обоняния», ведь в ней основой дальнейшего процесса восприятия запаха служат именно эти пространственные проекции, названные нами образами запаха. То, что система восприятия преобразовывает непространственный стимул, полученный обонятельными рецепторами носа, в пространственную

проекцию конкретной молекулы, странно, но объяснимо. Разгадка этого феномена кроется в одном из наиболее загадочных свойств нашего мозга.

В чем преимущество нейронного образа информации, переносимой молекулами запаха, над иными ее формами? Сама концепция образа запаха кажется настолько абсурдной, что на этот вопрос с ходу не ответить. Самое время отступить на шаг от основной темы и узнать, как формируется «зрительный образ», самый очевидный из всех доступных нам форм сенсорного восприятия.



Все системы восприятия органов чувств создают пространственную карту поступающих стимулов.

Процесс зрительного восприятия изучен несметным множеством нейробиологов и психологов. Наша гипотеза предполагает, что изучение нейронных механизмов восприятия и обработки зрительных образов позволит постичь принципы подготовки и обработки образов запаха. Если гипотеза выдержит напор критики, то мы получим новые сведения о том, в каком виде наш мозг воспринимает запахи, и том, как эти образы влияют на наши вкусовые ощущения.

Может показаться, что больше всего информации о способе формирования человеческим мозгом визуальных образов можно получить при изучении людей, но это не так. Лучшей стратегией для биологических изысканий подобного толка является проведение предварительных опытов на животных — выбранный вид должен обладать системой с аналогичным строением и свойствами, но при этом более простой, чем у человека; на них можно проводить в том числе и те опыты, что невозможно провести на людях.

ОТКРЫТИЕ ЛАТЕРАЛЬНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Подходящая для исследования система обнаружилась в глазу мечехвоста (*Limulus polyphemus*). Вы могли видеть этих существ, если живете близ океана или бывали в океанариуме; они похожи на перевернутую неглубокую миску, лежащую на мелководье или на песке рядом с линией прибоя. Если присмотреться, можно заметить на их жестком панцире пару маленьких глаз. Их глаза прими-

тивны — могут различать только свет, темноту и размытые пятна подвижных объектов; им хватает и настолько слабого зрения — мечехвост может отличить день от ночи и заметить приближение хищника.

Возможно ли разгадать тайны человеческого зрения, изучая столь примитивное существо? В середине XX века в Рокфеллеровском институте в Нью-Йорке работал биолог Х. Кеффер Хартлайн, которому это удалось. Хартлайн всей душой верил в пользу изучения простых систем. В статье «Мечехвосты и зрение»[1] процитированы его слова, обращенные к студентам, проявившим интерес к изучению нейронных механизмов зрения: «Избегайте позвоночных, они слишком сложные, и цветного зрения, оно тоже слишком сложное, и позвоночных с цветным зрением — это и вовсе невозможно». Благодаря Хартлайну и многим ученым, следовавшим по его стопам, мы узнали общие принципы работы зрительной системы, которые, как оказалось впоследствии, во многом аналогичны принципам других систем восприятия, в том числе обонятельной.

Не вдаваясь в подробности, можно сказать, что каждая рецепторная клетка заключена в микроскопическую оболочку и воспринимает малую часть картины. Сигналы от множества рецепторов при совмещении должны давать достаточно точное представление о свете, попадающем на сетчатку глаза. Хартлайн продемонстрировал это на практике, направив яркий луч света на одну половину глаза, а затем резко понизив его яркость и переведя на вторую половину. Реакция соответствовала: в первый раз она была сильной, во второй — слабой. Затем он повторил эксперимент, простимулировав обе половины сетчатки единовременно. Во второй раз реакция была совсем иной — на границе сильного и слабого света рецепторные клетки на яркой стороне показали более сильную реакцию, чем в первом эксперименте, а клетки слабоосвещенной стороны, напротив, слабее. Нейронная картина этого простейшего сочетания стимулов не совпадала с реальной.

Подводя итоги, можно сказать, что сила реакции клетки на стимул зависит от активности близлежащих клеток: у сильных реакция усиливается, а у слабых — ослабевает.

---

[1] John Schwartz, "Horseshoe Crabs and Vision", The Washington Post, July 10, 1995.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ УСИЛЕНИЕ КОНТРАСТА

Этот механизм человеческого восприятия на самом деле был подмечен австрийским физиком Эрнстом Махом еще в XIX веке. Он заметил, что когда мы смотрим на границу между светом и тьмой, к примеру на стык двух стен, то она кажется нам резкой благодаря высокой контрастности приграничных участков; со светлой стороны у грани нам видится более яркая полоса, а с темной — затемненная. Эта оптическая иллюзия называется полосами Маха. Если вам интересно, то вы можете в любой момент осмотреться и поискать их вокруг себя, дабы самостоятельно убедиться в их существовании (в библиографии дана ссылка на сайт, где можно подробнее познакомиться с этим феноменом).

Хартлайн продемонстрировал, что полосы Маха видят даже примитивные глаза мечехвостов *Limulus*. Он же обнаружил механизм, их создающий: латеральное[1] взаимодействие рецепторных клеток, то есть фоторецепторов. Благодаря этому виду межклеточной связи сильнее возбужденные клетки активнее подавляют более пассивные, а менее возбужденные клетки меньше обычного затормаживают активные. Механизм этот называется латеральной ингибицией (*латеральным торможением*), а сам эффект — усилением контраста, ведь именно это и происходит на границе между светом и темнотой. Этот механизм позволяет нам вычленять из окружающей картины отдельные пространственные элементы; он обеспечивает выделение признаков, один из основных принципов переработки информации во всех сенсорных системах.



Наша нервная система в первую очередь настроена на восприятие изменений в среде, а не на постоянный и неизменный поток данных. Поэтому и любое движение привлекает внимание.

Таков механизм пространственного усиления контраста. Механизм временного усиления контраста тоже был открыт в лаборатории Хартлайна. Когда происходит резкое повышение яркости, отдельная клетка реагирует на него стремительным ростом нейронной активности до пикового уровня, а затем быстро опускается до стабильной частоты, несколько более высокой, чем до скачка яр-

[1] Латеральный — расположенный сбоку.

кости. Чрезмерное повышение частоты импульсов называется фазовой реакцией, а плавное и постепенное — тонической. Эти примеры демонстрируют, что наша нервная система в первую очередь настроена на восприятие изменений в среде, а не на постоянный и неизменный поток данных. Пространственное и временно́е усиление стимуляции работает в сцепке — после изначального усиления стимула наши рецепторы демонстрируют как латеральную, так и самоингибицию и приходят в равновесие на более высоком уровне импульсной активности, чем изначальный.

ФОРМИРОВАНИЕ ОБРАЗОВ В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ

У латеральной ингибиции есть и другие функции, помимо выделения признаков и усиления контраста. За счет дисперсии (разложения света на спектр) изображение рассеивается при проходе через линзу глаза; латеральная ингибиция минимизирует последствия дисперсии путем преобразования (*восстановления*) *изображения*. Еще одной функцией является регулировка усиления, задающая темп нарастания или угасания реакции при изменениях силы стимуляции. К примеру, глаза мечехвоста *Limulus* воспринимают широкий спектр светового излучения. Чтобы сохранить такой охват зрения и вместе с тем обладать механизмами усиления чувствительности для восприятия слабых стимулов, нужно обладать и способом понижения чувствительности по мере нарастания силы стимуляции. В сетчатке *Limulus* это обеспечивается благодаря механизму компрессии (сжатия) усиления — аналогичным образом устроены компрессоры с цепью обратной связи, встроенные в электронные усилители звука.

Получается, что созданный глазом нейронный образ не отражает находящуюся в поле зрения сцену так, как это сделал бы фотоаппарат с выставленными на минимум настройками контрастности. Нейронный образ выглядит как абстрактное изображение высокой контрастности; края сцены упрощены и контрастны, а статичные центральные части поля зрения более нейтральны. Стимуляция достигает пика при смене изображения и стабилизируется при отсутствии изменений. Именно поэтому зрение мечехвостов так восприимчиво к теням и изменению светотени: это позволяет им быть начеку в случае появления добычи или хищника.

Латеральная ингибиция со временем была признана одним из наиважнейших механизмов нашей системы восприятия. Вы-

дающийся ученый Штефан Куффлер подтвердил наличие в глазах млекопитающих тех же механизмов, что были ранее обнаружены при исследовании *Limulus*. Ученый был беженцем из Австрии; в начале Второй мировой войны он покинул родную страну, преодолев Альпы на лыжах. Позже, работая при Университете Джона Хопкинса, он вдохновился экспериментами Хартлайна по исследованию зрения *Limulus* и провел серию аналогичных экспериментов, но уже с сетчаткой кошки; он регистрировал сигналы от одной ганглионарной клетки — этот тип клеток передает получаемую сетчаткой информацию в мозг — и при этом стимулировал разные участки сетчатки направленным узким лучом света. Стимуляция точки, соответствующей расположению ганглионарной клетки (в центре сенсорного поля), чаще всего возбуждала ее, в то время как стимуляция дальних частей сетчатки («периферии» поля зрения) подавляла ее активность, в то же время возбуждая периферические клетки. Эти опыты продемонстрировали, что механизм усиления контраста присутствует и у млекопитающих в виде центрально-периферического антагонизма.

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗРЕНИЕМ ЖИВОТНЫХ И КОМПЬЮТЕРНЫМ ЗРЕНИЕМ

Когда вы приходите к офтальмологу и вас просят прочитать ряды постепенно уменьшающихся букв на диагностической таблице, ваш результат зависит от точности линз в ваших глазах, и их кривизну можно скорректировать очками. В то же время результат зависит и от латеральной ингибиции, которая повышает контрастность темных букв с белым фоном; вот только изображения с настолько высокой контрастностью абсолютно неестественны. В природной среде обитания в поле зрения животных почти всегда царит нагромождение объектов, мало контрастирующих друг с другом. Выживание зависит от того, сможет ли зверь распознать попавшего в его поле зрения хищника или добычу. То, как сетчатка справляется с этой непростой задачей, поможет нам понять, каким образом обоняние идентифицирует запахи из общей ароматической среды низкой контрастности, вне зависимости от того, идет ли речь о запахе хищника или добычи в окружающей среде или о пищевых летучих одорированных частицах в полости рта.

В своей книге «Синаптическая организация мозга»[1] ученые-офтальмологи из Пенсильванского университета Питер Стерлинг и Джонатан Демб объясняют, как именно наше восприятие справляется с такой задачей. Для воссоздания визуального образа контрастной сцены не нужно яркого света; поэтому мы и можем читать книги даже при слабом свете свечи. В то же время для восприятия видимого окружения с низкой контрастностью сетчатке нужно много света. Как пример можно привести сцену, отснятую с точки зрения хищника, в сумерках следящего за забредшей в лес овцой. Если мы просканируем фотографию фотометром, то он покажет лишь незначительные колебания на общем относительно ровном фоне. При слабом освещении идентифицировать то, что скрывается за этими искажениями, сложно. Чем это объясняется?

Стерлинг и Демб отвечают на этот вопрос цитатой эксперта по видеотехнике Альберта Роуза, сравнивающего сетчатку глаза с черным холстом, на котором одиночные кванты света (фотоны) рисуют своего рода пуантилистскую картинку, то есть один фотон приходится на один пиксель итогового изображения. Создать изображение высокой контрастности несложно, для этого не требуется разрешения свыше одного фотона на пиксель — надо лишь «включить» или «выключить» отдельные фотоны; а вот для изображения низкой контрастности с широким спектром серых оттенков на один пиксель картинки приходится в разы больше фотонов, что существенно усложняет процесс восприятия. Следовательно, для полноценного восприятия сцены с низкой контрастностью объектов нужно хорошее, яркое освещение.



Высококонтрастное изображение проще и менее детально, чем низкоконтрастное. Из второго всегда легко можно получить первое, а вот наоборот — нет.

Теперь вы знаете, почему латеральная ингибиция клеток сетчатки является фундаментальным механизмом для усиления контраста; к тому же она отвечает и за фильтрацию шумового фона воспринимаемой сцены. Чем больше в изображении оттенков серого, тем больше фотонов требуется для создания нейронного образа и выше уровень шума. Наиважнейшей задачей всех сенсорных систем (в том числе обонятельной) является именно повышение

---

[1] Shepherd, Gordon M. Synaptic Organization of the Brain, 1974.

соотношения воспринимаемого сигнала к шуму. Это может быть реализовано синхронизацией центральной части поля восприятия, выравнивающей общий фон; в случае зрения это происходит благодаря электрическим связям между фоторецепторами, сводящим воедино их сигналы. В обонянии работают иные механизмы, которые будут рассмотрены далее. Вторым способом повышения соотношения сигнала к шуму является именно латеральная ингибиция, которая позволяет отсекать избыточные сигналы. По большей части сцены с низкой контрастностью обладают равномерным освещением; следовательно, большая часть поступающей информации является избыточной и может быть исключена на раннем этапе восприятия, таким образом высвобождается нейронный ресурс для повышения контрастности наиболее важных, изменяющихся элементов сцены.



Наиважнейшей задачей всех сенсорных систем (в том числе обонятельной) является повышение контрастности — выделение главного, отличающегося.

У специалистов, занимающихся обработкой изображений, этот механизм называется предиктивным (прогнозирующим) *кодированием*. Оно основано на предположении о более высоких показателях активности в центральной части сцены, нежели на ее периферии. По мере снижения уровня освещения поле зрение расширяется, сохраняя таким образом предполагаемые показатели активности периферических его частей.

Именно на примере зрительной системы мы можем проанализировать основные стадии формирования сенсорного образа и его обработки, хотя аналогичные процессы происходят и в остальных системах восприятия. Разумеется, каждая система имеет свои особенности, но общий принцип работы одинаков. Далее мы рассмотрим еще ряд особенностей формирования и обработки образов запахов, лежащих в основе обонятельного восприятия.

ВЫДЕЛЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОСПРИНИМАЕМОЙ СРЕДЫ

Резюмируя сказанное выше, можно заключить, что глаз создает двухмерную проекцию трехмерной сцены, находящейся в поле зрения, — визуальный образ. У такого способа отображения есть су-

щественное преимущество, ведь благодаря этому нервная система может формировать циклы для обработки поступающей информации. В основе такого цикла лежат механизмы латеральной ингибиции и усиления контраста, которые преобразуют нейронный образ в формат, наиболее удобный для дальнейшей переработки воспринимаемой сцены мозгом. Лучше всего этот процесс описал Эрнст Мах:

«Поскольку всякая точка сетчатки воспринимает, по сути, лишь саму себя в зависимости от того, выше или ниже ее активность в сравнении с ближайшими клетками, в результате получается достаточно своеобразная картина восприятия. Все находящееся на периферии обзора стирается. Все заметно отступающее от среднего показателя, как вверх, так и вниз, непропорционально выделяется. Можно сказать, что сетчатка создает схематичное и даже карикатурное изображение. Телеологическая значимость этого процесса очевидна. Это прямая аналогия абстракции и формирования концепций».

Все рассмотренные ранее принципы и механизмы восприятия — многомерная проекция сцены, латеральная ингибиция, усиление контраста и выделение признаков — имеют ключевое значение для формирования сенсорных образов всех систем восприятия. Мы слышим, потому что каждое нервное волокно передает в мозг лишь одну, наиболее «подходящую» частоту; восприимчивость к отдельно взятой частоте повышается за счет латеральной ингибиции. Наше осязание зависит от способности дифференцировать две расположенные близко друг от друга точки (это называется дискриминационная чувствительность), и кончики пальцев рук справляются с этим куда лучше, чем кожа на животе. Пальцы обладают более высокой чувствительностью за счет большей плотности иннервации (обеспеченности нервными клетками) кожи и присутствия в центральных нервных волокнах латеральной ингибиции, позволяющей более эффективно вычленять отдельные элементы сенсорной картины. Похожим образом работает и осязание в полости рта, также известное как тактильные ротовые ощущения, когда мы перемещаем пищу языком и определяем ее свойства — является она гладкой или шершавой, сухой или влажной, твердой или мягкий и так далее.

А что же насчет обоняния? Лишь теперь, когда мы в достаточной мере рассмотрели основные принципы сенсорных систем, мы наконец-то можем приступить к изучению того, как наш мозг воспринимает запахи.

Глава 7

ОБРАЗ ЗАПАХА: МОМЕНТ ОЗАРЕНИЯ

Восприятие запаха начинается с обонятельных рецепторов в полости носа и достигает мозга, лишь миновав несколько промежуточных «остановок»: обонятельную луковицу, обонятельную кору и орбитофронтальную обонятельную кору. Первый этап обработки образа запаха происходит в обонятельной луковице. Она не просто является одним из наиболее важных органов в восприятии вкусовых ощущений; ее роль в формировании образов запаха настолько велика, что именно ей посвящены следующие несколько глав этой книги.

ОБОНЯТЕЛЬНАЯ ЛУКОВИЦА

Как и следует из ее названия, обонятельная луковица по форме напоминает лампу накаливания, торчащую из лобной доли головного мозга. В отличие от системы зрительного восприятия, которая начинается в сетчатке глаза, проходит через таламус и затем достигает зрительной коры мозга, в обонятельной системе все аналогичные структуры сведены в единый орган — обонятельную луковицу. Понять, что именно происходит внутри обонятельной луковицы, сложнее, чем в случае более открытых для изучения сенсорных систем; для начала нам придется познакомиться с клеточным уровнем ее структуры.

Рис. 7.1 показывает структуру обонятельной сенсорной системы млекопитающих на примере крысы. Когда одорированные молекулы проникают и выходят из связующего кармана обонятельного рецепторного нейрона (ОРН), отдельная клетка «знает» лишь о тех

характеристиках молекул запаха, которые уже вступали в контакт с ее связующими сайтами. Чем активнее контакт, тем сильнее отклик клетки, выражающийся в повышении сигнальной активности. Следовательно, клетка передает информацию в обонятельную луковицу по обонятельным нервам (ОН) в виде импульсов определенной частоты, которые сами по себе мало что говорят о воспринимаемом запахе. Получается, что код, обозначающий молекулу запаха, тот самый, что распознается мозгом, должен зависеть от комплексной реакции многих клеток.

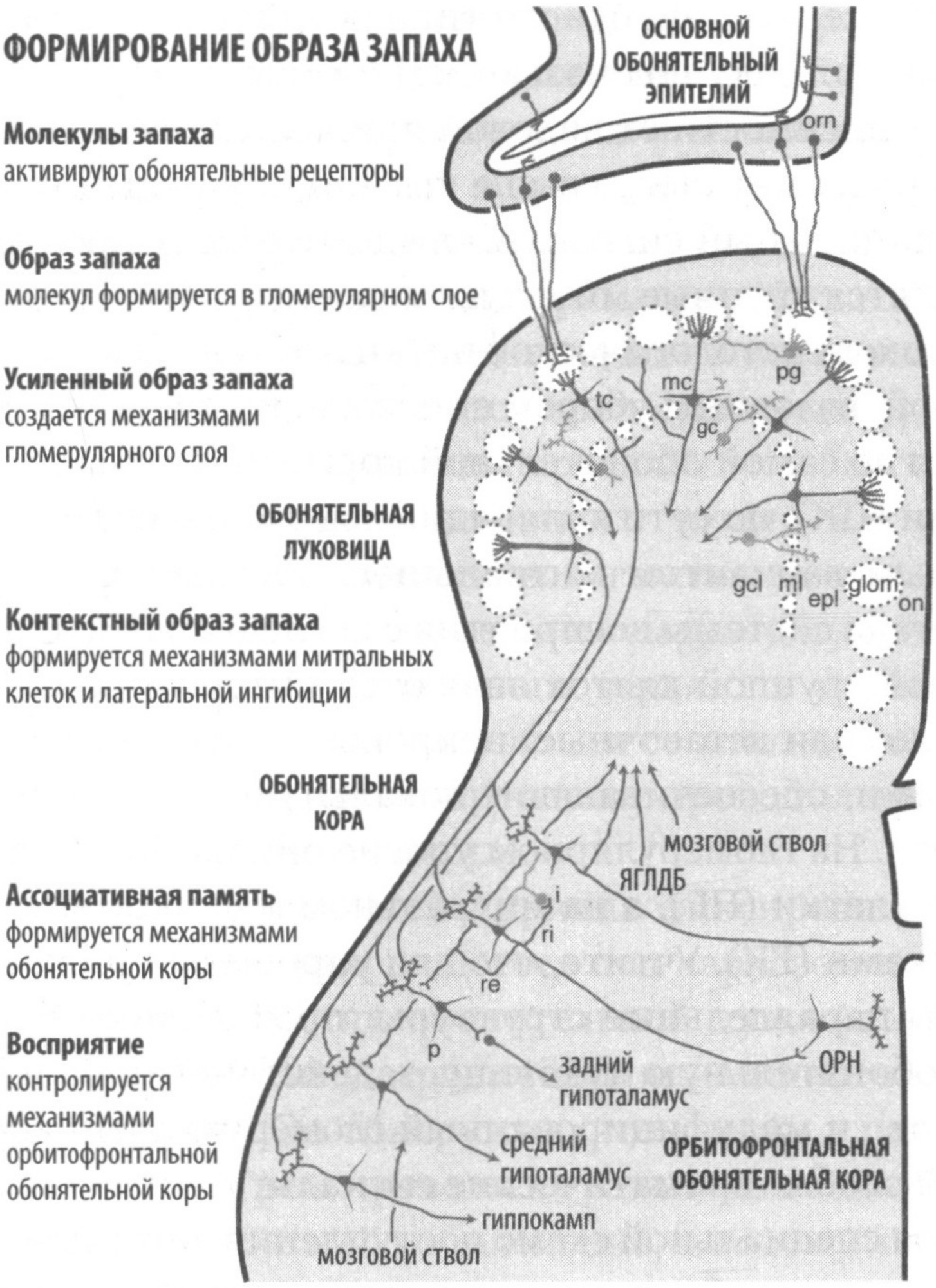


Рис. 7.1. Структура обонятельной системы
Слева: процесс восприятия запаха — от обонятельных рецепторов носа до коры головного мозга
Справа: последовательность стадий восприятия обонятельной системы, осуществляющей процесс. Основным типом клеток обонятельного эпителия является обонятельный рецепторный нейрон (ОРН)

Основные типы клеток обонятельной луковицы: митральные клетки (МК), пучковые клетки (ПК) и гранулярные клетки (ГК). В обонятельной коре информация от обонятельной луковицы поступает в пирамидальные клетки, которые затем передают ее промежуточным (или вставочным) нейронам. Центральные нервные волокна, задающие частоту клеткам обонятельной луковицы, начинаются в ядре горизонтального лимба диагональной борозды Брока (ЯГЛДБ). Орбитофронтальная обонятельная кора (ОФК) для компактности изображена в виде единичной пирамидальной клетки.

В обонятельной луковице заключены несколько тысяч рецепторных клеток. Все волокна одного типа обонятельного рецептора сходятся в единую точку под названием гломерула (ГЛОМ), она же «клубочек». В зависимости от видовой принадлежности животного таких клубочков может быть свыше тысячи, и каждый из них получает свой, уникальный сигнал. К каждому отделу обонятельной луковицы крепятся крупные митральные клетки (МК); их название возникло у истоков гистологической науки и обусловлено сходством формы с митрой, головным убором епископа. Волокна митральных клеток тянутся до самой обонятельной коры. Они, наряду с пучковыми клетками (ПК), по сути являющимися уменьшенным и более многочисленным вариантом митральных, обеспечивают прямую связь одного этапа системы восприятия с последующим. Еще одной многочисленной группой клеток являются интернейроны, они же промежуточные (или вставочные) нейроны, — это клетки с короткими отростками, обеспечивающие локальную обработку данных на прямой связи. На гломерулярном уровне они называются перигломерулярные клетки (ПГ), а на митральном и пучковом — гранулярными клетками (ГК). Учтите, что для упрощения иллюстрации в ней опущены параллельные структуры, проходящие через вспомогательную обонятельную луковицу, задействованную в восприятии феромонов[1], и модифицированный гломерулярный комплекс, распознающий особые ароматические сигналы.

Благодаря специальной схеме поступления данных и нейронным взаимодействиям обонятельная луковица создает код для обозначения стимулирующих ее молекул.

---

[1] Ф е р о м о н ы — собирательное название для продуктов внешней секреции, выделяемых некоторыми видами животных и обеспечивающих коммуникацию между особями одного вида.

КАК ОБОНЯТЕЛЬНАЯ ЛУКОВИЦА ОТОБРАЖАЕТ ЗАПАХИ

Эта история началась в Кембриджском университете с Эдгара Адриана, одного из величайших специалистов по физиологии нервной системы. Он был в числе ведущих исследователей-первопроходцев в изучении физиологии сенсорных систем человеческого тела в 1930-е годы; затем приступил к изучению обоняния, и этот проект стал последним из его масштабных трудов. Для первого из своих исследований системы обоняния, проведенного в 1943 году, он выбрал мозг ежа и на его примере продемонстрировал реакцию сенсорной системы на природные ароматические стимулы. В те годы биологи чаще всего выбирали подопытных животных с учетом их поведенческих особенностей, в то время как сегодня наука постепенно переориентируется на несколько видов животных, хорошо поддающихся генетической модификации. Тогда же никто не сомневался, что ежи — животные, живущие в норах и постоянно роющиеся в земле, — ориентируются преимущественно по запаху!

Одна из записей Адриана прославилась благодаря подписи, гласившей: «Запах гнилого земляного червя». Так уж вышло, что в поисках природного ароматического стимулятора для проверки реакции ежа Адриан нашел в темном сыром углу своей подвальной лаборатории иссохшего дождевого червя. На тот момент Адриан уже был всемирно известным ученым со множеством административных обязанностей, но по-прежнему проводил все свои эксперименты сам (а заодно и экономил).

Следующая из записей Адриана фиксировала реакцию обонятельной луковицы находящегося под наркозом кролика. Он разместил на разных частях обонятельной луковицы считывающие электроды, а затем стимулировал обоняние животного при помощи различных запахов. Он обнаружил, что клетки в разных частях луковицы по-разному реагировали на различные запахи. Мне не хотелось бы переиначивать его объяснение, а потому я просто приведу отрывок из его работы 1953 года:

«Судя по всему, молекулы ацетона в основном стимулируют активность в передней части органа и в определенной группе рецепторов этой зоны, обладающих особой чувствительностью к этому раздражителю. Высокая концентрация раздражителя может задействовать и другие группы рецепторов; но структура органа

такова, что всегда будет отдельная группа рецепторов, предельно чувствительная к определенному раздражителю, которая станет возбуждаться даже при минимальной его концентрации. Будут и временные рамки предельной возбудимости. При каждом вдохе количество поступающего в нос возбудителя станет неуклонно нарастать, пока не достигнет предела; в начале и в конце каждого вдоха концентрация раздражителя будет приближена к предельному значению. Следовательно, скорость возбуждения рецепторов зависит от физических и химических свойств конкретного раздражителя. К примеру, резкий пик активности может свидетельствовать о специфической чувствительности к ксилолу. По мере повышения концентрации ксилола в воздухе к изначально возбудившейся группе рецепторов постепенно подключатся и другие, чья активность будет проявляться на более позднем этапе дыхательного цикла. В случае пиридина и эвкалипта вначале регистрируются небольшие пики активности и лишь затем — скачки, доходящие до предельных значений. Получается, что на фоторепродукции экспериментальных данных каждое вещество обладает характерной формой пиков активности, которая с впечатляющим постоянством воспроизводится всякий раз, когда вещество подносят к носу подопытного.

Таким образом, изучив ряд распечаток записей зарегистрированных пиков активности, электрофизиолог сможет идентифицировать соответствующие им запахи. У нас нет оснований предполагать, что мозг идентифицирует запахи по тем же критериям, но теперь мы, по крайней мере, видим, как можно различить большое разнообразие запахов без необходимости очень больших вариаций в рецепторах».



Раньше биологи выбирали подопытных животных с учетом их поведенческих особенностей, а сегодня наука переориентируется на те виды, которые хорошо поддаются генетической модификации.

Концепция кодирования запахов в виде пространственных схем и временных промежутков уходит корнями именно в этот труд Адриана. Обратите внимание на его предположение, что кодирование возможно и без необходимости «очень больших вариаций в рецепторах». В наши дни нам уже известно, что способность рецепторов избирательно реагировать на отдельные характеристики молекул запаха обусловлена мельчайшими отличиями в их молеку-

лярной структуре. Адриан же был крайне сведущим в науке своего времени, а потому его предположения основаны на актуальном для него уровне научного знания — он описал пики активности, зарегистрированные набором электродов в разных частях обонятельной луковицы, и отметил уникальность их формы, но «пространственными схемами» активности он их не называл. Он даже счел должным предостеречь последующих исследователей обонятельной сенсорной системы от предположений, что мозг распознает образы запахов так же, как мы распознаем их на распечатках зарегистрированной нейронной активности.

Когда я писал свою дипломную работу по физиологии обонятельной луковицы, я совершил своего рода паломничество из Оксфорда в Кембридж, чтобы встретиться с Адрианом, рассказать ему о своих опытах с клетками обонятельной луковицы и, возможно, провести некоторые параллели между моим дипломным проектом и его трудами. Мой научный руководитель, Чарльз Филлипс, предупредил меня о том, что Адриан известен своей стеснительностью с посетителями. Адриан вежливо выслушал преисполненный энтузиазма рассказ о моих научных изысканиях, но затем вежливо объяснил, что его присутствия срочно требуют в другом месте, и начал потихоньку отодвигаться, в прямом смысле пытаясь сбежать от дальнейшей беседы. Наш разговор закончился на лестнице старого физиологического корпуса на Даунинг-стрит. Напоследок я успел спросить у него, какая проблема изучения обонятельной системы, на его взгляд, является наиболее важной и нуждается в разработке для достижения нового уровня познания. Бросив взгляд через плечо, он ответил: «Присмотрись к гломерулам», — и был таков. Его слова оказались пророческими.

НОВЫЙ ПОДХОД К КАРТИРОВАНИЮ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

После проекта Адриана электрофизиология мало продвинулась в изучении реакций рецепторов обонятельной луковицы на различные ароматические раздражители. В случае зрения или соматического ощущения (то есть осязания) экспериментатор точно знает, где расположить электрод для фиксирования активности той или иной части сенсорного поля. С обонянием мы понятия не имели, где электроды смогут зарегистрировать активность, —

у нас не было никаких данных, где в системе обонятельного восприятия может быть картирован тот или иной запах. В своих изысканиях мы вдохновлялись исследованием соматосенсорной коры головного мозга первопроходца Вернона Маунткасла из Университета Джона Хопкинса и работами по изучению зрительной коры Дэйвида Хьюбела и Торстена Визеля из Гарвардской медицинской школы; к сожалению, их электрофизиологический подход к картированию сенсорных реакций мозга оказался неэффективен для поиска центра отображения запахов.

Наша работа увенчалась успехом лишь в 1974 году, когда наш отдел в Йельском университете навестил Эд Эвартс из Национального института по изучению неврологических заболеваний и инсульта в городе Бетесда, штат Мэриленд. Эвартс был ведущим специалистом по двигательной коре головного мозга. В ходе его визита я рассказал ему о наших экспериментах с обонятельной луковицей и о том, как сложно опередить, где именно считывать реакцию на различные обонятельные раздражители. Эвартс предположил, что нас может заинтересовать новый метод, над которым в тот момент работал Фрэнк Шарп, один из аспирантов его лаборатории. Изначально метод создал Луис Соколофф, ведущий биохимик лаборатории по соседству. Соколофф объединил усилия с одним из великих первопроходцев в изучении биохимии мозга Сеймуром Кети и выдающимся молодым фармакологом Флойдом Блумом для разработки метода картирования активности мозга по локализации энергозатрат. Метод основывается на том факте, что все виды нервных клеток для активности нуждаются в непрерывном притоке кислорода и глюкозе как источнике энергии; потому-то мы и падаем в обморок при нарушении притока крови к мозгу. Для поддержания подвижности заряженных ионов клеточной оболочки, которые создают импульсную активность, или так называемый синаптический потенциал (изменения электрического потенциала от межклеточного перемещения ионов через синапсы нервных клеток), энергия не нужна; зато она жизненно необходима для работы насосов на мембране, обеспечивающих равновесие путем поддержания равномерного распределения ионов по обе стороны клеточной мембраны.

Соколофф и его коллеги предложили отслеживать электрическую активность при помощи модифицированной формы глюкозы — изотопа без атома кислорода при втором углеводе— под

названием 2-дезоксиглюкоза (2-ДГ). Активные клетки принимают 2-ДГ за обычную форму глюкозы, но измененная структура препятствует дальнейшей ее метаболизации. Следовательно, высокая концентрация 2-ДГ блокирует метаболические процессы, в то время как малая концентрация (то есть следовое количество) позволяет определить, какие именно группы клеток вобрали 2-ДГ, не подавляя клеточный метаболизм. Данный метод предполагал введение подопытному животному модифицированной глюкозы, стимуляцию определенным раздражителем на протяжении 45 минут и использование ряда рентгенографических снимков для определения локализации радиоактивности.

Первые экспериментальные данные показали эффективность метода для картирования зрительной коры; предположительно, он мог подойти для картирования иных частей мозга с непредсказуемыми схемами активации. Изобретение этого метода оказало огромное влияние на все разделы науки, сопряженные с изучением мозга, ведь именно благодаря открытию метода 2-ДГ стало возможно изобретение таких методов применимой к людям безопасной диагностики, как позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), более современных вариантов ПЭТ-сканирования мозга, функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ[1]) и иных аналогичных методов.

МОМЕНТ ОЗАРЕНИЯ

Когда Эд рассказывал нам об этом новейшем методе, Фрэнк еще не закончил проводить физиологические испытания. Эд предупредил, что у них есть основания полагать, что метод скорее ориентирован на выявление синаптической активности в соединениях между нейронами, нежели на импульсную активность как таковую.

Этот момент был воистину судьбоносным. Я посмотрел на своего коллегу-аспиранта Джона Кауэра, и мы поняли, что наконец нашли то, что искали. Входящие волокна (аксоны) рецепторных клеток заканчиваются в гломерулах, на некотором расстоянии от митральных клеток, в которых возникает импульсная реакция. В прошлом мы считывали электрофизиологическую активность

---

[1] Когда та или иная область мозга активна, приток крови к ней увеличивается, и с помощью фМРТ это можно увидеть.

самих митральных клеток, находящихся в отдалении от гломерул; в то время как 2-ДГ предположительно должна поступать непосредственно в гломерулы — туда, где рецепторные клетки соединяются с клетками обонятельной луковицы. Мы предположили, что метод 2-ДГ прекрасно подходил для проверки нашей гипотезы, что запахи создают пространственные схемы активации гломерул. Эвартс и Шарп радушно пригласили нас присоединиться к ним и проверить нашу гипотезу на практике.

ПЕРВЫЕ СХЕМЫ ЗАПАХОВ

В декабре 1974 года я приехал в Национальный институт здравоохранения для проведения первой серии экспериментов. Памятуя труды Адриана и его дождевого червя, в качестве раздражителя я захотел подобрать нечто приземленное и реалистичное, а потому мы с Фрэнком отправились в местный супермаркет за выдержанным сыром чеддер. Еще одним преимуществом метода 2-ДГ была возможность проводить опыты на бодрствующем животном, а потому мы просто положили сыр перед подставкой, удерживающей нос животного, и направили на него поток воздуха. Мы провели целый ряд опытов — с сыром, с амилоуксусным эфиром (он обладает фруктовым ароматом, напоминающим банановый) — и несколько контрольных (без каких-либо обонятельных стимулов). Исследования мы проводили на крысах и кроликах. Закончив с экспериментальным этапом работы, я без особого воодушевления покинул лабораторию, предоставив Фрэнку подготовку срезов опытных образцов.

В начале января мне позвонил Фрэнк, пребывающий в крайне приподнятом настроении. На снимках срезов обнаружились маленькие точки. Я спросил, означают ли эти точки, что наши опыты увенчались успехом? Он воскликнул, что да, ведь это самые отчетливые результаты из когда-либо полученных при помощи этого метода. Я уточнил у него: уверен ли он? Он заверил меня, что да, он абсолютно уверен, и добавил: жаль, что я не видел, как Эд пустился в пляс по лаборатории при виде этих точек!

Мы с Джоном вскоре вернулись в их лабораторию для проведения дальнейших экспериментов, и результаты оказались не менее информативными, чем первая серия! На рентгеновских снимках наблюдались очаги повышенной плотности, локализованные в некоторых областях гломерулярного слоя. Новость о результатах

наших экспериментов быстро разлетелась и произвела такой фурор, что в 1975-м нам пришлось отложить публикацию наших результатов, чтобы Соколофф и его команда могли сначала опубликовать свою статью об открытии метода 2-ДГ. В первой статье нашего проекта мы с Френком Шарпом и Джоном Кауэром написали:

«Судя по всему, при стимуляции обоняния амилоуксусным эфиром метаболическая активность в обонятельной луковице запускается в соответствии с некой фиксированной схемой. Это подразумевает существование неких топографических схем нейронной активности, ассоциирующихся с обработкой поступающего запаха. Предварительные исследования с использованием иных раздражителей (камфоры, сыра и т. д.) позволяют предположить дифференциацию пространственных схем рецепторной активности по разным запахам и группам запахов.

Идея, что в обонянии задействованы некие пространственные схемы, не нова, впервые ее высказал Адриан, и с тех пор ее разработке посвятили немало исследований. Используемый в данной работе метод рекомендуется для проведения дальнейших изысканий по теме».

Мы подчеркнули преимущества нашего метода: он демонстрирует активность всей изучаемой системы (а заодно и всего головного мозга) и не искажает рецепторные реакции (что нередко происходит при контакте электрода с активной клеткой). Мы также отметили, что этот метод можно использовать для опытов на животных, пребывающих в сознании и демонстрирующих природное поведение, а это позволяет фиксировать реакцию даже на очень слабые раздражители. Такими же преимуществами обладает ПЭТ и иные современные методы функционального сканирования мозга, широко применяемые на людях.

Чтобы составить комплексное представление о схемах активности и сравнить их друг с другом, в 1979 году в нашей лаборатории под руководством Уильяма Стюарта и Джона Кауэра была разработана процедура картирования, основанная на форме обонятельной луковицы: она представляет собой почти правильную сферу, за исключением отростка, соединяющего ее с мозгом. Мы адаптировали метод «проекции», применяющийся для составления карт мира, и использовали ту же систему координат: широту и долготу. Этот метод называется проекцией Мольвейде, и найти его вы можете в любом атласе мира.

В нейронауках этот метод картирования мозга, то есть нейрокартирования, используется для составления плоскостных карт. В нашем случае локусы активности обнаружились в гломерулярном слое. Они накладываются друг на друга, но для разных запахов отличаются. Таким образом, мы смогли развить гипотезу Адриана, что в основе распознавания запахов могут лежать характерные пространственные схемы. Метод 2-ДГ также показал, что при самой низкой концентрации запаха (минимальной воспринимаемой человеческим обонянием) активировалось лишь несколько локусов, а то и вовсе один; предположительно, каждый из них был локализован в одной или нескольких гломерулах. По мере повышения интенсивности запаха соответственно повышалось и количество активных гломерул. Получалось, что в схемах активности кодировался как вид, так и интенсивность запаха.

Кажется, что с такими перспективными результатами этот метод должны были взять на вооружение множество лабораторий, надеясь лично убедиться в его эффективности и продолжить исследования схем обонятельного восприятия, — но нет, этого не произошло; тому препятствовали некоторые особенности метода. Алгоритм подразумевал использование дорогого изотопа глюкозы, что делало его слишком финансово затратным и ресурсоемким для подавляющего большинства лабораторий. Картирование также сопряжено с огромным объемом монотонных и трудоемких гистологических манипуляций. Еще одним серьезным препятствием было использование радиационного облучения — большинство физиологических и психологических лабораторий просто не предназначены для работы с радиацией.

Первый шаг к дальнейшему развитию метода был сделан Лесли Скином из Делавэра. Вместе с Шарпом он искал доказательства реакции на феромонные раздражители в обонятельной луковице приматов. Вскоре метод начали использовать Андре Холлей и его коллеги во Франции, в Лионе. Подкрепив наши наработки своими исследованиями, они продолжили деятельность в этом направлении и подметили, что наличие разных схем активности для разных запахов позволяет отнести обонятельное восприятие к категории «распознавания образов», как в зрительном восприятии. Их вывод, как уже упоминалось в предыдущей главе, впоследствии лег в основу актуальной концепции нейронного уровня восприятия запахов.

АРХИВЫ ОБРАЗОВ ЗАПАХОВ

Майкл Леон и Бретт Джонсон из Калифорнийского университета проделали огромную работу, существенно расширив коллекцию полученных при помощи метода 2-ДГ плоскостных карт. В архиве на их сайте размещены карты свыше 500 образов запахов. (Ссылку на их сайт в числе прочих упоминаемых в тексте можно найти на сайте лаборатории SenseLab.)

В начале 90-х годов появилось несколько новых методов анализа схем активности клеток обонятельной луковицы. Большинство из них резюмируются в статье 2000 года, написанной Фукиангом Хсю и Чарльзом Гриром в соавторстве со мной. Чтобы осознать истинные масштабы открывшейся перед нами сферы исследований, достаточно заглянуть на сайт Леона или лаборатории SenseLab. При всей масштабности наших архивов в них представлена лишь малая часть бесконечного множества вариаций пространственных схем активности, отражающих мириады молекул запаха. Именно на основе этих схем наш мозг создает образы запаха, благодаря которым работает обоняние.

Глава 8

ЗАПАХИ КАК ЛИЦА

Если вам когда-либо обследовали мозг или иную часть тела с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), то вы знаете, что для нее вас помещают в центр большого круглого магнита. Эта технология была разработана в 1990-е годы. Как и в случае метода с использованием 2-деоксиглюкозы (2-ДГ), фМРТ работает благодаря локальным изменениям мозгового кровообращения, которое во многом зависит от энергетических запросов активных нервных клеток. Используемый для фМРТ магнит большой потому, что именно в его центр должен помещаться человек. Изначально аппараты фМРТ создавали достаточно слабое магнитное поле в 1–2 Тл (тесла — единица измерения силы магнитного поля), а позже появились аппараты с полем до 4 Тл. фМРТ позволяет делать снимки активности с разрешением примерно от 0,00006 до 0,00012 кубических дюймов (от 1 до 2 мм^3), где-то с толстую часть грифеля карандаша; при таком качестве изображения можно разглядеть отдельные зоны мозга, но слои на нем не рассмотришь.

НОВЫЙ ПОДХОД: СХЕМЫ ОБОНЯТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ НА СНИМКАХ ФМРТ

Когда процедура фМРТ для людей еще находилась в разработке, для совершенствования этого метода аппаратного исследования и интерпретации результатов обычным делом было проведение сравнительного анализа между человеческими снимками и снимками мелких млекопитающих, например грызунов. Для фМРТ снимков грызунов используются маленькие магниты с диаметром центрального отверстия всего в несколько дюймов, и они гораздо мощнее, чем в «человеческих» аппаратах; сила создаваемого ими магнитного поля начинается от 11 Тл и позволяет получать сним-

ки куда более высокого разрешения, приблизительно в 100 мкм (0.1 мм). Примерно такого же размера обонятельные гломерулы. Высокое разрешение снимков не единственное преимущество технологии фМРТ. Благодаря ему можно проверять реакцию на различные запахи, тратить меньше времени на стимуляцию и регистрировать более быстрые реакции.

Осознав, что эта технология подходит для изучения обонятельных схем активности, я понял, что пора действовать. Волею случая один из мировых центров разработки фМРТ, проводящий эксперименты на животных, находился в Йельском университете, двумя этажами ниже моей лаборатории. Мы с моим коллегой по проекту 2-деоксиглюкозы (2-ДГ) Чарльзом Гриром, встретились с руководителем программы фМРТ Робертом Шульманом и его коллегами Дугласом Ротманом и Фахмидом Хайдером и предложили им совместный проект, сделав упор на то, как здорово было бы научиться запечатлевать гломерулярный слой и, более того, идентифицировать отдельные активные гломерулы. Они с радостью приняли наше предложение и показали свою последнюю наработку: сделанные при помощи фМРТ снимки части мозга крысы, соответствующей вибриссам[1]; на них было видно, что каждому из 24 штук соответствует отдельная группа клеток коры головного мозга, называемая баррелем. Они продемонстрировали, что фМРТ позволяет регистрировать активность даже отдельного барреля, если на соответствующий ему волосок оказывается воздействие. Все быстро сошлись на том, что эксперименты с обонятельным восприятием должны увенчаться успехом.

Мы начали с магнита силой в 4,7 Тл. Вместе со специалистами по снимкам мы с Гриром разрабатывали «ольфактометр» (прибор для введения запахов), который бы позволил стимулировать обоняние находящейся под наркозом крысы, лежащей в камере аппарата. Полученные нами изображения превзошли самые смелые ожидания — на первых же снимках отчетливо просматривались схемы активности, происходившие, судя по всему, на том же гломерулярном слое, что в проекте 2-ДГ. Коллеги из лаборатории фМРТ сообщили, что наши снимки куда отчетливее, чем все полученные ими ранее фотографии других частей мозга. Мы объяснили, что четкость наверняка обусловлена схождением в гломерулярном слое обоня-

---

[1] Осязательные механочувствительные длинные жесткие волосы многих млекопитающих, в обиходе — усы.

тельной луковицы тысяч нервных волокон обонятельной системы, благодаря которым сигнальная активность клеток сопоставлялась с соответствующими гломерулами.

Схемы активности в обонятельной луковице крысы, полученные при помощи фМРТ, были дополнены результатами исследований методом 2-ДГ: разные запахи активировали разные схемы; схемы имели медиальную и латеральную (то есть серединную и боковую) проекции; в обеих обонятельных луковицах (это парный орган) наблюдались схожие схемы активности; количество задействованных в схеме активности клеток увеличивалось пропорционально повышению интенсивности запаха-раздражителя. Теперь мы могли использовать метод «фМРТ высокого разрешения» для поиска ответа на один из фундаментальных вопросов обонятельного восприятия — отличаются ли схемы активности в обонятельной луковице при стимуляции одного животного разными, но химически сходными запахами?

РАЗНЫЕ РЕЦЕПТОРНЫЕ РЕАКЦИИ — РАЗНЫЕ СХЕМЫ АКТИВНОСТИ

Ответ на этот вопрос мы решили искать уже в опытах на мышах. В те годы именно они считались лучшими подопытными животными для генетической модификации за счет короткого цикла размножения; это позволяло промаркировать различные группы клеток обонятельных рецепторов и соотнести их со схемами активности.

Мыши гораздо мельче крыс, и это существенно затрудняет их изучение при помощи фМРТ высокого разрешения. В отличие от взрослой крысы, средний вес которой составляет порядка 300 грамм, а то и больше, мышь может быть в десять раз меньше и весить всего лишь 30 грамм. Обонятельная луковица мыши пропорциональна ее размеру, а потому в разы меньше, чем у крысы. Правда, к тому моменту наши коллеги стали работать с магнитом до 7,6 Тл; магией тонкой настройки они довели разрешение снимков до показателей, близких к 100 мкм^2 (0,0001 мм^2), что примерно соответствует размеру мышиных гломерул.

Проведение столь тонких экспериментов взял на себя аспирант лаборатории фМРТ Фукианг Хсю; в качестве раздражителя он использовал те же изомеры альдегидных молекул со скелетом от

четырех до восьми атомов углерода, которые использовались для изучения рецепторов OR-I7, рассмотренного в главе 5. Обоняние животных стимулировалось раздражителями, магнит гудел, мы же обзаводились новыми снимками фМРТ. Как и в случае с методом 2-ДГ, снимки накладывались на анатомические изображения, таким образом происходила реконструкция схемы гломерулярной активности.

КРАТКО О ДОКАЗАТЕЛЬСТВАХ СУЩЕСТВОВАНИЯ ОБРАЗОВ ЗАПАХА

Основная идея показана на рис. 8.1. С левой стороны молекула запаха активирует рецептор, проникнув в его связующий «карман». На диаграмме изображен расположенный в полости носа пласт рецепторных клеток. Как уже упоминалось в главе 7, каждая рецепторная клетка передает свою реакцию в обонятельную луковицу; по нервному волокну (аксону) импульс от возбужденного рецептора передается в гломерулу. Все клетки с одинаковыми рецепторными молекулами, как правило, сопряжены с парой гломерул, расположенных на медиальной и латеральной сторонах обонятельной луковицы. Следовательно, при возбуждении отдельного рецептора сигналы всех клеток сосредотачиваются в этих молекулах-гломерулах. Получается, что хоть сколько-то возбужденные рецепторные клетки приводят к пропорциональной активации соответствующих им гломерул. Задействованные гломерулы складываются в узор, который мы и называем схемой активности.



Характерной чертой образов запаха является способность частично совпадать с другими образами, напоминать, но при этом отличаться.

В нижней половине рис. 8.1 показаны три схемы активности, запечатленные методом фМРТ в медиальной проекции, — эти схемы соответствуют обонятельной реакции на три близкие по структуре альдегидные молекулы запаха. Вы можете сравнить нижнюю часть левой схемы (ту, что отмечена скобкой) с изображенной в верхней части иллюстрацией медиальной проекции обонятельной луковицы. Отраженные на этих схемах молекулы являются изомерами и отличаются лишь количеством атомов в углеродном скелете (от четырех до шести).

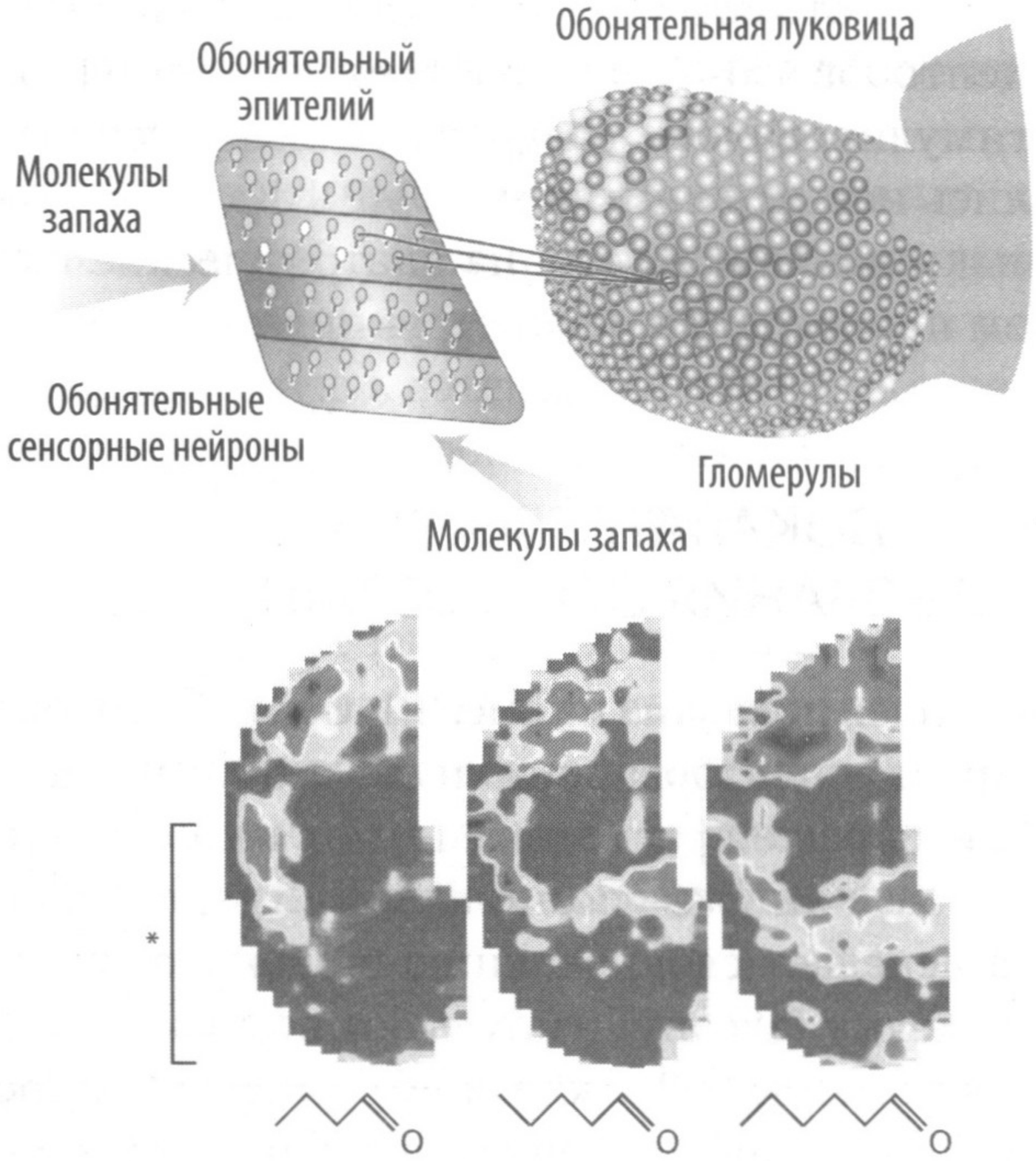


Рис. 8.1. Формирование образа запаха
Верхняя часть: клетки обонятельных рецепторов рассредоточены по различным зонам обонятельного эпителия. Показан процесс передачи информации от задействованных в реакции рецепторов по аксонам в объединяющую гломерулу обонятельной луковицы. Градация серого цвета демонстрирует разные уровни активации гломерулярного слоя
Нижняя часть: плоскостные карты схем активности гломерулярного слоя, вызванные при стимуляции обоняния тремя разными молекулами запаха, отличающимися друг от друга лишь на один атом углерода
(Составлено по материалам статьи G. M. Shepherd, Smell images and the fl avour system in the human brain, Nature 444 [2006]: 316–321/

Эти пространственные схемы следует воспринимать как проекцию информации, переносимой молекулами запаха. По аналогии с системой зрительного восприятия, где схема активности на сетчатке называется *визуальным образом*, мы можем назвать схему на обонятельной луковице *обонятельным образом*, или же *образом запаха*. Подводя итоги, можно сказать, что характерными чертами образа запаха является способность задействовать в схеме активности большую часть обонятельной луковицы и частично совпадать с другими образами, но при этом оставаться разными. Как и в слу-

чае схем активности, полученных методом 2-ДГ, образы запаха увеличиваются в объеме по мере повышения концентрации обонятельного раздражителя.

ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Мы знаем, что схемы активности разные, даже когда их зоны активности отчасти пересекаются; но знает ли об этом мышь? Способна ли она своим поведением показать, что различает запахи, столь близкие на молекулярном уровне? Для этого эксперимента ко мне присоединился Маттиас Ласка. Ласка был ведущим психологом исследований обонятельного восприятия приматов и иных животных. Вместе с аспирантом Йельского университета по имени Дипа Джоши они проводили эксперименты с помощью поведенческого ольфактометра — пластикового ящика с двумя небольшими отверстиями для подачи двух разных запахов. Животных обучили принюхиваться к обоим запахам и подавать сигнал в случае, если они отличаются; за это им давали небольшое поощрение. Внутри ольфактометра находилась сложная конструкция из стекла, тефлоновых трубок и вентилей, позволяющих управлять чистотой запахов и подавать их краткими вбросами.



Чтобы понять, чувствуют ли животные различия запахов, ученые обучили их принюхиваться к двум разным одновременно и подавать сигнал, если запахи отличаются.

В результате серии опытов было установлено, что мыши прекрасно отличают друг от друга даже почти идентичные молекулы запаха. Это относится как к молекулам с разницей в один атом углерода, так и к тем, где разнятся два и более атома. Выявленная дискриминационная чувствительность обоняния оказалась в разы выше, чем у иммунной системы; там, как уже упоминалось в главе 4, эпитоп (участок молекулы антигена, соединяющийся с антителом) состоит из белковой цепочки в дюжину или более аминокислот. Сравните это с чувствительностью, позволяющей распознать разницу в один атом углерода, — такая восприимчивость возносит обоняние на недосягаемые для прочих сенсорных систем высоты.

СКОЛЬКО МЕТОДОВ, СТОЛЬКО И СХЕМ

В биологии у каждого метода исследования есть свои преимущества и ограничения. Методы 2-ДГ и фМРТ позволяют запечатлеть схемы активности, раскинувшиеся на всю обонятельную луковицу, но при этом требующие постоянной подачи раздражителя (вместо кратких выбросов одорированного вещества), а их разрешение не дает возможности отчетливо запечатлевать отдельные гломерулы. Как уже упоминалось в главе 7, помимо 2-ДГ и фМРТ ученые разработали множество других методов аппаратного исследования. Некоторые завязаны на микроскопии и наблюдении за активацией отдельных гломерул. Клетки предварительно маркируются флуоресцентными красками, чувствительными к изменениям электрической активности, или фиксируются малейшие изменения в микроциркуляции — эта группа называется оптическими методами. Другие методы регистрируют электрофизиологическую активность нервных клеток. В сравнении с 2-ДГ и фМРТ эти методы более узкие и специализированные, их охват меньше, а детализация — выше. При исследовании обонятельной реакции на упомянутую ранее группу альдегидов специализированными методами было установлено, что общий принцип схем клеточной активности — пересекаются, но отличаются — сохраняется и на уровне отдельных гломерул.

У методов, использующих микроскопию, есть существенный минус — с их помощью можно увидеть только тыльную сторону обонятельной луковицы, то есть 10–15% ее поверхности. Это примерно то же самое, как смотреть на чье-то лицо, но видеть лишь одно ухо или бровь.

Кенсаку Мори и его токийские коллеги нашли способ избавиться от этого ограничения. В 2010 году они опубликовали исследование, в котором метод микроскопии был успешно использован для изучения и поперечного сечения обонятельной луковицы. Их открытие позволило исследовать схемы активности как никогда ранее. Им удалось запечатлеть схемы активации широкого спектра запахов. Общий принцип построения схем таков — запахи с близкой химической структурой молекул активируют находящиеся поблизости другие гломерулы; гломерулы, реагирующие на схожие группы запахов, как правило, располагаются кластерами.

ОБРАЗЫ ЗАПАХА, РАСПОЗНАВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И ЛИЦА

Все упомянутые исследования подкрепляли и дополняли результаты, полученные с помощью 2-ДГ. Схемы активности были выявлены у нескольких видов позвоночных, в том числе рыб, саламандр, мышей, крыс, кроликов и обезьян; обнаружились они и у беспозвоночных (в части мозга, отвечающей за обонятельное восприятие), в том числе у медоносных пчел, фруктовых мушек и у табачного бражника. Все это доказывает, что гломерулы являются характерной чертой обонятельных систем у самых разных представителей фауны, а также что функция гломерул неразрывно связана со схемами активности. В совокупности результат этих исследований позволяет предположить, что запахи как минимум частично кодируются в виде пространственных схем активности, а это позволяет нам сделать первый вывод о механизме обоняния в целом: *нейронной основой кодирования запаха является дифференциальная активация обонятельных гломерул*. Мы вняли Эдгару Адриану, посоветовавшему «присмотреться к гломерулам», и не разочаровались.

Появление новых доказательств состоятельности первоначальных гипотез позволило по-новому взглянуть на нейронную подоплеку обоняния. Мы впервые могли утверждать, что, подобно тому как непространственный механизм восприятия звуковых частот проявляется в виде частотной карты в улитке внутреннего уха, так и сиюминутная модальность запаха отображается в виде схем активности, возникающих в обонятельной луковице. Это и подразумевается под «использованием нейронного пространства непространственной модальностью».

ОБРАЗЫ ЗАПАХА И ЛИЦА

В пользу гипотезы о схожести обоняния с системой зрительного восприятия говорит и то, что молекулы запаха отображаются в виде пространственных схем. Когда мы смотрим на что-то, то воспринимаем это в виде пространственной схемы — зрительного образа. Проводя аналогию между этими системами, я предлагаю следующую гипотезу: когда мы чувствуем запах, то воспринимаем его как пространственную схему активности, которую мы

также можем назвать «обонятельным образом» или же «образом запаха».

Преимуществом этой гипотезы является возможность прибегнуть к обширным наработкам прошлых и текущих исследований схем зрительного восприятия. Поскольку образы запаха проявляются в виде нерегулярных схем активности, они не очень похожи на воспринимаемые зрительно геометрически правильные очертания, присущие многим объектам, и имеют скорее неправильные очертания, свойственные растениям, животным и, в особенности, человеческим лицам.

Люди превосходно разбираются в лицах. Классический пример — если перед вами целая комната женщин преклонных лет, вы сразу заметите, если одной из них будет ваша бабушка. В то же время, если вас попросят описать лицо вашей бабушки другому человеку, вам будет очень сложно — у нас банально не хватит словарного запаса и не найдется подходящей системы координат, чтобы описать, как именно работает наше восприятие в случае распознавания лица. Тем не менее мы делаем это безошибочно. Как же это работает?

Распознавание лиц является очень серьезной темой для изучения — она важна не только для создания и программирования искусственных систем распознавания зрительных образов, но и для правоохранительных ведомств, которым нужно создавать фоторороботы по устному описанию свидетелей. Терри Ландау в своей книге «О лицах: эволюция человеческого лица» описывает процесс распознавания лиц следующим образом:

«То, что вы видите и узнаете в лице другого человека, определяется уникальной схемой, складывающейся из совокупности черт. Это и есть идентичность. Дело не в особенностях отдельных черт лица и не в расстоянии между ними. В данном случае значение имеет именно соотношение между совокупностью этих факторов [то есть в гештальте], благодаря которому мы можем распознать лицо преступника или своего друга. Лицо не получится поделить на части и проанализировать по отдельности. Когда вы смотрите на лицо, то чаще всего и вовсе не можете сказать, на что именно вы смотрите, ведь процесс вербального общения почти не пересекается с распознаванием образов. На лице закодирована идентичность, и мы воспринимаем ее целиком, без деталей. Сущность процесса распознания непросто уловить и сформулировать, но он происходит сразу

на нескольких уровнях восприятия и дает нам один из наиважнейших социальных навыков — способность узнавать друг друга плюс воспринимать личность тех, кого мы видим».



То, что вы видите и узнаете в лице другого человека, определяется уникальной схемой, складывающейся из совокупности черт. Так что дело не в особенностях отдельных черт лица и не в расстоянии между ними.

Логично предположить, что аналогичным образом происходит и распознавание схем запахов в обонятельной луковице. Мы воспринимаем схему в целом, учимся соотносить ее с соответствующим «объектом запаха» и отличаем этот объект от схем иных запахов, даже если они очень близки по структуре, но несут иной поведенческий стимул.

Продолжая развивать эту аналогию, стоит отметить, что в цитате Ландау говорится именно про распознавание однократно увиденного лица — в таких случаях мы запоминаем лицо в целом, гештальт (за исключением одной наиболее заметной черты). Совсем по-иному работает механизм узнавания давно знакомого лица: в таком случае нам достаточно на мгновение заметить часть этого лица или увидеть его при слабом освещении. Особенно хорошо узнают лица по отрывочным визуальным признакам животные. Как пример можно привести пикселизированные фотографии Авраама Линкольна и портрета Моны Лизы. Несмотря на крайне низкое разрешение, мы спокойно узнаем их лица — мы постоянно повышаем наш навык распознавания схем и можем сопоставить сохраненный в памяти образ с воспринимаемым в текущий момент изображением, даже если оно размыто. Очевидно, что адаптационный компонент зрительного восприятия чрезвычайно важен — способность распознать добычу или хищника в промелькнувшей под сенью сумеречного леса тени является вопросом жизни или смерти, как и умение узнать лицо друга или врага, скрывающегося в тени. Большинство животных ориентируется в основном по запаху, следовательно, для них не менее жизненно важной является и способность идентифицировать образы запахов так, как зрение позволяет распознавать лица.

В случае системы зрительного восприятия несложно представить себе концепцию зрительного образа, проецируемого на сет-

чатку глаза, ведь этот образ сохраняется неизменным в течение нескольких стадий обработки, которые он проходит на пути от сетчатки до высших корковых центров или высших центров коры головного мозга. Образ же запаха разительно отличается от зрительного как минимум потому, что мы не осознаем факт формирования этого образа в наших обонятельных луковицах. Можно предположить, что это обусловлено тем, что образы запаха не воспроизводят реальный мир запаха, а создают лишь *представление мозга о том, как выглядит мир запахов*. Мозг интересует лишь то, как обработать образ и сформировать основу восприятия различных запахов и объектов запаха.

Чтобы понять, как именно из образов запаха формируется основа обонятельного восприятия, нам придется вновь заглянуть в мозг и узнать, как он обрабатывает их на последующих, более высоких уровнях восприятия.

Глава 9

ПУАНТИЛИЗМ ОБРАЗОВ ЗАПАХА

Нейронную основу нашей способности воспринимать широкий спектр запахов можно сравнить с нейронной основой восприятия цвета. Лучшей аналогией в данном случае является один из стилей живописи — пуантилизм.

Для формирования в мозгу смотрящего на картину восприятия цвета можно нанести краску на холст двумя способами. Можно смешать краски и получить определенный оттенок цвета: красный и белый для розового, синий и желтый для зеленого и так далее.

Второй же вариант подразумевает размещение на холсте отдельных «точек» разного цвета, а эффект смешения достигается на расстоянии, превращаясь в восприятии зрителя в новые, смешанные цвета. Это и есть метод пуантилизма. Его придумал и усовершенствовал художник-постимпрессионист Жорж-Пьер Сёра, который в свою очередь вдохновлялся трудами и ориентировался на теоретиков зрительного восприятия, ключевым из которых был Герман Гельмгольц. Другой известный художник-пуантилист — Поль Синьяк.

К примеру, картина Сёра «Воскресный день на острове Гран-Жатт» состоит из тысяч маленьких точек, складывающихся в несколько дюжин человеческих фигур на набережной реки Сены в пригороде Парижа в солнечный воскресный день. Чем ближе вы подходите, тем отчетливее различаете отдельные цветные точки, а вот фигуры, которые из них складываются, становятся всё менее различимыми; с каждым шагом, отдаляющим вас от картины, вам становится всё проще воспринимать изображенное. Описываемое произведение находится в коллекции Чикагского института искусств. (Вы можете удостовериться в особом эффекте картин в

стиле пуантилизма, просто открыв цветную репродукцию картины на экране своего устройства.)

При публикации в газетах и журналах фотографий и иных графических изображений используются такие же точки, как на картинах пуантилистов, — картинки состоят из градации серых или цветных точек. В изобразительном искусстве хорошим примером пуантилизма, доведенного до абсурдности, являются работы Энди Уорхола — в его картинах, изображающих персонажей мультфильмов и голливудских знаменитостей, крупные точки являются центральным элементом художественной композиции.



То, что мы называем цветом, на самом деле является восприятием электромагнитных волн разной длины, которые в разной мере стимулируют наши фоторецепторы; непосредственно «цвет» является продуктом работы мозга.

Несколько лет тому назад мы с Терри Акри из Корнеллского университета одновременно пришли к одному и тому же выводу — примеры механизмов зрительного восприятия могут поспособствовать пониманию механизмов обонятельного восприятия. Точки цветной краски, отражающие световые волны разной длины, аналогичны элементам обонятельной луковицы под названием гломерулы, каждая из которых активируется разными запахами преференциально и дифференциально. Схемы цветовых точек картины «На острове Гран-Жатт» соответствуют схемам активных гломерул (см. рис. 8.1). Для получения сложного эффекта смешения красок и полноценного восприятия картины эти цветовые схемы нужно рассматривать с некоторого расстояния. Аналогично может работать и распознавание закодированного в схеме активности запаха — необходимо некое «расстояние», способ считывания, который позволил бы добиться «смешения запахов» на основе эффектов соседствующих рядом элементов гломерулярного слоя. Иллюзия объединения цветных точек по мере отдаления вполне применима и к схемам, показанным на рис. 8.1.

Нейронные цепи системы обонятельного восприятия в головном мозге предназначены именно для многоступенчатого процесса переработки схем в единый образ. Последовательность этих этапов вы видели на рис. 7.1. Постепенно мы рассмотрим все этапы преобразования пуантилистских схем запаха и узнаем, как наш разум формирует обонятельное восприятие окружающего нас мира.

Сравнение обоняния с восприятием цвета позволило выявить еще одно интересное сходство. То, что мы называем цветом, на самом деле — восприятие электромагнитных *волн* разной длины, которые в разной мере стимулируют наши фоторецепторы; непосредственно «цвет» является продуктом работы мозга. Схожая ситуация наблюдается и в обонянии — в молекулах, стимулирующих обонятельные рецепторы, «запаха» как такового просто нет. «Запах» формируется мозгом на основе отличительных характеристик молекул запаха. Механизмы преобразования служат фундаментом обоняния и восприятия вкусовых ощущений; потому этот процесс и вынесен в подзаголовок книги. По мере того как мы будем углубляться в хитросплетения системы восприятия запаха, мы минуем сферу стимулов и окажемся в нейронных цепях, обрабатывающих информацию, а затем достигнем мозга, где формируется наш субъективный мир. Сейчас же нам пора приступить к рассмотрению упомянутых нейронных цепочек обработки данных.

СРАВНЕНИЕ ЦВЕТА И ЗАПАХА

Как уже упоминалось, в длине световых волн и фотонах цвета нет. Цвет — это сенсорное качество, создаваемое нашим мозгом. Всякий раз, когда мы смотрим на цветок, его красочность напоминает нам о том, насколько блеклым и тоскливым был бы окружающий мир, если разные длины волн света воспринимались бы исключительно как оттенки серого спектра; ярко-красный цветок красного цвета лишь потому, что нейронные цепи нашего мозга выбрали отражаемую им длину световой волны для восприятия в этом цвете.

По аналогии мы можем предположить, что мир запахов также казался бы нам отрывками недооформленных ощущений, не будь в нашей обонятельной системе цепочек обработки, присваивающих определенным видам активности рецепторов качества, позволяющие нам отличать один вид стимула от другого. Способность создавать это сенсорное качество, которое философы называют *квалией*[1], на основе определенного запаха зарождается в удивительных структурах под названием *гломерулы*.

---

[1] Qualia (*лат.*).

ОБРАБОТКА ПУАНТИЛИСТСКОГО ОБРАЗА

Информация от всех сенсорных систем, попав в мозг, проходит несколько последовательных стадий обработки для выявления наиболее важных элементов, необходимых для восприятия и распознания раздражителей. Аналогичным образом работает и система обоняния — поступающая информация в форме «образа запаха» проходит несколько стадий обработки. Для большей наглядности последовательность процессов можно сравнить, к примеру, с системой визуального восприятия (см. рис. 7.1).

Первая стадия преобразования стимула происходит в обонятельной луковице, в том слое, где формируется сам образ запаха. Затем запах усиливается мощной системой процессов латеральной ингибиции. Из обонятельной луковицы усиленный запах отправляется в обонятельную кору головного мозга, где кортикальные модули преобразовывают образ запаха в формат, подходящий для ассоциативной памяти. На финальной стадии обработки этот запечатленный в памяти образ передается на самый верх больших полушарий, в высшие мыслительные центры новой коры (которую также называют неокортексом), где сложная система кортикальных модулей создает на основе образа ассоциативной памяти сознательное восприятие обонятельного стимула.

Если кратко, то схема преобразования пуантилистского образа запаха выглядит следующим образом: локальная обработка, глобальное форматирование, усиление эмоциональной коннотацией, сознательное восприятие.

Каждый из этих этапов осуществляется отдельной микросистемой, которые мы рассмотрим в последующих главах.

ГЛОМЕРУЛЫ: УНИВЕРСАЛЬНЫЕ УЛОВИТЕЛИ ЗАПАХА

Продолжая проводить параллели между системой обоняния и картиной пуантилиста, можно сказать, что каждая точка является отдельной гломерулой обонятельной системы. Маленькие гломерулы поистине удивительны, ведь именно они представляют собой наиболее разноплановую многоклеточную структуру нашего мозга. Неудивительно, что Эдгар Адриан посоветовал мне «присмотреться к гломерулам», кои в те годы считались не более чем рядовой простейшей структурой этой сенсорной системы; в наши дни их струк-

тура и функции являются объектом тщательного изучения многих специалистов по молекулярной биологии.

По сути, гломерулы являются тесным скоплением связей, откуда сигналы из носа передаются в мозг (см. рис. 7.1). Здесь заканчиваются нервные волокна (аксоны), идущие от рецепторных клеток носа; они состыковываются с короткими ответвлениями (дендритами) нервных клеток обонятельной луковицы. Каждая гломерула связана даже не с сотнями, а многими тысячами нервных клеток обонятельной луковицы. К примеру, у кролика имеется порядка 50 миллионов клеток обонятельных рецепторов и всего 2000 гломерул. Получается, что на одну гломерулу в среднем приходится порядка 25 000 клеток; мы называем это *коэффициентом сужения*, и в данном случае он получается 25 000:1. Такого высокого коэффициента связи одного типа клетки с одним видом целевой структуры в мозге больше нет.



У кролика имеется порядка 50 миллионов клеток обонятельных рецепторов.

В своих работах молекулярные биологи Линда Бак, Ричард Аксель, Питер Момбаертс и их коллеги продемонстрировали, что все нервные волокна, сходящиеся в одной гломеруле, связаны лишь с одним типом обонятельного рецептора — жгутиком обонятельной мембраны носа. Получается, что все эти волокна передают одинаковую информацию; это делает и без того высокий коэффициент сужения еще более впечатляющим.

Представьте, что с вами одновременно разговаривают 25 000 людей. Как такое вообще возможно? Никак, даже если предположить, что речь идет о самой большой коктейльной вечеринке в мире, где каждый говорит что-то свое или одно и то же, но в разное время; ученые назвали бы это *шумом*. С другой стороны, если бы все присутствующие в унисон кричали бы «С днем рождения!» или пели хором, то вы бы отчетливо услышали их слова. Технически это можно назвать «сигналом». Согласно теории сигналов, сведение входящих импульсов повышает «отношение сигнал/шум» (ОСШ), существенно увеличивая четкость сигнала.

Мы принимаем за аксиому, что *усиление отношения сигнала к шуму* является ключевым аспектом функции гломерул. В ортоназальном обонянии это способствует выявлению и различению определенных сигналов в окружающей среде, которые могут иметь

критическое значение для выживания, таких как запах уязвимой добычи или засевшего в засаде хищника. По аналогии, в ретроназальном обонянии усиление отношения сигнала к шуму, скорее всего, используется для выявления и различения изменчивых составляющих, высвобождающихся из пищи в полости рта. Эти компоненты могут быть не менее важными для выживания, чем способность унюхать хищника; они позволят понять, созрел ли поедаемый фрукт, гниет ли мясо или рыба, или они все-таки свежие. Способность к восприятию таких нюансов могла иметь критическое значение при исследовании новых источников пищи, например при великих миграциях, неоднократно происходивших за время эволюции человека. Сегодня же мы используем этот вид восприимчивости, чтобы получать удовольствие от вкуса поглощаемых блюд и отличать одно вино от другого.

Вопрос остается открытым: зачем почти всем видам животных, в том числе людям, этот модуль обонятельной системы?

Обонятельная среда состоит из тысяч различных одорированных молекул и источников запаха, из числа которых нам приходится неустанно вычленять отдельные одоранты, способные выступать в роли поведенческого стимула. Среда состоит из асинхронного шумового фона, из которого животному надо изолировать нужный сигнал. В отличие от зрительной системы, воспринимающей чрезвычайно изменчивую визуальную среду, обонятельной системе не приходится тратить ценный ресурс нервных тканей на отслеживание положения источника в пространстве. Обонятельная система может создавать стационарные модули распознавания и просто ждать, пока их достигнут подходящие раздражители. Несколько перефразируем теорию, популяризированную оксфордским философом Исайей Берлином, — зрение словно лис, который знает много секретов, а обоняние как еж, ведь каждая гломерула знает один, но самый важный секрет.

Получается, что гломерула на порядок эффективнее систем распознавания иных органов чувств. Подобно тому как точки краски на картине пуантилиста отражают определенную длину световых волн и в результате воспринимаются ярче заранее смешанных на палитре цветов, то вполне возможно, что и *«точечные» характеристики молекул запаха кажутся* более яркими (и отчетливыми) в общей картине запахов за счет того, что воспринимаются отдельными гломерулами. Заметьте, как гармонично эта аналогия вписывается в рассмотренный в прошлой главе механизм пикселизации визуальных

образов. Может статься, что именно эта особенность сделала гломерулы универсальными модулями обработки обонятельных сигналов для большинства живых существ, от человека до насекомых.

СЛОЖНО ЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЬ ЗАПАХ В ОБРАЗ?

В рамках нашей аналогии обоняния и зрения подразумевается, что «разрешение» образа запаха должно зависеть от ряда факторов. Во-первых, разрешение зависит от количества рецепторов; предположительно, чем их больше, тем оно выше. В пользу этого можно привести то, что у собаки рецепторов около 100 миллионов, в то время как у грызунов и людей их примерно в 10 раз меньше. Во-вторых, важно разнообразие типов рецепторов. Лидерами в этот раз становятся грызуны, имеющие свыше 1000 типов обонятельных рецепторов; у собак их около 800, а у людей всего порядка 350. Третьим же фактором является количество гломерул. У собаки гломерул несколько тысяч, но недавнее исследование моего коллеги Чарльза Грира показало, что у человека их больше, а именно — порядка 6000. Получается, что чем больше у нас рецепторных клеток, типов рецепторов и гломерул, тем выше разрешение воспринимаемых образов запаха. Тем не менее в данном случае решающим фактором становится высокий уровень организации аналитических центров человеческого мозга, обрабатывающих образы запаха. Их-то мы и рассмотрим далее.

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТДЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

У человека есть несколько тысяч модулей, каждый из которых реагирует независимо от других. Они выступают в роли «меченых линий». Вместе с тем аксиома теории сигналов также подразумевает, что ресивер — то есть мозг — не понимает содержащуюся в этих меченых линиях информацию, покуда ему не с чем их сравнивать. Следовательно, должны существовать и некие механизмы, позволяющие сравнивать и выявлять корреляцию между активностью разных линий; а именно — механизмы латерального взаимодействия между гломерулярными модулями. Эти взаимодействия возможны благодаря вставочным нейронам, соединяющим соседние гломерулы; они называются *перигломерулярными клетками* (см. рис. 7.1).

В ходе физиологических исследований было установлено, что перигломерулярные клетки реагируют на поступающую информацию о запахе одиночными импульсами, или всплесками импульсной активности. Одним из выявленных физиологических эффектов является ингибиция дендритов митральных и пучковых клеток, исходящих из близлежащих гломерул. Предположительно, благодаря этому более активные гломерулы способны подавлять активность своих менее активных соседей, так же как это происходит в процессе латеральной ингибиции. Такие взаимодействия повышают отношение сигнал/шум и четкость восприятия образа запаха.

Еще одним видом межгломерулярных взаимодействий является возбуждение. Оно может происходить как благодаря непосредственному вовлечению возбуждающих синапсов, которые есть у подвида (перигломерулярных клеток с возбуждающими нейромедиаторами), так и за счет особого типа ингибиции. Такая ингибиция происходит благодаря воздействию возбуждающего аксона перигломерулярной клетки на находящуюся на расстоянии клетку-ингибитор, что вызывает удаленную, но локальную ингибицию митральных и пучковых клеток целевой гломерулы.

В ходе исследования, проведенного в 2003 году Майклом Шипли и его коллегами из Мэрилендского университета, были получены доказательства существования этого механизма взаимодействия. Целью некоторых перигломерулярных клеток становятся достаточно отдаленные гломерулы — в процессе экстракции схемы активации, отражающей образ запаха, происходят сложные взаимодействия по координации сразу нескольких гломерул. Том Клеланд со своими коллегами из Корнеллского университета предположил, что конечной целью этих взаимодействий может быть нормализация возбудимости гломерулярного слоя, благодаря которой он будет сохранять функциональность вне зависимости от интенсивности обонятельной стимуляции.

Пока что мы едва затронули тему подвидов перигломерулярных клеток и различных межгломерулярных взаимодействий. Сейчас самое время упомянуть, что одной из функций этих латеральных механизмов является начальная стадия экстракции пространственных схем для более эффективной дальнейшей обработки в микросистемах следующего порядка, связанных с одним из наиболее загадочных видов мозговых клеток — гранулярных клеток обонятельной луковицы.

Глава 10

УСИЛЕНИЕ ОБРАЗА

Обонятельная луковица отвечает сразу за два этапа обработки запаха. Первый из них, рассмотренный в главе 9, происходит на уровне гломерулярного слоя — там образуется схема, обозначающая молекулы запаха, и идут процессы оптимизации отношения сигнал/шум и латеральные взаимодействия, являющиеся начальной стадией обработки образа запаха. Затем образ передается на следующий структурный уровень обонятельной луковицы, и начинается второй этап обработки. Уровни связаны между собой крупными митральными клетками и их более компактными клетками-компаньонами — пучковыми клетками (см. рис. 7.1). Дендриты этих клеток, расположенные в гломерулярном слое, вбирают в себя обработанный сигнал и передают его на следующий уровень по апикальному дендриту, а впоследствии отправляют его в обонятельную кору по своему длинному аксону. Прежде чем они смогут передать сигнал за пределы обонятельной луковицы, ему предстоит пройти вторую стадию обработки. Это необходимо потому, что вставочные нейроны гломерулярного слоя имеют ограниченный охват — они могут воздействовать на образ запаха исключительно через те гломерулы, к которым восходит их аксон.

Вторая стадия обработки состоит из минимум двух взаимодействий. Во-первых, необходимо скоординировать все гломерулярные модули. Это происходит благодаря так называемым вторичным дендритам митральных и пучковых клеток; они раскидываются на немалое расстояние, ветвятся и дотягиваются до многих близлежащих гломерулярных модулей. Напрямую между собой этот вид дендритов не взаимодействует; посредничество осуществляется особым видом промежуточных[1] нейронов — гранулярными

---

[1] Промежуточный (вставочный) нейрон — нейрон, контактирующий только с другими нейронами и не контактирующий с мышцами, органами и др.

клетками (см. рис. 7.1). Именно гранулярные клетки обеспечивают второй тип взаимодействий — латеральную ингибицию между скоординированными гломерулярными модулями. На каждую митральную клетку приходится порядка ста гранулярных, что обеспечивает действительно мощную ингибицию. Следовательно, гранулярные клетки являются ключом к скоординированной ингибиторной обработке, ведь именно благодаря им образ запаха преобразовывается в формат, подходящий для передачи в обонятельную кору для следующей стадии обработки. Как же происходит эта смена формата?

В ПОИСКАХ РАЗГАДКИ ТАЙНЫ ГРАНУЛЯРНЫХ КЛЕТОК

Я впервые столкнулся с гранулярными клетками в Оксфорде, когда проходил аспирантуру под руководством Чарльза Филлипса и изучал физиологические реакции клеток обонятельной луковицы. Наиболее значимым из моих открытий в ходе того исследования стало то, что митральные клетки связаны крайне прочными и долгоиграющими процессами латеральной ингибиции; эту закономерность одновременно с нами выявили исследователи в двух других лабораториях.

Вот только была одна проблема — на уровне дендритов митральных клеток обонятельной луковицы не было ингибиторных клеток; там имелись лишь любопытные мелкие гранулярные клетки с колючими на вид, покрытыми шипиками дендритами без аксонов. Клетки, не имеющие аксонов, вообще сложно отнести к категории нервных, и еще сложнее предположить, что именно они могут выполнять функции промежуточных нейронов при митральных клетках. Несмотря на крайне сомнительные характеристики, гранулярные клетки расположились именно там, где мы надеялись обнаружить промежуточные нейроны; мы пришли к выводу, что они, возможно, активируются ответвлениями (коллатералями) аксона митральных клеток и ингибируются центральным, апикальным дендритом, затесавшимся в хитросплетение дендритов базальных.

После защиты кандидатской я приступил к следующему этапу обучения, уже под руководством Вилфрида Рэлла в Национальном институте здравоохранения США (НИЗ) в городе Бетесда, штат

Мэриленд. В те годы Рэлл только начинал свою первопроходческую деятельность в сфере нейроинформатики — он создавал первые компьютерные модели нервных клеток и с их помощью выявлял загадочные свойства дендритных ответвлений. Ему пришлось настаивать на своем вопреки давлению оппонентов, полагавших, что дендриты не участвуют в обработке информации и роль их сводится преимущественно к обеспечению клеток питательными веществами. Мы решили, что митральные и гранулярные клетки обонятельной луковицы могут стать прекрасным подспорьем в обосновании важной роли дендритов в информационных процессах, и тогда я выдвинул гипотезу об их участии в процессе преобразования и обработки запахов.

Мы решили создать цифровые модели митральной и гранулярной клетки и воспроизвести с их помощью результаты моего прошлого исследования. К сожалению, компьютерное моделирование не дало нам новых сведений о том, как взаимодействуют эти виды клеток. К тому моменту у меня оставалось лишь несколько месяцев до перевода в следующую лабораторию. Мы понимали, каким образом гранулярные клетки обеспечивают ингибицию митральных, но вопрос оставался открытым — что же запускало процесс латеральной ингибиции? Чем больше мы работали над этой проблемой, тем отчетливее понимали, что возбуждение дендритов гранулярных клеток начинается в том же тонком слое, где затем наблюдается ингибиция дендритов митральных клеток. Что же могло инициировать этот процесс?

АГА!-МОМЕНТ И НОВЫЕ ОТКРОВЕНИЯ

Когда мы в очередной раз обсуждали проблему нашего исследования, нам пришла в голову одна крайне интересная мысль: а что, если возбуждение дендритов гранулярных клеток вызывается теми же дендритами митральных клеток, которые им предстоит ингибировать? Идея казалась безумной, но к тому моменту иные идеи иссякли окончательно. Из классических пособий по анатомии я знал, что подобная взаимосвязь между дендритами беспрецедентна, и мы с Рэллом прекрасно понимали, что в литературе по физиологии такое функциональное взаимодействие тоже не упоминается. В тот же день, 26 августа 1964 года, Рэлл внес нашу гипотезу в свой зеленый лабораторный журнал. Он написал, что, вероятно, между

митральными и гранулярными клетками происходят «дендро-дендритные взаимодействия», которые и приводят как к аутоингибиции, так и к латеральной ингибиции митральных клеток. Мы также предположили, что механизм этого взаимодействия аналогичен латеральной ингибиции в сетчатке глаза. Мне вскоре предстояло покинуть Бетесду и продолжить свои научные изыскания в другой лаборатории, в Швеции; но сколько-то времени у нас в запасе еще оставалось.

Проверить нашу гипотезу можно было только с помощью электронного микроскопа, который позволил бы нам увидеть и доказать существование таких синаптических связей. Помог случай — в соседнем здании лабораторного комплекса НИЗ работали Том Риз и Милтон Брайтман. Я подтолкнул их к поиску синапсов между митральными и гранулярными клетками, и вскоре те были обнаружены. Когда Рэллу показали необычное размещение этих синапсов — они располагались бок о бок и имели противоположную направленность, — его постигло еще одно откровение. Он тут же сообщил Ризу и Брайтману, что именно такие синапсы и должны обеспечивать взаимодействия согласно нашей с ним гипотезе. Я считаю это прекрасным примером того, как быстро подготовленный разум ориентируется при получении неожиданных данных.

Следующее «ага!» кричал уже я, когда получил в Стокгольме письмо с новостью об их открытии. К тому моменту два других исследования уже показали наличие в обонятельной луковице некоей «нетипичной конфигурации», но без физиологического обоснования и моделирования вычислить функции этого синаптического соотношения не представлялось возможным, ведь противоположная направленность синапсов казалась абсурдной.

ПРИЗНАНИЕ НОВОГО МЕХАНИЗМА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Пребывая в радостном возбуждении, мы вчетвером составили отчет о результатах нашего исследования и отправили его в ведущий журнал *Science*. Полученная нами рецензия гласила: «В публикации отказано: не представляет общенаучного интереса». Мы могли бы потребовать пересмотра решения, но это шло вразрез

с тактичным характером Вила. Он просто нашел другой научный журнал, где нашу статью приняли.

За первой публикацией последовала и вторая, в которой мы подробно описали создание цифровой модели клеточного взаимодействия. Моделирование позволяло подчеркнуть фиксированную последовательность аутоингибиционных взаимодействий — они неизменно начинаются с возбуждения гранулярной клетки и заканчиваются ингибицией в результате обратной связи. В отличие от латеральной ингибиции, в которую вовлечены только синапсы гранулярно-митрального направления, а информация передается ближайшей митральной клетке, в случае аутоингибиции сопротивление отсутствует. Открытый нами тип нейронной цепи позволял осуществлять как аутоингибицию, так и латеральную ингибицию в меньших масштабах, чем в классической конфигурации. Мы также подчеркнули, что латеральная ингибиция, скорее всего, играет важную роль в создании пространственных схем в обонятельной луковице, а также способствует колебательной активности гранулярных и митральных клеточных масс. Следовательно, в основе как пространственных, так и временных аспектов обработки образов запаха лежат одни и те же механизмы.

В одной из последующий статей, опубликованных в журнале *Scientific American*, я назвал эту группу взаимодействий «*микроцепями*», по аналогии с микроцепями и микросхемами компьютерных плат. Этот термин пришелся по душе научному сообществу и впоследствии стал использоваться для описания строения нервной системы, а именно специфических и повторяющихся схем соединения и взаимодействий, наиболее показательными примерами которых по сей день считаются те самые взаимодействия, которые мы обнаружили в обонятельной луковице.

КООРДИНАЦИЯ МЕЖДУ ГЛОМЕРУЛЯРНЫМИ МОДУЛЯМИ

Каким же образом происходит координация отдаленных друг от друга гломерулярных модулей? Мы уже рассмотрели локальные механизмы, благодаря которым перигломерулярные клетки координируют гломерулы в рамках одного модуля. Теперь же нам предстоит узнать, как те же механизмы работают на дру-

гом уровне, уже с помощью гранулярных клеток и латеральной ингибиции.

Разумеется, здесь тоже имеется своя проблема: образ запаха раскидывается на значительную часть гломерулярного слоя, даже если обоняние стимулируют всего одной одорированной молекулой (см. главу 8). Любой образ запаха задействует множество митральных и пучковых клеток, находящихся на изрядном отдалении друг от друга; для усиления образа запаха посредством латеральной ингибиции активность этих клеток должна быть скоординированной. Так каким же образом обеспечивается эффективная латеральная ингибиция на малых и больших расстояниях?

Ответ на этот вопрос обнаружился благодаря новому методу исследования, в основе которого лежал вирус бешенства. Ученые и медики уже знали, что вирус бешенства проникает в нервные клетки, распространяется по их ветвям и убивает их; а еще он перекидывается на сопряженные клетки, чтобы затем уничтожить и их. Специалисты по молекулярной биологии воспользовались этой особенностью вируса и превратили его в инструмент для исследования связей между нервными клетками: на основе изначального вируса бешенства они создали вирус «псевдобешенства», со значительно пониженной летальностью. Отметив его флуоресцентным маркером, они получили возможность отслеживать распространение вируса как в клетке, так и между клетками.

Дэйвид Уилхайт, докторант при нашей лаборатории, с помощью этого метода проследил связь митральных и гранулярных клеток. Это стало наглядной демонстрацией того, что одна зараженная митральная клетка связана с близлежащим кластером гранулярных клеток, а также с митральными, пучковыми и перигломерулярными клетками, связанными с одной гломерулой. Для обработки гломерулярного сигнала образуется клеточная колонка; подобные структуры имеются и в некоторых участках коры головного мозга. Мы назвали это клеточное образование «*гломерулярной единицей*». Уилхайт обнаружил, что отдельная митральная клетка связана со многими гломерулярными модулями, расположенными в разных частях гломерулярной клетки. По всей видимости, именно эта особенность может лежать в основе гипотетической скоординированности латеральной ингибиции.

Так чем же обусловлена способность одной митральной клетки воздействовать посредством латеральной ингибиции на ми-

тральные клетки других гломерулярных единиц, находящихся от нее на разном расстоянии? Разгадку этой головоломки нашли двое наших коллег, Венхуй Сьон и Вей Чен. Они продемонстрировали, что импульс из тела митральной клетки проходит не только вверх по аксону и дальше, в обонятельную кору, но и в обратном направлении, достигая самых кончиков латеральных дендритов. Получалось, что дендриты, подобно аксонам, умеют передавать клеточный импульс на значительные расстояния, а значит, могут как активировать гранулярные клетки, так и запускать латеральную ингибицию в различных частях обонятельной луковицы.

Другой наш коллега Мишель Миглиори составил цифровую модель импульса, активирующего *гранулярные клетки* различных гломерулярных единиц, находящихся на разном расстоянии от клетки-источника, и доказал, что расстояние *не препятствует сильной латеральной ингибиции*, необходимой для обработки распределенных по обонятельной луковице образов запаха. Его открытие стало первым серьезным дополнением к нашей изначальной модели обонятельного восприятия за 40 лет. Как и в прошлый раз, первая попытка опубликовать исследование закончилась уже знакомой отпиской «не представляет общенаучного интереса» и отказом; как и в прошлый раз, статью опубликовали в другом журнале.

Эти механизмы ингибиции не только усиливают пространственные образы, но и синхронизируют активность митральных клеток, блокируя их обратную связь, как и предполагалось при составлении изначальной модели (в которой уже подразумевалось, что схема запаха существует как в пространстве, так и во времени). Многие нюансы новой гипотезы еще нуждаются в экспериментальном подкреплении, но даже в текущем состоянии с ней можно работать; она развивает изначальную модель и может задавать направление будущим исследованиям и экспериментам.

Внимательный читатель наверняка заметил, что новая модель возникла благодаря скоординированным усилиям нескольких исследовательских коллективов. Это наглядно демонстрирует некоторые особенности проведения фундаментальных исследований: они нуждаются в стабильном финансировании на протяжении достаточно длительного периода, а количество исследователей, работающих над разными аспектами одной проблемы, должно достигнуть некоей критической массы. Не меньший вес имеет и возможность сочетать метод компьютерного моделирования с экспери-

ментальным подходом к исследуемой проблеме. Именно благодаря соблюдению этих условий мы смогли обнаружить дендро-дендритные синапсы и механизмы их взаимодействия; они же позволили нам продвинуться на шаг дальше и понять, как именно дендриты обеспечивают скоординированную активацию клеток в разрозненных гломерулярных единицах.

МОДУЛИРОВАНИЕ НАШИХ АППЕТИТОВ

Гранулярные клетки не только участвуют в этом важном этапе обработки поступающей сенсорной информации, но и являются ключевым элементом модуляции (изменения) поведенческого статуса животного. Под *поведенческим статусом* понимается текущее состояние животного — спит оно или бодрствует, голодное или же насытилось. Разумеется, обонятельная луковица играет важную роль в механизмах голода и насыщения: если мы голодны, то запах пищи (как обычные запахи, так и вкусовые ощущения) заметно стимулирует наш аппетит; когда мы наелись до отвала, то запах уже не кажется нам настолько привлекательным, а может и вовсе стать несколько отталкивающим. Очевидно, что модуляция имеет критическое значение для системы восприятия вкусовых ощущений нашим мозгом. То, как мы воспринимаем запахи, напрямую зависит от того, голодны мы или сыты, и первые различия возникают именно в обонятельной луковице.



Обоняние играет важную роль в механизме голод/насыщение. Если мы голодны, запах пищи (и вкусовые ощущения) кажутся нам заманчивыми и стимулируют аппетит; из-за сытости запах уже не кажется настолько привлекательным.

Впервые этот процесс был продемонстрирован в 1987 году французским специалистом Жанной Пагер — она записала показатели активности митральных клеток крыс и обнаружила, что клетки голодных крыс показали сильную реакцию, а клетки сытых, напротив, слабую. Вероятно, в данном случае клетки отражают активность центральных зон головного мозга, находящихся под влиянием пищевых сигналов, таких как уровень глюкозы в крови и стимуляции тактильных рецепторов кишечника. Эти же центральные

зоны передают гранулярным клеткам множество сигналов (наиболее тесно они взаимодействуют с зоной ствола головного мозга, известной как *голубое пятно*[1], и *диагональной полосой* (или *извилиной*) в переднем мозге). На рис. 7.1 отмечены эти «центробежные» волокна, расходящиеся из ствола мозга и ядра горизонтального лимба диагональной линии Брока (ЯГЛДБ), расположенного в переднем мозге. Гипотетически активность этих нервных волокон ограничивает поток сенсорной информации о запахах в тех случаях, когда того требует пищевой статус животного. При помощи гранулярных клеток и гломерул эти зоны неустанно модулируют схемы ретроназального восприятия запаха; именно благодаря им мы постепенно насыщаемся по мере того, как едим свой ужин.

Аналогичные механизмы модуляции есть и на всех последующих, более глубоких уровнях восприятия нашего мозга. Пожалуй, именно обоняние является наиболее тонко модулируемым из всех наших чувств восприятия. Судя по всему, это связано с зависимостью нашего восприятия пищевых ароматов от текущего поведенческого статуса: мы можем быть голодными или сытыми, разозленными или расстроенными; можем страстно хотеть чего-то или испытывать отвращение, можем с подозрением относиться к незнакомой пище («*неофобия*») или, напротив, стремиться распробовать что-то новенькое («*неофилия*»). В любом случае, наш поведенческий статус видоизменяет то, как мы воспринимаем запах. В следующей главе мы поподробнее рассмотрим как аппетит модулирует центральные зоны мозга, сопряженные с восприятием вкусовых ощущений.

---

[1] Locus ceruleus (*лат.*).

Глава 11

СОЗДАНИЕ, ИЗУЧЕНИЕ И ЗАПОМИНАНИЕ ЗАПАХОВ

У всех млекопитающих волокна, исходящие из обонятельной луковицы, собираются в единый пучок, называемый *латеральным обонятельным трактом*. У большинства животных этот тракт достаточно короткий, в то время как у человека он очень длинный, около дюйма в длину (до 30 мм) — такая протяженность объясняется существенным расстоянием от обонятельных луковиц, расположенных в передней части мозга над полостью носа, до обонятельной коры, находящейся в нижней части мозга. Длина латерального тракта наглядно демонстрирует, как неокортекс[1] увеличивался в процессе эволюции млекопитающих в целом и приматов в частности. Все ощущения, получаемые нами в процессе восприятия запаха, завязаны на этом отрезке обонятельных нервов.



Человек может буквально менять свои ощущения от одного и того же стимула, меняя свое отношение к нему.

При рассмотрении высших когнитивных функций коры головного мозга обонятельной коре редко уделяется должное внимание. Для чего вообще нужна обонятельная кора? Почему уже скоординированный, многомерный образ запаха из обонятельной

---

[1] Неокортекс — «новые» области коры головного мозга, которые у низших млекопитающих только намечены, а у человека составляют основную часть коры головного мозга.

луковицы нельзя просто передать на высший уровень мозговой деятельности — в неокортекс — и использовать как основу дальнейшего восприятия?

Современные исследования показали, что обонятельная кора обладает поистине выдающимися качествами и является крайне важным компонентом человеческой системы восприятия вкусовых ощущений. Она самый важный, промежуточный этап между последовательным выделением черт обонятельных стимулов и поэтапным созданием воспринимаемых качеств запахов. Именно здесь сходятся внешние качества окружающего нас мира и внутренние качества мира нашего восприятия.



Вкус и запах связаны неразрывно, и обонятельная кора головного мозга, по сути, создает для нас вкусовые образы.

Если вы чувствуете запахи, то происходит это именно благодаря работе обонятельной коры; она же создает для нас вкусовые ощущения. Понимание функций обонятельной коры является крайне важным аспектом нейрогастрономии в целом.

Из образа запаха, созданного обонятельной луковицей на основе ароматического стимула, обонятельная кора формирует основу целостного восприятия запаха, которую мы называем *объектом запаха*. Как же это происходит?

ЗНАКОМСТВО С ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ДИРЕКТОРОМ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Чтобы ответить на этот вопрос, нам понадобится заглянуть в обонятельную кору и проследить за тем, что происходит в ней с образом запаха. Такие эксперименты не получится провести на человеке или обезьяне, так что в данном случае изучать мы будем лабораторных мышей и крыс.

Основным типом нервных клеток в обонятельной коре являются *пирамидальные клетки*. На рис. 7.1 видно, что по форме они напоминают пирамидку, от которой к поверхности ведет крупный апикальный дендрит, а от оснований расходятся более мелкие базальные дендриты. Такая структура дендритов наверняка дает некие преимущества, ведь именно из пирамидальных клеток состо-

ит большая часть коры головного мозга. Можно назвать их своего рода исполнительным директором коры мозга, и этот тип клеток заслуживает самого пристального рассмотрения. От их работы зависят нормальные мыслительные процессы, и они же страдают от дегенеративных изменений при болезни Альцгеймера. По сути, ваш разум работает именно на пирамидальных клетках.

Пирамидальные клетки в роли генерального директора коры головного мозга могут выполнять одно из двух действий, сопряженных с передачей сигналов по ответвлениям своих аксонов. В первом случае пирамидальная клетка посылает сигнал, активирующий промежуточные нейроны. В обонятельной луковице, да и в большинстве иных частей мозга промежуточные нейроны дают возбужденной пирамидальной клетке ингибирующую обратную связь, контролируя таким образом ее активность, и передают сигнал соседним пирамидальным клеткам для усиления контраста сигнала. В этом аспекте пирамидальные клетки работают примерно так же, как уже рассмотренные ранее митральные.

Вместе с тем есть и существенное отличие, от которого зависит большинство процессов в коре мозга. Здесь обратную связь дают и коллатерали аксонов: они передают импульс как обратно на возбужденную пирамидальную клетку, так и на ее соседей. Механизм возвратного возбуждения через коллатерали в обонятельной коре был обнаружен при регистрации физиологических данных Льюисом Хаберли, когда он проходил аспирантуру при моей Йельской лаборатории в 1973 году. В то же время независимо от нас этот механизм при помощи анатомических методов исследования обнаружил и Джозеф Прайс, работавший в лаборатории Вашингтонского университета в Сент-Луисе.

Возвратное возбуждение, направленное на уже активную клетку, может показаться верным способом вызвать неконтролируемое возбуждение, но на самом деле оно является фундаментальным элементом работы не только обонятельной, но и прочих частей коры головного мозга. При обычных условиях это возвратное возбуждение уравновешивается благодаря ингибиции со стороны промежуточных нейронов. Мы предположили, что сочетание возвратной и ответной ингибиции можно назвать «базовым путем» функционирования всех отделов коры головного мозга и что путь этот модифицируется под нужды того отдела коры, в котором он происходит. Базовый путь похож на «канонический»

способ активации коры головного мозга, предложенный Родни Дугласом и Кеваном Мартином, учеными из Оксфордского университета.

ОБОНЯТЕЛЬНАЯ КОРА И ФОРМИРОВАНИЕ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТИ

Волокна латерального обонятельного тракта проходят по поверхности обонятельной коры, а их многочисленные ответвления уходят на уровень глубже и там через синапсы передают свою активность самым отдаленным от клетки ответвлениям апикальных дендритов пирамидальных клеток (см. рис. 7.1). Следовательно, путь поступления информации в обонятельную кору существенно отличается от того, как она поступает в обонятельную луковицу, где рецепторные клетки обладают одинаковой чувствительностью (одинаковым физиологическим «обонятельным спектром») и передают сигнал одному гломерулярному модулю. Митральные клетки посылают в кору сигнал, прошедший через гломерулярный модуль, и распределяют его по пирамидальным клеткам обонятельной коры. Благодаря этому мозаичный образ из обонятельной луковицы преобразовывается в рассредоточенный образ запаха.

Какова же природа этого рассредоточенного образа? На этот вопрос постарался ответить Хаберли. Защитив диссертацию, он поступил в докторантуру в Сент-Луисе под руководством Прайса; так двое ученых, открывших возвратные коллатерали, стали работать сообща. Хаберли начал свое исследование со схем запаха, поступающих в кору из обонятельной луковицы, и изучения литературы по новейшим методам и устройствам распознавания схем. Он сравнил анатомическое и функциональное строение прекрасно знакомой ему обонятельной коры со строением иных частей мозга, вовлеченных в распознавание схем.

В 1985 году Хаберли написал впоследствии ставший классическим труд об обонятельной коре, в котором выдвинул гипотезу о том, что «обонятельная кора выполняет роль базы данных ассоциативной памяти, позволяющей сравнивать поступающие обонятельные стимулы с воспоминаниями о ранее воспринятых запахах». Он также отметил ряд качеств, позволяющих коре головного мозга работать с ассоциативной памятью: на одно воспомина-

ние приходится значительное количество интегративных единиц (пирамидальных нейронов и синапсов); существует обширная, разветвленная сеть получения данных (нервные волокна, идущие от обонятельной луковицы); посредством многосторонних связей между единицами осуществляется положительная обратная связь (возвратное возбуждение коллатеральных ответвлений аксонов). Все эти качества присутствуют в базовой микросистеме обонятельной коры. Неудивительно, ведь эта микросистема очень похожа на свой аналог в гиппокампе, а он играет немалую роль в процессах долгосрочной памяти (см. главу 21).

Есть еще одно качество, позволяющее коре мозга обеспечивать процессы изучения и запоминания, — синаптические взаимодействия в коре подкрепляются сопутствующей пресинаптической и постсинаптической активностью. Это так называемое правило Хебба, названое в честь нейропсихолога Дональда Хебба, в 1949 году предположившего, что сопутствующая активность позволяет памяти встраиваться в нейронные цепи мозга; кстати, этот механизм тоже наблюдается как в обонятельной коре, так и в гиппокампе.

Предметом особого интереса Хаберли было проведение параллелей между распознаванием образов запаха и распознаванием лиц системой зрительного восприятия. Он отметил, что сложные, рассредоточенные схемы активности обонятельной коры разительно отличаются от происходящих в первичной зрительной коре и больше напоминают вычленение сложных зрительных образов, таких как лица, происходящих на более высоких, ассоциативных уровнях системы зрительного восприятия. В наше время благодаря изучению микросистем этих органов восприятия мы знаем, что в обоих случаях распознавание и запоминание возможны лишь благодаря обширной сети горизонтальных связей и возвратному возбуждению коллатералей аксонов нервных клеток.

ОБОНЯТЕЛЬНАЯ КОРА И ЗАПИСЬ ПАМЯТИ

В дальнейшем эта гипотеза показала себя крайне плодородной почвой для дальнейших исследований запаха. Ознакомиться с деталями этой гипотезы вы можете в книге, написанной Дональдом Уилсоном из Нью-Йоркского университета и Ричардом Стивенсоном из Университета Маккуори в Сиднее, Австралия, под названи-

ем «Научиться нюхать: обонятельное восприятие от нейробиологии до поведения»[1]. Суть гипотезы можно описать следующим образом: в то время как в обонятельной луковице отображение запахов зависит от качеств раздражителя-одоранта, в обонятельной коре в основе их отображения лежат воспоминания.



В то время как в обонятельной луковице отображение запахов зависит от качеств раздражителя-одоранта, в обонятельной коре в основе их отображения лежат воспоминания.

Уилсон и Стивенсон выделяют ряд качеств обонятельной коры, обеспечивающих такой характер проекции запахов; их перечень можно резюмировать следующим образом.

1. Обонятельная кора особенно чувствительна к *изменениям* в данных, поступающих из обонятельной луковицы; при длительной стимуляции одним раздражителем она адаптируется (понижает интенсивность реакции). Кстати, это также объясняет, почему первые попытки регистрации реакций обонятельной коры человеческого мозга с помощью функциональной томографии не увенчались успехом. Потом Ноам Собель и его коллеги догадались, что реакция отсутствует из-за адаптации к стимулу, и добились ее возобновления, заменяя запахи.

2. Эта система *обучается*. Базовые схемы коры способны повысить свою производительность за счет многократной стимуляции различными запахами. Многократное возбуждение укрепляет клетки, активируемые сигналами из обонятельной луковицы. Латеральная ингибиция усиливает контраст между более и менее активными клетками. Меняется даже сила синапсов — это позволяет системе записывать изменения активности в память и в дальнейшем сопоставлять их с поступающими данными.

3. Благодаря своим способностям к изменению и обучению система может развивать свой навык *сопоставления* воспринимаемых схем с запомненными и благодаря этому способна выявлять более тонкие отличия между схожими молекулами запаха.

4. Изменчивость системы также позволяет ей улучшать *отношение сигнала к шуму*, что способствует более эффективному вы-

---

[1] Wilson, Donald A. and Stevenson, Richard J. Learning to Smell: Olfactory Perception from Neurobiology to Behavior. Johns Hopkins UP, 2006.

делению и усилению нужного аромата на фоне общей обонятельной сцены.

5. Задачей микросистемы обонятельной коры является сбор данных о множестве стимулов и формирование *целостного объекта запаха*. Аналогично работает и система зрительного восприятия, где совокупность визуальных стимулов разных форм и размеров складывается в единый «визуальный образ». Важным свойством таких образов или объектов является способность мозга «достраивать» их недостающие фрагменты в тех случаях, когда мы видим лишь малую его часть. Это свойство присуще всем сенсорным системам. Мы можем заметить в отдалении фигуру, услышать пару нот мелодии или на мгновение почуять в порыве ветра аромат, а все остальное «дорисует» наш мозг. Как мы уже упоминали в главе 8, наиболее ярким примером такого «дополнения» является зрительное восприятие лиц или отдельных их частей. Благодаря этому свойству в случае нарушения целостности системы потеря функциональности происходит постепенно.

6. Объект запаха хранится в виде, который можно *совместить* с другими видами сенсорной информации и в результате получить вкусовое ощущение. Этот процесс происходит на заключительном этапе работы системы обонятельного восприятия, в орбитофронтальной обонятельной коре головного мозга.

ГДЕ ФОРМИРУЕТСЯ СОЗНАТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ЗАПАХА?

Теперь, когда мы знаем больше о впечатляющих способностях обонятельной коры, остается еще один ключевой вопрос — здесь ли формируется сознательное восприятие запаха? Я задавал этот вопрос многим специалистам по поведенческой психологии: похоже, что никто не проводил экспериментов с вмешательством в процессы этого уровня, по крайней мере на приматах. (Последствия травм коры головного мозга у людей рассматриваются в главе 25.)

В пользу того, что именно в обонятельной коре и формируется сознательное восприятие запаха, свидетельствует ее функционал — хоть ее и называют «первичной обонятельной корой», функции обонятельной коры значительно шире, чем у «первичных» зон коры других сенсорных систем, которые являются всего лишь принимающими участками неокортекса. Хаберли предположил,

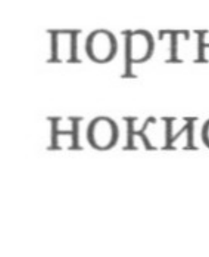
что обонятельную кору вполне можно причислить к отдельному подуровню восприятия — она сложнее других сенсорных систем, но в то же время ее механизмы проще, чем на уровне неокортекса.

У этой гипотезы есть и контраргумент — по пути в обонятельную кору информация о запахе не проходит через таламус и не переходит на уровень неокортекса, что является непременным условием сознательного восприятия в других сенсорных системах.

Получается, что в поисках сознательного восприятия нам придется перейти на следующий уровень обработки сенсорной информации — в орбитофронтальную кору головного мозга.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННО ВАЖНЫХ АМИНОКИСЛОТ

Пару десятилетий тому назад обнаружилось, что обонятельная кора не только играет важную роль в восприятии запахов, но и имеет отдельный участок, чувствительный к содержащимся в пище аминокислотам. Из 20 аминокислот, участвующих в синтезе белка, 10 являются жизненно важными — если хотя бы одна из их числа не поступает в организм с пищей, здоровье животного будет ухудшаться до тех пор, пока дефицит не будет восполнен или животное не погибнет. Если крысам предложить пищу без одной из этих аминокислот, то уже через 30 минут они от нее откажутся. Почему это происходит?



Обонятельная кора имеет отдельный специальный участок, чувствительный к содержащимся в пище аминокислотам.

За последние 20 лет ряд исследований позволил сузить сферу поиска сенсора аминокислот сначала до головного мозга, а затем, как это ни удивительно, до обонятельной коры. В статье 2007 года Дороти Гитзен из Калифорнийского университета в соавторстве с Дэйвис и ее коллегами Шудженом Хао и Трейси Энтони показала, что в пирамидальных клетках имеется особый молекулярный механизм, выявляющий отсутствие жизненно важных аминокислот за счет неспособности такой пищи «зарядить» молекулу транспортной рибонуклеиновой кислоты (тРНК) соответствующей аминокислотой. Исследования продолжаются, ведь пока что нам не

удалось установить ни способ передачи информации об этом процессе на клеточную мембрану для изменения активности клетки, ни то, как клетки этой особой зоны уведомляют другие зоны мозга о результатах проведенного анализа на аминокислоты. Мы можем лишь предположить, что клетки этого участка обонятельной коры обладают особой чувствительностью к малейшим изменениям содержания аминокислот благодаря некоему балансу между возбуждением и ингибицией. Эта функция обонятельной системы млекопитающих стала для нас настоящей неожиданностью, особенно если учесть, что имеется она и у человека. Такой сенсорный механизм чрезвычайно важен для людей, живущих в условиях нищеты и голода. Не меньшую ценность он имеет и для придерживающихся вегетарианских диет, ведь такой рацион необходимо дополнять продуктами, содержащими все виды жизненно важных аминокислот. Возможно, этот механизм не воздействует непосредственно на наше вкусовое восприятие, но для всеядных существ, таких как человек, он может способствовать заучиванию вкусовых ощущений растительной пищи, содержащей необходимые виды аминокислот.

ЧАСТЬ III

Создание вкуса



Глава 12

ЗАПАХ И ВКУС

Теперь мы знаем, что процесс восприятия целостных «объектов запаха», обозначающих поглощаемую нами пищу, начинается в обонятельной коре головного мозга. Каков же следующий этап обработки этих объектов? В первую очередь нужно что-то, способное «прочитать» этот объект запаха так, чтобы он стал доступен для человеческого восприятия. Здесь в дело вступает неокортекс, также известный как новая кора головного мозга — с эволюционной точки зрения это самая молодая его часть, и именно она доминирует у млекопитающих.

Благодаря увеличению размера неокортекса в процессе эволюции человека и приматов возникло множество кортикальных зон, обычно подразделяемых на три группы: первичные, вторичные и третичные. Первая группа подсоединяется к сенсорным и моторным системам предыдущего уровня и называется *первичными сенсорными и моторными зонами*. У человека эти зоны достаточно крупные, ведь они необходимы как для первичной обработки входящего потока сенсорной информации, так и для управления моторикой на неокортикальном уровне. Вторая группа — *ассоциативные зоны*, они отвечают за распознавание тех или иных характеристик сенсорной информации и координацию движений. Например, в зрительных ассоциативных зонах есть участки, отвечающие за расшифровку сигналов о цвете, движении и лицах. К последней, третьей группе относятся *высшие ассоциативные зоны*, в которых происходят когнитивные и мыслительные процессы наивысшего порядка. К третичным структурам относятся и речевые центры, как распознающие речь, так и отвечающие за ее построение; они же отвечают за такие высшие когнитивные процессы, как планирование и аргументирование. В неокортикальных зонах происходит преумножение наших сенсорных впечатлений и моторных навыков. На порядок больше здесь и связей между разными зонами. Помимо

выполнения своих основных функций, каждая из зон формирует и внутреннее восприятие, которое позволяет нам абстрагироваться от объективной сенсорной среды. Все типично «человеческие» особенности возникли исключительно благодаря значительному увеличению кортикальных зон в процессе эволюции нашего вида.

Образу запаха, сформированному в обонятельной коре, в разросшейся коре головного мозга отведено особое место.

НЕОКОРТИКАЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ЗАПАХА

Чтобы достичь неокортекса, сенсорные тракты других органов восприятия — зрения, слуха, осязания и вкуса — должны сначала пройти через таламус, который часто называют *вратами сознания* на пути к новой коре[1]. Таламус и неокортекс работают сообща — таламус передает информацию в кортикальные зоны, а те дают обратную связь. Проходящие через него сенсорные тракты локализованы в центральном и заднем отделах мозга.

У обоняния все иначе. От обонятельной коры к таламусу идет совсем немного нервных волокон. На рис. 7.1 видно, что большая часть исходящей информации поступает в особую зону мозга — *орбитофронтальную кору* (ОФК); ее название связано с ее расположением, ведь находится она чуть выше орбит глаз (глазниц), в самой передней (префронтальной) части мозга. Ее расположение вы увидите на рис. 12.1.

Префронтальная кора считается наивысшим функциональным уровнем мозга человека и приматов, а ее нейронные цепи участвуют почти во всех ранее упомянутых когнитивных процессах высшего порядка. Невероятно, но именно обонятельная кора передает информацию напрямую на этот наивысший уровень.

Получается, что в сравнении с другими видами восприятия у обоняния есть ряд уникальных привилегий.

1. Прямой доступ к префронтальной коре.

2. Сокращенный сенсорный тракт, состоящий лишь из трех видов нейронов: обонятельных рецепторных клеток, митральных клеток обонятельной луковицы и пирамидальных клеток обонятельной коры.

---

[1] Таламус отвечает за передачу информации от органов чувств (кроме обоняния), а также участвует в регуляции уровня сознания, процессов сна и бодрствования.

3. Обонятельная зона располагается в самом сердце нашего мозга, в той части, что делает нас людьми.

С точки зрения нейрогастрономии, эта исключительность имеет крайне простое объяснение — волатильные одорированные молекулы, высвобождающиеся из всей употребляемой нами пищи, настолько важны в общей схеме вещей, что их обработка должна осуществляться мгновенно и на самом высшем уровне.

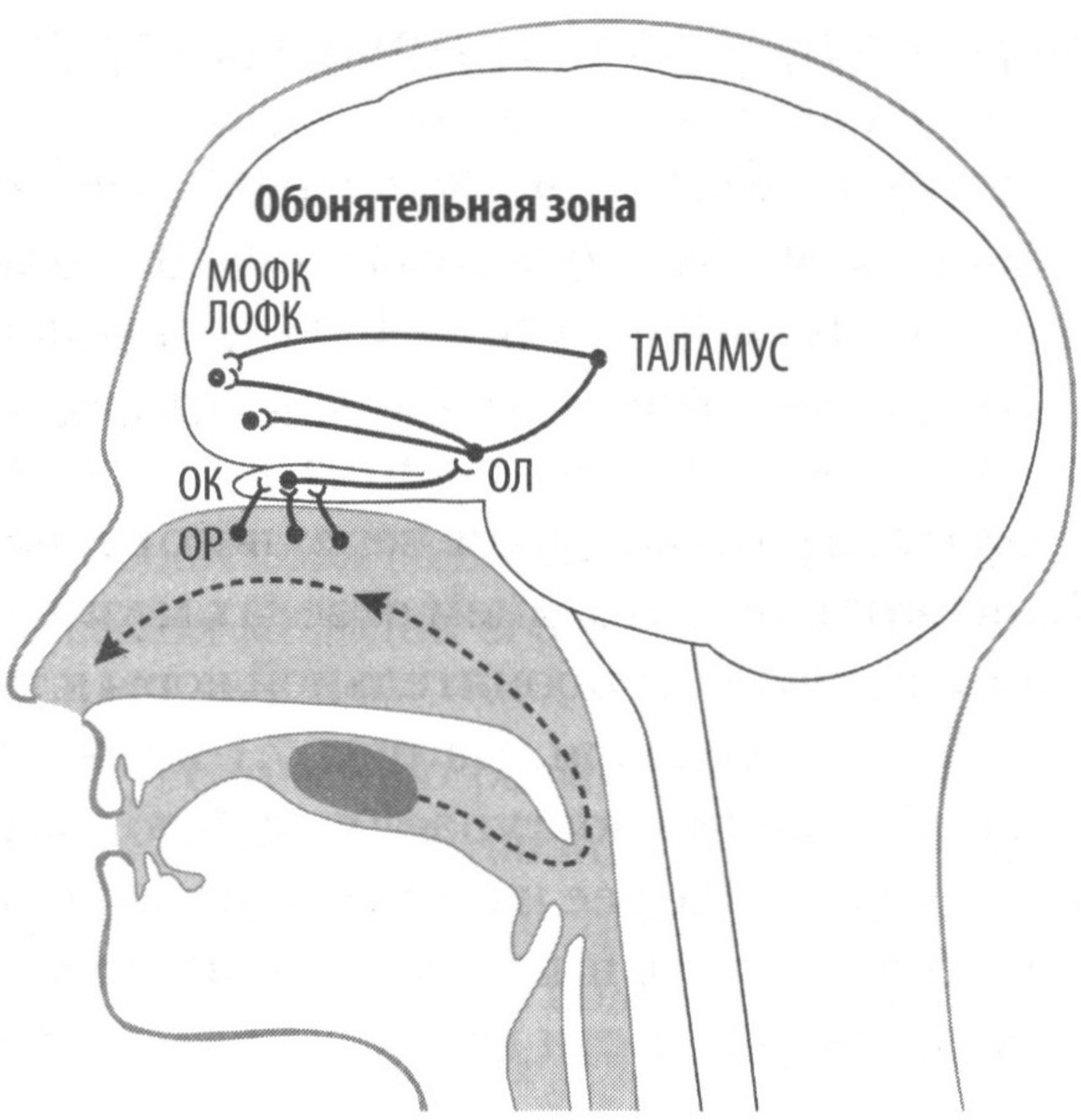


Рис. 12.1. Человеческая система обонятельного восприятия
ОР — обонятельные рецепторные клетки; ОЛ — обонятельная луковица; ОК — обонятельная кора; МОФК — медиальный отдел орбитофронтальной коры; ЛОФК — латеральный отдел орбитофронтальной коры

БОЛЬШОЙ ОБОНЯТЕЛЬНЫЙ МОЗГ ЧЕЛОВЕКА

Будь восприятие запаха менее важным для человека, нам наверняка не понадобился бы такой короткий и прямой обонятельный тракт. Давайте же раз и навсегда разберемся с распространенным заблуждением, что обонятельный мозг человека меньше, чем у других млекопитающих.

Чем крупнее мозг, тем тоньше восприятие и сложнее моторика его обладателя. Наивысшей точки мыслительные процессы достигают в неокортексе, самой высокоорганизованной зоне мозга

из когда-либо созданных живой природой, которая отвечает за формирование нашего сенсорного, моторного и внутреннего восприятия. Считается, что разрастание неокортикальной коры произошло благодаря доминирующей роли зрения в повседневной жизни высших приматов и человека. В то же время не стоит забывать, что возникшие при расширении новой коры колоссальные вычислительные мощности доступны и другим сенсорным системам, в том числе обонянию. Все это наконец подводит нас к главному посылу этой книги — у нас меньше рецепторных генов, но это с лихвой компенсируется в процессе обработки сенсорной информации на протяжении всего обонятельного тракта, который достигает пиковой интенсивности в неокортексе; именно благодаря мозговой активности *человеческое восприятие мира запахов и вкусовых ощущений куда более полное и насыщенное, чем у других животных.*



Именно благодаря мозговой активности человеческое восприятие мира запахов и вкусовых ощущений куда более полное и насыщенное, чем у других животных.

Наглядно проиллюстрировать этот тезис можно, сравнив человеческий мозг с мышиным. Как правило, в таких сравнительных иллюстрациях не учитывается масштаб и мозг изображается



Рис. 12.2. Сравнение мозга человека и мыши
Схема показывает расположение систем мозга, сопряженных с различными видами деятельности и функциями организма

размером с человеческий, это создает ложное впечатление о размерах обонятельной луковицы и орбитофронтальной коры мозга мыши: они кажутся огромными по сравнению с аналогичными зонами человеческого мозга. Нередко одна картинка стоит тысячи слов, но к непропорциональным «сравнительным» иллюстрациям это явно не относится. На рис. 12.2 пропорции соблюдены: очевидно, что одна только обонятельная луковица у человека размером почти что с мышиный мозг, а орбитофронтальная кора и вовсе в несколько раз крупнее мышиной. Вывод очевиден — человеческий обонятельный тракт сохранил пропорции, свойственные другим млекопитающим, а вот объем и вычислительные мощности мозговых центров обработки стали гораздо больше. Именно эти увеличенные вычислительные мощности мозга и их способность обрабатывать обонятельные и вкусовые ощущения являются основным объектом изучения нейрогастрономии.

УНИКАЛЬНЫЕ СВЯЗИ И ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ

Обонятельная зона неокортекса усиливает полученный от обонятельной коры объект запаха, преобразовывая его в доступный человеческому восприятию образ запаха. Чем объясняется эта способность?

Точного ответа мы не знаем, но у нас есть целых два варианта. Первый вариант предполагает, что улучшенное преобразование обонятельной информации обусловлено структурными особенностями этого участка. Второй же вариант допускает, что обонятельная кора является далеко не единственным источником информации и что данный участок связан со множеством других зон мозга.

Как же устроена эта «новая» кора? Она похожа на простую обонятельную кору, сложенную вдвое: состоит из двух толстых слоев, содержит больше подвидов пирамидальных клеток и промежуточных нейронов. Структура пирамидальных клеток в этих двух слоях такая же, как в обонятельной коре: ответвления аксонов осуществляют возвратное возбуждение, стимулируют другие пирамидальные клетки и активируют промежуточные нейроны, запуская механизмы обратной связи и латеральной ингибиции.

Получается, что в случае базовых операций, таких как усиление и преобразование обонятельной информации, новая кора выполняет те же функции, что и простая, но на существенно более высоком уровне. В новой коре есть и новый тип клеток — *звездчатые* нейроны, которые (помимо всего прочего) служат своего рода внутренними ретрансляторами для сенсорной информации, поступающей как напрямую из обонятельной луковицы, так и опосредованно, из таламуса.

Как видите, на каждом последующем этапе обонятельного тракта к процессу преобразования подключаются новые, более мощные механизмы обработки сенсорной информации.



На каждом последующем этапе обонятельного тракта к процессу восприятия запаха подключаются новые, более мощные механизмы обработки сенсорной информации.

А что насчет связей? Вы уже знаете, что обонятельная кора получает информацию из обонятельной луковицы и передает ее в орбитофронтальную кору. Обонятельная кора связана и с другими частями мозга, но с неокортексом она соединяется лишь напрямую, через орбитофронтальную кору. В то же время у орбитофронтальной коры предостаточно важных связей со многими другими неокортикальными участками мозга.

На рис. 12.2 видно, что орбитофронтальная кора связана со всеми сенсорными трактами — соответствующие им участки неокортекса передают туда информационные проекции. Получается, что клетки орбитофронтальной коры потенциально способны совмещать обонятельную информацию с данными от других сенсорных систем, стимулируемых при поглощении пищи. Клетки также взаимодействуют с зонами неокортекса, отвечающими за поведенческие реакции. В первую очередь это *амигдала* (или *миндалевидное тело*), отвечающая за эмоции, и участки префронтальной коры, отвечающие за когнитивную гибкость и оценочное суждение. Эти связи необходимы для формирования комплексного вкусового ощущения — оно складывается из реакции разных органов чувств на пищу, находящуюся у нас во рту, и поведенческих статусов, таких как голод и насыщение. Мы также оцениваем вкусовое ощущение и решаем, нравится нам оно или нет, — подробнее об этом будет рассказано далее по тексту.

СОЗДАНИЕ ЗАПАХА

Зная строение обонятельного тракта, можем ли мы точно сказать, как он создает восприятие запаха? Оказывается, это не так уж просто. Мы тщательно изучили ранние стадии системы обонятельного восприятия благодаря экспериментам на лабораторных животных, ведь строение этих органов у мышей и крыс схоже с человеческим. К сожалению, в изучении орбитофронтальной коры грызуны нам помочь не могут — у них эта зона мозга маленькая, в то время как у обезьян и человека она достаточно крупная и играет куда большую роль в неокортикальных процессах обработки обонятельной информации. Таким образом, наши познания о базовых физиологических принципах обработки запаха в неокортексе достаточно малы, особенно в сравнении с изученными «от и до» ранними стадиями обработки запаха. Изучение неокортекса происходит исключительно за счет регистрации клеточной активности обезьян и функциональной томографии человеческого мозга.

Впервые исследованием этой проблемы занялись в 1970-х годах в Японии, когда Садаюки Такаги и его коллеги записали активность клеток мозга обезьяны, продемонстрировав таким образом все стадии работы обонятельного тракта, от обонятельной луковицы до орбитофронтальной коры; на каждой следующей стадии реакция клеток становилась все более специфичной, настроенной на конкретные типы молекул. Следующую серию исследований провели лишь в 90-х годах в лаборатории Эдмунда Роллса при Оксфордском университете — эти эксперименты показали, как клетки орбитофронтальной коры могут реагировать на разные сочетания вкусов и запахов. Изобретение функциональной томографии, а вместе с ней и возможности исследовать человеческий мозг позволило ученым подтвердить результаты предыдущих экспериментов и подкрепить их новыми данными. Благодаря этим и последующим исследованиям были сформулированы следующие принципы работы неокортикального уровня восприятия запаха.

1. Некоторые клетки предназначены исключительно для работы с запахом. По всей видимости, они отвечают за проекцию образа объекта запаха на этом уровне мозговой деятельности; возможно, именно они являются и нейронной основой его сознательного восприятия.

2. Большинство клеток не реагируют на изменение интенсивности запаха (что отличает их от клеток обонятельной луковицы и обонятельной коры).

3. Ряд клеток реагирует как на обонятельные, так и на вкусовые стимулы. Это явление можно называть сенсорной интеграцией. В простой обонятельной коре таких клеток не обнаружили; предположительно, именно они являются первой стадией формирования объединенного восприятия вкусовых ощущений. (Некоторые полагают, что такая комплексная чувствительность может быть проявлением своеобразной «сенсорной синестезии», необычного отклонения восприятия, при котором человек описывает воспринимаемое одним органом чувств терминами, предназначенными для другого, — например, определенный аромат может быть «синим».)

4. Некоторые клетки реагируют исключительно на приятные запахи, а другие — только на неприятные. Функциональная томография и регистрация клеточной активности показали, что клетки, предпочитающие приятные запахи, располагаются преимущественно в медиальной части орбитофронтальной коры, а реагирующие на неприятные ароматы локализованы в латеральной ее части. На более ранних уровнях обонятельного восприятия подобная дифференциация отсутствует.



На высшем уровне восприятия мозг расставляет запахи по одной оси, от самых приятных до наиболее отталкивающих.

В своей книге «Счастливый мозг»[1] Мортен Кringелбах и Кент Берридж доказывают, что на высшем уровне восприятия мозг расставляет запахи по одной оси, от самых приятных до наиболее отталкивающих. Серьезным подкреплением их гипотезы служат теоретические выкладки израильского ученого Ноама Собеля и его коллег, которые полагают, что на этом этапе многомерная природа молекул-одорантов приводится к общему знаменателю с объектами запаха, кои являются одномерными. Эта отличительная особенность запаха в свою очередь является и особенностью восприятия вкусовых ощущений, некой *внутренней шкалой оценки*, которая по понятным причинам отсутствует во внешнем сенсорном воспри-

[1] Kringelbach, Morten L. and Berridge, Kent C. Pleasures of the Brain.

ятии. Грубо говоря, потребляя пищу и напитки, мы не только идентифицируем и различаем их, но и расставляем по личной шкале приятности и неприятности. В дальнейшем мы рассмотрим, какое значение эта шкала имеет при дегустации вина и как она влияет даже на самых профессиональных дегустаторов (см. главу 24).

5. Привлекательность или непривлекательность того или иного вкусового ощущения в свою очередь зависит от его ценности, в чем мы можем убедиться на собственном опыте или доказать на примере обезьяны. Также установлено, что ценность зависит от поведенческого статуса — то, чего мы жаждем в голодном состоянии, может казаться непривлекательным, когда мы сыты. Переход от принятия к отторжению называется *реверсивным обучением*; оно тоже успешно воспроизводится в опытах с обезьянами. В рамках обонятельного тракта это качество впервые проявляется лишь на уровне клеток орбитофронтальной коры и имеет первостепенное значение для высокоуровневой обработки данных. Существование отдельного механизма для изучения и пересмотра предпочтений запахов является очередным доказательством значимости обоняния в формировании вкусовых ощущений. Предположительно, именно этот механизм вкупе с отличиями в обонятельных рецепторах и лежит в основе как обонятельных предпочтений разных культур и народов, так и индивидуальных предпочтений носителей одной культуры.

* * *

В заключении своей книги Роллс пишет: «Именно в <…> обонятельной коре воплощается идентичность и интенсивность запахов, ведь активность этой зоны коррелирует с субъективной интенсивностью воспринимаемого аромата, в то время как в орбитофронтальной и передней поясной коре воплощается ценность запаха — здесь активность зависит от субъективной приятности запаха».

В основе восприятия вкусовых ощущений лежит обоняние; теперь же нам предстоит узнать роль остальных сенсорных систем в формировании комплекса вкусовых ощущений.

Глава 13

ВКУС И ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ

Когда мы принюхиваемся к еде или напитку носом, с помощью ортоназального обоняния, обонятельный тракт функционирует независимо от других систем восприятия. В тех случаях, когда источник аромата находится в полости рта, запах всегда принимается вкупе с информацией из других систем восприятия. Мы вынуждены постоянно напоминать себе, что обоняние состоит из двух разных видов восприятия — ортоназального и ретроназального, из которых ретроназальное обоняние и вовсе работает только в связке с остальными ощущениями, возникающими в полости рта. Именно это позволяет мне утверждать, что восприятие вкусовых ощущений является одним из наиболее сложных процессов нашего мозга. Говоря словами Фредерика Брошэ и Дени Дебурдьё из Бордо: «Вкус молекулы или смеси молекул создается разумом дегустатора».

Хоть роль «вкуса» как такового в формировании вкусовых ощущений изрядно преувеличена, кое-что он определенно привносит.

ВКУСОВЫЕ РЕЦЕПТОРЫ

Всем известно, что восприятие вкуса начинается со стимулирования вкусовых рецепторов на языке и в задней части полости рта едой или напитком. Иногда вкусовые рецепторы называют *вкусовыми почками*, потому что рецепторные клетки группируются в кластеры, напоминающие почки растений; каждая клетка заканчивается микроворсинкой с рецепторами, восприимчивыми к разного рода раздражителям. На языке вкусовые почки расположены в складках разного размера (вкусовых сосочках). Подкрасив язык

пищевым красителем и внимательно рассмотрев его в зеркале, вы обнаружите в центральной его части мелкие грибовидные сосочки; у основания же языка с боков находятся средние, листовидные складки, а между ними располагается самый крупный, желобовидный сосочек.



Иногда вкусовые рецепторы называют вкусовыми почками, потому что рецепторные клетки группируются в кластеры, напоминающие почки растений.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ ВКУСОВОГО ВОСПРИЯТИЯ

Клетки вкусовых почек по-разному реагируют на пять групп стимулов, то есть вкусов. В западной культурной традиции изначально выделяли всего четыре вкуса: соленый, кислый, сладкий и горький. В Азии же пятым вкусом считается *умами*, он напоминает мясо и возникает благодаря одной из аминокислот, глутамату. В наши дни пятый вкус признают во всем мире; его нередко называют *пикантным* или *мясным*.

Каждая группа стимулов преференциально воздействует на особый тип рецептора (табл. 13.1). Благодаря генной инженерии специалисты по молекулярной биологии смогли клонировать и идентифицировать различные вкусовые каналы и типы рецепторов. Вкусовые рецепторы, наряду с рецепторами обонятельными, являются фундаментальной составляющей молекулярной нейрогастрономии.

КОДИРОВАНИЕ ВКУСА

Рецепторные клетки вкусовых почек, в отличие от обонятельных рецепторных клеток, не имеют аксонов для передачи информации в мозг. Эти рецепторы взаимодействуют между собой и тремя нервными окончаниями: седьмого, девятого и десятого черепного нерва[1]. Порядковые числительные в названии этих нервов

[1] VII — лицевой нерв, IX — языко-глоточный нерв, X — блуждающий нерв. Все эти нервы выполняют различные функции, и каждый из них имеет веточку, отвечающую за вкусовое восприятие.

Таблица 13.1

ОСНОВНЫЕ ВКУСОВЫЕ СТИМУЛЫ И ИХ РЕЦЕПТОРЫ

Соленый вкус воздействует на мембранные каналы, пропускающие ионы солей (натриевых или калиевых)
Кислый вкус влияет на мембранные каналы, модулируя проходящий по ним поток ионов водорода
Сладкий вкус воспринимается рецепторами сахара (вкусовыми рецепторами 1-го типа, подтип 1 и 3: T1R2 и T1R3), которые активируют вторичную сигнальную систему (систему «мессенджеров» или «посредников», связанных с G-белками, в данном случае — циклическим аденозинмонофосфатом (цАМФ))
Горький вкус стимулирует особые рецепторы горького, которые также связаны со вторичным мессенджером, G-белком густдусином. Семейство горьких рецепторов (вкусовые рецепторы 2-го типа: TAS2Rs) крайне обширно и разнообразно (включает в себя более ста генов), что показывает, насколько важно для здоровья нашего организма выявление всевозможных потенциально опасных веществ
Умами воспринимается за счет карбоксилатного аниона L-глутаминовой аминокислоты (глютамината натрия), который содержится в бульонах и мясе. Вкус умами стимулирует рецепторы T1R1/T1R3, которые также связаны с системой вторичных мессенджеров

призваны подчеркнуть, что они находятся ближе к концу ряда из двенадцати черепных нервов, в начале которого стоит первый, обонятельный нерв.

Нервы, отвечающие за восприятие вкуса, соединяются со стволовой частью головного мозга, являющейся продолжением спинного, и отвечают за непроизвольные функции организма, такие как сердцебиение, дыхание и прочие жизненно важные физиологические явления. Следовательно, уже на стадии передачи сенсорной информации в мозг мы наблюдаем существенное отличие вкусовой системы от системы обонятельной — обонятельный нерв соединен непосредственно с передней частью мозга, где располагаются зоны, отвечающие за высшие мыслительные функции. Создается впечатление, что обработка сенсорной информации, из которой впоследствии складывается целостное восприятие вкуса, специально распределена между высшим когнитивным уровнем и уровнем жизненно важных функций для проведения предельно широкого анализа поглощаемой пищи. Похоже, что у этой системы все под контролем.

Существует две версии того, как именно мозг воспринимает разные вкусы. Первой версии придерживаются психофизиологи,

изучающие эту систему экспериментально, путем выявления реакции подопытных на те или иные стимулы. Они считают, что вкусы при восприятии не смешиваются потому, что каждый из них передается в мозг отдельно, по собственному каналу. Этот подход называется теорией *меченой линии*. Физиологи, занимающиеся регистрацией и записью нервной активности, считают иначе — они полагают, что каждое из нервных волокон работает с лишь одним приоритетным для него вкусом, но при этом реагирует еще на два или три стимула, но в гораздо меньшей мере. Это теория *межволоконных паттернов*, и она подразумевает наличие у вкусового восприятия ограниченного комбинаторного потенциала. С помощью генной инженерии Чарльз Цукер из Колумбийского университета и другие нейробиологи смогли идентифицировать все виды рецепторов, перечисленных в табл. 13.1, и доказать, что каждый вид рецепторов отвечает за большую часть (большую, но не всю или не во всех случаях) восприятия соответствующего вкуса.

Достигнув ствола головного мозга, нервные волокна соединяются с группой клеток, известной как *ядро одиночного пути*. Отсюда вкусовой тракт примата уходит во вкусовое ядро таламуса, которое передает сигналы в центральный отдел вкусового анализатора, расположенного в коре головного мозга. Первичные кортикальные зоны вкусового восприятия у приматов, в том числе у людей, располагаются в передней части островковой доли и близлежащей лобной покрышке. Островок коры в складках коры больших полушарий на латинском называется *insula*, а «*operculum*, то есть «*покрышками*», называют сами окружающие его складки. Считается, что именно в этих зонах мозга происходит сознательное восприятие вкуса (рис. 13.1).

ВКУСОВЫЕ КАЧЕСТВА

На высшем уровне сознательного восприятия мы подразделяем свои вкусовые ощущения на пять вкусов: соленый, кислый, сладкий, горький и пикантный (см. табл. 13.1); заметьте, названия вкусов и стимулов отличаются. На самом деле, напрямую картировать вкусовые стимулы на их рецепторы попросту невозможно. К примеру, сладкий вкус стимулирует рецепторы сахара, но вместе с тем выступает вторичным стимулом для иных видов рецепторов;



Рис. 13.1. Человеческая система вкусового восприятия
7 — лицевой нерв; 9 — языкоглоточный нерв; 10 — блуждающий нерв

кислый вкус воспринимается как рецепторами кислотности, так и другими рецепторами. Это происходит из-за ограниченности комбинаторного процесса восприятия вкусовых стимулов рецепторными механизмами, но позволяет формировать многомерное восприятие, а не одномерное.

Таблица 13.2

БАЗОВЫЕ ВКУСОВЫЕ КАЧЕСТВА И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ НАШЕГО ВОСПРИЯТИЯ

Соленое нужно для поддержания водно-солевого баланса в тех жидкостях нашего тела, что остались солеными с тех пор, когда предки млекопитающих еще не вышли из моря
Сладкое нравится всем млекопитающим, ведь присутствие сахаров всегда говорит о высокой энергетической ценности пищи. Материнское молоко и спелые фрукты — сладкие
Кислый вкус может означать, что еда испортилась
Горечь предупреждает, что в пище содержатся ядовитые вещества и от ее употребления лучше отказаться
Пикантность характерна для мясных продуктов и свидетельствует об их питательности

В табл. 13.2 перечислены только самые базовые качества, ассоциирующиеся с каждой группой вкусовых стимулов, которые также называют тастантами. На самом деле, особенно в человеческом рационе, любое вкусовое качество может оказаться привлекательным, в зависимости от сочетания вкусов в определенном блюде или напитке. Наиболее привлекательным для человека, как правило, считается сладкий вкус, но в мировой кулинарии встречаются национальные кухни, где предпочтение отдается соленому мясу, сквашенным кислым сливкам, горькому шоколаду и бесчисленному множеству иных необычных сочетаний. Каждый вкус сопровождается особенным образом запаха, который является привычным и привлекательным для тех, кто вырос в этой культурной среде.

Базовые вкусы тесно взаимодействуют с другими видами восприятия для формирования вкусовых ощущений. Сладкий и соленый вкусы могут оказывать существенное влияние на вкусовые предпочтения, как делая пищу просто более приятной, так и заставляя нас исступленно жаждать ее. (Подробнее о неспособности устоять перед вкусом пищи и напрямую связанным с этим желанием переедания рассказано в главе 21).

КОРТИКАЛЬНАЯ ВКУСОВАЯ КАРТА?

Когда исследователи научились регистрировать и документировать реакцию нервных клеток в коре головного мозга обезьян, они смогли доказать, что кортикальные клетки реагируют на тастанты, каждый из которых предположительно ассоциируется с сознательной реакцией. Логично было бы предположить, что если каждому тастанту действительно соответствует определенное вкусовое восприятие, то во вкусовом тракте должны присутствовать те самые «меченые линии», ведущие прямиком во вкусовую кору, к точкам, соответствующим каждому из вкусовых качеств. Тем не менее на данный момент существование подобной карты не доказано. Вполне возможно, мы со временем обнаружим, что на кортикальном уровне восприятия вкусовые качества сгруппированы, подобно тому как это происходит в обонятельной коре и ассоциативных кортикальных зонах других систем восприятия.

ВКУСОВЫЕ РЕАКЦИИ КОРТИКАЛЬНОГО УРОВНЯ

Каждый тастант имеет порог восприятия, то есть минимальную концентрацию, когда его присутствие вызывает реакцию вкусовой сенсорной системы. В то же время обширное исследование 2006 года, проведенное Юстусом Верхагеном и Линой Энгелен в лаборатории Джона Б. Пирса и в Йельском университете, показало, что при смешивании двух или более тастантов возникает интересный эффект — порог восприятия смеси снижается, и подопытный способен воспринимать ее даже в тех случаях, когда концентрация каждого из компонентов ниже, чем требуется для их восприятия по отдельности (например, смесь соленого и кислого вкусов). Это явление называется *интрамодальный синтез*.

Схожую механику имеет и *межмодальный синтез*, он же *межчувственное усиление*, но, в отличие от интрамодального синтеза, он происходит не в отдельной сенсорной системе, а на уровне совмещения реакций разных систем восприятия. Особый интерес представляет межмодальный синтез вкуса и запаха. Сами по себе запах и вкус могут присутствовать в концентрации, не достигающей порога восприятия, но стоит их объединить, и мы ощутим и вкус, и запах — это происходит лишь в тех случаях, когда совмещаемые стимулы из разных систем «конгруэнтны», то есть когда они дополняют друг друга. Конгруэнтность может быть как исконной, так и приобретенной. Совмещение неконгруэнтных запахов и вкусов эффекта взаимного усиления не дает.



Чем больше сенсорных элементов содержится в нашей пище, тем сильнее получаемые нами вкусовые ощущения. Блюда национальных кухонь, как правило, состоят из множества сенсорных стимулов.

Предположительно, у животных механизм усиления одного стимула другим имеет немалое значение для выживаемости. В наше время для людей он имеет иное значение — чем больше сенсорных элементов содержится в нашей пище, тем сильнее получаемые нами вкусовые ощущения. Блюда национальной кухни, как правило, состоят из множества сенсорных стимулов; можно предположить, что стимулы эти по большей части конгруэнтны.

В то же время современная «молекулярная кухня» целенаправленно экспериментирует с неконгруэнтными сочетаниями стимулов. В таких случаях два или более стимула в одном блюде могут быть неконгруэнтны, и усиливать друг друга они не будут. Вместе с тем создание таких неконгруэнтных сочетаний нередко бывает истинной целью подобных экспериментов, ведь именно так можно создать абсолютно новые, невиданные вкусовые ощущения.

СОЧЕТАНИЕ ВКУСА И РЕТРОНАЗАЛЬНОГО ОБОНЯНИЯ

Вкусовая стимуляция, как правило, происходит одновременно со стимуляцией ретроназального обоняния. Собственно говоря, именно вкус и запах считаются основными компонентами вкусовых ощущений. Восприятие этого комплекса стимулов является крайне важной задачей; следовательно, нет ничего удивительного в том, что нейроны орбитофронтальной коры реагируют как на вкусовые, так и на обонятельные стимулы. Связь между этими двумя типами восприятия настолько тесная, что в некоторых случаях запахи перенимают качества вкусов, например, когда мы говорим, что что-то обладает сладким запахом. Это явление называется *сенсорным синтезом* и иногда считается примером синестезии, которая, как уже упоминалось в главе 12, проявляется в интерпретации одного вида сенсорной стимуляции терминами, предназначенными для иного вида: запах сладкий; сладкий вкус голубой и т. д.



Именно клетки зон первичного вкусового восприятия реагируют, помимо вкусовых стимулов, и на иные аспекты, такие как текстура и температура.

Было установлено, что клетки зон первичного вкусового восприятия реагируют не только на вкусовые стимулы, но и на иные аспекты восприятия, такие как текстура и температура. Некоторые клетки задействованы исключительно в восприятии вкуса, в то время как остальные реагируют и на другие модальности. Это является одним из нейронных признаков процесса формирования в коре головного мозга комплексного, мультимодального восприятия вкусовых ощущений.

Вкус и ретроназальный запах не только сообща воздействуют на первичные зоны кортикального восприятия; как выяснилось, вместе эти стимулы приводят к активации более значительного объема коры больших полушарий. Это явление было продемонстрировано в ходе классического эксперимента Даны Смолл и ее коллег в 2005 году. Сначала они по отдельности простимулировали ретроназальное обоняние и вкусовые рецепторы подопытных: функциональная томография зарегистрировала активацию двух первичных кортикальных зон восприятия. Затем они повторили эксперимент, но уже с одновременной стимуляцией тастантами и одорантами, имитируя таким образом обычный процесс приема пищи. Функциональная МРТ зарегистрировала активацию не только первичных кортикальных зон восприятия, но и некоторых прилегающих к ним вторичных зон коры. Предположительно, эти дополнительные зоны активации подключаются к процессу восприятия, когда для анализа более сложных смешанных стимулов необходимы дополнительные мощности. Кортикальные реакции совмещают вкус и запах, создавая на их основе целостное вкусовое ощущение.

ВКУС И ЭМОЦИИ

Мы знаем, что вкус оказывает немалое влияние на эмоции. При дегустации приятной или мерзкой пищи возникают крайне характерные выражения лица, свидетельствующие о наслаждении или отвращении. Это является отражением *гедонистического* (эмоционального) качества пищи.

Знаем ли мы природу гедонистических качеств? Врожденные они или приобретенные?

В 1974 году израильский педиатр Якоб Штейнер решил проверить, проявляются ли гедонистические качества при рождении, то есть являются врожденными, или же они приобретаются с опытом, по мере взросления. Он договорился о проведении эксперимента на новорожденных в «возрасте» от одного до двух часов, еще не вступавшими в контакт с какими-либо вкусовыми стимулами, чтобы зафиксировать их реакцию на видео.

Результаты эксперимента оказались поистине невероятными. Когда младенцам давали попробовать ватку с соляным раствором, их выражение лица оставалось неизменным; они просто глядели по сторонам и познавали мир, в котором оказались. На кислый вкус

они демонстрировали ярко выраженное отторжение, а именно морщились и сжимали губы. Горький вкус отразился на лицах новорожденных в выражениях отвращения и расстройства; они открывали рот в попытках исторгнуть из себя неприятный вкус. Вместе с тем эксперимент закончился на радостной ноте, ведь ватка с сахаром вызывала у младенцев мимолетную, но вполне узнаваемую улыбку.



Чтобы узнать, врожденная ли у нас эмоциональная реакция на различную пищу, ученые давали младенцами через час-два после рождения кислое, соленое и т. д. На кислый вкус они морщились и сжимали губы, зато сладкий вызвал улыбку.

Результаты этого эксперимента позволяли сделать достаточно интересные выводы. Получается, что восприятие базовых эмоциональных (гедонистических) качеств тастантов являлось все-таки врожденной способностью. Младенцу не приходится учиться воспринимать сахар положительно, соленое нейтрально, кислое с неприязнью, а горечь как повод отказаться от пищи. С точки зрения адаптации и выживания это вполне логично. Больший интерес в данном случае представляет врожденная способность испытывать простейшие эмоции, такие как радость и горе. Нам не приходится учиться выражать базовые эмоции, что тоже вписывается в концепцию адаптации, ведь это способствует налаживанию эмоциональной связи между ребенком и родителями. Способность выражением лица демонстрировать привязанность или порицание однозначно способствует формированию новых отношений, и базовые проявления этих эмоций остаются неизменными не только в детстве, но и на протяжении всей жизни человека.

Результаты эксперимента на человеческих младенцах были воспроизведены Ральфом Норгреном и его коллегами из Пенсильванского государственного университета на новорожденных крысах, которые демонстрируют схожую с нами реакцию на вкусовые раздражители. Более того, экспериментируя на крысах, исследователи наконец-то смогли напрямую заняться изучением того, всецело ли гедонические реакции протекают в стволе головного мозга, или же при этом подключаются некоторые высшие мыслительные функции. Чтобы проверить свою гипотезу, они удаляли кортикальные зоны мозга. На базовые реакции это никоим образом

не повлияло, благодаря чему было установлено, что врожденные гедонистические реакции проистекают исключительно на уровне ствола мозга — именно там волокна вкусовых рецепторов соединяются с центральной нервной системой.



Когда мы ощущаем крайне приятные для нас вкусовые ощущения, радость проявляется в выражении лица, заложенном в нас с самого рождения.

Подводя итоги, можно сказать, что система восприятия вкуса задействует врожденные эмоциональные реакции для выражения отношения к привлекательным и непривлекательным стимулам. Получается, когда мы ощущаем крайне приятные для нас вкусовые ощущения, радость проявляется в выражении лица, заложенном в нас с самого рождения, и подкрепляется обонятельной реакцией.

СУПЕРДЕГУСТАТОРЫ

Мы автоматически подразумеваем, что другие люди, пробуя пищу, испытывают те же ощущения, что и мы, — но это не так. Невероятно, что об этом писал еще Жан Антельм Брийя-Саварен:

«Я уже упоминал, что вкус воспринимается преимущественно сосочками языка. Обратившись к анатомической науке, мы узнаем, что не все языки в равной мере оснащены этими вкусовыми почками и что у некоторых людей их может быть аж в три раза больше, чем у других. Это обстоятельство объясняет, почему из двух обедающих за одним столом один получает удовольствие, тогда как второй с трудом заставляет себя есть; у второго тоже есть язык, но вкусовых сосочков на нем мало, а это доказывает, что в мире вкуса также есть свои слепцы и глухие».

То, что описывает Брийя-Саварен, сегодня называют *индивидуальной изменчивостью*. Наиболее изученным ее вариантом является способность воспринимать вкус крайне горького соединения, *пропилтиоурацила* (для удобства его сокращают до PROP). Для обозначения наиболее восприимчивых индивидов Линда Бартошук, ранее работавшая при Йельском, а ныне при Флоридском университете, ввела понятие *супердегустатор* — для таких людей PROP обладает чрезвычайно горьким вкусом, а кончик их языка отличается предельной плотностью грибовидных сосочков.

Вместе со своей давней коллегой Валери Даффииз из Коннектикутского университета и другими коллегами-исследователями Бартошук в работе отталкивалась от исследований Роберта Фишера. Он в 1960-х годах изучал вариативность вкусовых предпочтений употребления алкоголя в зависимости от массы тела на основании показателей плотности грибовидных сосочков, а также восприятия PROP и иных вкусовых маркеров, таких как степень горечи хинина. В 2004 году Стивен Вудинг и Дэннис Драйана обнаружили ген, обуславливающий 70% вариации восприятия горечи PROP. С тех пор были открыты еще несколько генов, которые связывают с восприятием горечи определенных соединений, в том числе кофе и грейпфрутового сока.

Даффи рассказывает, что она и другие исследователи занимаются изучением ряда вкусов и вкусовых генов для выявления индивидуальной изменчивости вкусовых предпочтений и их влияния на рацион и здоровье. К примеру, невосприимчивые к PROP люди и обладатели рецепторов с низкой чувствительностью к горьким соединениям предпочитают употреблять жирную, сладкую пищу и алкогольные напитки; они более склонны к излишней полноте и попадают в группу риска злоупотребления алкоголем. А вот супердегустаторы недолюбливают овощи и, как правило, более стройные. Чувствительность к PROP ассоциируется с более высокой восприимчивостью ко всем вкусам и говорит о большей плотности вкусовых почек на языке. Посмотрев на свой язык в зеркало, вы можете узнать, являетесь ли вы супердегустатором или нет. Если да, то в этом нет ничего удивительного, ведь этот вариант достаточно распространен в человеческой популяции. Когда вы сядете ужинать, задумайтесь: быть может, вы чувствуете гораздо больше или меньше вкуса, чем те, с кем вы сидите за столом? Резюмировать этот аспект сенсорного восприятия лучше всего, перефразировав известное высказывание Брийя-Саварена: «Скажи мне о своих генах рецепторов горького, и я скажу тебе, кто ты».

ГИПОНЕОФАГИЯ

Важным аспектом восприятия вкуса является условная линия обороны нашего организма от употребления в пищу того, что может причинить нам вред. Ядовитые соединения, как правило, горькие, именно на них настроены рецепторы горького. А что на-

счет приятной на вкус пищи, зараженной инфекционными агентами, из-за которой животное заболеет, или аппетитной приманки в ловушке или капкане? В известном исследовании, проведенном в 1966 году Джоном Гарсией и Робертом Коэлингом, было установлено, что животное будет воздерживаться от употребления в пищу того, что однажды стало причиной болезни, даже если первые симптомы недомогания проявились много часов спустя. Это называется *условно-рефлекторное выработанное отвращение к пище*; в полевых исследованиях животных это также называют *гипонеофагией* (угнетением пищевого поведения в ответ на новизну). Отторжение вырабатывается после одного эпизода недомогания, а потому этот механизм иногда называют *однократным запечатлением*, или *импринтингом*.



Животное будет воздерживаться от употребления в пищу того, что однажды стало причиной болезни, даже если первые симптомы недомогания проявились много часов спустя.

Условно-рефлекторно выработанное отвращение к пище гораздо сильнее традиционного научения, которое складывается из многих парных ассоциаций типа «стимул-реакция»; оно настолько выбивалось из традиционной модели, что поначалу не все психологи признавали его существование. Для наглядности позвольте привести цитату одного из них. В рецензии на первую статью Гарсии и Коэлинга об этом исследовании был такой комментарий: «Их открытие правдоподобно, как птичье д****о в часах с кукушкой!» Тем не менее мы все прекрасно знакомы с этим видом обучаемости. Когда мы чувствуем недомогание и нам кажется, что оно вызвано едой, то теряем к ней вкус и начинаем перебирать в памяти возможные причины болезни. С тех пор как с этим явлением столкнулся один известный психолог, оно получило еще одно название: *феномен Беарнского соуса*. Возможно, именно гипонеофагия подспудно влияет на формирование детских алиментарных (пищевых) фобий, которые порой остаются с нами на всю жизнь.

Глава 14

ОЩУЩЕНИЯ В ПОЛОСТИ РТА И ВКУС

Помимо запаха и вкуса у любой пищи или напитка есть еще физические характеристики, которые мы чувствуем в полости рта. Это ощущение складывается из стольких видов восприятия, что ему не так уж просто присвоить обобщающее название; мы называем его *ощущением в полости рта, ротовым ощущением* или *восприятием текстуры пищи*. Когда собираемся съесть продукт питания, мы прогнозируем это ощущение, а затем сравниваем его с тем, что получаем при поглощении, оценивая таким образом качество. Ощущения в полости рта являются частью соматосенсорной (от греческого слова «тело», то есть «сомато») системы, которая охватывает множество сенсорных подсистем и модальностей, таких как осязательная, восприятие давления, температуры и боли. Волокна соматосенсорной системы дополняют вкус и обоняние множеством важных сенсорных данных; именно из их совокупности и складывается целостное восприятие вкусовых ощущений.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПОЛОСТИ РТА

На мембране внутренней поверхности губ и щек в полости рта и на языке расположено несколько видов соматосенсорных рецепторов (табл. 14.1). Схожие рецепторы есть и в других частях тела, но в полости рта их гораздо больше, а плотность распределения существенно выше; это вполне логично, ведь нам нужно точно знать, что именно мы положили в рот, и правильно оценивать текстуру, температуру и потенциальную токсичность предполагаемой пищи.

Таблица 14.1

СОМАТОСЕНСОРНЫЕ ТЕРМИНАЛЫ (РЕЦЕПТОРЫ ОЩУЩЕНИЙ В ПОЛОСТИ РТА)

Терморецепторы — располагаются на крошечных нервных волокнах, очень медленно проводящих импульсы. Их рецепторные молекулы имеют каналы транзисторного рецепторного потенциала (TRP, читается как «трип»), чувствительные к охлаждению или нагреву кожи, или мембраны слизистой оболочки. Они позволяют нам ощущать горячую еду и кофе, мороженое и холодные напитки
Болевые рецепторы (ноцицепторы) — расположены на тонких нервных волокнах. Реагируют на болевые стимулы механического, химического и температурного характера. Предположительно, некоторые из этих стимулов задействуют TRP-каналы. В зависимости от способа активации ноцицепторов они могут вызывать как тянущую, жгучую или ноющую боль, так и любой вид боли, который вы когда-либо испытывали или можете вообразить. Именно они дают нам наслаждение или расстройство при употреблении острых перчиков (содержащих капсаицин)
Осязательные рецепторы — находятся на нервных волокнах среднего размера, проводящих импульсы со средней скоростью. С их помощью мы воспринимаем шершавость и чувствуем, как проминается и растягивается наша кожа и слизистые, когда мы жуем. Похоже, TRP-каналы участвуют и в этом виде восприятия
Рецепторы давления (тельца Пачини) — чрезвычайно чувствительны к механическим вибрациям. Их реакция на давление быстрая, но мимолетная; они воспринимают вибрацию от движений языка и челюстей

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ В НОСУ

Не стоит забывать и о соматосенсорных волокнах, находящихся в носовой полости. По аналогии с ощущением в полости рта мы можем назвать носовой вариант восприятия *ощущением в носу* или *носовой чувствительностью*. Носовые рецепторы расположены в мембране слизистой оболочки, а нервные волокна очень тонкие. Эти рецепторы реагируют на некоторые летучие химические соединения, такие как пары аммония; физические явления, такие как пузырьки газа в шипучих напитках; стремительное движение воздуха по носовым проходам, когда мы принюхиваемся; а также на средние и высокие концентрации многих видов молекул запаха. Психологи, изучающие психофизиологические качества молекул запаха, должны неустанно контролировать, зависит ли восприятие текущего запаха лишь от обонятельных рецепторов, или же оно подкрепляется соматосенсорной активностью. Неко-

торые данные свидетельствуют о том, что обонятельные рецепторы тоже способны реагировать на механическую стимуляцию от движения воздушных потоков; если это так, то обоняние само по себе является мультимодальным видом восприятия. Получается, что соматосенсорное восприятие работает почти постоянно, за исключением тех случаев, когда мы дышим предельно тихо и медленно.

МНОГООБРАЗИЕ ТЕКСТУР ПИЩИ

Охват рецепторных клеток на наших губах, в полости рта и на языке соответствует обширному ассортименту пищи и напитков, которые мы помещаем в свой рот. Это взаимодействие формирует комплексное сенсорное восприятие, которое мы называем ощущениями в полости рта или ротовым ощущением: мы прикасаемся к пище и жидкостям, чувствуем их текстуру и прочие физические качества. Некоторые из них мы рассмотрим далее.

Ознакомившись с табл. 14.2, вы поймете, насколько важную роль соматосенсорное восприятие играет в определении состояния пищи. Люди очень ценят многие из воспринимаемых в полости рта ощущений и стремятся испытать их, выбирая определенную пищу. Нервные окончания, расположенные на языке, слизистых щек и нёба и даже в наших зубах, передают информацию о том, насколько хрустящая, гладкая, крупная, жесткая, мягкая или упругая пережевываемая нами пища, что позволяет отследить, достаточно ли мы ее прожевали и можно ли уже проглотить. В список попала лишь малая толика характеристик, воспринимаемых соматосенсорными рецепторами.

Таблица 14.2

ОПИСАНИЕ ОЩУЩЕНИЙ В ПОЛОСТИ РТА, ВОСПРИНИМАЕМЫХ РЕЦЕПТОРАМИ ДАВЛЕНИЯ, ОСЯЗАНИЯ И ТЕКСТУРЫ

Гладкий	Мягкий	Боль (жгучая)
Кремообразный	Скользкий	Боль (тянущая)
Тягучий (густой)	Грубый	Боль (ноющая)
Хрустящий	Шершавый	Легко разжевывается
Сочный	Вязкий	Липкий
Пружинистый	Горячий	Сухой
Комковатый	Холодный	Ломкий
Жесткий	Чуть теплый	

То, что нам нравится картошка фри, объясняется не только ее вкусом и запахом, но и тем, как она хрустит. Никто не любит размякшие хлопья для завтрака, которые набрали влаги из воздуха потому, что кто-то после еды плохо закрыл коробку (да, это моя больная мозоль).

Боль нередко сигнализирует о необходимости держаться подальше от того, что ее вызвало. Наряду с осязательными рецепторами, болевые предупреждают нас о присутствии в пище жестких острых вкраплений, таких как рыбные кости, которые при проглатывании могут представлять угрозу для жизни. Любой, когда-либо пробовавший целую рыбу, знает, как приходится раз за разом переворачивать во рту каждый кусочек, всякий раз предвкушая прикосновение острого фрагмента или резкий укол косточки; это позволяет выявить даже самые мелкие из косточек.



Большинство людей отказывается от пищи, вызывающей дискомфорт в полости рта, особенно если речь идет о жгучей боли. В то же время многие привыкают к этому и нередко наслаждаются ощущением жжения.

Боли в восприятии вкусовых ощущений отведена особая роль. Большинство людей отказывается от пищи, вызывающей дискомфорт в полости рта, особенно если речь идет о жгучей боли. В то же время многие люди привыкают к этому и нередко наслаждаются ощущением жжения, вызванным молекулами капсаицина, содержащегося в стручках острого перца, например чили, и блюдами с такими ингредиентами. Это является отличным примером того, как врожденные реакции отвращения к пищевым стимулам могут измениться под влиянием приобретенных, условных реакций.

ОСЯЗАТЕЛЬНЫЙ ТРАКТ: ОТ РЕЦЕПТОРОВ ДО КОРЫ

Сигналы от всех соматосенсорных рецепторов сходятся в пятом черепном нерве, называемом *тройничным*. Из полости рта и носа импульсы поступают в ганглий тройничного нерва, находящегося в стволе головного мозга, и далее в соматосенсорную кору (рис. 14.1). Как и вкусовые рецепторы, нервы соматосенсорной си-

стемы восприятия напрямую передают информацию в зону коры головного мозга, отвечающую за непроизвольные функции организма; это логично, ведь эта система передает и болевые сигналы, требующие мгновенной реакции.

Исходящий сигнал от рецепторных клеток передается по их аксонам в соматосенсорное ядро таламуса, а оттуда — в соматосенсорную зону коры полушарий головного мозга. Высокая плотность рецепторов в полости рта и на языке навела исследователей на мысль, что для обработки поступающих от них сигналов задействуется соответствующий объем коры головного мозга. В 1950-х годах нейрохирург Уайлдер Пенфилд из Монреаля продемонстрировал справедливость этого предположения. Он изобрел хирургический способ лечения эпилепсии и первым применил его на людях. Проведение этой процедуры требовало вскрытия черепа и давало доступ ко всей поверхности коры мозга. Получив доступ к мозгу, Пенфилд в первую очередь занялся выявлением сенсорных и моторных зон коры, чтобы не повредить их при операции. Он смог картировать поверхность тела на полоске коры, продемонстрировать распределение сенсомоторных зон, отвечающих за все участки тела

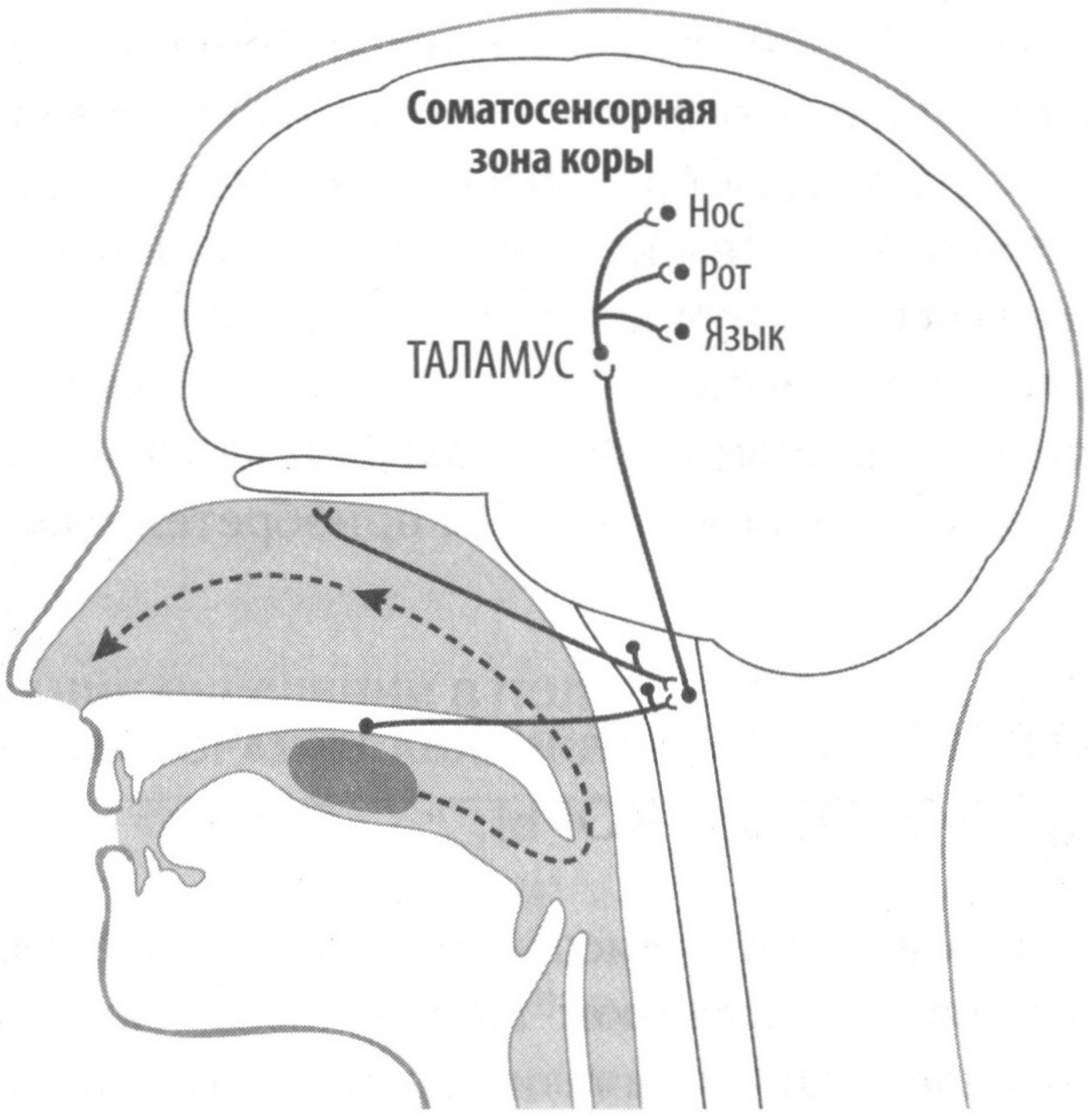


Рис. 14.1. Соматосенсорная система человека

от пальцев ног до макушки, и выявить следующую закономерность: чем выше была чувствительность той или иной части тела, тем крупнее была зона коры, отведенная под обработку нервных импульсов от этой части тела. Самые крупные зоны коры соответствовали пальцам рук, губам и языку. Пальцами мы подносим еду к губам, которые в тандеме с языком и иными рецепторами полости рта анализируют пережевываемую нами пищу; все перечисленное относится к осязательному компоненту системы восприятия вкусовых ощущений, и для такой обработки отведена изрядная часть соматосенсорной коры головного мозга. У страдающих ожирением людей именно в этой части коры наблюдается повышенная активность (см. главу 21).

Судя по всему, осязательные процессы в полости рта и носа обрабатываются на высшем, неокортикальном уровне мозга. Мы можем сопоставить определенные виды тактильных ощущений с рецепторами в полости рта подобно тому, как отдельные молекулы запаха сопоставляются с соответствующими пространственными схемами в обонятельной луковице. В то же время таких параллелей между этими системами недостаточно для формирования комплексного восприятия вкусовых ощущений — должно быть что-то еще, некая специальная связь между соматосенсорной корой и ее зонами, отвечающими за обработку запахов и вкусов.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОСЯЗАНИЯ С ВОСПРИЯТИЕМ ВКУСА И ЗАПАХА

Говоря о системе восприятия вкусовых ощущений, мы неоднократно упоминали, что этот вид восприятия является комплексным и целостным, а сама система — мультисенсорной. Сенсорные системы, из которых складывается восприятие вкусовых ощущений, взаимодействуют друг с другом на протяжении всех этапов восприятия, начиная с рецепторов и заканчивая корой головного мозга. Некоторые эффекты, сопряженные с этими взаимодействиями, были изучены в 2006 году Юстусом Верхагеном и Линой Энгелен; их результаты кратко резюмированы в табл. 14.3.

Здесь рассматривается лишь малая часть уже исследованных межсистемных взаимодействий, прекрасно известных нам как обывателям, — они активно используются в блюдах национальной

кухни. Очевидно, что именно эти взаимодействия стимулируют поиск инновационных сочетаний продуктов питания и благодаря им формируются новые кулинарные течения, в том числе те, что работают с неконгруэнтными ингредиентами, например молекулярная кухня. Мы продолжаем изучать механизмы этих межсистемных взаимодействий; со временем результаты наших исследований наверняка лягут в основу новых кулинарных изысков и экспериментов.

Таблица 14.3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСЯЗАНИЯ С ВОСПРИЯТИЕМ ВКУСА И ЗАПАХА

Взаимодействия между субмодальностями осязания
Температура при прикосновении: разница температур влияет на восприятие текстуры находящегося во рту вещества. Разница восприятия объясняется как центральными, так и периферийными эффектами
Температура при раздражении: болевые ощущения жжения и жара, вызванные капсаицином, ослабевают при понижении температуры и усиливаются при ее повышении
Раздражение, вызванное температурой: такие раздражители, как капсаицин, влияют на восприятие температуры: усиливают интенсивность тепла и понижают интенсивность прохлады
Взаимодействия между осязанием и вкусовым восприятием
Вкус при прикосновении: сладкие субстанции кажутся более вязкими (плотными), чем являются на самом деле, а кислые, напротив, воспринимаются как менее вязкие
Прикосновение при восприятии вкуса: если простимулировать зону языка, имеющую вкусовые почки, а затем зону без них, то подопытный почувствует вкусовую стимуляцию сразу в двух зонах. Это явление называется тактильным охватом — оно обусловлено тем, что субъективное восприятие вкусовых ощущений переносится туда, где находится стимул
Вкус при раздражении: болевая реакция на капсаицин приводит к снижению вкусовой восприимчивости (к сладкому, кислому, соленому, горькому и умами)
Температура при восприятии вкуса: пик восприимчивости к тастантам совпадает с нормальной температурой полости рта (от 71,6 до 98,6 °F, то есть от 22 до 37 °C)
Температура и вязкость при восприятии вкуса: чем выше температура, тем больше молекул-тастантов высвобождается в полости рта, а это облегчает стимуляцию вкусовых рецепторов. Этот эффект объясняет, почему у горячей пищи более насыщенный вкус; в первую очередь у приготовленного мяса. Влияние такого физико-химического эффекта наблюдается в полости рта, но нервные волокна передают его вверх по вкусовому и обонятельному тракту в кору мозга, благодаря чему вкусовые ощущения и становятся более насыщенными

Взаимодействия между осязанием и обонянием
Прикосновение при восприятии запаха: при повышении вязкости гелеобразной субстанции в полости рта наблюдается ослабевание ретроназального обоняния. Это явление может иметь характер как периферического (высвобождается меньше одорированных частиц), так и центрального взаимодействия (поступающие в кору сенсорные сигналы совмещаются)
Температура при восприятии запаха: повышение температуры способствует высвобождению большего количества одорированных частиц и приводит к более интенсивной стимуляции ретроназального обоняния. Этот эффект объясняет, почему мы предпочитаем горячий кофе
Запах при раздражении: стимулирование ортоназального обоняния подавляет тактильную чувствительность ортоназального тракта
Раздражение, вызванное запахом: при одновременной стимуляции соматосенсорным раздражителем и одорантом раздражитель подавляет обонятельную чувствительность. Стимуляция капсаицином ингибирует восприятие вкусовых ощущений

Глава 15

ЗРЕНИЕ И ВКУС

Всем известно, что если мы проголодались, то от одного вида аппетитной еды у нас начинают течь слюнки. С научной точки зрения этот процесс выглядит так: зрение воспринимает визуальный раздражитель и стимулирует вегетативную нервную систему, которая инициирует производство слюны в слюнных железах, подготавливая таким образом полость рта к принятию и перевариванию пищи. Чаще всего мы не берем в расчет влияние зрительных стимулов на восприятие вкусовых ощущений, но многочисленные эксперименты и повседневные наблюдения свидетельствуют о том, что все ровно наоборот. Пусть зрение и не влияет на характеристики пищи, когда та уже находится у нас во рту, но оно, очевидно, является одним из компонентов мультисенсорной системы восприятия вкусовых ощущений. Визуальная стимуляция заслуживает внимания как в рамках изучения системы вкусовых ощущений, так и для понимания того, как маркетологи манипулируют нашим мнением, формируя предельно привлекательный для потребителя визуальный образ продуктов питания и напитков.

СИСТЕМА ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Люди являются крайне зрительно-ориентированным видом животных, и доминантное расположение зрительного тракта в нашем мозге служит тому ярким подтверждением.

Зрительное восприятие начинается с глаз — свет попадает на фоторецепторные клетки сетчатки глаза и формирует визуальные образы воспринимаемых нами объектов окружающей среды. В сетчатке расположены три тонких слоя нейронов, которые проводят первичную обработку воспринятого нами образа и выделяют признаки визуальной сцены. В сетчатке определяется яркость

изображения, обеспечивается усиление контраста между светом и тьмой (см. главу 6); здесь благодаря чувствительности к разным длинам световых волн начинается процесс формирования цветового восприятия (см. главу 9), определяются габариты воспринимаемых объектов и направление движения образа относительно сетчатки глаза. Помимо всего перечисленного, работая в паре, глаза определяют и глубину фокусировки объектов, попавших в наше поле зрения.

Изучая механизмы зрительного восприятия в сетчатке глаза, мы можем сделать один крайне важный вывод — сетчатка, являющаяся всего лишь первым этапом зрительного тракта, в отличие от тех же обонятельных рецепторов, реагирующих лишь на молекулы запаха, воспринимает более полудюжины различных видов сенсорных стимулов. Нейробиологи установили, что такое возможно лишь благодаря чрезвычайно точным нейронным микроцепям и наложению их функциональных полей, формирующих целостный визуальный образ.



Сетчатка, являющаяся всего лишь первым этапом зрительного тракта, в отличие от тех же обонятельных рецепторов, реагирующих только на молекулы запаха, воспринимает более полудюжины различных видов сенсорных стимулов.

Вся информация из сетчатки проецируется в зрительный нерв, расположенный с обратной стороны глазного яблока, а затем попадает в точку пересечения (хиазму) зрительных нервов, где сигналы от правого и левого глаза объединяются в единую визуальную сцену. Волокна зрительного нерва заканчиваются в таламусе, в так называемом латеральном коленчатом теле. Отсюда зрительные сигналы поступают в первичную зрительную зону неокортекса, находящуюся в затылочной части мозга. Лишь на этом этапе обработка зрительных образов выходит на высший когнитивный уровень, а затем продолжается в близлежащих «ассоциативных» кортикальных зонах. Регистрация нейронной активности позволила установить, что нейроны визуальной зоны коры настроены на восприятие тех или иных признаков визуальных образов, таких как: направление движения, контраст белого и черного, контраст между различными цветами спектра, дальность и глубина изображения. Многое гово-

рит о состоятельности предположения, что именно эта нейронная подоплека лежит в основе психологического восприятия тех или иных визуальных явлений.

* * *

Для проведения параллелей между зрительным и обонятельным трактами нам потребуется освежить в памяти материал, рассмотренный в главе 10. В системе восприятия запахов между клетками обонятельных рецепторов и орбитофронтальной корой находятся лишь два синаптических узла (обонятельная луковица и обонятельная кора). Зрительный тракт же проходит четыре или пять этапов синаптической обработки (два в сетчатке, один в таламусе, от одного до четырех в неокортексе) на пути к формированию целостного, сознательного восприятия визуальной сцены. Как-то раз я попросил нейробиолога, специализирующегося в нейроинформатике, объяснить мне причину сложности системы зрительного восприятия. Он сказал, что обработка визуальной информации требует большой вычислительной мощности; она состоит из множества субмодальностей, каждая из которых требует отдельной тщательной обработки. Давайте рассмотрим это на примере восприятия дальности и глубины, то есть пространственного зрения, которым постоянно пользуются все живые существа, обитающие на суше и в кронах деревьев. Для формирования пространственного восприятия визуального объекта надо построить проекцию визуальной сцены в трех измерениях, определить направление движения каждого объекта, определить изменение размера объектов по мере их перемещения, скорость движения, форму, размер и так далее. Когда мы сидим за рулем своего автомобиля и едем на работу по трассе со скоростью около 70 миль в час (а это примерно 110 километров в час), наш мозг без устали выполняет все перечисленные выше стадии обработки зрительной информации; а мы тем временем воспринимаем происходящее как само собой разумеющееся и обыденное.

Нас при рассмотрении системы зрительного восприятия и систем восприятия запахов и вкусовых ощущений в первую очередь интересует то, как протекают все этапы обработки данных этих систем на уровне неокортекса по сравнению с аналогичным уровнем зрительного тракта. Запах преобразовывается на уровне

обонятельной луковицы и обонятельной коры. На неокортикальном уровне, в орбитофронтальной коре обработка изолированного образа запаха завершается; мозг объединяет запах со стимулами других сенсорных систем, в том числе осязательными и вкусовыми, дополняет его элементами воспоминаний и придает восприятию эмоциональную окраску.



Форма и размер объекта пищи очень важны для оценки привлекательности; но самым главным из визуальных критериев для нас является цвет.

В конечном итоге система зрительного восприятия тоже вовлекается в ряд межсистемных взаимодействий с префронтальной корой; предполагается, что именно за счет взаимодействий с системой зрительного восприятия формируется сознание (см. главу 25). Все эти взаимодействия относятся к межсистемной схеме сведения сенсорных импульсов, показанной на рис. 12.1. Но в данный момент нас интересует лишь существование взаимосвязи между визуальными признаками, характеристиками запаха, вкуса и тактильными ощущениями в полости рта, которые могут влиять на наше восприятие вкусовых ощущений. Разумеется, форма и размер объекта вкусового интереса являются для нас критериями его идентификации и оценки привлекательности, но на самом деле самым важным из визуальных критериев для нас является цвет.

ЦВЕТ И ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ

Больше всего цвет влияет на наше восприятие запахов. В одном из ранних экспериментов по изучению обоняния, проведенном в Брауновском университете в 1972 году, Триг Энген предлагал подопытным оценить запах дезодорированной (не имеющей запаха) жидкости, которая была либо прозрачной, либо цветной — большинство подопытных сочли, что окрашенная жидкость обладает неким запахом. Исследователи предположили, что мы автоматически подразумеваем наличие у цветных жидкостей запаха. В ходе этого эксперимента подопытные принюхивались к жидкости, то есть пользовались исключительно ортоназальным обонянием.

Дальнейшие исследования этой особенности восприятия были предприняты Деборой Зеллнер и ее коллегами из Государ-

ственного университета Монклер в 2005 году. Они предоставили подопытным обонятельные стимулы в виде цветного и бесцветного растворов. При помощи ортоназального обоняния подопытные определили, что у цветного раствора запах более интенсивный, чем у бесцветного. Их результат подтвердил как выводы Энгена, так и житейский опыт каждого из нас: чем ярче жидкость, тем интенсивнее она пахнет. Цветные жидкости, такие как фруктовый сок, как правило, обладают характерным запахом, и нам достаточно увидеть напиток, чтобы предположить, какой у него аромат. Некоторые психологи склонны считать это своего рода выработанным условным рефлексом, как у собак в экспериментах Павлова. Услышав звонок, собаки предполагали, что получат вкусный кусок мяса; мы же при виде яркой жидкости, похожей на сок, предполагаем, что она сможет даровать нам вкусовые ощущения.

Проводя аналогичные эксперименты с ретроназальным обонянием, исследователи ожидали получить схожие результаты, но их ожидания не оправдались. Подопытным велели проглотить прозрачный или цветной раствор и оценить интенсивность ретроназальной обонятельной стимуляции. Оказалось, что ретроназальный запах цветного раствора воспринимался как менее интенсивный, чем запах раствора прозрачного. В некоторых из этих экспериментов подопытные имели возможность принюхаться к жидкости ортоназальным обонянием, пока несли стакан ко рту; предположительно яркий цвет раствора стал причиной возникновения ложных ожиданий об интенсивности его вкуса. Обострение ортоназального обоняния, вызванное ярким цветом жидкости, привело к подавлению обоняния ретроназального. Это отличный пример того, насколько сложные взаимоотношения могут складываться между поведенческими качествами и механизмами мозговой активности.

Обратная ситуация наблюдается в случае восприятия неприятных запахов. В 1995 году Пол Розин и его коллеги обнаружили, что пища, запах которой воспринимается как сомнительный ортоназальным обонянием, при попадании в рот и восприятии ретроназальным обонянием становится еще более отталкивающей. Это вполне логично — рот является своего рода стражем, и именно он решает, что попадает в наше тело; сомнительный запах и вкусовые ощущения могут оказаться куда опаснее, чем их приятные аналоги.

Подобные эксперименты лишь подчеркивают, что ортоназальное и ретроназальное обоняние являются субмодальностями одной модальности — обоняния. Два вида восприятия — половинки единой сенсорной системы, каждая из которых обладает уникальными свойствами, отражающими разные способы стимуляции, различия во взаимодействиях с иными сенсорными системами и разницу в восприятии.

ЦВЕТ ВИНА И ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ

Еще одним источником ярких примеров влияния цвета на вкусовые ощущения стали исследования дегустации вин. Описывая характеристики вина, многие экспериментаторы и дегустаторы начинают именно с его цвета. Фредерик Брошэ и Дени Дебурдье с факультета энологии (науки о вине) Университета Бордо объясняют это следующим образом:

«Описательные характеристики всегда связаны с цветом вина. <…> Это объясняется потребностью мозга в установлении корреляции между воспринимаемым миром и его вербальным описанием. Сложный составной образ вкусовых ощущений вина объясняется словами, применяемыми к объектам того же цвета. Таким образом, именно цвет выступает в роли единственной обобщающей характеристики».

Наиболее ярким примером влияния цвета на способность различать запахи и вкусовые ощущения является хрестоматийный эксперимент с дегустацией красных и белых вин, проведенный Гилом Морро, Фредериком Брошэ и Дени Дебурдье в 2001 году. Они продемонстрировали, что белые вина, перекрашенные в красный цвет, дегустаторы ошибочно относили к красным винам. Этот знаменитый эксперимент заслуживает более пристального внимания.

В этом эксперименте использовались два вина AOC Бордо 1996 года: красное вино из сортов винограда каберне-совиньон и мерло и белое вино из сортов семильон и совиньон. Сначала исследователи провели эксперимент для сравнения вкуса белого вина с настоящим красным вином, второй же эксперимент предполагал сравнение вкуса белого вина с тем же белым вином, но окрашенным для имитации красного при помощи виноградного антоциана. Контрольные эксперименты с завязанными глазами показали, что окрашенное белое вино ничем не отличалось от обычного. Целью

этого эксперимента было определение влияния цвета вина на способность дегустаторов отличить одно вино от другого, если красное вино на самом деле является подкрашенным белым.



Цвет потребляемых продуктов способен влиять на различение запахов и вкусовых ощущений. В одном эксперименте белые вина, перекрашенные в красный цвет, дегустаторы ошибочно относили к красным.

Эксперимент проводили на 54 студентах факультета энологии Университета Бордо: они еще не стали специалистами, но определенно имели некоторые академические познания и интерес к вину. Дегустация вин проводилась в отдельных кабинках под сильным холодным искусственным освещением; вино было заранее разлито по бокалам. Подопытные могли изучать и сравнивать вина как им заблагорассудится.

В первую очередь исследователям нужно было решить проблему индивидуальных особенностей описания вин, озвученных участниками. По словам исследователей, различия в формулировках были «настолько существенными, что препятствовали формированию репрезентативного поля восприятия для группы участников». Для исключения расхождений в описании характеристик вина экспериментаторы предоставили подопытным список терминов для описания вкусовых ощущений. Подопытные могли как использовать термины из этого списка (так называемые *дескрипторы*), так и описывать ощущения своими словами. Список дескрипторов состоял преимущественно из растительных и фруктовых слов для описания вкуса, таких как *грушевый, ананасовый, медовый, древесный, черносмородиновый*.

В первой серии экспериментов подопытных попросили описать настоящее белое и красное вино наиболее подходящими дескрипторами. Через неделю они вернулись для проведения второго эксперимента — каждому из участников предоставили расставленный в алфавитном порядке список дескрипторов, использованных ими на первом этапе, и попросили снова описать вино. Подопытные полагали, что их проверяют на стабильность восприятия, и они должны описать те же вина, что и в прошлый раз. На самом деле им предоставили то же самое белое вино и его подкрашенную версию вместо красного. Их вновь «попросили определить, какое вино в большей мере выражает характер каждого дескриптора в списке».

* * *

Почему подопытные ошиблись и охарактеризовали подкрашенное белое вино как красное? Они ведь описывали два бокала одинакового вина! Интерпретация результатов этого эксперимента складывается из нескольких факторов.

Во-первых, на результат повлияла внимательность. На втором этапе подопытные сосредоточились на распределении дескрипторов, полагая, что они описывают все то же белое и красное вино, что и на первом этапе эксперимента. Их внимание было (ошибочно) сфокусировано на воспроизведении результата первого этапа.

Всем известно, что, сосредотачиваясь на одном аспекте проблемы, мы вполне способны упустить другие детали. Отличным примером является видео, где двое людей сидят за столом и передают друг другу предметы; зрителя просят сказать, у кого какой объект окажется в конце видео. В какой-то момент камера фокусируется на одном из людей, а второй пропадает из кадра и надевает рубашку другого цвета; затем камера возвращается в исходное положение. Опрос зрителей после просмотра показал, что они не заметили замену рубашки. На другом похожем видео показаны два человека в людной комнате. Зрителей просят понаблюдать за ними и рассказать, чем они занимаются. В какой-то момент на заднем плане проходит человек в костюме гориллы — и зрители опять не замечают ничего необычного. Подобные примеры позволяют с уверенностью утверждать, что внимание может оказывать огромное влияние на то, что мы видим или замечаем.

Внимание может оказывать огромное влияние на то, что мы видим или замечаем. Мы способны упустить явные изменения в одном, если сфокусированы на другом объекте, даже если они находятся рядом.

Во-вторых, описание зависит от языка. Дело в том, что Дебурдье и его коллеги специализируются на лексическом анализе дегустации вин, то есть изучают, какими словами люди описывают вкусовые ощущения, возникающие при глотке вина. На самом деле их эксперимент был в равной мере ориентирован как на изучение влияния цвета, так и на изучение языка дескрипторов. В своем предыдущем исследовании они доказали, что при описании характе-

ристик вина профессиональные дегустаторы пользуются особыми языковыми приемами:

«Вся лексика, применяемая для описания вин, по сути отсылается к так называемым винам-прототипам. Если это действительно так, то дегустатор не столько анализирует отдельно взятые сенсорные характеристики вина, сколько проводит параллели с уже сформировавшимися когнитивными ассоциациями, основанными на чувственном опыте предыдущих дегустаций».

В заключительной части своего труда Брошэ и Дебурдье задают крайне важный вопрос: «Что эти результаты говорят нам о принципах работы мозга?»

Чтобы ответить на этот вопрос, они приводят результаты регистрации активности отдельных клеток орбитофронтальной коры: оказалось, что нейроны реагируют как на вкус и запах, так и на совокупность субмодальностей осязания. Брошэ и Дебурдье предполагают: «Возможно, именно эта особенность мешает дегустаторам раздельно описывать ароматические и вкусовые качества вин; информация о запахе и вкусе смешивается на физиологическом уровне, причем на достаточно ранней стадии восприятия». Мы уже рассматривали этот механизм смешения обонятельных, вкусовых и осязательных стимулов в нейронах орбитофронтальной коры в предыдущих главах, и зовется он интрамодальным синтезом.

Затем они ссылаются на статью Даны Смолл и ее коллег от 1997 года, где доказывается, что активность, связанная со вкусовыми ощущениями, происходит преимущественно в правом полушарии мозга, и предполагают, что это связано с ролью этого полушария «в идеограммном восприятии и пространственной репрезентации», в то время как левое полушарие играет большую роль в процессах аналитического характера. Концепция идеограмм является прямым аналогом нашей концепции образов запаха — идеограммы, как и образы запаха, используются для описания реакций мозга на обонятельные стимулы.

Затем они упоминают, что обонятельные зоны орбитофронтальной коры связаны в том числе и с гипоталамусом. Эта связь лежит в основе всех оценочных суждений о запахе (и вкусовых ощущениях), то есть того, что специалисты называют «гедонизмом» — всех тех вещей, что доставляют нам удовольствие:

«Грубо говоря, все животные по запаху определяют, стоит ли им есть пищу или нет. Люди наверняка делают то же самое. Основ-

ной когнитивной функцией вкусовых ощущений является определение пригодности или непригодности еды. Значение этой функции настолько огромно, что с ней вынуждены считаться даже эксперты: именно она и лежит в основе их описательной терминологии. Получается, что в этом случае эксперты не так уж сильно отличаются от новичков».

Здесь говорится о той самой шкале приятности и неприятности, которую мы рассматривали в главе 11 и формирование которой является одной из ключевых функций орбитофронтальной коры в рамках системы вкусовых ощущений. Принимая решения о том, что нам нравится, мы все возносимся на уровень профессиональных дегустаторов — это обнадеживает!

Изучив влияние цвета на запах и вкус, мы стали еще на шаг ближе к пониманию взаимосвязи речи и вкусовых ощущений, рассмотрением которой мы займемся в главе 25.

Глава 16

СЛУХ И ВКУС

Мы наконец добрались до последней из систем сенсорного восприятия, которая влияет на формирование вкусовых ощущений, — слуховой. Звучит невероятно, но слух действительно влияет на вкус пищи.

СИСТЕМА СЛУХОВОГО ВОСПРИЯТИЯ

Слуховой тракт начинается с уха, состоящего из внешнего уха и слухового канала, ведущего к барабанной перепонке. Чуть глубже находится среднее ухо, и в нем расположены три малюсенькие косточки, передающие вибрацию барабанной перепонки на овальное окно во внутреннем ухе, за которым находится улитка, а ее внутренняя поверхность покрыта чувствительными волосками, воспринимающими вибрации звуковых волн.

Рецепторные волосковые клетки передают сигналы на волокна клеток ганглия, которые, в свою очередь, соединяются с улиточным ядром в стволе головного мозга. Здесь нервные волокна контактируют с несколькими видами нейронов, каждый из которых начинает обрабатывать тот или иной аспект слуховой стимуляции, таких как тембр, громкость и длительность; как и в системе обонятельного восприятия, нейроны начинают процесс преобразования стимулов в доступный для человеческого восприятия формат. После первичной обработки эта информация попадает в сложную систему нервных центров, расположенных в стволе головного мозга; затем поступает в нижний холмик четверохолмия, тот, в свою очередь, передает ее в первичную слуховую кору таламуса, а оттуда уже в первичную слуховую зону неокортекса. В отличие от систем обонятельного и зрительного восприятия, слуховые сигналы, подобно вкусовым и осязательным, изначально попадают в ствол головного

мозга. В то же время на уровне коры больших полушарий слух благодаря своей связи с речью и языком считается одним из высших когнитивных процессов в человеческом мозге.

КАК ЗВУЧИТ ЕДА?

Из краткого описания может показаться, что слух существует исключительно для восприятия звуков окружающей среды. Действительно, в повседневной жизни слух мы используем именно для внешнего восприятия. Тем не менее в рамках изучения системы формирования вкусовых ощущений нам придется обратиться вовнутрь и узнать, какие звуки мы воспринимаем в процессе употребления еды и напитков. С эволюционной точки зрения можно предположить, что для наших предков большое значение имели звуки, сопутствующие раскусыванию и пережевыванию пищи, — они позволяли определить жесткость овоща, спелость фрукта и упругость куска мяса.



С эволюционной точки зрения можно предположить, что для наших предков большое значение имели звуки, сопутствующие раскусыванию и пережевыванию пищи, — они позволяли определить жесткость овоща, спелость фрукта и упругость куска мяса.

В повседневной жизни мы редко обращаем внимание на звуковой компонент вкусовых ощущений, но это не значит, что его нет. Знакомые всем любителям хлопьев для завтрака звуки «хрусть-щелк-хрум» нередко ложатся в основу рекламных кампаний, ведь это неотъемлемая часть вкусовых ощущений, возникающих при употреблении хлопьев. Хруст поджаренной во фритюре картошки фри или куриных наггетсов является закономерной частью процесса их употребления. Значение имеют не только звуки, издаваемые самой едой, — ритмичный звук движения челюстных суставов при пережевывании пищи умиротворяет нас не хуже, чем оператора экскаватора — звуки работы ковша агрегата. Конечно, эти звуки не являются непременным атрибутом приема пищи, но мы всегда подразумеваем, что они есть, и считаем их закономерной частью процесса питания. Если звуковой компонент во время еды пропадает, мы мгновенно реагируем на его исчезновение.

К сожалению, взаимодействие слуха и вкусовых ощущений является достаточно малоизученной областью науки, но кое-какие интересные факты нам известны. К примеру, мы знаем, что хрустящая еда воспринимается нами как более привлекательная. Некоторые исследования показали, что из физических характеристик пищи наиболее узнаваемой является именно «хрустящая» текстура. Если предположения о том, что наши далекие предки по хрусту определяли спелость фруктов, верны, то это кажется вполне логичным. Может показаться, что это свойство пищи относится скорее к осязанию и давлению на челюсти, но это не так. Исследования показали, что свежая, хрустящая пища оценивается в первую очередь на слух и определяется по хрусту на зубах; как пример можно привести такую хрупкую пищу, как картофельные чипсы. Предположительно, хрустящий звук делает их вкуснее. Если это действительно так, то это ощущение наверняка обрабатывается на самом высоком, неокортикальном уровне.



Хрустящая еда воспринимается нами как более привлекательная. Может показаться, что это свойство относится к осязанию и давлению на челюсти, но на деле свежая, хрустящая пища оценивается в первую очередь на слух.

В других исследованиях звуковой составляющей вкусовых ощущений хрустящую еду подразделяли на хрустящую, хрусткую и похрустывающую. К *хрустящим* звукам относился хруст хлебцев и сухих лепешек в диапазоне от 5 кГц. *Хрусткий* звук с частотой 1–2 кГц возникает, когда мы грызем морковь. *Похрустывающий* звук соответствует более низким частотам, и воспринимаем мы его преимущественно как вибрацию в нижней и верхней челюсти — вы можете убедится в этом, похрустев печеньем.

Некоторые ощущения в полости рта, воспринимаемые соматосенсорной системой, имеют характерное звуковое сопровождение: пережевывая крайне тягучую пищу и прихлебывая жидкий бульон, мы издаем и слышим абсолютно разные звуки.

ЗВУК ВИНА

Когда мы перекатываем жидкость по языку или проглатываем ее, то тоже слышим определенные, вполне характерные звуки. Для определения качества вина дегустаторы используют все

доступные им приемы и чувства восприятия. Например, вот один анекдот, услышанный мной во Франции:

«Шеф-повар Поль Бокюз определяет идеальное вино следующим образом — оно должно всецело удовлетворять его пять чувств: зрение — своим цветом; обоняние — букетом; осязание — свежестью; вкус — вкусовыми качествами; а слух — своим “*буль-буль*”».

Бокюз шутки ради упоминает слух как один из видов восприятия, необходимый «для понимания» идеального вина, и обозначает процесс проглатывания звуком «*буль-буль*». «*Буль-буль*» здесь кажется элементом современного сленга; как выяснилось, это не так. Однажды я рассказал этот анекдот своему другу Жаку Гуичарноду — человеку с превосходным чувством юмора, который в течение многих лет был любимым преподавателем французской литературы для многих студентов Йельского университета. Выслушав анекдот, он оживился: «О, да это “*буль-буль*” ведь — цитата из Мольера!» Он был прав. В 6-й сцене 1-го акта пьесы Мольера «Лекарь поневоле»[1] есть отрывок, в котором пьяный Сганарель с бутылкой наперевес поет такую песенку:

Ах, нежная, прекрасная,
Чудесная бутылочка;
Ах, нежное, прекрасное
Твое тихое «буль-буль».[2]

Отхлебывая вино, мы слышим это самое «*буль-буль*» — звук возникает при скоординированной мышечной активности в районе глотки и языка и служит очередным напоминанием о том, что вкусовые ощущения зависят не только от наших чувств восприятия, но и от мышечной активности.

---

[1] Le médecin malgré lui, Molière, 1666.

[2] В классическом переводе П. Гнедича: Бутылочка моя, / Бутылочка, / Как люблю я тебя, / Моя милочка! / Ах, когда бы постоянно ты была / Вплоть до верха налита! / Ах, бутылочка моя, / И зачем же ты пуста?

Глава 17

МЫШЦЫ ВКУСА

Говоря о гастрономии, люди, как правило, обсуждают пищу, стимулирующую наши органы чувств, и возникающие при этом вкусовые ощущения. Вместе с тем, чтобы добиться вкусовых ощущений, нам нужно поместить пищу в рот, а затем определенным образом воздействовать на нее. Мы не придаем этому аспекту питания особого значения, но стоит присмотреться — и его невероятные сложность и важность становятся очевидными. Моя цель — доказать вам, что этот процесс относится к числу наиболее сложных форм нашей подвижности. Когда вы в следующий раз решите перекусить, отследите, как ваша пища перемещается в полости рта. Будет происходить сложная последовательность движений губ, челюстей, языка и мышц, вовлеченных в процесс глотания пищи, и все вышеперечисленное координируется с ритмом дыхания; но это происходит как бы в фоновом режиме, ведь мы в это время заняты изучением получаемых вкусовых ощущений.



Пережевывание человеком пищи — одна из наиболее сложных форм подвижности. Мы не можем так хорошо рвать мясо, как кошки, или подчистую обгладывать кости, как собаки, но ни одно животное не обладает нашим набором движений.

Мы не первые, кто заинтересовался двигательным аспектом полости рта. Этот процесс крайне выразительно описывал и уже многократно упомянутый нами первопроходец научной гастрономии Жан Антельм Брийя-Саварен:

«Я обнаружил по меньшей мере три группы движений [языка], не свойственных животным, и определил их как заострение, перекатывание и выметание. Первое происходит, когда кончик языка высовывается между губ и сжимается ими; второе описывает про-

цесс перекатывания языка между внутренней поверхностью щек и нёбом; третье означает движения вверх и вниз языка с загнутым вовнутрь кончиком, что происходит, когда язык натыкается на частицы пищи, застрявшие в углублении между губами и деснами и таким образом извлекает их оттуда».

Вы можете воспроизвести любое из описанных движений и лично убедиться в правдивости слов этого гениального человека.

В наши дни над изучением этой темы работают двое идейных наследников и последователей Брийя-Саварена. В своей книге «Искусство беседы с набитым ртом»[1] именитый шеф-повар Жан-Мари Амат и ведущий нейробиолог-гурман Жан-Дидье Винсен красочно и наглядно описывают умопомрачительное количество движений, предпринимаемых нами в процессе поглощения пищи. В числе прочего там рассказывается о гастрономических приключениях пяти друзей, которые примерно раз в месяц встречаются, чтобы поесть и побеседовать — как вы могли догадаться по названию книги, они нередко пытаются совместить одно с другим. Их беседы по большей части посвящены еде и людям, которые ее едят. В ходе одной из бесед происходит эмоциональный обмен мнениями:

— Что за шедевр — рот человека, — воскликнул Профессор, — с ним не сравнится зверя пасть!

— Я не питаю отвращения к коровьей морде, — ответил Художник. — То, как корова жует жвачку, воплощает ее размеренный образ жизни и безмятежность мира, в коем она живет.

— Само собой! — сказал ему Профессор. — Но что до крупных кошек? Им равных нет в терзании мяса. А как насчет собак? Никто не может, как они, очистить кости. И все же нет на свете зверя, что обладал бы всеми навыками человека в том, что касается еды, ведь мы умеем: жевать, крошить, перемещать, а также «заострять» язык и перекатывать и «выметать» им пищу; язык есть сердце всех этих движений, эта впечатляющая мышца и молельный коврик под сводом нёба; он нежной текстурой своей плоти и соседствующих с ним слизистых символизирует всю тонкость процессов, для коих предназначен. При такой утонченности не удивительно, что орган, используемый животными лишь для потребления пищи, стал для человека органом речи и общения, отличительным зна-

---

[1] Vincent, Jean-Didier, Amat, Jean-Marie. L'art de parler la bouche pleine. Presqu'île, 1997.

ком нашего вида и «храмом» блюд, кои составляют основу человеческого общества.

— Быть может, это так, но ты глаголешь с полным ртом еды, — дождался случая и вставил в его речь Торговец. — Не мог бы ты попридержать свой дух оратора на миг?

— Плеваться и бессвязно говорить — что солью приправлять свою велеречивость, — сказал на то Табачник.

Мы видим, что авторы изящным слогом излагают те же аспекты физиологических процессов поглощения пищи, что мы рассматривали ранее.

Во-первых, они описывают потрясающие движения, которые позволяют нам перемещать пищу в полости рта, подчеркивая таким образом изрядный интерес человека к сенсорным элементам приема пищи. Все происходящее с кусочком еды в полости рта направлено на усиление различных видов восприятия: в первую очередь это идет на пользу ретроназальному обонянию, но не меньшую роль играет и возможность многократных контактов пищи как со вкусовыми почками языка, так и с расположенными на внутренней поверхности ротовой полости рецепторами давления, температуры и прочих субмодальностей ротового осязания.

Во-вторых, Профессор привлекает внимание к первостепенной роли языка как для поглощения и восприятия пищи, так и для устной коммуникации. На самом деле тесная связь языка с системой восприятия запаха и воспроизведения речи кажется несколько ироничной, ведь к запахам совсем непросто подобрать подходящие слова. Возможно, природа этой проблемы кроется в концепции образа запаха; этот вопрос мы обсудим чуть позже, в главе 24.



Тесная связь языка с системой восприятия запаха и воспроизведения речи кажется несколько ироничной, ведь к запахам совсем непросто подобрать подходящие слова.

И наконец, Профессор отмечает, что блюда и прием пищи лежат в основе человеческого общества. Для многих, в том числе для нас с Гретой, встреча с родственниками или друзьями за общим столом и обмен впечатлениями от событий минувшего дня, безусловно, вносят немалый вклад в социальную жизнь как семьи в целом, так и каждого ее члена в частности. Такие взаимодействия не могли не повлиять на формирование человеческого общества и культуры,

а следовательно, имели большое значение для эволюции человечества. Мы подробнее рассмотрим связь вкусовых ощущений и культуры в главе 26.

* * *

Теперь, когда мы познакомились с художественной интерпретацией движений мышц ротового аппарата, с помощью которых мы испытываем вкусовые ощущения, нам пора рассмотреть моторику рта с точки зрения нынешней науки. Современные данные были получены в первую очередь благодаря изучению центральных моторных нервов и закреплены видеофиксацией всех аспектов двигательной активности в процессе употребления продуктов питания и напитков на новейшем лабораторном оборудовании. Немалый вклад в изучение подвижности рта в процессе еды внесли и исследования антропологов, изучающих анатомию наших предков. Следующий раздел построен на информации из книги «Эволюция строения головы человека» Дэниела Либермана, где в мельчайших подробностях описываются движения человеческого рта в процессе приема пищи.

МОТОРИКА ВКУСОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ

Моторная система, управляющая нашими мышцами и железами, связана с наивысшим уровнем мозговых функций, а точнее — с моторной зоной коры больших полушарий головного мозга. Если сенсорные зоны нашего тела картируются на коре мозга проекцией, так называемым сенсорным гомункулусом, крупные зоны которого выделены под восприятие сигналов, поступающих от губ и языка, то подвижность проецируется моторным гомункулусом, который также обладает гипертрофированными зонами для управления движениями губ и языка. На нем размечены все кортикальные микросистемы, отвечающие за прием сенсорных сигналов и управление мелкой моторикой губ и языка во время приема еды и питья.

С этого высшего уровня нейроны — те самые крупные пирамидальные нейроны, что управляют механизмами возвратного возбуждения и латеральной ингибиции во всех зонах коры, — передают импульсы вниз по идущим сквозь мозг волокнам, которые

заканчиваются в стволе головного мозга в непосредственной близости от крупных моторных нейронов, управляющих движениями губ и языка, и в них самих (рис. 17.1).



Наши чувства обманывают нас, и кажется, что вкусовые ощущения возникают в самой полости рта, хотя по большей части они вообще возникают благодаря ретро обонянию.

Система моторики неразрывно связана с системой восприятия вкусовых ощущений. Когда мы едим, язык и губы пребывают в постоянном движении. Мы уже упоминали, что наши чувства обманывают нас и нам кажется, что вкусовые ощущения возникают в самой полости рта, хотя по большей части они вообще возникают благодаря ретроназальному обонянию. Это явление называется *сенсорным переносом восприятия*. Помимо сенсорных сигналов, сенсорный перенос в полости рта, вероятно, сопряжен с высоким уровнем активности в моторных зонах коры, отвечающих за движения языка и губ. Этот механизм усиливает свойственное многим из нас заблуждение о восприятии вкусовых ощущений в полости рта и пуще прежнего раздувает значимость рта в сенсорном восприятии.

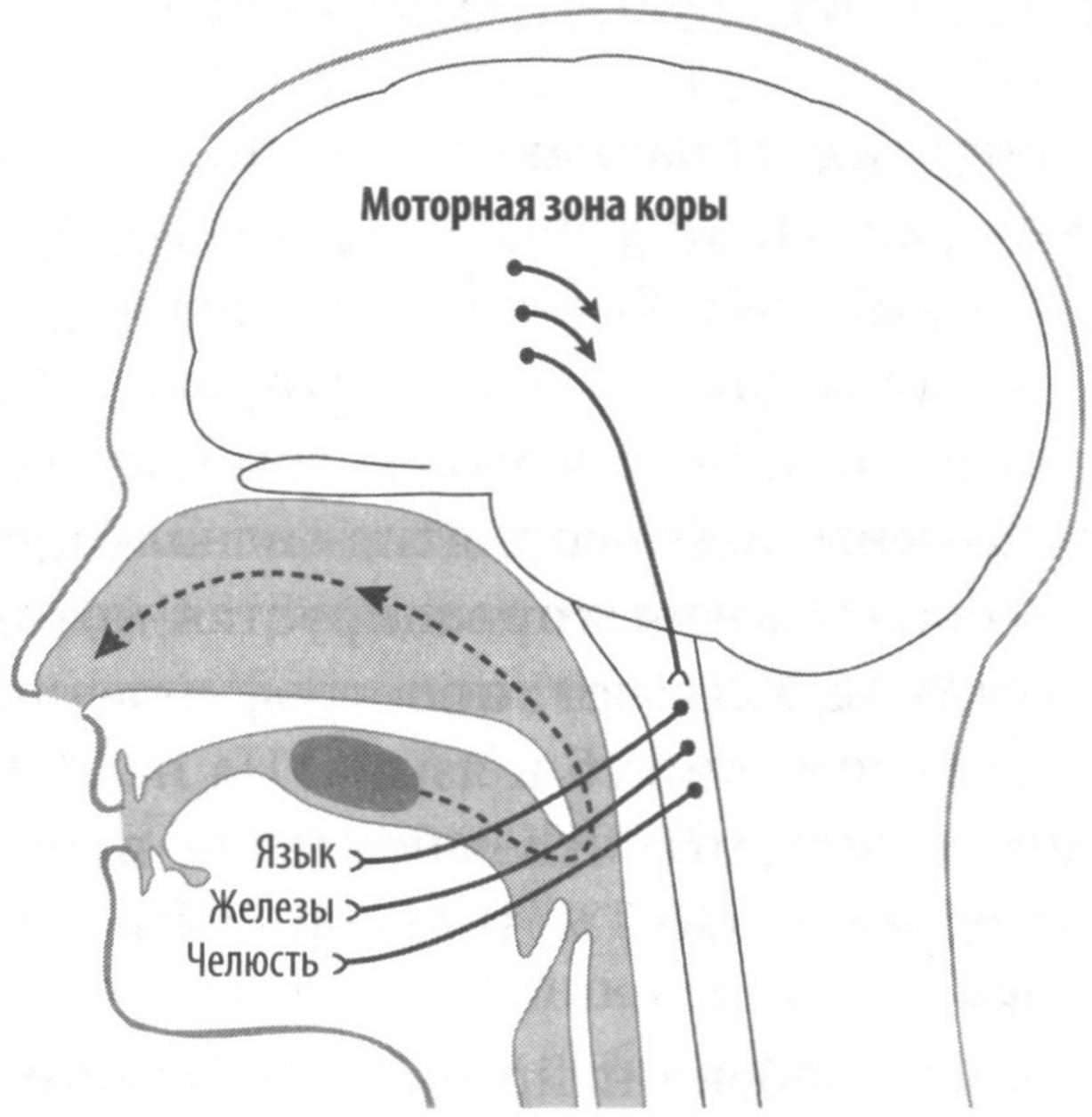


Рис. 17.1. Двигательная система человека: моторная зона коры и полость рта

КАК ПЕРЕЖЕВЫВАНИЕ ПИЩИ СОЗДАЕТ ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ

Теперь нам предстоит изучить четыре группы движений в полости рта, активируемых нисходящими импульсами моторной системы, вовлеченной в формирование вкусовых ощущений: пережевывание, перемешивание, проглатывание и дыхание. Что мы можем сказать об этих движениях с эволюционной точки зрения?

К сожалению, эволюция почти бесследно стерла интересующие нас аспекты формирования нашего вида, но до нас все же дошли некоторые крайне интересные моменты, так или иначе связанные со вкусовыми ощущениями. От наших предков остались лишь кости, но кости черепа очень прочные, а зубы и того крепче. Износ зубов способен многое рассказать антропологам о том, как питались древние люди; этот прием позволяет ученым очертить предполагаемый рацион изучаемого вида. Нас же в данном случае интересует именно то, как механический процесс пережевывания пищи способствует возникновению вкусовых ощущений.

Млекопитающие обладают несколькими видами зубов, а именно: острыми, похожими на лезвия резцами в передней части рта; клыками, напоминающими по форме кинжалы; и коренными зубами для размалывания пищи. Резцами и клыками мы захватываем, раздираем и режем мясо и овощи на кусочки подходящего размера. Это требует немалых усилий и возможно лишь благодаря сильным мышцам челюстей. Размер и расположение этих мышц напрямую влияют на очертания человеческого лица.

Оторванные кусочки пищи перемещаются языком на малые и большие коренные зубы (премоляры и моляры), где начинается сам процесс пережевывания. Язык направляет движение пищи в полости рта и заталкивает ее на подвижную поверхность зубов, где еда постепенно перетирается и разминается, пока не становится относительно однородной массой (ее называют *болюсом*). Это перемалывание (в научной терминологии этот процесс называют мастикацией) разрушает оболочки клеток, из которых состоит пища, и высвобождает летучие частицы из пережевываемого мяса, овоща или фрукта. Как и прочие млекопитающие, мы предпочитаем сосредоточить все усилия на одной стороне челюсти и пережевывать пищу там; наш язык постоянно подталкивает пищу к «рабочей» стороне полости рта. Для того чтобы прожевать почти все виды пищи, нам приходит-

ся много раз сжимать и разжимать челюсти. Известный комик Боб Ньюхарт утверждал, что его мать говорила ему пережевывать каждый кусочек столько раз, сколько было зубов у него во рту. Еще одним признаком достижения пиковой концентрации одорированных частиц в полости рта (и удобоваримости болюса) является смешение разных продуктов в составе блюда в единую массу, в которой осязательные рецепторы языка более не способны отличить один компонент от другого.



Как и прочие млекопитающие, мы предпочитаем сосредоточить все усилия на одной стороне челюсти и пережевывать пищу там.

Одним из ключевых этапов эволюции нашего биологического вида стало сокращение времени и количества усилий, необходимых для полноценного пережевывания пищи. Наши двоюродные братья-приматы проводят добрую половину своих дней в медленном пережевывании жесткого мяса и растительных волокон. В главе 4 мы уже упоминали, что открытие огня и технологии приготовления на нем пищи, возможно, является одним из самых серьезных шагов в эволюции человека, ведь термообработка размягчает не только мясо, но и овощи с фруктами — их пищевая ценность повышается, а на пережевывание, наоборот, уходит куда меньше времени.

КАК ПОМЕШИВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ ВО РТУ СОЗДАЕТ ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ

Жизнь поддерживается жидкостью, и всем млекопитающим нужно пить — приматы и люди исключением из правила, определенно, не являются. Существуют разные способы доставки жидкости в полость рта: животные по большей части лакают жидкость из водоемов или мисок, а люди отхлебывают из всевозможных емкостей или втягивают напитки через трубочку. Процесс переноса жидкости от источника до рта осуществляется губами. Если человек очень хочет пить, то жидкость может почти мгновенно миновать полость рта; в других случаях, например при распитии вина, жидкость может оставаться во рту достаточно продолжительное время. Если жидкость задерживается во рту, то к процессу подключается язык — мы медленно перемешиваем им жидкость, орошая вкусовые почки со всех сторон, что позволяет не только воздействовать на всевозможные рецепто-

ры как можно дольше, но и дает ретроназальному обонянию время на восприятие всех оттенков аромата напитка. Можно с чистой совестью предположить, что навыки дегустатора во многом зависят от заучивания особых движений языка, позволяющих должным образом распробовать вино всеми доступными системами восприятия.

МЕХАНИЗМ ГЛОТАНИЯ

Когда болюс достигает нужной консистенции, язык продвигает его к задней стенке полости рта, где его ожидает заключительная проверка рецепторами вкуса — они определяют готова ли пища к проглатыванию или же требует дополнительного измельчения. Если болюс готов, то в глубине рта происходит безупречно скоординированная последовательность движений. Мягкое нёбо твердеет и поднимается, перекрывая доступ к носоглотке и пресекая таким образом ретроназальное обоняние. Мышцы основания языка сначала продвигают болюс к глотке, в самую дальнюю точку полости рта, а затем поднимаются, проталкивая комок перемолотой пищи в гортань. Одновременно с этим мышцы нижней глотки расслабляются, пропуская болюс в пищевод, а другие мышцы сокращаются, закрывая складки голосовых связок, и поднимают надгортанник, не позволяя пище пойти «не в то горло» и попасть в трахею. Затем болюс оказывается во власти перистальтики — ритмичных мышечных движений стенок пищевода, постепенно проталкивающих пищу к желудку. В физиологии питания этот процесс рассматривается в мельчайших подробностях. Например, Эндрю Тэйлор и его коллеги из Ноттингемского университета в Англии провели анализ интенсивности вкусовых ощущений в процессе пережевывания и проглатывания разных объемов пищи с различным содержанием жиров. Они определили, что наибольшей интенсивности вкусовые ощущения достигают, если набрать полный рот нежирной пищи. Следовательно, объем набитой в рот еды также является одной из переменных в многогранной системе восприятия вкусовых ощущений.

КАК ДЫХАНИЕ СОЗДАЕТ ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ

Дыхание участвует в формировании запаха на двух этапах поглощения пищи: в процессе мастикации и после проглатывания. При мастикации мы продолжаем дышать, пока болюс остается в по-

лости рта — в то время как пища стимулирует рецепторы вкуса и осязания, наше ретроназальное обоняние с каждым вдохом получает новую порцию одорированных частиц. Для регистрации сложнейших движений, обеспечивающих дыхание при мастикации, перемещении болюса к глотке и проглатывании пищи, используется видеофлюорография. Вы можете сами проследить влияние дыхания на восприятие вкусовых ощущений в следующий раз при приеме пищи. Когда мы проглатываем еду, болюс покидает чувствительную зону языка, а носоглотка закрыта, потому в этот момент мы не чувствуем ни вкуса, ни запаха. Проглатывая, мы непроизвольно задерживаем дыхание, чтобы пища не попала в дыхательные пути; но как только пища прошла надгортанник, мы делаем выдох. Это происходит непроизвольно, даже если до этого мы не сделали вдох. В течение какого-то времени мы продолжаем дышать ароматом проглоченной пищи; мы ощущаем запах от частичек еды, оставшихся на стенках глотки.

* * *

Как показало недавнее исследование о высвобождении аромата вина, проведенное Тэйлором и его коллегами, процесс восприятия запаха при употреблении жидкостей протекает аналогичным образом. Пока мы перекатываем жидкость на языке, продолжаем дышать в обычном режиме, и наше ретроназальное обоняние с каждым выдохом дарит нам еще одну порцию наслаждения в форме летучих соединений, высвобождаемых из напитка.

* * *

Следует отметить, что скоординированные мышечные движения, неотрывно связанные с процессом восприятия вкусовых ощущений, делают его «активным» видом восприятия. Другие чувства стимулируются пассивно, просто воспринимая видимое, звук или запах. Вкусовые ощущения же, напротив, возникают исключительно благодаря мышечной активности — мы должны положить еду в рот, прожевать и проглотить ее. Все эти движения зарождаются в распределенных по всему мозгу моторных зонах, в очередной раз подчеркивая огромную роль человеческого мозга в таких элементарных действиях, как получение удовольствия от пищи и напитков.

Глава 18

СВОДЯ ВСЕ ВОЕДИНО: СИСТЕМА ВОСПРИЯТИЯ ВКУСОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ МОЗГОМ

Мы рассмотрели основные сенсорные и моторные системы восприятия, участвующие в формировании «вкуса», который, как вы уже поняли, на самом деле является «вкусовыми ощущениями». Все эти системы имеются и у других видов животных, но человеческое восприятие имеет ряд отличий. У нас меньше обонятельных рецепторов, но при этом мы идеально приспособлены для ретроназального восприятия запаха. Наш мозг больше, а его зоны многочисленны и тесно связаны между собой. К тому же мы умеем разговаривать. За счет этого наше количественное восприятие вкусовых ощущений отличается от животного, а качественное восприятие располагает куда более широкими возможностями для создания и осмысления вкусовых впечатлений. Желая подчеркнуть исключительность этой системы и ее уникальность для нашего вида, я нарекаю ее *системой восприятия вкусовых ощущений человеческого мозга*.

* * *

То, что человек обладает уникальным восприятием вкусовых ощущений, было предсказано еще Жаном Антельмом Брийя-Савареном. В одном из первых разделов его книги, озаглавленном «Удовольствия, вызываемые вкусом» (под «вкусом» подразумеваются «вкусовые ощущения»), он размышляет:

«Восприятие вкуса, коим нас наделила Природа, по-прежнему доставляет нам больше наслаждения, чем прочие чувства восприятия, ибо еда:

1. Дарует нам удовольствие, и при умеренном ее потреблении у нас не будет повода раскаиваться в этом.

2. Она присутсвует во всех периодах истории и нужна людям любого возраста и положения в обществе.

3. Необходима нам по меньшей мере раз в день, и за тот же период времени мы можем без малейших неприятных последствий для себя принять ее два, а то и три раза.

4. Не только прекрасно сочетается со всеми прочими удовольствиями, но и утешает нас в их отсутствие.

5. Создает вкусовые ощущения, которые остаются с нами дольше, чем иные чувства, и вместе с тем в большей мере подчинены нашей воле.

6. Помимо всего прочего, дает нам ощущение особого, неуловимого умиротворения, что возникает из инстинктивного понимания того, что наши действия возместили потери тела и продлили нам жизнь».

В следующем разделе, «Превосходство человека», он пишет:

«Из всех существ, что ходят, плавают, лазят и летают, человек обладает наиболее совершенным восприятием вкуса.

Язык животного по чувствительности сравним с его умом».

Идея о противопоставлении человека животному, где лишь человек способен испытывать удовольствие, является пережитком тщеславной философии XIX века, когда все искренне считали наш вид венцом творения. Сейчас, в постдарвиновскую эру научной мысли, мы рассматриваем каждый вид по обобщающим характеристикам, сравниваем с видами, имеющими параллельную траекторию эволюционного развития, и выделяем уникальные качества, позволившие этому виду занять свою эволюционную нишу. С точки зрения современной науки правильнее будет скорректировать выводы Брийя-Саварена и сказать, что человеческий мозг обладает определенными свойствами, делающими получение удовольствия от вкусовых ощущений чрезвычайно важным для нас. На самом деле этот нюанс также проскальзывает в книге Брийя-Саварена: «Поскольку вкус нельзя измерить лишь природой ощущения, что возникает в центре жизни, впечатления животного от вкуса пищи не сравнятся с теми, что испытает человек».

* * *

Систему восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом можно поделить на два этапа. К первому относятся уже рассмотренные сенсорные системы, подпитывающие наше вкусовое восприятие. Они преобразуют индивидуальные сенсорные проекции в единое, целостное восприятие вкусовых ощущений. Во втором этапе задействованы *функциональные системы*[1], использующие весь потенциал человеческого мозга, они формируют и контролируют наше поведение. Системы, рассмотренные нами ранее, схематично представлены на рис. 18.1. Здесь крайне наглядно показан объем

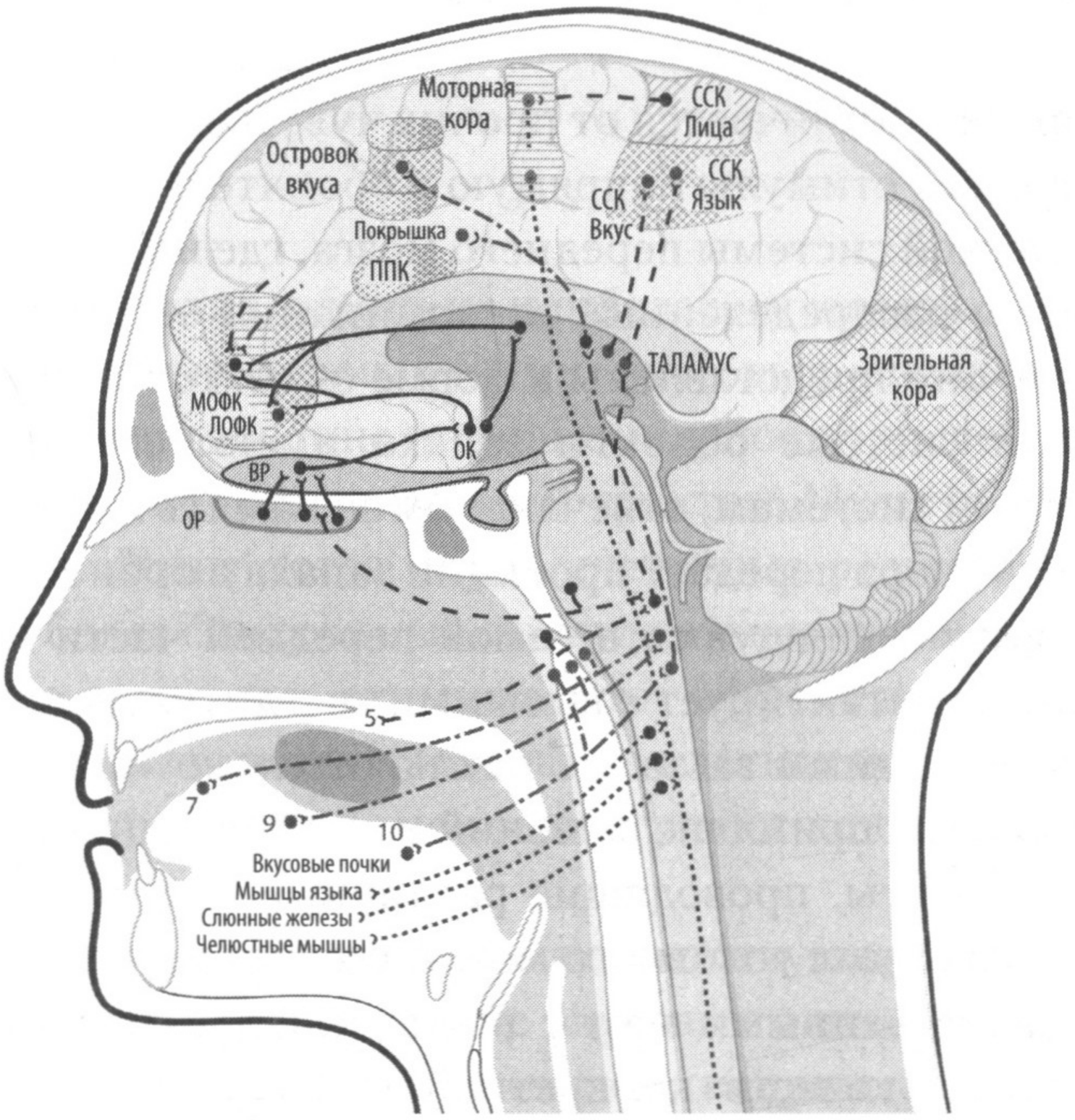


Рис. 18.1. Обобщенное представление всех рассмотренных ранее сенсорных систем, составляющих систему восприятия вкуса человеческим мозгом

Аббревиатуры расшифровываются так же, как и на прошлых иллюстрациях. ППК — передняя поясная кора. ССК — соматосенсорная кора.

(Составлено по материалам статьи G. M. Shepherd, Smell images and the flavour system in the human brain, Nature 444 [2006]: 316–321/

---

[1] Динамические самоорганизующиеся саморегулирующиеся построения, все компоненты которых объединяются для достижения целей, полезных для самой системы и организма в целом.

мозга, вовлеченный в систему формирования вкусовых ощущений. Прежде чем мы приступим к рассмотрению второго этапа, нам следует подготовиться и повторить все рассмотренные нами ранее компоненты первого этапа системы вкусового восприятия.

СИСТЕМА ВОСПРИЯТИЯ ВКУСОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ

Мы уже знаем, что система восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом начинается с пяти чувств восприятия, получающих стимулы от своих рецепторов и преобразовывающих их в нейронные проекции.

- **Обоняние** — отличается от прочих чувств в этом списке тем, что передает стимулы напрямую в обонятельную кору, часть лимбической системы переднего мозга, где на их основе формируются распределенные воспоминания об обонятельном стимуле; они представлены в форме объектов запаха. В лимбической системе объекты запаха имеют прямой доступ к мозговым системам, отвечающим за память и эмоции. Обонятельная кора передает проекции запаха в орбитофронтальную кору, находящуюся в самой передней части мозга, где проекция контактирует с высшими мыслительными центрами, отвечающими за такие исключительно «человеческие» процессы, как принятие решений и планирование.
- **Вкус** — тракты, проводящие различные вкусовые сигналы, сходятся в стволе головного мозга, где они тут же соотносятся со свойственными нам с рождения проявлениями эмоциональных качеств конкретной группы стимулов. Затем вкусовые импульсы передаются в корковые зоны, где взаимодействуют с проекциями компонентов вкусовых ощущений, созданными остальными сенсорными системами.
- **Осязание** (оно же «ощущения в полости рта») — различные подвиды тактильного восприятия пищи и жидкостей в полости рта передаются по осязательным трактам в стволе головного мозга в таламус, а также в соответствующие принимающие и ассоциативные зоны коры. Рот и язык отображаются на сенсорном гомункулусе в гипертрофированном виде и занимают немалую площадь, в очередной раз подтверждая, что

роль восприятия ощущений в полости рта является не менее важной составляющей вкусовых ощущений, чем иллюзия возникновения запаха из вкуса.

- **Зрение** — вид нашей еды и напитков до того, как мы их употребляем, активирует зрительный тракт, проходящий через таламус и заканчивающийся в зрительных зонах заднего мозга. Зрение оказывает огромное влияние на то, как мы оцениваем вкусовые ощущения, чем и пользуются рекламодатели при продвижении своего съедобного товара.
- **Слух** — звук, с которым мы едим пищу, также является неотъемлемой частью сенсорного опыта и получаемых нами вкусовых ощущений.

* * *

На мой взгляд, одним из наиболее интересных аспектов формирования испытываемых нами вкусовых ощущений является процесс сведения воедино информации, поступившей по всем изображенным на рис. 18.1 сенсорным трактам. Мультисенсорная интеграция происходит тогда, когда клеточные реакции в одной зоне на два или более синхронных стимула становятся не просто суммой реакций на отдельные стимулы. Этот эффект называется *супераддитивностью*. Он может протекать в клетках нескольких зон в том случае, если туда одновременно поступают конгруэнтные (взаимодополняющие) стимулы.

Этот эффект вызывает соответствующую поведенческую реакцию, а именно восприятие вкусовых ощущений на основе совокупности конгруэнтных стимулов, например вкусовых и обонятельных. Конгруэнтность является приобретенным свойством, скорее всего сопряженным с механизмами обонятельной коры, которая проецирует информацию о запахах в орбитофронтальную кору через другие зоны мозга, такие как обонятельный островок и передняя часть поясной извилины. Мария Вельдхуйзен, Кристен Руденга и Дана Смолл в лаборатории Джона Б. Пирса и Йельском университете предполагают, что «супераддитивные реакции в этих зонах во многом зависят от приобретенного опыта, что подкрепляет гипотезу об этих зонах как ключевых узлах распределенной репрезентации объекта запаха».

Концепция «распределенной репрезентации объекта запаха» крайне удобна. На уровне мозга эта распределенная активность представлена в виде внутреннего «образа» вкусового ощущения пищи или напитка, возникающего при активации рецепторов вкуса и запаха в полости рта и носа. Подобно тому как распределенные по телу сенсорные клетки собирают информацию о пище, так и внутренний образ формируется из распределенной по разным зонам мозга активности и возникает из определенного сочетания их входящих и исходящих связей.



Подобно тому как распределенные по телу сенсорные клетки собирают информацию о пище, так и внутренний образ вкуса формируется из распределенной по разным зонам мозга активности.

На основании всех этих нюансов складывается идея о некоем «внутреннем мысленном образе» объекта вкусовых ощущений. Традиционно понятие внутреннего образа было прерогативой зрения. Визуальный мысленный образ отличается от сенсорного визуального образа тем, что второй проецируется на сетчатку глаза и передается по зрительному тракту в таламус, откуда затем поступает в зрительную кору. Эти два образа пересекаются в так называемой *буферной* зоне, расположенной где-то в первичных или вторичных зрительных ассоциативных зонах коры. Именно в буферной зоне восходящий образ, воспринимаемый нашими глазами, сходится с нисходящим, воображаемым образом.

«Мысленные образы» чаще всего ассоциируются с одной модальностью, к примеру с визуальными образами (когда человек визуализирует зрительный объект, словно рассматривая его с разных ракурсов). Другие модальности также допускают мысленные образы, такие как «образ запаха» (когда человек представляет себе запах), «слуховой образ» (когда человек думает о мелодии) и даже «моторный образ» (когда человек планирует произвольное движение). Концепция «обонятельного образа» получила подкрепление в исследованиях человеческого мозга с помощью функционального сканирования, проведенного М. Бенсафи, Ноамом Собелем и их коллегами. Интуитивно эти внутренние процессы воображения тех или иных объектов кажутся нам вполне разумными; более того, мы способны соотнести их с конкретными зонами мозга. Например,

мы уже обладаем доказательствами того, что буферная зона между внешними и внутренними зрительными образами расположена в зрительной коре.

Этот «графический» подход является наиболее популярным из концепций мыслительных образов. Стивен Косслин, ранее работавший в Гарвардском университете, а теперь в Беркли, в Калифорнии, является одним из активных сторонников и пропагандистов этой концепции.

Альтернативной, менее популярной концепцией считается идея, что наш внутренний образ является не графическим в прямом смысле этого слова, а скорее «предположительным», более подходящим для действия, подразумеваемого этим образом.

Обсуждая данную концепцию в научных кругах, мы стремимся расширить идею мыслительного образа от изолированного в рамках зон мозга, работающих с одной модальностью восприятия (например, визуальной коры), до распределенного мыслительного образа, охватывающего несколько зон мозга и более одной модальности. Со временем мы приблизились к достижению консенсуса касательно одновременной активации некоторых зон мозга при употреблении пищи; на данный момент мы сошлись на том, что активация *орбитофронтальной коры, переднего островка и верхней покрышки, фронтальной покрышки и передней части поясной извилины* является не чем иным, как распределенным по мозгу образом объекта вкусовых ощущений. Мы можем сказать, что эта «одновременная супераддитивная приобретенная активность в этих зонах является образом вкусовых ощущений». Этот перцептивный (воспринимаемый) образ и есть нейронное воплощение вкусового ощущения из архива нашей памяти.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВКУСОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ

Мы наконец завершили рассмотрение первого этапа системы восприятия вкусовых ощущений, на котором происходит непосредственно процесс их формирования. Второй этап во многом отличается от первого, ведь он затрагивает то, что мы делаем с этими вкусовыми ощущениями, как они воздействуют на наши поведенческие реакции. Я называю второй этап *функциональными*

системами вкусовых ощущений. Истинный охват системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом скрывается в целой сети областей и связей между ними, которая задействует весь потенциал крупного человеческого мозга и придает образу вкусовых ощущений его истинное значение, проявляясь в характерном лишь для человека поведении. С левой стороны рис. 18.2 показаны уже рассмотренные нами сенсорные системы; с правой же стороны перечислены зоны мозга, осуществляющие обработку данных этих систем. Как и рис. 18.1, эта диаграмма в первую очередь призвана показать степень вовлеченности человеческого мозга в функциональные системы вкусовых ощущений. В последующих главах мы подробно рассмотрим каждую из перечисленных ниже функциональных систем.

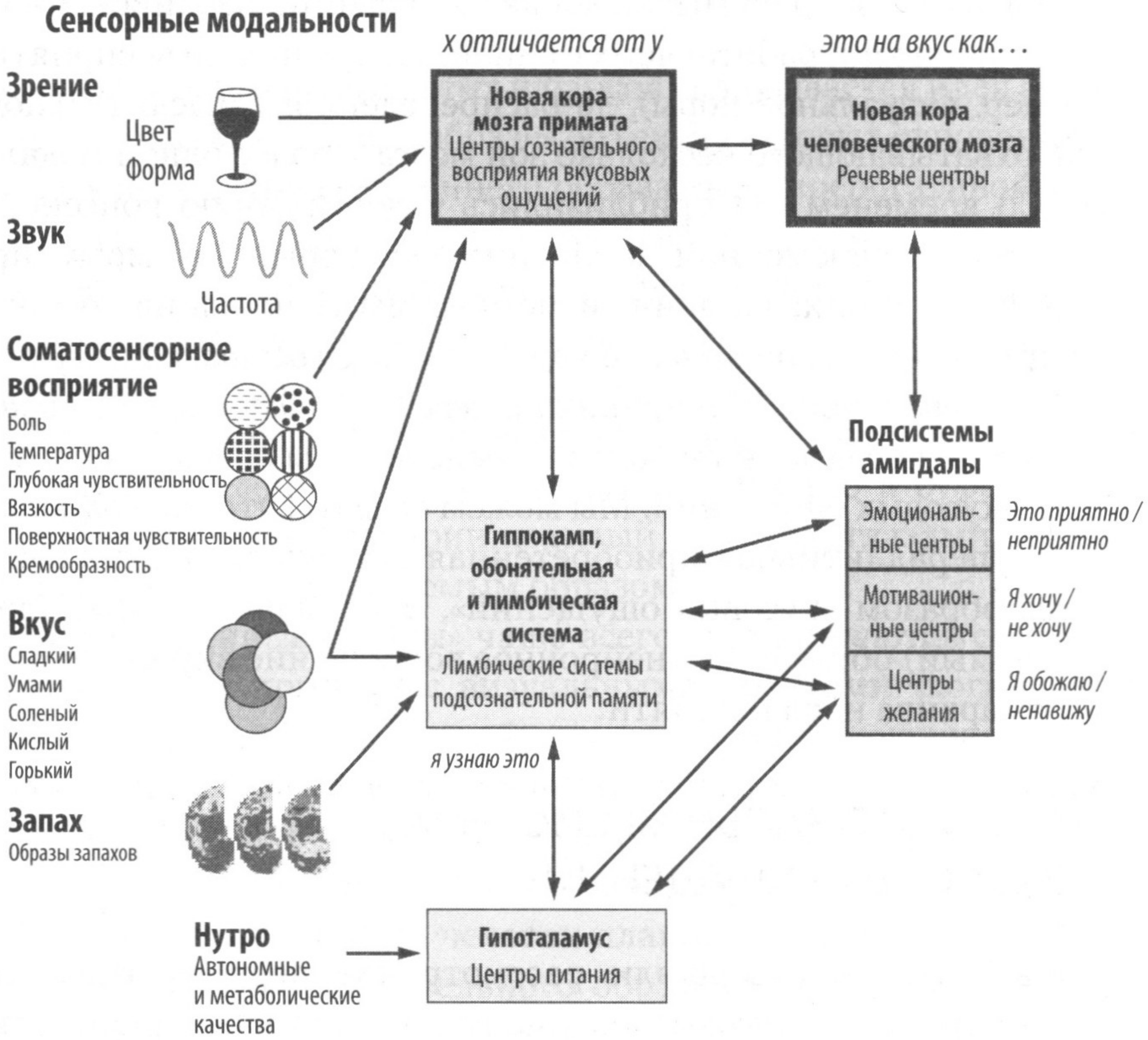


Рис. 18.2. Блок-схема системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом
(Составлено по материалам статьи Шеперда Г. М. "Smell images and the flavour system in the human brain", журнал Nature 444 [2006]: 316–321.)

- **Эмоции** — все млекопитающие имеют мозговые системы, предназначенные для работы с эмоциями. У человека эти системы крайне обширные, развитые и тесно связанные между собой. Это позволяет нашим эмоциям, связанным со вкусовыми ощущениями, перекидываться на другие зоны мозга, отвечающие за прочие аспекты нашего психического состояния.
- **Память** — у всех млекопитающих также имеются зоны мозга, предназначенные для процессов, связанных с памятью, и они крайне развиты — к примеру, слоны наделены поистине легендарной способностью к запоминанию. В мозге человека есть множество зон с воспоминаниями, с которыми свободно взаимодействует система восприятия вкусовых ощущений. Прекрасным примером такого взаимодействия является показательная история Пруста о воспоминаниях, пробужденных печеньем «Мадлен»[1].
- **Принятие решений** — одним из ключевых преимуществ нашего увеличившегося в процессе эволюции мозга является способность выбирать один вариант из множества альтернатив, каждая из которых влияет как на настоящее положение вещей, так и на будущее. Нигде принятие решений не имеет такого веса, как при выборе соотношения между вкусной и полезной пищей.
- **Гибкость** — то, что делает наш мозг таким, как он есть, и влияет на то, каким он станет впоследствии. Наш мозг зависим от активности, и это выражается в пластичности наших нейронных клеток и связей между ними. Нам нужно осознавать, что вкусовые предпочтения имеют стратегические последствия и преобразовывают саму систему восприятия вкусовых ощущений.
- **Язык и речь** — люди являются единственным видом, владеющим речью и языком, и это напрямую влияет на то, как мы распознаем и оцениваем вкусовые ощущения.
- **Сознание** — нейронная основа сознания является крайне обсуждаемой темой как в нейронауках, так и в философии;

---

[1] Речь идет о книге Марселя Пруста «В сторону Свана», первой в цикле «В поисках утраченного времени». Во французском языке выражение «мадленка Пруста» (*фр.* la madeleine de Proust) употребляется как метафора предмета, вкуса или запаха, вызывающих наплыв воспоминаний.

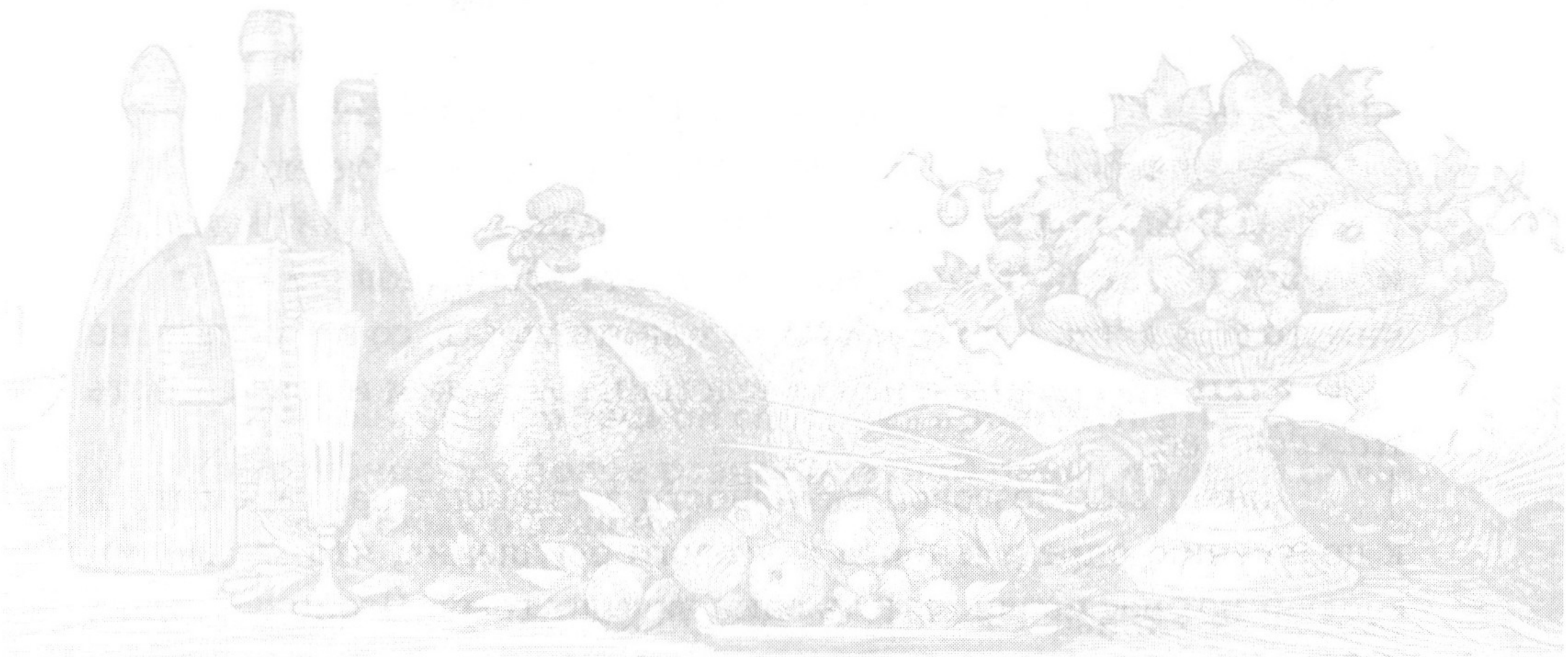
большая часть дебатов сводится к спорам о том, что мы «видим» сознательно. Нам же предстоит узнать о трудностях, поджидающих исследователей на пути изучения нейронной основы сознательного восприятия запахов и вкусовых ощущений, и разобраться, что же мешает нам их преодолеть.

* * *

Полагаю, нам стоит начать изучение второго этапа восприятия с парочки интересных вопросов. Почему нам нравятся определенные вкусовые ощущения? Чем объясняется тесная связь между образами вкусовых ощущений и удовольствием от этих ощущений? Ответить на эти вопросы мы сможем, лишь обратившись к связям между эмоциональными и иными центрами нашего мозга.

ЧАСТЬ IV

Почему это важно



Глава 19

ВКУС И ЭМОЦИИ

Переходя от сенсорной информации к функциональной активности системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом, логично в первую очередь рассмотреть эмоции. Слово *эмоции* происходит от латинского глагола «двигаться». Движения рта и языка делают вкусовое восприятие «активным» чувством, но оно такое еще и потому, что мы должны быть мотивированы на добывание еды и питья, которые планируем поместить себе в рот. Как уже упоминалось в предыдущей главе, эти системы тесно связаны с частью мозга под названием миндалевидное тело, или амигдала, и их активизация начинается с момента возникновения мотивации, то есть когда мы *хотим* пищу или жидкость; со временем она может нам *понравиться*, и впоследствии мы можем и вовсе начать *жаждать* ее.

Какой вид мозговой активности заставляет нас стремиться к получению определенного вкусового ощущения, что за эмоции сподвигают нас предпочитать один вкус другому? Что происходит, когда мотивация становится слишком высокой, а вкус неотразимым, и как мозг переключается от симпатии к вкусовому ощущению на алчную жажду? Ответы на эти вопросы ищут многие исследователи, и мы надеемся, что со временем узнаем достаточно, чтобы лучше понимать как обычную симпатию к пище, так и нездоровую тягу к ней.

ОБРАЗЫ ЖЕЛАНИЙ

Для поиска ответов на эти вопросы в мозге человека ученые используют функциональное сканирование. В 2004 году одними из первых исследователей стали Марсия Пелчат и ее коллеги в Монельском центре химических ощущений в Филадельфии. Чтобы

разобраться в том, как восприятие взаимодействует с эмоциями, и узнать, как изучают человеческие эмоции, нам стоит поподробнее рассмотреть это первопроходческое исследование.

Таблица 19.1

ЗОНЫ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ СТИМУЛЯЦИИ ПРИЯТНЫМИ ЗАПАХАМИ ПИЩЕВОЙ ЭТИОЛОГИИ

Орбитофронтальная кора Островок	Поясная кора Амигдала	Парагиппокампальная извилина Передняя извилина Веретеновидная извилина Стриатум

Авторы подчеркнули, что большинство людей, особенно молодых, склонны жаждать любимую пищу, и это может сыграть немалую роль в слишком частых перекусах, расстройствах пищевого поведения и ожирении. Нет никаких доказательств того, что нас тянет к наиболее питательной пище, но исследования показали, что скучный, скупой рацион способен пробудить в нас острую потребность в более разнообразной пище, дающей больше вкусовых ощущений.



Скучный, скупой рацион способен пробудить в нас острую потребность в более разнообразной пище, дающей больше вкусовых ощущений.

Ученые также отметили, что в ходе более ранних исследований был выявлен ряд зон мозга, активирующихся при стимуляции вкусовыми ощущениями. Эти зоны по большей части совпадали с зонами сенсорных систем, рассмотренных нами ранее; с их списком вы можете ознакомится в табл. 19.1. В упомянутых исследованиях для стимулирования «жажды» к пище использовался голод. Специфическое влияние голода на все системы нашего тела вполне способно затмить нашу тягу к конкретным пищевым стимулам. Чтобы избежать этого искажения, авторы решили использовать в качестве точки отсчета монотонный рацион, а не голод.

Это исследование было первым в своем роде. По одной из его гипотез, острое желание пищи задействовало те же зоны мозга, что и очень приятная еда. В то же время нам может нравиться множество видов пищи, но при этом она далеко не всегда вызывает

у нас непреодолимую тягу. Авторы прекрасно понимали, что подобная «жажда» характерна в первую очередь для наркотической зависимости.

Многие люди крайне заинтересованы в механизмах мозговой активности, связанных с воздействием наркотиков. Для выявления такой активности и ее изучения методом аппаратного сканирования было проведено множество экспериментальных процедур. В результате этих исследований мы получили доказательства, что «жажда» наркотических веществ, в том числе алкоголя, активирует определенные зоны мозга (табл. 19.2).

Таблица 19.2

ЗОНЫ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ЗЛОУПОТРЕБЛЕНИИ НАРКОТИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Орбитофронтальная кора Островок Фронтальная поясная кора Амигдала	Дорсолатеральная префронтальная кора Гиппокамп Хвостатое ядро

Интригует совпадение первых четырех пунктов в этих списках. Авторы решили сосредоточиться на зонах потенциального совпадения схем мозговой активности при тяге к еде и наркотикам: «Наша гипотеза основана на предположении, что индивиды, получающие монотонный, единообразный рацион, будут сильнее жаждать пищу и соответствующие зоны их мозга продемонстрируют большую активность, чем у индивидов, получающих привычный им рацион». Их гипотеза отличается храбрым предположением, что жажда приятной для нас пищи — гипертрофированное проявление обычных пищевых привычек — может задействовать те же схемы мозговой активности, что и тяга к наркотическим веществам, как к социально приемлемым наркотикам, таким как табак и алкоголь, так и незаконным, например кокаину. Такие гипотезы являются локомотивом науки — они позволяют исследователям эффективно структурировать свою работу, сосредоточиться на деле и не бояться сравнения с другими исследованиями схожей направленности.

Для участия в опытах ученые пригласили добровольцев — студентов высших учебных заведений, у которых не было проблем со здоровьем. Некоторые из них в течение нескольких дней придерживались привычного им рациона, а остальные были переведены

на однообразное меню. Обычную пищу им заменили на напиток с ванильным вкусом и энергетической ценностью в 240 ккал, в состав которого входили необходимые белки и витамины. Подопытные употребляли в среднем девять банок по 8 унций (примерно 226 грамм) в день, в итоге получая порядка 2200 ккал в сутки.



Возможно, желание употреблять вкусную пищу задействует те же механизмы в мозге человека, что и тяга к употреблению табака и алкоголя.

В конце второго дня участникам эксперимента провели сканирование мозга. Сначала — в состоянии покоя. Затем им показали названия двух видов блюд, которые сами подопытные назвали любимыми при предварительном опросе, и попросили представить себе запах, вкус и текстуру своего любимого блюда; аппаратура тем временем регистрировала и записывала мозговую активность. Исследователи остановились на визуальной презентации лишь названий пищи, дабы избежать демонстрации неоптимального варианта блюда, что могло прийтись подопытным не по вкусу — ориентируясь на название, они могли сами вообразить то, что было им по душе. Активность регистрировалась и картировалась при помощи МРТ с контрастом (метод BOLD[1]) с мощным магнитом (в 4 Тл), что позволяло изучить активность даже в наиболее мелких зонах мозга.

Таблица 19.3

ЗОНЫ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ НЕПРЕОДОЛИМОЙ ТЯГЕ К ПИЩЕ

Левый гиппокамп	Левый островок	Правое хвостатое ядро

Все подопытные подтвердили, что им не составило труда представить свою любимую пищу. Те из них, кто находился на однообразной диете, дополнительно сообщили, что, представляя свою любимую еду, жаждали ее, в то время как в контрольной группе подобную жажду испытал лишь один из подопытных. Ни один из участников не продемонстрировал тяги к однообразному рациону.

Результаты сканирования были абсолютно однозначными. У студентов с однообразным меню при представлении любимых

---

[1] BOLD расшифровывается как Blood Oxygen Level Dependent, то есть «зависящая от насыщения крови кислородом».

блюд активировались некоторые зоны мозга, импульсы в которых не наблюдались у подопытных из контрольной группы. Список этих зон приведен в табл. 19.3. Результаты оказались крайне показательными, ведь все обнаруженные зоны активности также были задействованы в случае тяги к наркотикам. Сканирование показало, что лишь одна зона — островок — объединяет непреодолимое желание пищи с получением удовольствия от приятных запахов. Ученые считают, что результаты эксперимента подкрепляют их гипотезу о существовании «общей схемы желания удовлетворения естественных и патологических потребностей».

Все три зоны, выявленные в ходе этого эксперимента, — гиппокамп, островок и хвостатое ядро — с точки зрения нейрогастрономии заслуживают более пристального внимания.

Установлено, что *гиппокамп* задействован в процессах кокаиновой зависимости; скорее всего, это происходит за счет инициации процесса повторного переживания, способствующего этому поведению. Если это так, то гиппокамп может предоставлять и следы памяти, провоцируя таким образом жажду к пище. Говоря языком психологии, память способствует закреплению приобретенного пристрастия. Когда зависимый видит наркотик, то поступающий визуальный образ подкрепляется сохраненным в мозге следом памяти; в таком случае точкой пересечения встречных сигналов будет зона, эквивалентная буферным зонам мысленных образов, рассмотренных нами в предыдущей главе.

С функциями *островка* мы уже знакомы — именно там сводятся воедино поступающие сигналы обонятельной и вкусовой систем восприятия; исследования также показали, что островок задействован во вкусовой памяти и эмоциональном поведении. Островок, как и гиппокамп, вполне может оказаться хранилищем закрепляющих воспоминаний.

Хвостатое ядро является частью системы *полосатого тела* и выполняет ряд чрезвычайно важных функций в сенсомоторной координации мозговых процессов. В полосатом теле присутствует высокая концентрация дофамина, нейротрансмиттера, выделяемого волокнами так называемого черного вещества (части ствола мозга, в момент открытия показавшейся гистологам черной). Эта система обладает целым рядом уязвимостей. Дегенеративные процессы в содержащих дофамин клетках черного вещества и окончаниях их волокон в полосатом теле приводят к болезни Паркинсона, вызыва-

ющей тремор рук, замедление движений и множество иных отклонений, в том числе снижение обонятельной восприимчивости (да, это действительно неожиданно). Отклонения в концентрации дофамина некоторые исследователи также ассоциируют с шизофренией.

Если полосатое тело функционирует в штатном режиме, то оно участвует в формировании моторных привычек, и это представляет для нас определенный интерес, ведь пищевое вожделение вполне можно расценивать как въедливые привычки, от которых крайне сложно избавиться. Дофамин также участвует в системе вознаграждения орбитофронтальной коры, которую мы рассмотрим поподробнее в главах 21 и 22. Что до тяги к наркотикам — нидерландские ученые Ингмар Франкен, Ян Буй и Вим ван ден Бринк предположили, что «у зависимых индивидов дофамин участвует в более ранней, мотивационной стадии, то есть до употребления наркотика и получения удовольствия как такового. Эту мотивационную стадию употребления наркотиков можно назвать стадией желания, [или, другими словами] непреодолимой жажды». Их комментарий подчеркивает сложность взаимосвязанных систем мозга, отвечающих за формирование состояний мотивации, которая может вызвать как желание и непреодолимую жажду, так и удовольствие.

Когда исследователи наконец исключили зоны активности, связанные с однообразным рационом, из списка зон, активирующихся при испытывании удовольствия от приятной пищи, они получили новые данные о всех зонах, активных при размышлении о приятной и привлекательной еде у тех подопытных, что испытывали к ней симпатию, но не непреодолимую тягу; эти зоны перечислены в табл. 19.4.

Некоторые зоны в этом списке представляют особый интерес для изучения механизмов мозговой активности, которые не только формируют наше восприятие пищи и вкусовых ощущений, но и создают те мотивационные и эмоциональные состояния, благодаря которым пища нам нравится.

Таблица 19.4

ЗОНЫ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ПОТРЕБЛЕНИИ ПРИЯТНОЙ ПИЩИ

Левая веретеновидная извилина Левая парагиппокампальная извилина Правая амигдала	Билатеральная поясная извилина Левое хвостатое ядро Правый путамен (скорлупа чечевицеобразного ядра)

Левая веретеновидная извилина, расположенная в нижней части височной доли, интересна тем, что многочисленные исследования показали связь между ее активностью и нашим восприятием испытываемых эмоций. Левая веретеновидная извилина работает в связке с соседствующей амигдалой и парагиппокампальной извилиной. Исследования, проведенные Марселем Месуламом и его коллегами из медицинской школы Северо-Западного университета Чикаго в 2001 году, показали, что, когда голодные подопытные рисуют в воображении пищу, фМРТ регистрирует активность именно в этих зонах мозга. Авторы исследования трактуют это так: «Результаты подтверждают гипотезу о том, что амигдала и сопряженные инфротемпоральные зоны [расположенные в нижней части височных долей мозга] задействованы в интеграции субъективных интероцептивных [внутренних] состояний с помощью соответствующих сенсорных сигналов, распространяемых через вентральный зрительный тракт [часть системы зрительного восприятия, вовлеченная в процесс распознавания визуальных объектов]».

Проще говоря, их исследование показало: когда мы голодны и видим изображение еды, которая нам нравится, эта картинка инициирует активность в зрительном тракте и активирует означенные зоны мозга, что приводит к формированию на основе зрительного образа нашего личного, внутреннего «образа пищи». Этот «интероцептивный» образ создает эмоциональное состояние, делающее конкретную еду привлекательной для нас, а заодно и мотивирует нас добыть и съесть объект нашего пищевого интереса. «Образ пищи» является примером мысленного образа, распределенного как по зонам мозга, так и по модальностям, то есть это «мультирегиональный мультимодальный образ», отражающий скорее эмоциональное и мотивационное состояние, нежели внутреннее восприятие того, что изображено на картинке. С точки зрения нейрогастрономии это означает, что, когда вы садитесь за стол и предвкушаете удовольствие, интенсивность ваших «эмоциональных образов вкусовых ощущений», а следовательно, и сами вкусовые ощущения напрямую зависят от того, насколько вы голодны. Пелчат и ее коллеги называют это «образом желания». Образы желаний в функциональной системе вкусовых ощущений выполняют ту же роль, что и образы вкусовых ощущений — в сенсорных системах вкусового восприятия.

Разумеется, мы рассмотрели лишь малую часть функций *амигдалы*, которая, как правило, играет куда большую роль в ме-

ханизмах мозговой активности и восприятия. Мы уже знаем, что амигдала реагирует на интенсивность вкусовых стимулов, но это лишь капля в море ее влияния — она является одним из ключевых элементов в целом спектре эмоциональных реакций и поведения у всех видов млекопитающих.



Когда вы садитесь за стол и предвкушаете удовольствие, интенсивность «эмоциональных образов вкусовых ощущений», а следовательно, и сами вкусовые ощущения напрямую зависят от того, насколько вы голодны.

Поясная извилина тоже представляет немалый интерес для нейрогастрономии. Она является кольцом коры, расположенным сразу над тканями мозолистого тела, которое соединяет полушария мозга. Ряд исследований со сканированием мозга показали, что эта зона неизменно активируется стимулами, обладающими сильной эмоциональной подоплекой, что в равной мере описывает как тягу к еде, которая нам нравится, так и нездоровое влечение к пище и наркотикам. К поясной извилине относятся несколько структур лобной доли, чьи системы непосредственно вовлечены в эти эмоциональные состояния.

Еще одним открытием этого исследования стало отсутствие в числе активных зон *орбитофронтальной коры*. Возможно, это связано с особенностями метода BOLD фМРТ. Орбитофронтальная кора расположена настолько близко к костной оболочке черепа, что сигнал может просто не регистрироваться на снимках. Тем не менее авторы предполагают, что это может объясняться и участием орбитофронтальной коры в размышлениях о любой пище, вне зависимости от того, приятна она нам или нет. Их выводы в очередной раз доказывают, что даже при грамотном проведении экспериментов при интерпретации результатов может обнаружиться нечто необъяснимое, требующее дальнейших, более тщательных исследований.

ШОКОЛАД: ОТ ВОЖДЕЛЕНИЯ К ОТВРАЩЕНИЮ!

Альтернативный подход к механизмам мозговой активности при нездоровой тяге к пище был предложен Даной Смолл и ее коллегами в 2001 году в рамках исследования жажды шоколада. Для

эксперимента были отобраны девять подопытных, характеризовавших себя как «любители шоколада» и показавших высокий результат по шкале «шокоголизма». Через четыре с половиной часа после завтрака их положили в аппарат МРТ и приступили к эксперименту — их мозг сканировали и предлагали им по одному квадратику шоколада за раз. По коварному плану исследователей, таким образом они могли не только установить зоны активности при первом контакте с шоколадом, но и отследить изменения мозговой активности по мере насыщения шоколадом, выдавая подопытным все новые квадратики шоколада до тех пор, пока они больше будут не в силах съесть ни крошки.

Таблица 19.5

ЗОНЫ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ ШОКОЛАДА

При получении удовольствия	При отвращении
Подмозолистое поле Орбитофронтальная кора Островок и покрышка Полосатое тело Средний мозг	Орбитофронтальная кора Парагиппокампальная извилина Префронтальные зоны

Разброс результатов оказался достаточно большим: некоторые из подопытных остановились на 16 квадратиках (примерно половина плитки шоколада), в то время как другие продержались аж до 74 кусочков (а это около двух с половиной плиток). Между каждым предложенным квадратиком выдерживался пятиминутный интервал; чтобы проследить процесс насыщения, подопытных просили оценить каждый квадратик по шкале от «восхитительно, мне ужасно хочется еще кусочек» до «отвратительно, съем еще один, и меня вырвет».

В этом эксперименте зоны активности мозга участников регистрировались как в состоянии голода, когда они были очень мотивированы съесть обожаемую ими пищу, так и когда вкус этой пищи стал для них «отвратительным» и им приходилось заставлять себя ее есть. Полученные результаты приведены в табл. 19.5. В начале эксперимента активность наблюдалась в подмозолистом поле (оно находится под мозолистым телом, соединяющим полушария мозга), в орбитофронтальной коре, островке, покрышке, полосатом теле и в среднем мозге. Эти зоны можно назвать вовлеченными в *об-*

раз вкусовых ощущений желанного шоколада. К концу эксперимента активность наблюдалась в орбитофронтальной коре, парагиппокампальной извилине и префронтальных зонах мозга. Их мы можем связать с *образом вкусовых ощущений при насыщении шоколадом*. Для нейрогастрономов этот сдвиг зон мозговой активности крайне важен, ведь он доказывает, что мозг может по-разному реагировать на употребление даже нашей самой любимой пищи.



Даже на любимую пищу мозг может реагировать как на ненавистную после насыщения ею.

Одним из неочевидных стратегических аспектов этого эксперимента является изучение изменений *вознаграждения* при употреблении шоколада. При исследовании мозга механизмам вознаграждения (они же механизмы *подкрепления*) уделяется много внимания, ведь именно они определяют, что важно для животного, отвечают за мотивацию к работе и влияют на выбор определенного варианта из нескольких альтернатив. Концепция центров вознаграждения была предложена швейцарским ученым Вольфрамом Шульцем, обнаружившим, что при принятии решений о ценности вознаграждения активируется дофаминовая система мозга. Опыты с шоколадом наглядно демонстрируют процесс присвоения пищевому стимулу ценности в зависимости от степени голода или насыщения. Как уже упоминалось в главе 12, орбитофронтальная кора, по совместительству являющаяся заключительным этапом обонятельного тракта, играет ключевую роль в системе вознаграждения. К вопросу о том, как мозг принимает решения в контексте вкусовых ощущений, мы вернемся чуть позже, в главе 22.

Глава 20

ВКУС И ПАМЯТЬ: НОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРУСТА

Для многих людей важность запахов и вкусовых ощущений в первую очередь заключается в воспоминаниях и эмоциях, которые они пробуждают. Для объяснения этого явления нет примера лучше, чем история Марселя Пруста. Понимание принципов работы мозга позволяет по-новому взглянуть на его классический текст:

> Но, когда от давнего прошлого ничего уже не осталось, после смерти живых существ, после разрушения вещей, одни только, более хрупкие, но более живучие, более невещественные, более стойкие, более верные, запахи и вкусы долго еще продолжают, словно души, напоминать о себе, ожидать, надеяться, продолжают, среди развалин всего прочего, нести, не изнемогая под его тяжестью, на своей едва ощутимой капельке, огромное здание воспоминания.[1]

В этом фрагменте из «По направлению к Свану», первого тома эпохального труда «В поисках утраченного времени», Пруст описывает, как аромат от погруженного в чай печенья «Мадлен» пробудил в его памяти целый поток ярких воспоминаний из давно минувшего детства. Его рассказ об этом явлении стал признанным клише для описания внезапно нахлынувших воспоминаний детских лет, пробудившихся после долгого забвения. Тем не менее несколько лет тому назад один мой знакомый, молодой профессор английского языка, провел тщательный анализ этого фрагмента и установил, что в данном случае текст свидетельствует, что воспоминание вернулось не внезапно, а пробудилось в результате немалых усилий со

---

[1] Пер. А. А. Франковского.

стороны автора. Его наблюдение заставило меня задуматься о том, что происходило в мозге Пруста в мгновения между тем, как он ощутил вкус размоченного в чае печенья «Мадлен», и тем, как на него нахлынули воспоминания.

Чем лучше мы понимаем механизмы нейронной активности при восприятии запахов и вкусовых ощущений, тем ближе мы к ответу на этот вопрос. Несколько лет тому назад мы с Кирстен Шеперд-Барр сопоставили результаты комплексного текстового анализа с нейронными трактами восприятия, дабы составить новую интерпретацию этого классического текста. Я представлю вам нашу обновленную версию, и вы сами узнаете многие из рассмотренных нами ранее механизмов и процессов; для тех, кто начал читать лишь с этой главы, — не волнуйтесь, все процессы будут разъяснены по мере их появления.

АКТИВАЦИЯ МОЗГА ПРУСТА

Мы уже знаем, что вкусовые ощущения от печенья «Мадлен» складываются преимущественно от его запаха. Следовательно, стимулом для вкусовых ощущений Пруста в первую очередь являлись запахи, высвобождаемые из крошек выпечки, вымоченной в *tilleul*, ароматном чае из липовых почек с нотками лайма. Итак, какие же запахи он мог почувствовать?

Можно поспорить, что Пруст колебался и не сразу определился с видом печенья, пробудившего в нем видения минувших дней, но в данном случае это не имеет ни малейшего значения. Сделанные по традиционному рецепту «мадленки», помимо одорированных частиц, высвобождаемых из сливочного масла и куриных яиц, источают еще несколько видов «ароматических эссенций». Пища, нагретая или растворенная в воде, вызывает более яркие вкусовые ощущения, ведь это повышает давление газообразных составляющих и количество одорированных частиц, высвобождаемых в полости рта. Все с детства знают, что даже самая скромная выпечка пахнет приятнее, если ее макнуть в горячий напиток и дать сыпучему тесту размякнуть. Запах «мадленок» обладает нотками ванили, в нем присутствуют несколько цитрусовых одорантов, в том числе цитраль и лимонен; эти соединения относятся к классу терпенов, эссенциальных масел, выделяемых растениями. Как уже упоминалось в главе 4, терпены являются крайне волатильными и летучи-

ми соединениями, углеводородный скелет которых состоит из пяти атомов, способных выстраиваться в разные фигуры. В зависимости от функциональных групп[1] терпены можно отнести к эфирам, спиртам или кислотам. Другим источником обонятельной стимуляции в истории Пруста является липовый чай, чей аромат дополнил запах печенья.

Каким образом эти молекулы формируют восприятие запаха? Мы уже знаем, что чувствительные к запахам рецепторные молекулы располагаются на тонких жгутиках, покрывающих слизистую мембрану полости носа, и возбуждаются при контакте с молекулами запаха, как вдыхаемыми через нос (ортоназальное обоняние), так и высвобождаемыми в полости рта и попадающими в нос через расположенную в глубине рта носоглотку (ретроназальное обоняние). Именно ретроназальное обоняние и фигурирует в изучаемом нами тексте — лишь когда рассказчик отхлебывает чай с печеньем, молекулы запаха высвобождаются в полость рта и переносятся теплым влажным воздухом носоглотки прямиком к обонятельным рецепторным клеткам.

Попавшие на слизистую оболочку молекулы запаха воздействуют на рецепторные клетки в жгутиках, а те, в свою очередь, запускают сенсорный каскад микротолчков — каждая молекула подталкивает соседнюю, изменяя таким образом мембранный белок у микроскопического канала, пропускающего электрические импульсы. Это приводит к изменению электрического потенциала всей клеточной мембраны и позволяет клетке передавать свои импульсы по наиболее длинному из своих волокон (аксону) в мозг, на первый из распределительных узлов.

* * *

Набрав в рот чая с крошками печенья, рассказчик активировал целый спектр рецепторов, восприимчивых к летучим соединениям, и запустил процесс передачи сенсорной информации в мозг. Вместе с тем сенсорный каскад не только несет сигналы об активации, но и формирует ряд механизмов для управления сенсорной

---

[1] Функциональная группа — структурный компонент органической молекулы, определяющий ее химические свойства (например, спирты, альдегиды и др.).

восприимчивостью. Повторная стимуляция приводит к десенсибилизации («усталости» и потере чувствительности) вторичной сигнальной системы. Похоже, что в книге «По направлению к Свану» Пруст описывает именно этот эффект:

«Я сделал второй глоток и не нашел в нем ничего более, чем в первом; в третьем же обнаружил и того меньше. Я понял, что пришла пора остановиться и что идет на спад энергия отвара. Мне стало очевидно, что истина искомая таится не в напитке, а во мне. Отвар лишь разбудил видения ее, но сам ее не знает и может лишь за разом раз, ослабевая, повторять посланье то, что я не в силах разгадать и лишь надеюсь, что могу призвать и снова. <…> Я кружку опустил и заглянул в себя».



Если первое вкусовое ощущение способно пробудить в нас яркие воспоминания, связанные с ним в прошлом, то повторный глоток, укус и т. д. не принесет ничего большего. Более того — ассоциация может даже угаснуть.

Десенсибилизация сенсорного отклика широко освещается в экспериментальной литературе; ее также называют *сенсорной адаптацией*. Этот крайне распространенный феномен наблюдается всякий раз, когда некая нервная клетка или нервное волокно подвергается многократной стимуляции. В главе 8 мы уже упоминали, что структура нервной системы не подразумевает регистрации всех поступающих сигналов — она реагирует лишь на сигналы, свидетельствующие о внезапных изменениях текущего состояния. Такие сигналы несут в себе самую важную информацию, а вот повторные стимулы раз от раза содержат все меньше полезных данных; десенсибилизация сохраняется до появления другого, нового стимула.

Кажется очевидным, что в этом фрагменте текста Пруст описывает именно десенсибилизацию механизмов восприятия, вызванную повторными попытками призвать «истину». В то же время, внимательно прочитав текст, мы заметим, что происходит сразу несколько нейронных процессов. Помимо десенсибилизации мы можем отметить процесс адаптации нейронного тракта, обрабатывающего обонятельную информацию и формирующего восприятие запаха; этот процесс проистекает в нервных системах мозга, отвечающих за формирование вкусовых ощущений. Адапти-

роваться могут и связи между системой обонятельного восприятия как такового и системами, отвечающими за обонятельную память. Помимо всего прочего, в тексте упоминаются видения «истины»; следовательно, в процесс восприятия вовлечены и системы визуальной памяти с механизмами их извлечения. Угасание «истины» может быть вызвано не только десенсибилизацией рецепторов, но и рядом адаптационных процессов. Для целостного понимания этих хитросплетений нам необходимо понять природу обонятельных ощущений, возникших благодаря этому отвару.

* * *

Импульсы в нервных волокнах сенсорных нейронов формируют пространственные схемы активности на первом этапе обработки сенсорной информации в головном мозге — в обонятельной луковице. Эти схемы активности являются образами запаха, которые отражают содержащуюся в молекулах запаха информацию (главы 4–10); они передаются в обонятельную кору, где формируют ассоциативное воспоминание объекта запаха (глава 11), а затем попадают в орбитофронтальную кору (глава 12), где совмещаются с образами из других сенсорных и моторных систем и преобразовываются в целостное восприятие запахов и вкусовых ощущений (главы 13–18).

Мозг Пруста распознал именно образ вкусовых ощущений; поначалу он казался мутным, ведь был лишь одним из компонентов сложного, давно позабытого воспоминания. По сути, образ вкусовых ощущений от размоченного в липовом чае печенья «Мадлен» оказался лишь метонимичным, замещающим сложный и мультисенсорный образ города Комбре.

ЗАПАХ, ЭМОЦИИ И ОЖИВШИЕ ВОСПОМИНАНИЯ

Мы сможем понять, каким образом аромат разбудил воспоминания Пруста, если припомним, что обонятельный тракт имеет прямую связь с зонами переднего мозга. Мы уже рассмотрели механизмы, обеспечившие когнитивную составляющую восприятия Пруста (см. главу 18). Именно прямой связью между обонятельной системой и зонами переднего мозга объясняется яркость вызван-

ных запахом воспоминаний, целеустремленность сознательного поиска потерянной «истины» и мощь нахлынувших «непроизвольных» воспоминаний.

Центральной темой всего текста о печенье «Мадлен» является именно эмоциональная составляющая воспоминаний, пробужденных его вкусом:

«Мои чувства охватило восхитительное блаженство, изолированное, оторванное от всего реального и будто беспричинное. <…> Ощущение это <…> подобное любви, преисполняло меня своей бесценной силой. <…> Откуда снизошла ко мне столь всеобъемлющая радость? Я понимал, что связана она со вкусом чая и печенья, но то лишь мимолетные явления, и быть не может, что они одной природы. Откуда же взялось оно? Что значит? Как удержать мне и понять его?»



Воспоминания, вызванные запахами, могут быть настолько яркими, потому что между обонятельной системой и зонами переднего мозга есть прямая физическая связь.

Благодаря исследованиям мозга мы можем ответить на вопрос «Откуда же взялось оно?». Мы уже говорили о том, что из обонятельной коры сенсорные сигналы поступают в префронтальную кору; но вместе с тем у обонятельной коры есть связи и со многими так называемыми лимбическими зонами мозга. С точки зрения филогенеза лимбические зоны относятся к наиболее старым частям мозга; они участвуют в процессах памяти и эмоций.

Важную роль в этих процессах также играет гиппокамп, являющийся центральным узлом для «эпизодической» памяти об отдельных событиях, и амигдала, которая параллельно с орбитофронтальной корой участвует в формировании условного рефлекса на сенсорные стимулы. Если вам хочется освежить в памяти роль этих зон мозга в системе восприятия вкусовых ощущений, вы можете обратиться к главам 18 и 19, где мы рассматривали их более подробно.

Пруст верил, что вернувшаяся к нему память о Комбре была непроизвольным воспоминанием, более чистым и светлым, чем воспоминания произвольные. Эта идея пришлась по вкусу некоторым литературным критикам, в числе которых был и писатель Сэмюэль Беккет. Благодаря этим критикам возникла *сальвационистская* идея о том, что в непроизвольных воспоминаниях скрывается

чистая, незамутненная истина, наша тайная сила, а потому мы не в силах призвать эти воспоминания произвольно, по своему желанию. Вот только было ли непроизвольным воспоминание о Комбре? Текст Пруста свидетельствует об обратном:

«Я вновь спросил себя — чем было то неведомое чувство. <…> Мне захотелось попытаться вновь призвать его. Я в мыслях обратился вспять, к тому мгновению, когда хлебнул ту первую ложку чая. Успешно я вернул то состояние. <…> Я разум попросил свой еще немного поднажать и вновь вернуть мне мимолетное то чувство. <…> Закрывшись от всего, что может отвлекать. <…> Я отпустил в полет свободный свои мысли, чтобы могли они, напротив, насладиться теми блужданиями, в коих им я отказал. <…> Я снова, второй раз, очистил разум свой; расположив пред оком внутреннего взора столь свежее воспоминание о вкусе первого глотка. Не ведал я, какое чувство надвигалось, но ощущал, как медленно вздымается оно. <…>

Сомнений нет — то, что проступает в глубинах моей сути, должно быть образом, тем связанным со вкусом зрительным воспоминанием, что следовать пытается за ним в сознание мое. <…> Мне десять раз пришлось пытаться снова. <…>

Как вдруг воспоминание открылось мне».

Следовательно, «и весь Комбре <…> возник передо мной <…> из моей чашки чая», мягко говоря, некорректное описание происходящего в тексте, но многие критики, по всей видимости, отвлеклись на драматичность образа и упустили этот момент. Для описания всех механизмов мозговой активности, вовлеченных в сложный процесс сознательного поиска и восстановления воспоминаний, нам потребовалось более страницы текста — это наглядно демонстрирует, почему воспоминание появляется не сразу, и показывает, как много этапов разделяют момент поступления сенсорного стимула и воплощение ассоциирующегося с ним воспоминания. Пруст прямым текстом говорит о том, что воспоминания проявляются после некоторой задержки — это в равной мере справедливо как для этого упоминания печенья «Мадлен», так и для упоминания в последней книге цикла. Там он вновь размышляет о силе воспоминаний и времени, необходимого для их проявления: «Продолжая наслаждаться вкусом “мадленок”, я вновь пытался вызвать в своем сознании то, о чем оно напомнило мне ранее».

Что же из себя представляют нейронные механизмы, требующие столь колоссальных усилий? С точки зрения нейронауки

ассоциативная связь между крайне эмоциональным состоянием Пруста и его очень высокой мотивированностью вполне объяснима — множество экспериментальных данных и исследований показали, что системы, отвечающие за мотивацию, являются частью тех же глубинных структур мозга, что формируют эмоции. Эти связи схематически представлены на рис. 18.2 и подробно рассматриваются в главах 18 и 19. В отличие от иных сенсорных систем, системы восприятия запаха и вкусовых ощущений передают сигналы напрямую в структуры переднего мозга, отвечающие за мотивацию, которые и придают нам волевой импульс к поиску смысла в подоплеке эмоций.

ВОСПОМИНАНИЯ О КОМБРЕ

Результаты проведенного нами анализа показывают, что воспоминания о Комбре были отнюдь не непроизвольными, несмотря на заверения самого Пруста и мнение некоторых литературных критиков. С точки зрения нейрофизиологии нет ничего удивительного в том, что восстановленное воспоминание вернулось сразу и целостным; когнитивные механизмы человека таковы, что мы склонны воспринимать и запоминать события и явления целостно, как гештальт. Функции и структура ассоциативных механизмов обонятельной коры идеально приспособлены именно для извлечения из памяти целостного воспоминания на основании крошечного фрагмента (см. главу 11). Заполучив один фрагмент, мы (как и Пруст) стремимся раздобыть остальные, дабы составить их в единое целое. В зрительных образах, пришедших к Прусту вместе с нахлынувшими воспоминаниями о Комбре, нет ничего аномального: именно так и работает подавляющее большинство обонятельных воспоминаний.

Похоже, Пруст и сам знал о природе этого феномена: в «Обретенном времени» (последней книге цикла «В поисках утраченного времени») он в мельчайших подробностях описывает, как узнать лицо человека, если видишь лишь малую его часть, например нос или рот. Этот «эффект гештальта» описывается в контексте костюмированной вечеринки, куда Пруст попадает после долгой разлуки с местным обществом. Он бредет сквозь толпу и изучает скрытые масками и изменившиеся с возрастом лица людей. Когда-то он знал всех скрытых под масками людей, но с тех пор прошли годы, а по-

тому он вынужден тщательно изучать каждого из гостей в надежде обнаружить знакомые черты, которые позволили бы ему восстановить в памяти весь облик этого человека:

«…одна малоприметная черта осталась прежней, и благодаря ей я узнал в нем юношу, с которым когда-то познакомился в гостях у маркизы де Вильпаризи. Он стал первым, кого я узнал, усилием воли абстрагировав свой разум от всего привнесенного превосходным костюмом и гримом; из глубин памяти явилось все его лицо, вкупе с неизменными чертами».



Функции и структура ассоциативных механизмов обонятельной коры идеально приспособлены именно к извлечению из памяти целостного воспоминания на основании крошечного фрагмента.

Далее Пруст продолжает ходить по залу, наблюдать за гостями и систематически идентифицировать их тем же образом, что и первого; этот процесс занимает порядка 40 страниц его книги.

* * *

В какой же части мозга хранился след воспоминаний о Комбре? На основе того, что нам известно о принципах функционирования других видов памяти, мы можем предположить, что подобные воспоминания также распределены по различным структурам мозга. С учетом культового статуса Комбре многие лаборатории, имеющие в своем распоряжении аппаратуру для позитронно-эмиссионной (ПЭТ) и функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), поддались искушению и разработали эксперименты для изучения свойств этого вида памяти.

Одно из ранних исследований, проведенное Герсоном Финком и его коллегами в 1996 году с помощью ПЭТ-сканирования мозга, основывалось на гипотезе о том, что в воспоминаниях из нашего прошлого, подобных тому, что описывал Пруст, есть нечто особенное. В ходе этого эксперимента подопытные, находясь в томографе, читали предложения, посвященные эмоциональным эпизодам из жизни незнакомых им людей; томограф тем временем фиксировал их мозговую активность. Затем результаты сравнили с результатами тех испытуемых, что читали об эмоциональных событиях

своего собственного прошлого. Сканирование показало, что автобиографический текст активировал определенные зоны мозга. Большая часть этих зон находилась в правом полушарии мозга, в частности в коре височной доли; активность также регистрировалась в гиппокампе, парагиппокампе, амигдале и расположенных на некотором расстоянии от них зонах задней части поясной извилины, островка и префронтальных зонах правого полушария.

Эти зоны нам уже знакомы — мы рассматривали их, когда говорили о распределенной репрезентации объекта запаха и «образах желаний». Ни для кого не секрет, что перечисленные зоны вовлечены в процессы, связанные с разными видами памяти. Электрическая стимуляция многих из этих зон, проведенная в экспериментальных целях нейрохирургом Уайлдером Пенфилдом, привела к поднятию из долгосрочной памяти детских воспоминаний. Результаты ПЭТ позволяют предположить, что автобиографическая память задействует некоторые зоны мозга, преимущественно в правом полушарии, которое чаще всего ассоциируется с психическими явлениями интуитивного и невербального характера.

МЕХАНИЗМЫ АВТОБИОГРАФИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ

Джей Готтфрид и его коллеги из Северо-Западного университета подхватили эстафету исследования автобиографической памяти в 2004 году; в этот раз регистрация мозговой активности проводилась с помощью фМРТ. Их заинтриговало то, что автобиографическое воспоминание состоит не из одного, а из нескольких видов сенсорной информации; как правило, мы можем представить себе всю сцену, с шумом океана, голосами людей, запахом ветра или пищи. Когда мы вспоминаем какой-нибудь вид или звук, происходит активация зон мозга, отвечающих за высшие стадии обработки в системах зрительного и слухового восприятия, словно, обращаясь к следам памяти, человек заново просматривает изначальные зрительные сцены и слышит звуки. У этой формы воспоминаний много общего с «мысленными образами».

Готтфрид и его коллеги задались вопросом: смогут ли они зарегистрировать мозговую активность воспоминания, связанного сразу с двумя органами восприятия? Они стимулировали обоняние подопытных запахом (приятным или неприятным), а затем показывали им изображение предмета (стола, лампы) и просили

придумать историю или любым другим способом связать запах с предметом. Затем подопытных помещали в томограф и показывали им различные предметы; их просили сказать, какие предметы напоминают им о том запахе. С поведенческой точки зрения испытуемые продемонстрировали, что сформировать ассоциацию между визуальным объектом и запахом проще, если запах приятный. Сканирование зарегистрировало в обонятельной коре мозга повышенную активность, словно подопытные принюхивались к запаху, а не просто вспоминали его.



Сформировать ассоциацию между визуальным объектом и запахом проще, если запах приятный.

Так каким же образом мозг связывает реактивацию визуального объекта в зрительной коре с проекцией запаха в обонятельной? Мы уже знаем, что визуальные и звуковые объекты хранятся по отдельности в соответствующих частях мозга и сводятся воедино в гиппокампе. Готтфрид и его коллеги предположили, что аналогичным образом связаны и зрение с обонянием. Обонятельная кора не имеет прямой связи со зрительной корой, а следовательно, сигналы этих сенсорных систем должны сводиться где-то еще; наиболее вероятным местом сведения считался гиппокамп и прилегающие к нему парагиппокампальные зоны височных долей, те самые участки мозга, что были обнаружены в ходе исследования, проведенного Финком и его коллегами. Готтфрид и его коллеги резюмировали свои результаты следующим образом:

«Гиппокамп связывает воедино распределенные по сенсорным зонам мозга следы воспоминаний. Подобная система поддерживает целостность изначальной энграммы[1] и обеспечивает доступ к ней посредством частичных или фрагментарных сигналов, внося свой вклад в гибкость и адаптивность системы памяти. <…> Маловероятно, что сенсорные элементы изначального следа памяти распределены в обонятельных зонах высшего порядка, таких как [орбитофронтальная] или поясная кора, где достоверность сенсорной информации неизбежно компрометируется нарастающими процессами синаптического схождения и расхождения. Теоретически эта

---

[1] Энграмма — физическая привычка или след памяти, запечатленный в протоплазме (цитоплазме или ядре клетки), оставленный воздействием определенного раздражителя.

особенность может объяснять отсутствие активности в этих зонах при извлечении соответствующих сенсорных воспоминаний».

По сути, это дает нам неплохое представление о том, как «выглядели» воспоминания о Комбре в мозге Пруста. В этих экспериментах визуальный объект использовался для извлечения обонятельного воспоминания. Пруст же, напротив, вспомнил визуальную сцену благодаря стимуляции ретроназального обоняния. Принцип един: происходит внутренняя повторная активация сенсорных зон, связанных через гиппокамп. Отчетливое воспоминание не просто так явилось Прусту — в тексте описывается положительное подкрепление сенсорных стимулов из давно минувшего детства, сохраненных в соответствующих центральных сенсорных зонах, связанных между собой через гиппокамп; фрагментарные вкусовые ощущения приводят к повторной активации этих зон, извлечению и объединению воспоминаний в комплексный внутренний образ или объект благодаря мозговым механизмам внимания, мотивации и эмоций.

Глава 21

ВКУС И ОЖИРЕНИЕ

Могут ли познания о строении и механизмах системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом помочь нам с такими актуальными прикладными проблемами, как охватившая население нашей планеты эпидемия ожирения? Давайте попробуем разобраться в этом на примере фастфуда.

«НОРМАЛЬНАЯ» ЛИ ЕДА?

Представьте, что вы едите картошку фри. Скорее всего, это совсем не та пища, которую представлял себе Жан Антельм Брийя-Саварен, когда превозносил человеческое вкусовое восприятие, но сейчас это вполне можно назвать одним из наиболее универсальных видов еды. Картошка фри (также известная в англоговорящих странах как «французская картошка во фритюре») попала в США благодаря солдатам, вернувшимся из Европы после Первой мировой войны, и завоевала огромную популярность — в 1920-х и 1930-х годах. Эрик Шлоссер называет этот продукт «наиболее продающимся блюдом в США». Недавнее исследование показало, что приблизительно 25% всех потребляемых в США овощей приходится на долю картошки фри. Получается, что нейрогастроному необходимо понимать, как система восприятия вкуса человеческим мозгом способствует популярности этого блюда, особенно если учесть, что картошка фри является одним из блюд, в конечном итоге приводящих к ожирению.

Восприятие вкусовых ощущений начинается с сенсорных рецепторов. С первым вдохом воздух по ретроназальному пути доносит запах к обонятельным рецепторам в полости носа. Активация определенного сочетания рецепторов создает в обонятельной луковице проекцию запаха, которая преобразовывается в образ запаха и передается на следующий этап системы обонятельного восприя-

тия, в орбитофронтальную кору, где и формируется непосредственно восприятие запаха. Образ запаха будет задавать тон восприятию вкусовых ощущений, поскольку запах картошки фри уже усвоен мозгом как приятный, а именно он является ключевым компонентом целостного восприятия вкусовых ощущений.

Тем временем вступившая в контакт со вкусовыми почками языка картошка фри дополнит формирующееся вкусовое ощущение вкусом соли на ее поверхности. Мы уже знаем, что положительное восприятие соленого вкуса является врожденным для нашего вида. Соль — не только жизненно необходимый минерал, но и усилитель запаха. Сочетание запомненного приятного аромата и усиливающего его вкуса соли является для нас крайне притягательным; к тому же мы предвкушаем и сладкий вкус самого картофеля, а тяга к сладкому тоже является врожденной реакцией, свойственной нам с самого рождения.

Язык не только воспринимает вкус, но и выполняет моторные функции, перемещая картошку на зубы для мастикации, в которой задействованы мышцы как самого языка, так и челюстей. Перемолотая пища собирается между зубов и за щеками, и язык продолжает перемещать ее к дальней стенке полости рта и обратно к центру. Обозначенные моторные функции строго скоординированы, так что движения языка, щек и челюстей происходят почти непроизвольно, за исключением случаев, когда некий вкус заставляет нас замедлиться и более пристально изучить пережевываемую пищу. Вся эта двигательная активность подкрепляет заблуждение, что весь процесс восприятия вкусовых ощущений протекает именно в полости рта.

Язык не только воспринимает вкус, но и ощупывает кусочки картошки фри, изучая ее текстуру. На самом деле в этот процесс вовлечены сразу несколько модальностей восприятия. Считается, что наиболее важной характеристикой становится хрустящая текстура, а также контраст между похрустывающей корочкой и мягкой картошкой внутри. Размякшая или слишком жесткая картошка расценивается нами как неприятная. Ощущения в полости рта должны подтвердить, что картошка достаточно упругая, а значит, свежая и правильно приготовленная. Температура тоже имеет значение: картошка должна быть еще теплой после фритюрницы, но не слишком горячей.

Еще до того, как мы кладем хрустящие частички в рот, мы уже оцениваем ее по внешним признакам — убеждаемся, что кусочки

правильного размера и цвета. В случае картошки фри единственным допустимым цветом является золотисто-коричневый. Никому не хочется есть сыроватую серую или передержанную до черноты.

При пережевывании пищи мы ожидаем услышать привычные звуки — сначала хруст корочки, затем приглушенные звуки перемалываемой во рту мякоти. Затем моторная активность перемещается к задней стенке полости рта, и мы наконец проглатываем пищу; пережеванная в пюре картошка начинает спускаться к желудку, а мы напоследок выдыхаем и получаем заключительную дозу стимуляции ретроназального обоняния.

Когда мы едим картошку фри, на наше восприятие вкусовых ощущений влияют три важные «не-картофельные» составляющие: мясной привкус, соусы и приправы, сопутствующая еда и напитки.



Масло для фритюра с говяжьим жиром, которое использовали родоначальники фастфуда, придавало картошке фри «мясной привкус». Именно поэтому она стала так популярна. Сейчас для этого используют ароматизаторы.

Потребление картошки фри в США набрало обороты после Второй мировой войны в рамках тогда еще формирующейся культуры фастфуда. По словам Шлоссера, немалую роль здесь сыграл тот факт, что в рационе американцев картофель занимал почетное третье место, сразу после молочных продуктов и производных пшеницы. Родоначальники индустрии фастфуда заметили, что картофель фри популярен не только потому, что привычен и знаком потребителям, но и благодаря маслу для фритюра, придающему картошке мясной привкус: «Не один десяток лет в “Макдональдсе” готовили картошку фри на масле для фритюра, в котором было примерно 7% хлопкового масла и 93% топленого говяжьего жира. Эта смесь придавала картошке уникальный вкус — на унцию картофеля фри приходилось больше насыщенного говяжьего жира, чем на гамбургер в том же “Макдональдсе”». Состав масла для фритюра оставался неизменным до 1990 года, когда общество взбунтовалось против жирной, богатой холестерином пищи. В «Макдональдсе» стали использовать растительное масло, но сохранили сильный привкус мяса благодаря органическим химическим добавкам, разработанным специалистами пищевой индустрии. По сей день этот искусственный запах, создающий иллюзию мясного вкуса, продолжает быть крайне привлекательной частью вкусовых ощущений от картошки фри.

Пищевая индустрия повлияла не только на запах картошки фри: с помощью жиров, камеди, крахмала, эмульсификаторов и стабилизаторов была усилена и улучшена текстура этого блюда и прочих полуфабрикатов, чтобы они вызывали более приятные ощущения в полости рта. Названные факторы влияют на вкусовые ощущения, получаемые нами от картошки фри; кстати, в одной средней порции содержится 380 ккал, а это составляет почти 20% от дневной нормы потребления.

Второй «не-картофельной» составляющей идеальной картошки фри является кетчуп. Мы, американцы, любим приправлять свою картошку кетчупом, при этом думая, что его делают из помидоров, но это всего лишь основа. Ознакомиться с составом кетчупа одной известной марки вы можете в табл. 21.1.

Таблица 21.1

СОСТАВ ТОМАТНОГО КЕТЧУПА HEINZ

Концентрат томата	Соль
Дистиллированный уксус	Специи
Кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы	Луковый порошок
Кукурузный сироп	Натуральные вкусовые добавки

Сложно представить себе более простой соус со столь же насыщенным вкусом. Он напрямую стимулирует три из пяти возможных вкусов (умами стимулируется самой картошкой за счет мясной вкусовой добавки). Он активизирует ретроназальное обоняние летучими соединениями томатного концентрата, специями и луковым порошком (и это не считая неустановленных искусственных ингредиентов, скрывающихся под размытой формулировкой «*натуральные вкусовые добавки*»). Все это превращает обычный картофель в настоящий локомотив интенсивных вкусовых ощущений. Одним из основополагающих принципов нейрогастрономии является то, что мозг реагирует на множественные сенсорные стимулы. Удовлетворившись одним вкусовым ощущением, мы не прекращаем стремиться к другим. В главе 9 мы уже упоминали, что обонятельная луковица адаптируется к запахам; как и в случае вкусовых ощущений, адаптация к одному запаху не делает нас привычными к остальным. Следовательно, если нас стимулировать сразу множеством запахов, вкусов и текстур, мы и сможем, и будем есть больше. Такова особенность нашего мозга; фастфуд же просто удовлетворяет нашу потребность в мультисенсорной стимуляции и делает это предельно быстро.

Третьим компонентом, влияющим на наше восприятие картошки фри, является другая еда и напитки, с которыми мы ее употребляем. В качестве основного блюда многие выбирают чизбургер. Он добавляет к картошке еще более мощный удар вкусовых ощущений. Разумеется, бургер привлекает нас благодаря как ортоназальному, так и ретроназальному восприятию мясного аромата. Запах мяса привлекателен сам по себе, а в случае бургера он к тому же усилен реакцией Майяра — происходящая при жарке карамелизация поверхности котлеты высвобождает особенно притягательные летучие одорированные соединения. Легкая упругость котлеты создает умиротворяющий, привычный контраст с хрустящей картошкой фри. Сыр дополняет аромат мяса собственными летучими одорантами. Мягкая булка комфортно ложится в руки, воздействуя на осязательные рецепторы. Съев чизбургер весом в четверть фунта[1], мы потребляем 510 ккал.



Мозг реагирует на множественные сенсорные стимулы. Удовлетворившись одним вкусовым ощущением, мы не прекращаем стремиться к другим.

Некоторые любят сдобрить свой бургер горчицей, что добавляет к нему все ингредиенты, перечисленные в табл. 21.2. С каждым новым компонентом наша пища продолжает обрастать вкусами, запахами и текстурами.

Такую насыщенную пищу нужно чем-то запивать, и мы, как правило, берем к ней какой-нибудь газированный напиток. В каждой унции газировки содержится около 10 ккал сахара (например, на «среднюю» банку кока-колы объемом в 453 мл приходится 160 ккал); помимо сахара на нас воздействуют и пузырьки газа, которые стимулируют осязательные рецепторы полости рта и поднимаются вверх по носоглотке до полости носа.

За счет сенсорной перегрузки и активации рецепторов растяжения в нашем желудке мы чувствуем себя сытыми (*насытившимися*, как говорят психологи). Тем временем волокна, исходящие из глубин стволовой части мозга, посылают в обонятельную луковицу сигнал, отключающий митральные клетки, чтобы они не активировались в ответ на запахи той пищи, которой мы только что наелись.

---

[1] Примерно 454 грамма.

Таблица 21.2

СОСТАВ ГОРЧИЦЫ GREY POUPON DIJON

Горчичное семя	Лимонная кислота
Дистиллированный уксус	Винная кислота
Соль	Пектин
Белое вино	Специи

Теперь, когда мы закончили с обедом, самое время отправиться в местную кофейню за эспрессо, латте или капучино, а возможно, и печеньем с шоколадной крошкой. Зайдя в кофейню, мы первым делом вдыхаем аромат кофе ортоназальным обонянием. Как мы уже упоминали в главе 4, в кофе содержится свыше 600 видов летучих молекул запаха, которые при каждом глотке мощным потоком устремляются вверх по носоглотке и стимулируют наше ретроназальное обоняние. В маленькой порции латте примерно 150 ккал, а если взять к нему печенье с шоколадной крошкой, то это добавит к обеду дополнительные 160 ккал. Сладкий вкус выпечки и горько-сладкий шоколад дополняют горечь кофе и создают сочетание вкусовых ощущений, к которому многие из нас испытывают тягу, иногда и непреодолимую.



После поступления в мозг из ЖКТ сигнала о насыщении пищей в обонятельную луковицу приходит сигнал, отключающий специальные клетки, чтобы они не активировались в ответ на запахи той пищи, которой мы только что наелись.

Помимо сенсорной перегрузки, вызванной этим ураганом вкусовых ощущений, мы получаем в нагрузку и ударную дозу калорий. Если подытожить калорийность всех блюд и напитков в составе этого обеда, то получится как минимум 1100 ккал, а это половина дневной нормы в 2200 ккал; если же считать по максимальной калорийности, то выйдет свыше 2000 ккал, то есть почти суточная доза энергии. Очевидно, что подобный рацион опасен для здоровья. Ожирение является далеко не единственной из потенциальных угроз — такая пища чревата развитием диабета и связанных с ним болезней, таких как инсулиновая резистентность, метаболический синдром и даже повышенная предрасположенность к развитию раковых заболеваний. Система восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом не только дарует нам возможность получать

удовольствие от пищи и напитков; в определенных ситуациях она может стать настоящей угрозой для нашего здоровья. Этому аспекту восприятия уделяется слишком мало внимания, несмотря на его важную роль в поддержании хрупкого баланса между здоровьем и болезнью. Общество должно узнать о влиянии вкусового восприятия на повседневную жизнь. Подробности этой проблемы мы рассмотрим в главе 26.

ПРИЧИНЫ ПЕРЕЕДАНИЯ

Понимание принципов и механизмов восприятия вкусовых ощущений позволяет нам определить, что заставляет людей, придерживающихся рассмотренного нами рациона, переедать. Первой причиной становится сенсорная перегрузка. Пища перенасыщена сенсорными стимулами и имеет крайне высокую калорийность. В нормальном, полноценном рационе больше грубой пищи, благодаря которой мы быстрее насыщаемся; запивая пищу простой водой, мы также понижаем соотношение калорийности пищи к ее объему. Фастфуд же, напротив, слишком насыщен вкусом и калориями для столь небольшого объема; то, что мы обычно запиваем его газированными сладкими напитками, лишь повышает калорийность одного приема пищи.

Второй причиной является ассортимент блюд и вкусовых ощущений. Это называется *эффектом супермаркета, шведского стола* или *фуршета*. Впервые об этом явлении заговорил слепой французский ученый по имени Жак ле Магнен, работавший в Париже, — он был поистине легендарным исследователем пищевых привычек. В 1950-х годах он начал изучать лабораторных крыс, получающих разное питание. Он установил, что на повседневном лабораторном питании они почти не толстели, но, когда он предложил им на выбор лабораторный корм с разными вкусами, они начали стремительно прибавлять в весе. Этот эффект был повторно обнаружен в 1981 году Барбарой Роллс и ее коллегами в Оксфордском университете — они назвали его эффектом *сенсорной сытости*: имея доступ лишь к одному вкусовому ощущению, животное быстро наедалось, и ему становилось скучно есть, в то время как появление новых вкусов стимулировало новый всплеск интереса и возобновление процесса питания. Мы и сами попадаем в ловушку этого эффекта на праздновании Дня благодарения, на фуршетах

и банкетах — нам хочется попробовать каждое блюдо и продолжать есть каждый раз, когда подают что-то новенькое. Так выражается интерес нашего мозга к новизне и изменениям любого толка, и эта характеристика прослеживается во всех сенсорных системах. Придумывая свои блюда, представители индустрии фастфуда наверняка слыхом не слыхивали об исследованиях ле Магнена, но волею случая попали точно в цель.



Имея доступ лишь к одному вкусовому ощущению, мы быстро наедаемся, и нам становится скучно есть, а вот появление новых вкусов стимулирует всплеск интереса и желание продолжить трапезу. В эту ловушку мы и попадаем за праздничным столом.

Еще одной причиной переедания может стать длительная сверхстимуляция кожи и слизистых оболочек губ и полости рта. Разумеется, эти зоны стимулируются при каждом приеме пищи, но, как ни странно, они могут пребывать в состоянии повышенной активности, и когда мы ничего не едим. Это удивительное явление было обнаружено при сканировании активности соматосенсорной коры головного мозга (см. главу 13) при сравнении результатов стройных подопытных и подопытных, страдающих ожирением. На рис. 21.1 показана схема активности, обнаруженная в 2001 году в Брукхейвенской национальной лаборатории в Нью-Йорке в ходе исследования, проведенного Джин-Джеком Вангом и его коллегами. Они установили, что у подопытных с ожирением даже в состоянии покоя наблюдается повышенная активность на участках соматосенсорной коры, отвечающих за восприимчивость губ, языка и полости рта. Авторы исследования предполагают, что это может быть следствием гиперчувствительности рецепторов этих зон к вознаграждению от употребления пищи, а это вполне может оказаться одной из причин переедания.

Существует несколько теорий о причинах переедания; в 2009 году Дана Смолл и ее коллеги составили краткий перечень этих теорий и их основных элементов.

Одна из теорий основана на наблюдениях — даже если крысу накормить до полного насыщения, она снова начнет есть, если подать ей сигнал, запускающий предварительно закрепленную условно-рефлекторную реакцию. В своей работе Смолл и ее коллеги приводят в пример другой эксперимент, в котором было про-

демонстрировано это явление. В этом эксперименте крыс научили ассоциировать подачу пищи со звуковым сигналом, как когда-то научил собак академик Павлов. Если сигнал звучал, когда собаки были сыты, они все равно снова начинали есть. Разумеется, людям не подают звуковые сигналы, заставляющие нас есть; тем не менее существует множество вещей, стимулирующих нас к употреблению насыщенной пищи, дарующей приятные вкусовые ощущения. К примеру, покупка бургера подталкивает нас прихватить пачку чипсов, а к ним неплохо бы взять кетчуп и что-нибудь попить, газировку например; а еще можно… Известно, что такое пищевое поведение возникает благодаря связям между амигдалой, отвечающей за эмоции, и гипо таламусом, инициирующим процесс

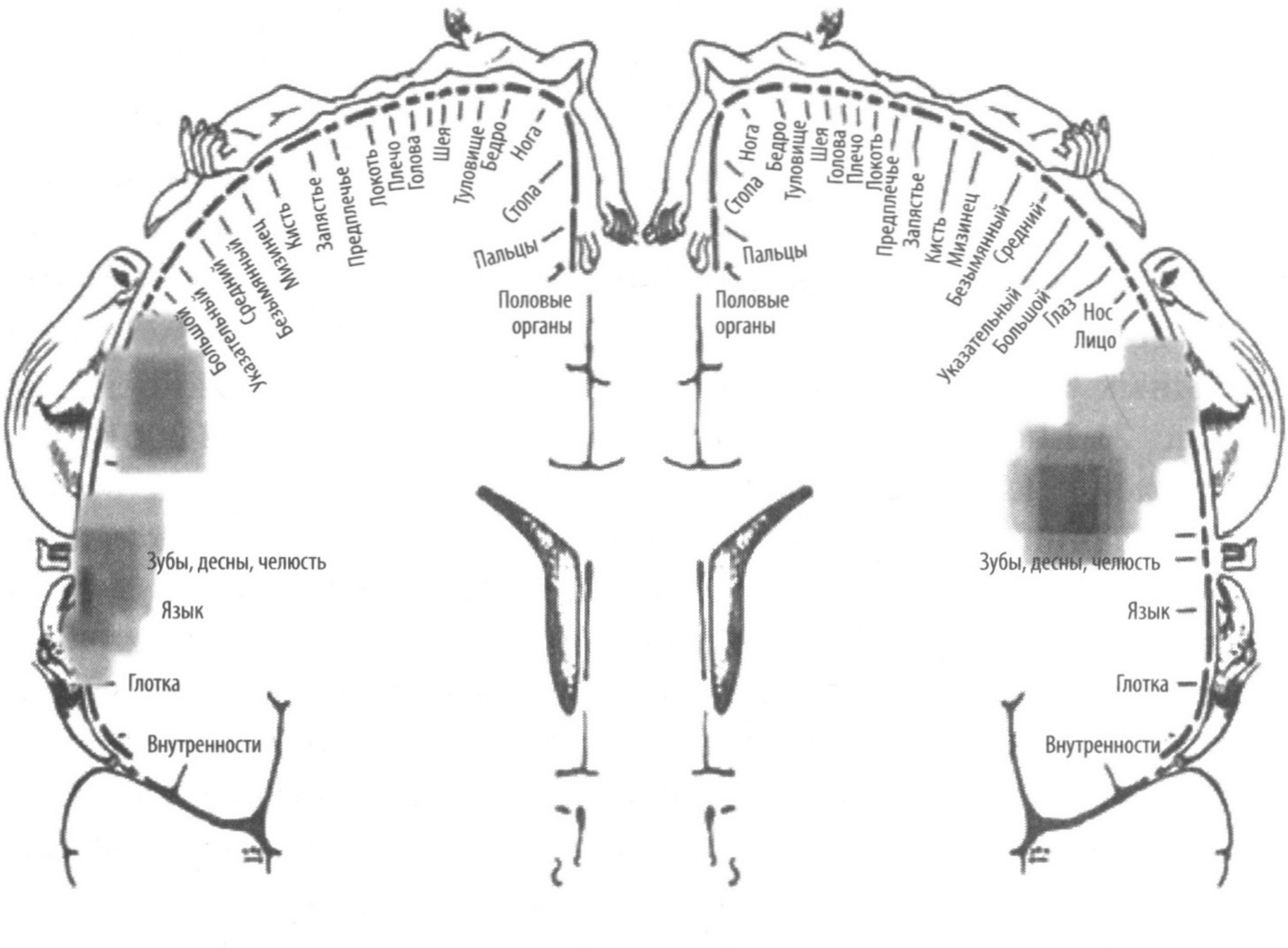


Рис. 21.1. Человеческая система соматосенсорного восприятия с наложением интенсивности мозговой активности у подопытных в состоянии покоя
Повышенные уровни активности (закрашенные зоны) соответствуют участкам губ, языка и полости рта; эта активность наблюдается у подопытных с ожирением и отсутствует у стройных подопытных
(Составлено по материалам исследования G.-J. Wang et al., Enhanced resting activity of the oral somatosensory cortex in obese subjects, Neuroreport 13 [2002]: 1151–1155)

питания. Если человек имеет пагубные пищевые привычки, то в долгосрочной перспективе все эти элементы и связи приобретают гиперчувствительность.

Другая теория объясняет переедание сочетанием неэффективных цепей ингибиции в префронтальных участках мозга и повышенной возбудимостью цепей, регулирующих вознаграждение от употребления пищи. Эти же цепи участвуют в формировании непреодолимой тяги к наркотикам — еще одно свидетельство того, что склонность к перееданию включает в себя цепи на самом высоком когнитивном, а также эмоциональном уровнях.

Переедание также может быть спровоцировано ситуацией, в которой прием пищи сам по себе не приводит к получению адекватного вознаграждения; мозг не получает достаточно «удовольствия» при употреблении меньших объемов пищи.

В своей книге «Конец обжорству»[1] Дэйвид Кесслер, декан моего факультета в Йельской медицинской школе, обозначил в качестве главной угрозы нашим пищевым привычкам сочетание соли, сахара и жиров и отметил, что нужно держать потребление этой троицы под строгим контролем и не поддаваться соблазну. Нейрогастрономия поддерживает его выводы и дополняет их напоминанием о том, что ретроназальное обоняние и сопряженные с ним мультисенсорные процессы восприятия вкусовых ощущений также относятся к крайне важным и очень недооцененным факторам, влияющим на наши пищевые привычки.



Главная угроза пищевым привычкам человека — сочетание соли, сахара и жиров. Надо всегда держать под контролем эту троицу.

Если вкусовые ощущения играют ключевую роль в нашем выборе пищи, то мозг должен иметь некие механизмы, определяющие, является ли пища, обладающая привлекательным внутренним образом вкусовых ощущений, достаточно питательной. Именно этот финальный компонент системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом определяет нормальные вкусовые привычки здоровых людей и аномальные — у людей переедающих.

---

[1] David A. Kessler. End of Overeating: Taking Control of the Insatiable American Appetite. Rodale Books, 2009.

Глава 22

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ: НЕЙРОЭКОНОМИКА ВКУСА И ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ

Наиболее важной задачей и конечной целью системы восприятия вкусовых ощущений человеческого мозга является принятие верных решений касательно употребления здоровой и вредной пищи. Мы делаем этот выбор благодаря особым мозговым механизмам принятия решений, которые лишь недавно привлекли внимание исследователей и получили определенное признание. Такой интерес исследователей совпал с интересом экономистов, которые уже много лет знали, что при принятии экономических решений люди руководствуются оценочными суждениями и ориентируются на то, что им нравится или не нравится. Я впервые узнал об этом в 1956 году, когда мой отец, Джеффри Шеперд, написал статью, посвященную этому явлению. Совпадение интересов нейробиологов и экономистов породило новую сферу науки — *нейроэкономику*, имя которой дал Пол Глимчер в своей книге «Принятие решений, неопределенность и человеческий мозг: наука нейроэкономики»[1].

Мы уже упоминали отдельные компоненты системы принятия решений, когда обсуждали эмоции и воздействие дофамина на изученные нами подсистемы (см. главу 19), а также при рассмо-

---

[1] Paul Glimcher. Decisions, Uncertainty, and the brain: The Science of Neuroeconomics. A Bradford Book, 2004.

трении факторов развития ожирения (см. главу 21). Теперь нам предстоит объединить все эти сведения и дополнить систему восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом механизмами, предопределяющими, сможем ли мы питаться полезной пищей и при этом получать как удовольствие, так и столь желанные вкусовые ощущения.

ДОФАМИН: КЛЮЧ К СЧАСТЛИВОЙ ЖИЗНИ

Одним из ключевых элементов работы нашего мозга является нейротрансмиттер *дофамин*, уже упоминавшийся нами в главе 19 при изучении эмоциональных составляющих восприятия. Самая высокая плотность содержащих дофамин нейронов наблюдается в среднем мозге, достаточно далеко от зон, отвечающих за высшие уровни мозговой активности. Вместе с тем именно там находятся нейроны, охватывающие своими аксонами многие структуры нашего мозга. Некоторые аксоны идут напрямую в полосатое тело, крупную зону, расположенную прямо под корой больших полушарий, участвующую как в планировании, инициации и осуществлении движений, так и в ряде мотивационных состояний — мы уже упоминали полосатое тело в главе 19 в рамках системы непреодолимой тяги к пище. Большинство людей слышали о дофаминовых нейронах и знают, что они имеют какое-то отношение к болезни Паркинсона — при этом заболевании происходит постепенная деградация дофаминовых нейронов; влияние дофамина на полосатое тело ослабевает, что со временем приводит к прогрессирующему параличу.

Высокая плотность дофаминовых нейронов также наблюдается в так называемой *вентральной области покрышки* (VTA[1]). Эти клетки тоже связаны с иными мозговыми структурами обширной сетью нервных волокон. Особый интерес для изучения системы восприятия вкусовых ощущений представляют некоторые из этих зон, а именно: участки полосатого тела, префронтальная кора (в том числе орбитофронтальная кора), островковая кора (где объединяются сигналы обонятельной и вкусовой систем), прилежащее ядро (центр удовольствия и подкрепления условных рефлексов), амигдала и гиппокамп. Связи VTA-дофаминовых нейронов форми-

[1] Ventral tegmental area.

руют *систему подкрепления* (она же *система вознаграждения*) человеческого мозга. Эксперименты, подтверждающие структуру этой системы, проводились как на животных — крысах и обезьянах, так и на людях; для стимуляции системы вознаграждения исследователи нередко использовали фруктовый сок, так что мотивацию подопытные получали за счет ретроназального обоняния и восприятия вкусовых ощущений.



Для стимуляции системы вознаграждения подопытных крыс ученые нередко используют фруктовый сок.

В главе 19 мы познакомились с Вольфрамом Шульцем, ведущим исследователем дофаминовых систем вознаграждения и подкрепления. В его лаборатории проводились самые разные эксперименты, но мы остановимся лишь на некоторых из них. Например, один из типичных экспериментов заключался в поиске спрятанной еды: когда подопытная обезьяна прикасалась к найденной пище (кусочку печенья или чему-нибудь еще), дофаминовые клетки выпускали целый поток сигналов. В другом типовом эксперименте обезьяне давали воду или сок, стимулируя ее систему вознаграждения. Дофаминовые нейроны активируются при стимуляции любой «наградой» (является ли стимул вознаграждающим или нет, зависит от того, как он распознается сенсорными системами). Еще в ходе ранних экспериментов обнаружилось, что клетки дофаминовой системы не активируются стимулами, вызывающими отторжение или отвращение, например слишком соленой водой; активность возникала только тогда, когда стимул доставлял подопытному удовольствие. Недавно ученые установили, что дофаминовая система все же реагирует на вызывающие отторжение стимулы, просто реакция имеет иной характер. Особый интерес представляет тот факт, что дофаминовые рецепторы активируются в том числе стимулами, использованными для закрепления условных рефлексов, например световым сигналом, предвещающим в ближайшем будущем получение вознаграждения. Получается, дофаминовая система умеет прогнозировать, а эта способность обеспечивается на высшем уровне мозговой деятельности. Дофаминовая система реагирует на еще не произошедшие события потому, что дофаминовые нейроны модулируют клетки орбитофронтальной коры, вовлеченные в планирование будущих

действий. Мы вновь пришли к орбитофронтальной коре, а значит, нам пора вернуться к системе восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом.

Разумеется, дофаминовая модуляция важна для всех сенсорных систем, но для восприятия вкусовых ощущений она на порядок важнее. Дофаминовые волокна соединяют средний мозг не только с обонятельной корой, где дофамин модулирует формирование образов и объектов запаха, но и с корой орбитофронтальной. Кстати, в обонятельной луковице присутствуют содержащие дофамин промежуточные нейроны (и перигломерулярные клетки), так что вполне возможно, что дофамин участвует в формировании изначальных образов запаха на гломерулярном слое. Еще одна связь между дофамином и обонятельным восприятием обнаружилась при изучении таких нейродегенеративных заболеваний, как болезни Паркинсона и Альцгеймера, — одним из ранних симптомов этих заболеваний является снижение обонятельной чувствительности.



В обонятельной луковице присутствуют содержащие дофамин промежуточные нейроны, так что вполне возможно, что дофамин участвует в формировании изначальных образов запаха.

Участие дофамина в системах вознаграждения человеческого мозга связывает его и с механизмами формирования наркотической зависимости. Судя по всему, работает это так: после выброса дофамина и последующей активации нейронов системы вознаграждения в полосатом теле и коре головного мозга в дело вступают клеточные механизмы обратного захвата, прерывающие активность дофаминовой системы. Кокаин блокирует механизмы обратного захвата, усиливая и продлевая активность дофамина, что и приводит к формированию зависимости. Некоторые наркотики также увеличивают длительное потенцирование в синапсах, где высвобождается возбуждающий нейротрансмиттер глутамат; например, таким эффектом обладает никотин. Существует целый ряд механизмов, усиливающих активность дофаминовой системы. Клетки мозга обладают исконной пластичностью, без которой они бы не смогли выполнять свои непосредственные функции; за счет этого свойства многие эффекты приобретают самовозобновляющийся характер.

В главе 19 мы уже отмечали, что механизмы наркотической зависимости фиксируются и при нездоровом вожделении к пище, именно эта общность легла в основу ранних исследований жажды к пище. Далее мы разберем, почему механизмы дофаминовой системы стали считаться системообразующим элементом в изучении проблем переедания.

РЕТИКУЛЯРНАЯ СИСТЕМА: ВАШ ЛИЧНЫЙ USB-ПОРТ

Так как дофаминовые клетки участвуют во множестве процессов в головном мозге, нам нужно знать, откуда они получают входящие сигналы. Некоторые из них поступают из тех же зон, куда идут их исходящие импульсы, — таким образом они замыкают циклы обратной связи, позволяющие им поддерживать свою активность. Другим ключевым источником входящих сигналов является кора мозга, а точнее *ретикулярная система* — это не зона коры, а скорее, сеть клеток, растянувшаяся от центра ствола мозга до самых отдаленных уголков переднего. Эта система настолько стара, что имеется у всех видов позвоночных, у человека она просто гораздо крупнее. Клетки ретикулярной системы обладают длинными дендритами, которые принимают и передают нервные импульсы в самые разные зоны мозга. Ключевым моментом является то, что их входные данные поступают из мозга, так же как их выходные данные остаются в мозге, поэтому это полностью внутренняя система.



Ретикулярная система — сеть клеток в головном мозге — настолько старая с точки зрения эволюции, что есть у всех позвоночных животных.

Ретикулярная система является скрытной «рабочей лошадкой» нашего мозга. Больше всего она напоминает USB-порт на компьютере, готовый принимать сигналы от множества устройств и передавать их по месту назначения. Сигналы от гипоталамуса могут стимулировать или завершать процесс кормления; импульсы от префронтальной коры или из прилежащего ядра могут управлять различными эмоциональными и мотивационными состояниями; входящие сигналы могут поступать в ретикулярную систему

как из глубинных структур мозга, так и от сенсорных систем, в том числе задействованных в восприятии вкусовых ощущений. В свою очередь, VTA-нейроны интегрируют эти сигналы и передают их по назначению в виде выбросов дофамина; нередко дофамин оказывается в той же зоне мозга, откуда поступил изначальный сигнал. Получается, что ретикулярная система и дофаминовые нейроны задействованы скорее в оценке значимости и ожиданий от входящих сенсорных сигналов и исходящих сигналов моторной активности, чем в их идентификации и классификации. То, что значимость и ожидания регулируются столь обширными и древними структурами нашего мозга, отчасти объясняет, почему нам так сложно изменить или разорвать связь между вкусовым ощущением и нездоровой тягой к нему.

МОЗГОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВЫБОРА ПИЩИ

Теперь, когда мы в должной мере изучили интересующие нас элементы системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом, можем наконец поговорить о нейроэкономике. Экономисты осознали, что, присваивая товару экономическую ценность, люди ориентируются не только и не столько на цену самого товара, сколько на собственное глубинное восприятие его ценности — грубо говоря, люди оценивают товар в соответствии со своей системой вознаграждения.

Тодд Хэр, Колин Камерер и Антонио Рэнгель из Калифорнийского технологического института решили узнать, как именно мы принимаем решения, и предположили, что человеческий мозг обладает механизмами, позволяющими нам выбрать наиболее оптимальный вариант из нескольких. Предыдущие исследования показали, что, когда нам предстоит сделать выбор, в вентромедиальной части префронтальной коры, в лобной доле, формируется сигнал о ценности; мы уже знаем, что эта часть мозга вовлечена во многие высшие когнитивные процессы. Ученые выдвинули гипотезу, что эта зона должна управляться другой частью мозга, а именно дорсолатеральной префронтальной корой, также участвующей в высшей мыслительной деятельности, в том числе в осуществлении контроля над принятием решений. В особенности исследователей интересовал процесс выбора пищи, а потому они придумали эксперимент специально для изучения мозга людей, сидящих на диете. Для пер-

вой серии опытов они поделили подопытных на две группы: в одну попали люди, продемонстрировавшие высокий уровень самоконтроля, во вторую — те, у кого с самоконтролем были проблемы. Участники с хорошим самоконтролем выбирали полезную пищу, в то время как другая часть испытуемых, со слабым самоконтролем, как правило, выбирала более вредную еду.

Затем исследователи поместили подопытных в фМРТ и регистрировали их мозговую активность, когда те принимали решения. Было обнаружено, что активность в вентромедиальном участке префронтальной коры зависела от целеустремленности подопытных, вне зависимости от того, склонялись ли они к здоровой или вредной пище. У подопытных из группы с высоким самоконтролем активность коррелировала преимущественно с оценкой полезности, в то время как у подопытных с низким самоконтролем подобной корреляции не прослеживалось. При проверке самоконтроля активность наблюдалась как в дорсолатеральном, так и в вентромедиальном участках префронтальной коры; но активность дорсолатерального участка была выше в тех случаях, когда подопытные успешно сдерживали свои позывы и делали выбор в пользу полезной пищи.

Авторы исследования выдвинули интересную гипотезу: возможно, вентромедиальный участок эволюционировал для присвоения пище сиюминутной ценности (в данном случае ценность зависела от вкусовых ощущений пищи), в то время как дорсолатеральный участок развился для оценки долгосрочных перспектив, таких как польза для здоровья. Дорсолатеральный участок префронтальной коры связан со многими иными центрами высшей мыслительной деятельности; ученые предполагают, что именно благодаря этим связям самоконтроль при принятии решений во многом зависит от общего интеллекта подопытного и способности контролировать свое эмоциональное состояние. Резюмируя результаты своего исследования, Хэр, Камерер и Рэнгель отмечают:

«…И наконец, углубленное понимание нейробиологических механизмов самоконтроля при принятии решений имеет прикладную ценность в различных сферах жизни, начиная от клинической практики лечения ожирения и зависимостей, заканчивая экономикой и социальной политикой, где оно пригодится в анализе неоптимального планирования бюджета и поведения, подрывающего здоровье; полезно оно будет и при формировании критериев юри-

дической оценки состояния индивида в ситуациях, когда нужно установить, в какой мере он управляет собой при принятии решений и может ли отвечать за свои действия перед законом».



Самоконтроль при принятии решений во многом зависит от общего интеллекта и способности контролировать свое эмоциональное состояние.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПРИ ВЫБОРЕ ПИЩИ

Относительно недавно Нора Волкова, Джин-Джек Ванг и Рубен Балер свели воедино данные по системам мозга, вовлеченным в процесс выбора пищи. Специализация и квалификация Норы Волковой делают ее идеальным кандидатом для проведения исследований такого толка. Она посвятила долгие годы изучению наркотической зависимости и к тому же является директором Национального института по вопросам злоупотребления наркотиками (NIDA). Как уже упоминалось в главе 19, исследования механизмов наркозависимости во многом способствуют пониманию мозговых механизмов, сопряженных как с непреодолимой тягой к наркотикам, так и с «образами желаний» и жаждой к пище. Сходство механизмов этих процессов подтолкнуло Волкову к созданию модели систем мозга, участвующих в выборе пищи, и противопоставлению здорового и нездорового питания (рис. 22.1). Эту модель отражают элементы блок-схемы системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом (рис. 18.2) в виде более динамичной системы контроля.

Проиллюстрированная динамичная модель контроля состоит из четырех ключевых элементов. Первым ее элементом является *приоритетность* — этим термином психологи обозначают силу и степень привлекательности сенсорного стимула. К приоритетным стимулам относятся эйфоричные соленые или сладкие вкусовые ощущения от высококалорийного, насыщенного фастфуда; аромат кофе и шоколада; сбалансированные манящие вкусовые ощущения блюд традиционной кухни всех народов мира. Приоритетность этих стимулов отражает охват входящих сигналов сенсорных систем, показанных на рис. 18.2, и зависит в том числе от механизмов работы орбитофронтальной коры и сопряженных зон, участвующих в оценке стимулов.

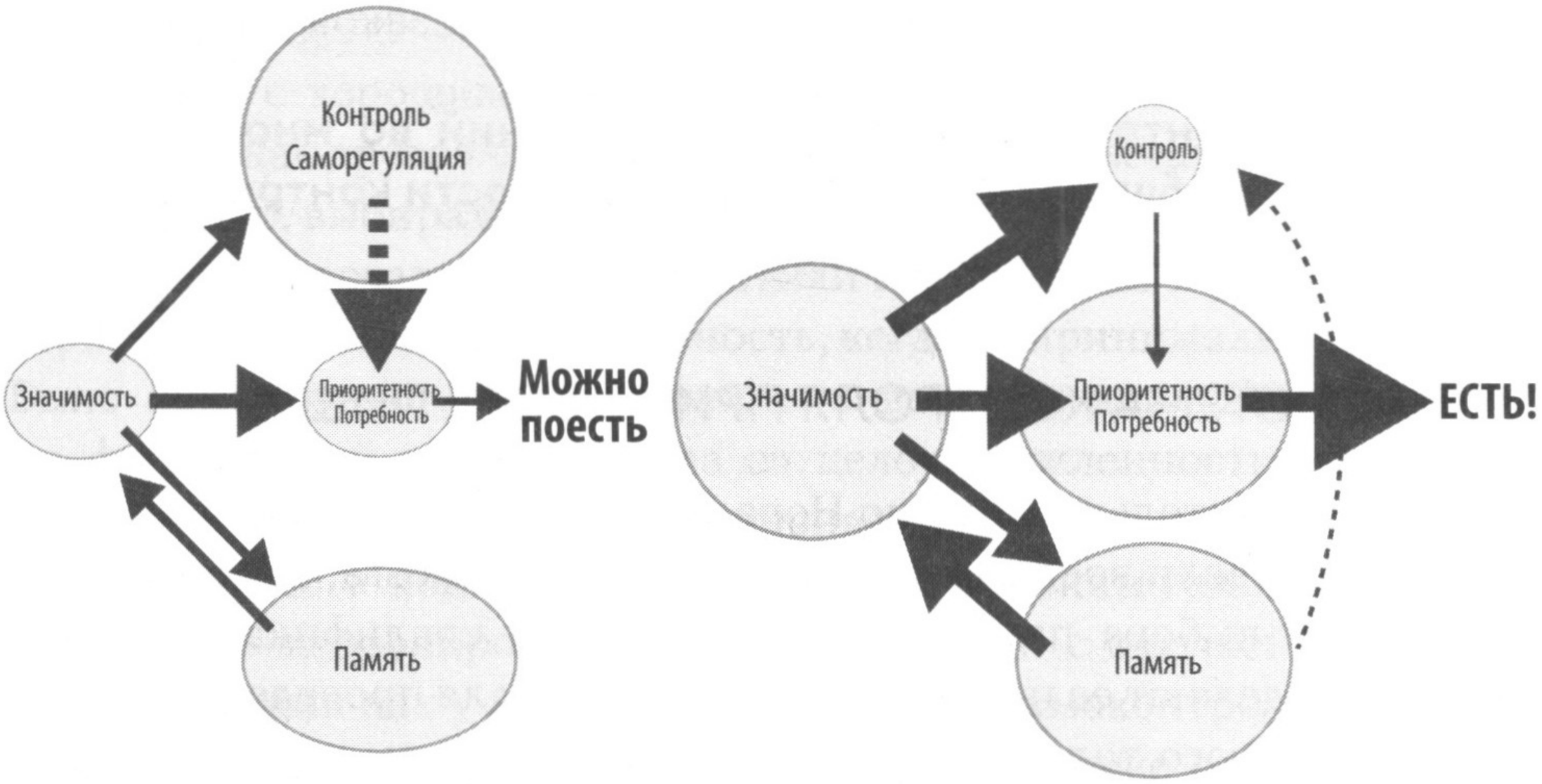


Рис. 22.1. Блок-схема системы сенсорного контроля человеческого мозга. Изначально эта схема была разработана для демонстрации системы сенсорного контроля при наркотической зависимости; здесь же представлен адаптированный вариант, демонстрирующий контроль при принятии пищи.
(Составлено по материалам статьи N. D. Volkow, G.-J. Wang, and R. D. Baler, Reward, dopamine, and the control of food intake: Implications for obesity, Trends in Cognitive Science 15 [2011]: 37–45.

Входящие сигналы распределяются по трем основным подсистемам. Первая из подсистем работает с памятью — здесь хранятся предпочтения, обусловленные сформированными условными рефлексами индивида. Вторая подсистема является мотивационной, она определяет потребности индивида и то, насколько страстно он жаждет ту или иную пищу. Третья подсистема отвечает за процессы ингибиции, эмоциональный контроль и выполняет роль «исполнительной власти» системы контроля, обеспечивая вертикальный когнитивный контроль над выбором. На рис. 22.1 показано, что в здоровой системе исполнительный контроль оказывает существенное влияние на весь процесс выбора. В своем исследовании Хэр, Камерер и Рэнгель называли тех, чья исполнительная функция работала в полную силу, людьми с нормальным самоконтролем.

А вот у людей с ожирением в системе контроля наблюдаются неполадки. На рис. 22.1 вы видите, что для них первостепенное значение имеет приоритетность, которая нередко затмевает прочие побуждения, охватывая все сенсорные системы целым потоком мощных импульсов. При ожирении существенно возрастает влияние закрепленных до рефлекторного уровня воспоминаний о слишком притягательных стимулах вкупе с потребностью в них и увеличивается поток информации, поступающей в подсистему контроля. Помимо всего прочего, воспоминания о вызывающей непреодолимую тягу пище в аномальной системе имеют прямой доступ к подсистеме контроля; и это при том, что подсистема контроля у таких индивидов ослаблена. Получается, что единственным препятствием для повышенной потребности в приоритетных стимулах является лишь ослабленная система ингибиции. Вновь обратившись к заключениям Хэра и его коллег, можно сказать, что при дефиците самоконтроля индивид испытывает столь мощную потребность в вожделенной пище, что мозг не в силах оказать ей адекватное сопротивление.

Эта модель является превосходной основой для дальнейших исследований и экспериментов. Авторы упоминают и другие факторы, влияющие на систему сенсорного контроля, в том числе циклы управления эмоциями и циклы внутренней осознанности. Помимо них существует и крайне сложная система регулирования гормонов желудочно-кишечного тракта, циклов концентрации лептинов и грелинов[1], а также прочих гормонов в нашем теле. К тому же язык и речь тоже влияют на наш выбор пищи, и их влияние поистине огромно.

* * *

В заключение этой главы мы возвращаемся к изначальному вопросу: что же делает вкусовые ощущения от некоторых видов пищи столь неотразимо притягательными для нас? Вспомните эксперименты по жажде к пище из главы 19. В 2009 году, пересматривая статьи об этих опытах, Марсия Пелчат отметила: «Эта работа подтверждает основную гипотезу о пищевой и наркотической “жаж-

---

[1] Лептин — гормон, отвечающий за регуляцию сытости; грелин — гормон, отвечающий за регуляцию голода.

де”. В этом исследовании ключевая роль отводится воспоминаниям и структурам сенсорной интеграции, что в полной мере соответствует первостепенному влиянию сенсорной памяти на непреодолимую тягу к пище. Когда индивид испытывает непреодолимую тягу, в его мозге есть своего рода сенсорный шаблон того, что надо съесть, чтобы в полной мере удовлетворить свою жажду к пище».

Круг замкнулся; мы снова вернулись к тому, как мозг формирует вкусовые ощущения: создает сенсорные проекции образов и объектов запаха — они же «сенсорные шаблоны» — в структурах ассоциативной памяти обонятельного тракта; интегрирует проекции запаха с проекциями иных сенсорных систем в ряде зон коры больших полушарий; повышает активность в эмоциональных цепочках, находящихся вне сферы влияния основных центров принятия решений нашего мозга, усиливая таким образом тягу к пище. Схемы мозговой активности, в том числе системы восприятия вкусовых ощущений (рис. 18.2) и сенсорного контроля (рис. 22.1), приоткрывают нам некоторые механизмы и потаенные элементы систем человеческого мозга, о которых нужно помнить при планировании любой социальной стратегии, нацеленной на продвижение здорового питания.

Глава 23

ПЛАСТИЧНОСТЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ ВКУСА

Чем больше мы узнаем о нашем мозге, тем очевиднее становится для нас его способность меняться под влиянием активности и опыта. Не так давно я побывал на конференции, посвященной переломным этапам формирования пластичности зрительной системы в процессе взросления молодых животных, и докладчик резюмировал тему следующим образом: мы традиционно воспринимаем мозг как стабильный орган с ограниченными пластическими свойствами; новый же подход подразумевает, что пластичность является естественным состоянием мозговых клеток, а мозг прикладывает огромные усилия, чтобы сдерживать эту пластичность и управлять ею.

В системе восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом пластичность наиболее ярко проявляется в двух аспектах: во-первых, клетки некоторых зон этой системы неустанно обновляются за счет стволовых клеток; а во-вторых, при получении нового опыта меняются как свойства клеток, так и характер их взаимодействий друг с другом.

СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ, КОТОРЫЕ СОЗДАЮТ НОВЫЕ КЛЕТКИ СИСТЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ ВКУСОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ

Когда мы появляемся на свет, в нашем мозге уже имеется полный набор нервных клеток — во всех зонах, за исключением четырех, где процесс формирования нервных клеток на основе клеток

стволовых продолжается на протяжении всей нашей жизни. Невероятно, но все эти «обновляющиеся» зоны напрямую задействованы в формировании вкусовых ощущений.

Первой зоной являются клетки вкусовых почек (см. главу 13). Нам уже давно известно об их «возобновляющейся» природе: они рождаются из стволовых клеток у основания вкусовых почек, постепенно достигают зрелости и становятся функциональными, а затем отмирают, уступая место новым, молодым клеткам. Продолжительность жизни клеток вкусовых почек составляет порядка двух недель. Считается, что столь быстрое замещение обусловлено наличием у этих клеток прямого контакта со всем, что попадает к нам в рот. Четвероногие животные особенно склонны брать в рот разные вредные для здоровья вещи, вполне способные убить клетки вкусовых почек; вполне логично, что уничтожение клеток должно компенсироваться неким стабильным механизмом, обеспечивающим непрерывное восстановление их численности. К тому же некоторые привычки наших четвероногих питомцев, такие как употребление экскрементов в рамках социальных взаимодействий, тоже не способствуют выживаемости клеток вкусовых почек.

Вторая зона также состоит из рецепторных клеток, но расположена она в полости носа (см. главу 5). Относительно недавно исследователи обнаружили, что эти клетки тоже обновляются. Всякий раз, когда мы принюхиваемся или делаем очередной вдох, наши обонятельные рецепторы контактируют со всевозможными запахами, в том числе и вредными, а потому вполне логично, что поврежденные клетки должны периодически заменяться. В отличие от вкусовых рецепторных клеток, которые целиком находятся внутри вкусовых почек, обонятельные являются истинными нервными клетками — их покрытые чувствительными молекулами жгутики пронизывают слизистые оболочки носа и соприкасаются с поступающими в обонятельный тракт молекулами запаха, а аксоны обонятельных клеток уходят вглубь мозга, прямиком в обонятельную луковицу. Скорость обновления обонятельных рецепторных клеток зависит от токсичности окружающей среды; у крыс, выросших в стерильной среде, скорость обновления крайне низкая, в то время как в обычных условиях обонятельные рецепторные клетки обновляются за несколько недель. За счет прямохождения у человека нос содержится в относительной чистоте, так что скорость обновления обонятельных рецепторных клеток в теории должна быть достаточ-

но низкой; на данный момент мы просто не располагаем экспериментальными данными, способными подтвердить или опровергнуть эту гипотезу.



Все клетки организма обновляются с разной скоростью. И скорость обновления обонятельных рецепторных настолько низкая, что нос человека остается в чистоте исключительно благодаря прямохождению.

Третьим видом обновляющихся нервных клеток являются маленькие промежуточные нейроны, находящиеся в обонятельной луковице, а именно — перигломерулярные и гранулярные клетки, которые ингибируют активность более крупных митральных и пучковых клеток, участвуя таким образом в обработке обонятельных сигналов (см. главы 7 и 10). То, что промежуточные нейроны тоже обновляются, было установлено относительно недавно, в ходе экспериментов на животных. Они обновляются благодаря стволовым клеткам, расположенным у основания черепа, на изрядном расстоянии от обонятельной луковицы, где находятся в том числе и стволовые клетки, формирующие клетки коры больших полушарий головного мозга. Та часть стволовых клеток, что формирует кору больших полушарий, перестает создавать новые клетки еще до нашего рождения, в то время как часть расположенных рядом с ними стволовых клеток собирается в «ростральный миграционный поток», позволяющий им переместиться в обонятельную луковицу и влиться в пласт перигломерулярных и гранулярных клеток. В наши дни стволовые клетки мозга взрослого человека представляют огромный интерес для исследователей, так что эти скрытые в обонятельной луковице клетки изучаются самым тщательным образом.

Если рецепторные клетки, поставляющие информацию в обонятельную луковицу, и находящиеся в ней промежуточные нейроны постоянно обновляются, получается, что единственными неизменными клетками в ней являются крупные нейронные клетки — митральные и пучковые. Следовательно, обонятельная луковица, один из наиболее важных компонентов системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом, одновременно является и наиболее пластичной его частью. Вызвано ли обновление клеток необходимостью поддерживать численность, компенсируя потери от инфекций? Или же обновление клеток обусловлено необходимостью

подстраиваться под уникальные качества обонятельных стимулов? Прежде чем мы сможем ответить на этот важный вопрос, нам еще многое предстоит изучить и узнать.

Четвертый и последний участок мозга, в котором наблюдается обновление нервных клеток, находится в гиппокампе, а именно в одной из его частей, известной как зубчатая извилина. Гиппокамп играет крайне важную роль в изучении и запоминании сенсорной информации, в том числе обонятельных и вкусовых ощущений. Как мы уже убедились на примере Комбре, именно в этой части мозга сводятся воедино воспоминания о запахах, видах и звуках, каждое из которых до этого момента хранится изолированно от остальных в соответствующей сенсорной зоне мозга; именно в гиппокампе эти следы памяти объединяются в целостное, мультисенсорное воспоминание (см. главу 20). Мы пока что не знаем, как именно участвуют в этом процессе обновляющиеся нервные клетки зубчатой извилины; эта загадка тоже ждет своего исследователя.

ПЛАСТИЧНОСТЬ В СИСТЕМЕ ВОСПРИЯТИЯ ВКУСА

Второй ключевой вид пластичности мозга проявляется в том, как меняются качества клеток в зависимости от их активности. Разумеется, в первую очередь искать такие клетки следует в тех зонах, где уже действует механизм обновления нервных клеток. Пожалуй, можно начать с клеток вкусовых почек.

Линда Кеннеди и ее коллеги в Университете Кларка задались следующим вопросом: если человек употребляет много сладкой пищи, меняется ли его чувствительность к сахару и восприятие сладкого вкуса? Для начала они проверили отобранных для эксперимента людей на чувствительность к сахару с помощью глюкозы и обнаружили у некоторых из них достаточно низкую чувствительность. Тогда исследователи решили попробовать повысить чувствительность этих испытуемых и установили, что при многократной стимуляции сахаром чувствительность — а заодно и восприимчивость к сладкому вкусу — у подопытных действительно повысилась. Это позволило им предположить существование основанного на опыте «индуцируемого механизма ощущений», а это, в свою очередь, позволяло выдвинуть гипотезу о существовании некоей «индукции человеческого вкусового восприятия», подразумевающей,

что многократный контакт с определенным вкусовым стимулом повышает чувствительность к нему.

Развивая эту гипотезу, исследователи провели еще один эксперимент; в этот раз для многократной стимуляции вкусовых рецепторов подопытных использовалась как глюкоза, так и фруктоза (другой вид сахара, на вкус примерно в два раза слаще привычной нам глюкозы). Их гипотеза получила еще одно подтверждение: фруктоза действительно повысила чувствительность подопытных как к фруктозе, так и к родственной ей глюкозе. Они установили, что этот механизм имеет обобщающий характер и охватывает сразу несколько сахаров. Им также удалось продемонстрировать, что пяти эпизодов стимуляции глюкозой в течение нескольких минут достаточно, чтобы сформировать сенсибилизацию (повысить чувствительность) на почти две недели. После завершения цикла экспериментальной стимуляции чувствительность подопытных вернулась к изначальным показателям уже через несколько недель. Таким образом, было установлено, что эффект повышенной чувствительности обратим и эта обратимость свидетельствует в пользу того, что пластичность является закономерной составляющей нормальной реакции восприятия вкуса. Последующие опыты показали, что повысить чувствительность можно и для других вкусовых групп; к примеру, с помощью глутамата натрия можно повысить чувствительность как ко вкусу умами, так и к веществу под названием глутаральдегид.



При многократной стимуляции сахаром чувствительность — а заодно и восприимчивость к сладкому вкусу — у людей повышается.

Где же возникает этот эффект? Логично было бы предположить, что он зарождается во вкусовых почках, где происходит интенсивное обновление нервных клеток. Может статься, что молодые клетки более чувствительны к повышенной концентрации сахаров, чем старые рецепторные клетки, ожидающие замены. Возможно, при прекращении стимуляции высокими дозами сахара рецепторы становятся более чувствительными и лучше подстраиваются под восприятие меньших доз. Изменение чувствительности подтвердилось во время исследований на животных, в ходе которых регистрировалась импульсная активность в барабанной струне — так называемом вкусовом нерве, одной из ветвей лицевого нерва; при многократном воздействии стимула интенсивность нервного отклика повышалась.

Может, этот эффект и вовсе имеет централизованную природу. Функциональная визуализация мозга выявила усиливающиеся реакции в центральных частях системы — например, в области вкуса коры. Для полноценного понимания различий между процессами на этих двух уровнях потребуются дополнительные исследования.

Дальнейших исследований этой проблемы пока что почти не проводилось, а сама она фактически не удостоилась внимания общественности. В то же время, если многократное употребление богатой сахаром пищи и впрямь вызывает повышение чувствительности к сахарам, то ученые должны донести это до сведения диетологов, ведь сегодня индустрия безалкогольных напитков продвигает на рынок больше насыщенных сахаром напитков, чем когда-либо ранее. Похоже, справедливость гипотезы «индукции человеческого вкусового восприятия» сейчас обосновывается за пределами лабораторных стен, а подопытными в этом поистине беспрецедентном эксперименте выступают многие миллионы потребителей.

ПЛАСТИЧНОСТЬ СИСТЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ ЗАПАХА

Обновление клеток обонятельных рецепторов в полости носа позволяет предположить, что они, наряду со вкусовыми, могут подстраивать свою чувствительность при многократной стимуляции. Исследователи из Монельского центра химических ощущений в Филадельфии протестировали это предположение на примере нескольких видов молекул запаха. Для первого эксперимента они использовали феромон адростенон, присутствующий в поте и моче самцов и определяемый большинством самок, для которых он может послужить сигналом к поведенческой реакции продолжения рода. Ученые обнаружили, что многократная стимуляция обоняния адростеноном действительно повышает чувствительность к этому феромону, в том числе и у самцов. В той же серии экспериментов установили, что многократная стимуляция одним обонятельным раздражителем повышает восприимчивость к нему и у людей; в числе использованных исследователями стимулов был и популярный альдегидный цитрусовый ароматизатор «Цитралва»[1], знакомый многим обывателями по бытовой химии и косметике.

---

[1] Citralva.

В какой именно части системы восприятия запахов происходит это приращение восприимчивости? Эксперименты на животных и людях показали, что чувствительность повышается в рецепторных клетках, расположенных в полости носа. А что насчет активности более глубоких структур мозга? В случае если чувствительность повышается именно в рецепторных клетках, выявить наличие дополнительного, отдельного механизма усиления восприимчивости в центральных структурах мозга достаточно сложно, ведь туда и так поступают сигналы с рецепторного уровня систем восприятия. Тем не менее в 2002 году Ноам Собель и его коллеги из Беркли придумали простой и изящный способ, позволивший им изолированно рассмотреть локальный и центральный механизмы усиления чувствительности. Они провели эксперимент, в котором андростенон подавался только в одну ноздрю, а вторая тем временем была зажата; затем они регистрировали чувствительность к этому феромону в ранее заблокированной ноздре. И установили, что восприимчивость к веществу повысилась и в зажатой ноздре, следственно, увеличение чувствительности происходит все же в центральных структурах системы обонятельного восприятия.



Многократная стимуляция одним обонятельным раздражителем повышает восприимчивость к нему у людей.

В этих опытах исследователи работали исключительно с ортоназальным обонянием. Можно предположить, что аналогичное изменение чувствительности происходит и при стимуляции ретроназального обоняния, а значит, влияет на наше восприятие вкусовых ощущений. Чем больше мы контактируем с обонятельным компонентом вкусовых ощущений некой пищи, тем чувствительнее к ней мы становимся. Полагаю, этот вывод тоже должен заинтересовать диетологов.

ОБУЧЕНИЕ ОБОНЯНИЯ

В обусловленной опытом пластичности восприятия запаха и вкуса определенно задействованы механизмы центральных структур сенсорных систем. Что же представляют собой эти механизмы? Одна их категория, скорее всего, напоминает реакцию мозга на наркотики: как мы уже знаем на примере «образов желаний»,

в этих случаях свойства нервных клеток изменяются на клеточном уровне. Ученые продолжают разрабатывать эту тему, но пока мы не можем утверждать, что вкусовые ощущения способны инициировать такую реакцию.

Одну из ведущих гипотез о механизмах пластичности восприятия, обусловленной опытом, лежащих в основе обучения и запоминания, выдвинул психолог Дональд Хебб. В 1949 году он опубликовал книгу «Организация поведения: нейропсихологическая теория»[1], где предложил следующую схему взаимодействия: нейрон, переносящий сигнал, может по синаптической связи просигнализировать соседнему нейрону о повышении сигнальной активности; затем оба нейрона усиливают проводимость своего синаптического соединения, тем самым повышая ее эффективность при последующей активации. В 1970-х годах подобные соединения были обнаружены в гиппокампе — было установлено, что при стимуляции одной группы нейронов гиппокампа их связь с другой группой усиливается. Это явление назвали *длительной* или *долговременной потенциацией* (ДВП).

Долговременную потенциацию можно наблюдать во многих частях центральной нервной системы; помимо гиппокампа, она присутствует в обонятельной и новой коре мозга. В рамках изучения центральных механизмов проводимости сигналов систем восприятия обонятельных и вкусовых стимулов нас в первую очередь интересуют соответствующие микросистемы этих структур, о которых мы уже говорили в прошлых главах. Этой же гипотезы придерживаются Дональд Уилсон и Ричард Стивенсон; в своей книге «Научиться нюхать: обонятельное восприятие в нейробиологии, бихевиоризме и прочих науках» они, подводя итоги своего исследования механизмов обучения и запоминания в обонятельной коре мозга, резюмируют: «Наиболее удивительным свойством человеческой системы обонятельного восприятия является ее пластичность».

Пластичность эта проявляется не только в изменении свойств клеток, но и в способности распределенных систем восприятия смещаться для формирования сенсорных откликов. Уилсон и Стивенсон рассказывают о том, что наш опыт способен кардинально изменить как само наше восприятие запаха, то есть способность отличать его от других, так и то, является ли конкретный запах для

---

[1] Hebb, Donald O. The Organization of Behaviour.

нас притягательным или отталкивающим. Они подчеркивают, что контекст обонятельного восприятия зависит от формы проекции «объекта запаха» в обонятельном тракте, которые мы рассматривали в главе 11.



В настоящее время наука рассматривает нервную систему как чрезвычайно пластичную табличку, на которой отпечатываются образы и воспоминания пережитого нами опыта.

На самом деле потенциалом пластичности обладают все сенсомоторные системы нашего организма. В начале этой главы уже упоминалось, что в настоящее время наука рассматривает нервную систему как чрезвычайно пластичную табличку, на которой отпечатываются образы и воспоминания пережитого нами опыта. Если эти воспоминания и образы изменяют саму структуру этой таблички, то похоже, что Брийя-Саварен был на верном пути, когда писал: «Скажи мне, что ты ешь, и я скажу тебе, кто ты».

Стоит отдать должное и поэтам, задолго до нейронауки отметившим пластичность нашего мозга. В The Dry Salvages, третьей поэме своих «Четырех квартетов», Т. С. Элиот пишет:

> Для большинства из нас существует
> Лишь неприметный момент, входящий
> Во время и выходящий из времени,
> Теряясь в столбе лучей из окна,
> В невидимом диком тмине,
> В зимней молнии, в водопаде,
> В музыке, слышимой столь глубоко,
> Что ее не слышно: пока она длится,
> Вы сами — музыка[1].

Мы же можем дополнить его текст кратким перефразированием:

> Во вкусе, столь глубинно ощутимом,
> Что вовсе мы не чувствуем его: пока он длится,
> Вы сами — вкус.

---

[1] Перевод А. Сергеева.

Глава 24

ЗАПАХ, ВКУС И РЕЧЬ

В газете *The New York Times* я однажды наткнулся на статью о десерте, приготовленном французским актером Жераром Депардье. В этой статье упоминались сразу несколько аспектов нейрогастрономии:

«На днях мы делали яблочный фондан с яблоками сразу трех сортов — Канада, Гренни Смит и Кальвиль, — рассказал Депардье. — Сначала мы сделали белый карамельный соус и разлили его по тарелкам. Затем я положил немного сливочного масла и яичный желток в слегка разбавленный яблочный компот и поставил его в духовку. Это необычный компот, ведь сверху на нем образуется небольшая корочка. Мы подали его с кремом "Англез" и карамельным мороженым. Я попробовал и сказал: "Слишком сладко, слишком насыщенный вкус. Нет ни взрыва вкуса, ни пикантности". Тогда мы дополнили фондан яблочным щербетом и капелькой рома — старого рома, того самого, что достал Фидель Кастро из пещеры Батиста 50 лет тому назад. Он дал мне несколько бутылок. И вот это, — здесь Депардье взял театральную паузу, — это было *божественно*, словно сам Господь снизошел к нам в вельветовом исподнем».

Эта цитата наглядно демонстрирует огромное влияние вкусовых ощущений на нашу повседневную жизнь. Приготовление пищи является одним из фундаментальных отличий нашего вида от всех прочих, и приведенная цитата показывает, как искренне человек может увлекаться этим процессом. Ни одному животному не пришло бы в голову сочетать все эти элементы только для того, чтобы поесть. В этом малюсеньком десерте по меньшей мере десять ингредиентов: от свежих яблок до рома 50-летней выдержки. Составляющие подвергаются нескольким видам температурной обработки: компот запекается в духовке, а мороженое и щербет замораживаются. На каждом этапе приготовления блюда ингредиенты нужно продегустировать, чтобы удостовериться, что они дают желаемые вкусовые ощущения и хорошо сочетаются между собой. Мы про-

сто не смогли бы создать такой десерт, не умей мы разговаривать: слова позволяют нам описывать и обсуждать вкусовые ощущения на каждом этапе приготовления блюда; словами мы выражаем разочарование в чрезмерно сладком и недостаточно изысканном вкусе блюда и с их же помощью ищем решение проблемы; разумеется, словами же мы выражаем свою радость, когда наконец получаем желаемый результат.

РЕЧЬ КАК НЕОТЪЕМЛЕМЫЙ КОМПОНЕНТ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ВОСПРИЯТИЯ ВКУСОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ

В рамках активной системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом (рис. 18.2) язык и речь рассматриваются как одни из фундаментальных элементов нашего восприятия. Именно речь отличает нашу систему восприятия вкусовых ощущений от аналогичных систем у иных биологических видов. Если, как утверждал Джеймс Босуэлл, именно кулинария отличает человека от иных живых тварей, то вкусовые ощущения привносят в приготовление пищи радость, а речь — их верный слуга.



Человеческая речь не умеет хорошо описывать запахи. Мы вынуждены постоянно прибегать к метафорам, аналогиям и ссылаться на объект — источник запаха.

Мы можем смириться с тем, что язык и речь важны для восприятия запахов и вкусовых ощущений, но то, насколько велико их значение, может стать для вас настоящей неожиданностью. Народная мудрость гласит (и я с ней согласен), что люди не очень-то хорошо умеют описывать окружающий мир запахов. У нас нет слов, позволяющих детально описывать запахи, подобно тому как мы описываем цвета или простые геометрические фигуры. Речь словно не справляется с этой задачей, и мы постоянно вынуждены прибегать к метафорам, аналогиям и ссылаться на объект, являющийся источником запаха. В итоге получается, что объекты, обладающие «сладким» запахом, по вкусу напоминают сахар, а запах бананов характеризуется как «банановый». Разумеется, знаток органической химии может сказать, что бананы пахнут амилоуксусным эфиром; но если спросить про запах амилоуксусного эфира, то вам наверняка ответят, что он «банановый».

В то же время существуют вполне научные аргументы против существования тесной взаимосвязи между обонянием и речью. Мы уже знаем, что обонятельная рецепторная зона в коре головного мозга находится в передней части лобной доли. Моторные речевые центры коры мозга располагаются в борозде Брока, в задней части лобной доли, а сенсорные речевые зоны, отвечающие за интеграцию языка и речи с прочими процессами центральной нервной системы, и вовсе находятся в области Вернике, в височных долях коры (рис. 13.1). Аналогичным образом сторонники этой гипотезы аргументируют и отсутствие тесной связи между речью и восприятием вкусовых ощущений.

Область Вернике расположена бок о бок с принимающими зонами слуховой коры, что представляется крайне логичным, если учесть, что она напрямую задействована в процессе интерпретации звуковых сигналов устной речи; борозда Брока же находится рядом с моторными зонами коры, управляющими мышцами при говорении. Разумеется, помимо двух упомянутых моторных зон речевые центры имеют протяженные связи с многими иными участками коры больших полушарий; наличие этих связей позволяет формировать устную речь и использовать ее для выполнения вспомогательных функций во всех сенсомоторных системах нашего мозга. Подобно тому как фронтальные доли мозга неотрывно связаны с визуальными участками затылочной коры, так и префронтальные участки мозга «сцеплены» с отдаленными участками коры, в том числе с речевыми центрами. В данном случае вопрос в другом — могут ли эти связи передавать не только сенсорные сигналы, связанные непосредственно с восприятием вкусовых ощущений, но и сигналы обучающие, необходимые для сопоставления воспринимаемых сенсорных образов с нейронными механизмами речи.

Способны ли длинные нейронные связи речевых центров обеспечить передачу таких сигналов? У нас есть достаточно веские причины полагать, что да, вполне. Нам прекрасно известно, что ретроназальное обоняние, которое является одним из ключевых элементов комплексного восприятия вкусовых ощущений, как и поглощение пищи, осуществляется через то же отверстие, с помощью которого мы разговариваем. Пища и речь не просто близкие соседи, они, по сути, разместились в одном доме. Помимо чисто физиологического соседства, мы можем проследить эволюционную связь между речью и обонянием — формирование кулинарии и вербального

общения относят к одному периоду становления нашего биологического вида. Ну и наконец, сложно отрицать, что люди изобрели просто невероятное количество слов для описания своих вкусовых ощущений (как мы уже убедились, прочитав отрывок статьи о десерте Депардье).

* * *

Даже из древних документов, дошедших до нас от самых истоков человеческой культуры, очевидно, что пища и способы ее приготовления всегда были чрезвычайно важной частью жизни общества. Именно в те далекие времена формировались способы и методы приготовления блюд, известные нам теперь в виде кулинарных традиций народов мира.

Если рассматривать этот этап становления человечества с ракурса роли запаха в формировании вкусовых ощущений, то можно обнаружить много интересного — меня особенно впечатлила насыщенность блюд традиционной кухни и объем слов и словосочетаний, созданных для выражения вкусовых ощущений и тех или иных аспектов кулинарии. Например, уже в Римской империи наблюдался огромный спрос на импортируемые арабскими торговцами специи и пряности; они поставлялись в Европу по Великому шелковому пути, протянувшемуся до самого края Восточной Азии (и это — за тысячу лет до путешествия Марко Поло!). В книге «Приправы Древнего Рима»[1] Дж. Иннес Миллер приводит список из 87 специй и приправ, упоминавшихся в кулинарных книгах тех лет. Для сравнения, в недавно опубликованном переиздании «Кулинарной библии»[2] перечень приправ состоит лишь из 18 наименований. Длина списка специй, пряностей, приправ и трав, каждая из которых обладает характерным ароматом и дарует особые вкусовые ощущения, доказывает, что даже на заре человеческой цивилизации кухни мира были богаты насыщенными вкусами и запахами, а словарный запас людей — терминами для обозначения этих вкусовых добавок и создаваемых с их помощью ощущений.

---

[1] Miller, James Innes. The Spice Trade of the Roman Empire.

[2] The Joy of Cooking, крайне популярная в США кулинарная книга Ирмы С. Ромбауэр, впервые опубликованная в 1931 году; в 2019 году вышло 9-е, дополненное издание книги.

ЛЕКСИКА ВКУСОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ

В наши дни слов для описания ароматов и вкусовых ощущений от пищи так много, что в них проще запутаться, чем разобраться. Нам было бы удобнее работать с ними, будь у нас некая классификация, аналогичная цветовой, где есть лишь три основных цвета, — мы бы выделили несколько «основных» запахов и систематизировали бы вкусовые ощущения и обонятельные стимулы на их основе. Но нет, запах и вкус слишком сложны, и такой подход здесь неприменим.

Существует несколько принципов классификации вкусовых ощущений и запахов, каждый из которых имеет собственную лексику. Специалисты по органической химии придумали тысячи терминов, характеризующих запах и вкус синтезируемых молекул. Психофизиологи, описывая изолированные с помощью масс-спектрометрии компоненты вкусовых ощущений, оперируют иной терминологией (об этом методе мы говорили в главе 4). Узкоспециализированную лексику для описания вкусовых ощущений используют и физиологи питания, и дегустаторы вин.

Яркий пример обширной терминологии можно увидеть на сайте Flavornet, созданном ведущим психофизиологом Терри Акри и его коллегами из Конеллского университета. Там представлены свыше 700 компонентов вкусовых ощущений, изолированных с помощью масс-спектрометрии, к каждому из которых прилагается информация о химических и сенсорных характеристиках. Все компоненты на сайте подразделяются на 25 классов: фруктовые, мясные после термообработки, кисломолочные, рыбные, пряные и т. д.

* * *

Список на сайте Flavornet позволяет визуально оценить истинный масштаб мира запахов: каждый вид молекул запаха порождает особое обонятельное ощущение, и к каждому из них прилагается перечень лексики, позволяющей человеку сформулировать свое восприятие этого стимула. Терминология гастрономических ароматов обширна: запах является одним из ключевых компонентов целостных вкусовых ощущений, а потому ассоциируется у нас как с самим блюдом, его источающим, так и с его вкусом.

Попытки человечества описать воспринимаемый нами мир вкусовых ощущений и запахов находят отражение в лексике, синтаксических и грамматических конструкциях языка. Некоторые ис-

следователи полагают, что люди могут различать до 10 000 разных запахов. Вне зависимости от того, сколько именно запахов мы различаем на самом деле, каждому из запахов должен соответствовать термин, верно? Более того, как мы уже убедились, восприятие запаха является сложным, комплексным процессом: почувствовав запах, мы распознаем и оцениваем его с помощью ассоциативной памяти и эмоциональных воспоминаний. По истории с Марселем Прустом и печеньем «Мадлен» мы знаем, что восприятие отдельного сенсорного раздражителя способно вызвать из глубин памяти целостную мультисенсорную сцену давно минувших дней и оживить сопряженные с теми событиями эмоции. Все это преумножает и без того объемную лексику, необходимую для описания обонятельных ощущений, ведь человеку, помимо самого запаха, нужно подобрать слова для описания воспоминаний и эмоций и донести свои впечатления до других.



Некоторые исследователи полагают, что люди могут различать до 10 000 разных запахов.

Основная гипотеза этой книги по совместительству является прекрасным объяснением того, почему нам так сложно описывать запахи и вкусовые ощущения — *наш мозг воспринимает одоранты в виде трехмерных схем активности произвольной формы, так называемых образов запаха*. В главе 8 мы уже поднимали вопрос распознавания и описания асиметричных визуальных образов — мы мгновенно узнаем человека в лицо, но затрудняемся описать воспринятую внешность словами. Вполне возможно, что обонятельное восприятие работает по тому же принципу, что и визуальное: мы с трудом находим слова для описания качеств воспринимаемого запаха, но безошибочно его распознаём.

* * *

Несмотря на трудности соотнесения запахов и вкусовых ощущений с лексическими единицами, этот процесс является отличительной чертой нашего биологического вида. Разумеется, он непростой, ведь, описывая свои ощущения, мы задействуем все доступные нам лингвистические приемы: аналогии, метафоры, сравнения, метонимию, речевые обороты — и используем весь спектр эмоциональной лексики для выражения своего восторга, отчаяния, ненависти, отвращения, вожделения и обожания. Краткие терми-

ны не передают всей глубины вкусовых ощущений, а потому вполне логично, что мы, как и Жерар Депардье при описании своего десерта, часто прибегаем к крайне витиеватым выражениям.

Самые сложные примеры интерпретации вкусовых ощущений с помощью человеческой речи мы неизменно получаем от профессиональных винных дегустаторов. В главе 15 мы уже рассмотрели колоссальное влияние лексики на оценку вкусовых ощущений от белого и красного вина в рамках эксперимента, осложненного цветовым восприятием. Давайте вернемся к «винной» теме и рассмотрим пару примеров того, как можно выразить вкусовые ощущения от вин самыми обычными словами.

ЭНН НОБЕЛЬ И КОЛЕСО АРОМАТОВ ВИНА

В одной из лабораторий Калифорнийского университета в городе Дейвис работает Энн Нобель — эксперт в вопросе дегустации вин, посвятившая свою жизнь научному исследованию этой увлекательной сферы жизни. Несколько лет тому назад мне довелось побывать у нее в гостях, как дома, так и в лаборатории, где я смог опробовать на себе научный подход к дегустации вин. Для этого Нобель разработала особую схему, «колесо ароматов вина» — диаграмму из трех концентрических кругов, заполненную словами для описания вкусов и ароматов вина: центральный круг заполнен обобщающими терминами (*фруктовое, землистое* и т. д.), в среднем приводятся более узкие категории (*ягодное, цитрусовое* и прочие вкусовые группы), а слова во внешнем круге описывают конкретные вкусы (название отдельных видов фруктов, других видов пищи, например черничное). Предложенная ею стройная логическая система помогает формулировать свои впечатления, последовательно продвигаясь по иерархии специфичности вкусовых ощущений. С помощью колеса ароматов даже самый неопытный дегустатор сможет распознать и описать марки (они зависят от сорта винограда) и «нотки» вина в своем бокале.

ВИННАЯ ЛЕКСИКА РОБЕРТА ПАРКЕРА

Совсем иного взгляда на описания вин придерживается всемирно известный винный обозреватель и обладатель «носа на миллион долларов» Роберт Паркер. В своей книге «Винный гид покупа-

теля»[1] (я сужу по своему экземпляру 1995 года) Паркер перечисляет свыше 7500 вин и присваивает каждому из них оценку на основе своего обширного опыта и обоняния, благодаря которым он прекрасно ориентируется в марках и годах урожая. Какова структура его системы классификации и какими словами он описывает вина? Разобраться в его подходе нам помогут несколько примеров из книги.

Его описание одного из величайших вин, «Петрюс Бордо» 1994 года, начинается с общей характеристики: «сильное, терпкое, обильное вино». *Сильное* вино обладает насыщенным вкусом, *терпкое* говорит о вяжущем ощущении, вызванном присутствием танина, дубильного вещества фенольной группы, содержащегося в кожице и косточках винограда (см. главу 14), а *обильное* вино оставляет долгое послевкусие с широкой ретроназальной ароматической гаммой. Чем старше и сложнее вино, тем темнее его цвет; цвет «Петрюс Бордо» этого года Паркер характеризует как «темный глубокий рубиново-фиолетовый». Затем он отмечает, что «при перекатывании» (вероятно, при медленном перемешивании вина во рту?), с «закрытым носом» (наверняка подразумевается удерживание вина в задней части полости рта для наилучшего восприятия его аромата ретроназальным обонянием) «ощущается вкус кофе, нотки ароматных трав, джемовая черешня и жженый молодой дуб». По своему рейтингу вин Паркер оценивает его на 91–93 балла из 100 возможных.

Сравним эту характеристику с описанием следующего вина в книге, «Фелан-Сегюр» (Сент-Эстеф) 1994 года, которое обладает «впечатляющим густым фиолетовым цветом, ароматом джемовой черной смородины, средней жирностью, умеренной танинностью, дает ощущение тонкой свежести и некоторой жевкости во рту и в послевкусии». В данном случае Паркер задействует все системы восприятия кроме слуховой и дает нам мультисенсорную характеристику качеств вина: фиолетовый цвет, сладкий вкус, аромат черной смородины, вязкость танина; упоминается даже сенсомоторная «жевкость» — вязкость, создающая впечатление, что вино нужно «жевать». В этом случае в подходе Паркера к описанию характеристик вина начинает просматриваться определенная логика — с помощью слов и речевых оборотов он классифицирует вино по сенсомоторным признакам. Отдельного внимания заслуживает упоминание «послевкусия» — эта деталь добавляет к целостному

---

[1] Robert M. Parker. Parker's Wine Buyer's Guide 1987.

мультисенсорному образу временные рамки, определяющие весь цикл восприятия вкусовых ощущений.

Давайте сравним качества рассмотренных выше французских вин с вином из США. Благодаря энтузиазму Паркера виноделие Калифорнии вышло на абсолютно новый уровень, и сегодня местные вина успешно конкурируют с историческими марками Франции. Особенно тепло именитый дегустатор относится к винам Роберта Мондави из долины Напа; одним из любимых вин Паркера является «Каберне Совиньон Резерве» этой винодельни. Его описание этого вина 1991 года гласит, что оно обладает «плотным темно-рубиновым/фиолетовым цветом». «Нос» этого вина «огромен» и «полон ароматами: сладкими, жженными, молодого дуба, джемовой черной смородины и жареных орехов», где «концентрированный вкус ягод черной смородины сливается с мягкой танинностью». Послевкусие он характеризует как «бархатистое, покуда красное вино в бокале не подышит и не проявятся танины». Здесь мы вновь наблюдаем мультисенсорное описание: цвет, вкус, запах, ощущения в полости рта и постепенное изменение вкусовых ощущений во времени — в этот раз описывается не только послевкусие, но и то, как раскрываются нюансы вкуса, если дать вину в бокале «подышать».



Дегустация остается единственным полноценным методом оценки сенсорных характеристик вина.

В 2000 году Фредерик Брошэ и Дени Дебурдье из Университета Бордо проанализировали лексику, используемую Паркером и тремя другими дегустаторами вин. Они установили, что сенсорные характеристики оценивались в контексте личных предпочтений дегустатора, в зависимости от того, понравилось ли вино в целом или нет; и могли рассматриваться как по отдельности, так и комплексно. Получается, что они ориентировались на ту самую внутреннюю шкалу оценки, которую использовал Ноам Собель с коллегами для систематизации запахов по их приятности или неприятности (см. главу 12). Подводя итоги своего исследования, Брошэ и Дебурдье пришли к следующим выводам:

«Несмотря на все усилия, направленные на оценку качества и вкусовых ощущений вина с помощью хроматографии и иных лабораторных методов, дегустация остается единственным полноценным методом оценки сенсорных характеристик вина. <…> Когда дело касается вкусовых ощущений, в первую очередь надо опреде-

лить, приятные они или нет. Значение этого параметра настолько велико, что на него ориентируются даже самые высококвалифицированные эксперты-дегустаторы, и именно он лежит в основе используемой ими описательной лексики. В данном вопросе эксперты не сильно отличаются от новичков. <…> Паркер оценивает вина так, как оценил бы начинающий дегустатор, и, возможно, именно это объясняет его феноменальную популярность».

ТО, ЧТО СЛОЖНО ОПИСАТЬ: ЛИЦА, ИСКУССТВО И МУЗЫКА

Пока что мы не располагаем результатами исследований, где вино характеризуется в рамках концепции образов запаха, вкусовых ощущений и желаний. Причина проста — концепции эти сложились совсем недавно, а подготовка экспериментов требует времени и ресурсов. Тем не менее никто не мешает нам провести мысленный эксперимент и предположить, что могут обнаружить исследователи. Основной проблемой описания образа запаха является его произвольность; возможно, разобраться в этом вопросе нам помогут знания об аналогичных проблемах в других сенсорных системах. Мы думаем, что с легкостью выражаем словами то, что воспринимаем зрительно и на слух, но так ли это на самом деле? Я полагаю, что это впечатление обманчиво, и разобраться нам поможет зрение.

Когда мы видим хорошо знакомые объекты — столы, дома, цветы, — описать их словами не составляет ни малейшего труда, и нам кажется, что из сенсорных систем именно зрение имеет наиболее тесную связь с речью и языком. А как насчет описания объектов асиметричных, неправильной или произвольной формы? Возьмем, к примеру, лица — они являются сложными пространственными объектами со множеством элементов неправильных очертаний. В главе 8 мы уже отмечали, что люди прекрасно распознают друг друга по лицу, и эта способность является чрезвычайно ценным механизмом социальной адаптации. Благодаря ей мы не просто узнаем других людей, но и улавливаем нюансы мимики, а в ней, как в зеркале, отражается весь спектр эмоций, из которых складываются межличностные взаимодействия.

Мы уже знаем, что распознавание лиц является подвидом распознавания образов. Считается, что в распознавании образов человеку нет равных. Вернемся к использованному ранее примеру:

если показать вам несколько фотографий пожилых дам, то, увидев на одной из них свою бабушку, вы мгновенно узнаете ее. А сможете ли вы на словах описать ее другому человеку, чтобы тот ее узнал? Попробуйте прямо сейчас мысленно описать лицо своей бабушки во всех подробностях, словно вы рассказываете о ней другим людям, которые ее никогда не видели. Проведя этот маленький эксперимент, вы наверняка согласитесь, что подобрать слова для подробного описания человеческого лица так же трудно, как большинству из нас (вероятно, за исключением Роберта Паркера) найти слова для описания характеристик вина.



Считается, что в распознавании зрительных образов человеку нет равных.

Другой категорией визуальных объектов, которые проблематично описать без особых навыков, являются картины. Предметное изобразительное искусство описать несложно — рассказать о том, что изображено на пейзажах Констебла и Сезанна, или описать подсолнух кисти Ван Гога сможет любой из нас. Внятно охарактеризовать работы Пикассо или кубистов уже сложнее, а с вербальной интерпретацией современных картин и вовсе могут возникнуть серьезные трудности.

Разобраться в том, что делает описание современного искусства столь затруднительным, нам поможет Сай Твомбли. Американский художник Твомбли родился в 1928 году; он работал в стиле абстрактного экспрессионизма, вдохновлялся европейским и африканским искусством, классическими произведениями и мифологией. Многие из его работ напоминают разноцветные кляксы, будто бы в случайном порядке разбросанные по холсту, хотя на самом деле их расположение соответствует строгой системе, пусть и неочевидной для незнающих. На недавней выставке его стиль охарактеризовали следующим образом:

«Говоря о Твомбли, его неизменно критикуют за излишнюю "*литературность*" творчества, пристрастие к зарубежной культуре и "*вкрадчивую элегантность*". В то же время [Николас] Серота отмечает, что творчество Твомбли всегда ускользало от понимания и оставалось для многих, в том числе энтузиастов современного искусства, поистине непостижимым. Сам же Твомбли крайне скрытен и немногословен. В середине 50-х годов он написал краткую аннота-

цию для итальянского журнала современного искусства *L'esperienza moderna*: "Работая над картиной, живописец всегда переживает некий кризис или по меньшей мере миг озарения или облегчения; кризис этот не обязательно проявляется в болезненных переживаниях, ведь с тем же успехом он может воплотиться в экстатическом побуждении к действию"».

Фигурирующие в этом описании слова и обороты речи, такие как литературность, вкрадчивая элегантность и непостижимый, определенно относятся к той категории лексики, что встречается при описании вин. Похоже, изучение сложного зрительного образа винтажных работ Твомбли и восприятие мультисенсорного образа вкусовых ощущений винтажного вина являются для человека задачами одного порядка — и в том и в другом случае нам трудно подобрать слова. В основу концепции образа запаха, с которой мы познакомились в главе 9, легли именно такие параллели между обонятельной и иными системами восприятия.

Нечто похожее наблюдается и в мире музыки. Мы с легкостью узнаем и воспроизводим простейшие мелодии. Тем временем композиторы классической и джазовой музыки задают собе куда более высокую планку. Дирижер Бруно Вальтер (1876–1962) работал с величайшими симфоническими оркестрами в первой половине XX века. В своих мемуарах «О музыке и музицировании»[1] он пишет о музыке, исполнявшейся под его началом, и характеризует ее следующим образом: «Музыка рождается и черпает силу из скрытого источника за пределами нашего мира и реальности. Музыка взывала ко мне своими рассказами о загадочном ином мире, неизменно волнуя мое сердце и смущая до глубины души своей трансцендентальной природой».

В этом описании мы вновь видим слова и обороты, которые вполне мог бы взять на вооружение искушенный дегустатор вин. Получается, описывать сложные, распределенные во времени образы музыки ничуть не легче, чем сложные пространственные образы картин или сложные мультисенсорные образы вкусовых ощущений при дегустации вин. Один образ, созданный нашим мозгом, стоит тысячи слов вне зависимости от того, чем он является: абстрактной картиной, аккордами музыки или же молекулами запаха.

---

[1] Of Music and Music Making, изначально Von der Music und vom Musizeren, 1957 (*нем.*).

Глава 25

ЗАПАХ, ВКУС И СОЗНАНИЕ

Каково соотношение сознательного и бессознательного восприятия вкусовых ощущений? Новейшие исследования обонятельного восприятия показали достаточно интригующие результаты. До недавнего времени научная традиция вообще не подразумевала изучение нейронной подоплеки сознания. По мере развития нейронаук пренебрежительное отношение к подобным исследованиям ушло в прошлое, и сейчас эта сфера переживает настоящий рассвет. Во главе возрождения стоят специалист по нейроинформатике Кристоф Кох и его коллега Фрэнсис Крик. В 1950-х годах Крик вместе с Джеймсом Уотсоном разгадал тайну структуры ДНК, а позже заинтересовался нейронауками. С 1970-х годов Крик сосредоточился на изучении нейронной подоплеки сознания; благодаря ему «разгадывание» нейронных процессов стало первостепенной задачей, первым рубежом на пути к познанию человеческого мозга и сознания. В то же время многие нейробиологи считали подобную формулировку задачи «некорректной»: они полагали, что «сознание» является слишком размытым понятием, неуместным в контексте научных изысканий и экспериментов. Многие по сей день придерживаются этой позиции.

Невзирая на отношение научного сообщества к их исследованиям, Кох и Крик продолжали работать. В известной обобщающей статье от 2003 года они впервые представили научное определение понятия «сознания» в контексте системы зрительного восприятия, где оно является «восприятием определенного цвета, формы или движения объекта». В статье они также описывают структуру системы сознательного восприятия, где в первичной сенсорной коре «задней» части мозга расположены клетки и микроцепи, являющие-

ся «определителями характеристик» для информации, поступающей из таламуса. Идентификация отличительных характеристик считается в массе своей произвольным, бессознательным процессом. Крик и Кох полагают, что «сознательная составляющая зрительного восприятия зависит преимущественно от ранних этапов системы зрительного восприятия (но более поздних, чем первая зрительная зона «V1»[1]), в особенности — от вентрального потока [в височной доле]». Затем реакция этого участка коры передается в «переднюю» часть мозга, где протекают сложные односторонние и возвратные взаимодействия между префронтальной корой и зрительными ассоциативными зонами. Одна из гипотез гласит, что односторонние взаимодействия являются преимущественно «побудительными», в то время как возвратные имеют в массе своей «модулирующий» характер. В таком ракурсе получается, что сознание возникает благодаря особым (и пока что не установленным) характеристикам нейронов коры, способствующих их активации; в первую очередь это касается нейронов, проецирующих информацию из сенсорных ассоциативных зон в интегративные (не являющиеся первичными моторными или сенсорными) зоны префронтальной коры мозга.



Первичная обонятельная зона находится в передней части мозга. Такое привилегированное расположение обонятельных зон наглядно демонстрирует эволюционное значение восприятия запахов.

Пока что мы понятия не имеем, как в эту концепцию вписывается «сознательное» обонятельное восприятие. В то же время в контексте сознательного восприятия запах и вкусовые ощущения вообще вызывают множество вопросов. В системе обонятельного восприятия отсутствуют структуры «заднего» мозга, ведь первичная обонятельная зона новой коры находится в орбитофронтальной коре, в префронтальной части мозга. Такое привилегированное расположение обонятельных зон наглядно демонстрирует эволюционное значение обонятельного восприятия, которое в процессе развития мозговых структур позвоночных видов получило прямой доступ к высшим мыслительным центрам фронтальной доли моз-

---

[1] V1 является сокращением от visual zone 1, то есть «первичная зрительная зона».

га. Получается, что именно изучение древних и прямолинейных систем восприятия запахов и вкусовых ощущений с наибольшей вероятностью позволит ученым разгадать структуру нейронной подоплеки сознания как у млекопитающих, так и у приматов.

«СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ПСЕВДОАНОСМИЯ?»

Несколько лет назад я готовился выступать перед Обществом нейронаук[1] с первыми результатами нашей работы по компьютерному моделированию взаимодействий между одорированными молекулами и обонятельными рецепторами и вообще не задавался этим вопросом. Заметив в зале Крика и Коха, пробирающихся к своим местам, я изрядно воодушевился — их присутствие означало, что мой доклад о взаимодействии молекулы-одоранта со связующим карманом модуля обонятельного рецептора услышит и оценит мудрый и опытный слушатель, один из первооткрывателей ДНК. Мои ожидания оправдались. Когда настало время вопросов, Фрэнсис встал (а я напрягся в предвкушении) и спросил:

— Скажите, Гордон… существует ли псевдоаносмия?

Вопрос застал меня врасплох, и в ответ я лишь сбивчиво пробормотал, что не знаю; но сразу же понял, что он имел ввиду. Он хотел узнать, существует ли в обонятельном восприятии некий аналог явления из системы зрительного восприятия — загадочной *псевдослепоты* (или *зрячей слепоты*). Псевдослепота наблюдается у пациентов с официально задокументированной полной слепотой, возникшей в результате травмы зрительной коры мозга; когда им демонстрируют картинки, они говорят, что ничего не видят. В то же время если заставить этих пациентов отвечать на вопросы о том, что изображено на картинках, то их ответы оказываются неслучайными, выходящими за рамки возможных совпадений. Они словно обладают неким рудиментарным зрением, позволяющим им видеть вопреки слепоте; отсюда и название «зрячая слепота». Несмотря на то что пациенты не осознают этого, зрительный тракт их мозга, обрывающийся на уровне таламуса, по-прежнему воспринимает визуальные объекты.

А что насчет запахов, которые мы нюхаем, но не воспринимаем? К сожалению, мы не успели ответить Крику на его вопрос —

---

[1] Society for Neuroscience.

он умер несколько лет тому назад. Отсутствие обоняния называется аносмией. По аналогии с псевдослепотой бессознательное восприятие запахов можно назвать псевдоаносмией. Например, некоторые черты псевдоаносмии наблюдаются при контакте с феромонами — они стимулируют обонятельный тракт и вызывают поведенческую реакцию на животном уровне, оставаясь при этом невидимыми для сознательного восприятия. Ноам Собель и его коллеги из Беркли продемонстрировали это явление в экспериментальной среде: при стимуляции одним из предположительно воспринимаемых человеком феромонов фМРТ зарегистрировала всплеск мозговой активности, в то время как подопытные понятия не имели о том, что они ощущают какой-либо обонятельный стимул. Вот только Крика интересовали отнюдь не феромоны — он хотел знать, может ли человек с травматической аносмией, неспособный сознательно ощущать запахи, бессознательно воспринимать обонятельные стимулы. Этот вопрос затрагивает самые основы сознательного восприятия запаха, а заодно и вкусовых ощущений, ведь эти сенсорные системы работают с фронтальными участками коры мозга напрямую, минуя таламус. Сегодня мы наконец-то можем ответить на вопрос Крика; но сначала нужно рассмотреть некоторые этапы длинного пути, пройденного наукой в поисках верного ответа.

ПОДСКАЗКИ В ОБОНЯТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ

Для восприятия сенсорного стимула нам нужно находиться в сознании, быть сосредоточенными и внимательными. Разумеется, обычно все эти механизмы не попадают в сферу интересов нейрогастрономии, но в данном случае нам необходимо понимать, что такое сознание, ведь без него наш мозг не способен создать внутренний образ вкусовых ощущений. Крик и Кох привлекли внимание к проблеме нейронной подоплеки сознания, и сегодня она интересует не только нейробиологов, но и психологов с физиологами. На данный момент почти все обнаруженные нейронные механизмы сознания так или иначе связаны с системой зрительного восприятия, а обонятельное восприятие остается практически неизученным. Вместе с тем мы знаем достаточно о сознательных и бессознательных аспектах обонятельного восприятия, чтобы сделать немало интересных и полезных выводов.

В какой части обонятельного тракта возникает сознательное восприятие запахов? Уверен, на основе рассмотренной ранее информации мы наверняка сможем ответить на этот вопрос.

Повторим основы. Первым этапом обонятельного тракта в мозге является обонятельная луковица, в которой формируется первичный образ запаха и начинается обработка поступившей информации. Эта обработка зависит от поведенческой реакции глубинных животных структур нашего мозга, соединенных с обонятельной луковицей длинными нервными волокнами. Благодаря этим волокнам первичная обработка образа запаха модулируется в зависимости от того, сыты мы или голодны (см. главу 10). Эти же волокна передают информацию о том, бодрствуем мы или спим, от чего зависит, пребываем ли мы в сознании; в то же время волокна лишь передают эту информацию, а сама модуляция состояния сознания предположительно осуществляется в центральных структурах мозга. Все это позволяет нам с уверенностью заявить, что сознательное восприятие запаха и пространственных схем восприятия не возникает на уровне обонятельной луковицы.

Следующий этап обработки обонятельной информации протекает в обонятельной коре. Многие считают ее «первичной» обонятельной корой, хотя на самом деле термин *первичная* применим исключительно к первой зоне сенсорной системы, которая соединяется с новой корой через таламус. Например, в зрительном тракте для возникновения сознательного восприятия необходимо взаимодействие между таламусом и зоной V1 в затылочной доле мозга, куда проецируется зрительная информация. Именно отсутствие зоны V1 делает псевдослепоту поистине парадоксальным явлением. Судя по всему, некоторые волокна таламуса проецируют информацию на близлежащие участки ассоциативной зрительной коры, модулируя таким образом это «бессознательное» зрительное восприятие. В обычных условиях в ассоциативных участках зрительной коры происходит преобразование простых сигналов, поступающих от зоны V1; если эта зона отсутствует, то ассоциативная кора не получает от нее информации, и сознательное зрительное восприятие просто не происходит.

Вне зависимости от того, формируется ли сознательное обонятельное восприятие в обонятельной коре, следующим этапом обработки сенсорной информации во всех сенсорных системах является орбитофронтальная кора. Лично я предпочитаю называть этот уча-

сток обонятельного тракта *первичной обонятельной корой*, где первичная означает, что она выполняет те же функции, что и первичная кора в других сенсорных системах. По аналогии с зоной V1 зрительного тракта эту зону можно назвать O1[1] обонятельной системы.

Связь с зоной O1 в орбитофронтальной коре может быть как прямая, так и опосредованная (см. главу 12). Основная проекция напрямую передается в орбитофронтальную кору по аксонам пирамидальных клеток. Эти же аксоны обеспечивают процессы латеральной ингибиции в обонятельной коре, а длинные волокна ассоциативной обонятельной коры передают возвратное возбуждение обратно в обонятельную луковицу. Вторичная, более слабая проекция возникает благодаря пирамидальным клеткам, активирующим нейроны эндопириформного ядра, расположенного в глубине пириформной (древней, или старой) коры; аксоны клеток этой коры передают проекцию в среднее дорсальное ядро таламуса, где она образует синаптические связи и сводится сигналами, направляющимися в обонятельную зону орбитофронтальной коры.

СОЗНАТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ЗАПАХА

Нужно понимать, что основная проекция образа, не проходящая через таламус, является поистине уникальным элементом обонятельного тракта, не имеющим аналогов в остальных системах сенсорного восприятия. Удивительно, но этому уникальному элементу обонятельного тракта почти не уделяют внимания. Несмотря на пренебрежительное отношение, роль этой структуры в сознательном сенсорном восприятии вполне может оказаться одной из наиболее увлекательных загадок в когнитивных нейронауках.

Вариантов того, где именно возникает сознательное обонятельное восприятия, всего два. В первом из них оно формируется уже на уровне обонятельной коры. В пользу этого варианта свидетельствуют опубликованные в 2007 году результаты исследований, проведенных Верити Браун из Университета Сент-Эндрюс в Шотландии. Ее эксперименты показали, что грызуны, которым удалили обонятельную зону орбитофронтальной коры, в полном объеме сохраняли способность идентифицировать запахи. Если поведение

---

[1] O1 является сокращением от olfactory zone 1, то есть «первичной обонятельной зоны».

грызунов расценивать как «сознательное», то результаты этого эксперимента чрезвычайно важны по двум причинам. Во-первых, это подтверждает, что обонятельный тракт является единственной сенсорной системой, в которой сознательное сенсорное восприятие возникает без участия новой коры и таламических структур мозга. Во-вторых, если первое предположение является верным, мы должны задать вопрос: какие подкорковые механизмы заменяют одновременно таламус и новую кору? В других сенсорных системах таламус передает активность из стволовых структур мозга и, если мы пребываем в сознании, служит для «возбуждения» всей коры мозга. К слову, много лет тому назад Крик предположил, что таламус является своего рода «целеуказателем», который направляет сознание к стимулам, в данный момент требующим нашего внимания. Если этого механизма координации сознательного восприятия в обонятельной системе попросту нет, то что же заменяет эти таламокортикальные механизмы в системах восприятия запахов и вкусовых ощущений, делая восприятие их стимулов не менее осознанными, чем в прочих сенсорных системах?



Таламус является своего рода «целеуказателем», который направляет сознание к стимулам, в данный момент требующим нашего внимания.

Не стоит полагать, что результаты этого опыта показательны для иных видов, помимо грызунов. При проведении аналогичного эксперимента на собаках было отмечено значительное снижение остроты обоняния. Исследования пациентов с повреждениями правой таламической зоны мозга, проведенные Ноамом Собелем и его коллегами, показали, что люди с повреждениями правой таламической зоны мозга испытывают трудности с идентификацией запахов и демонстрируют меньшую восприимчивость к приятным ароматам. Получается, что человеческий обонятельный тракт наравне с прочими системами восприятия нуждается в неокортикальных механизмах генерализации.

ОТВЕТ НА ВОПРОС КРИКА

Важность неокортекса для человеческого обоняния подтвердилась в 2010 году, когда Джей Готфрид из Северо-Западного университета сделал доклад о крайне необычном пациенте. 36-летний

пациент С. поступил в больницу с правосторонней черепно-мозговой травмой, вызванной падением с лестницы. Травма привела к кровоизлиянию в правую лобную долю мозга. Общее состояние здоровья пациента быстро пришло в норму, но в результате травмы у него полностью пропало обоняние, то есть развилась *аносмия*. Снимки фМРТ показали, что у него травмирована правая сторона орбитофронтальной коры; остальные элементы обонятельного тракта затронуты не были. Узнав об этом пациенте, Готфрид понял, что ему представилась уникальная возможность проверить роль орбитофронтальной коры человеческого мозга в осознанном восприятии запаха, и пригласил С. в свою лабораторию для проведения исследований.

Перед началом эксперимента Готфрид и его коллеги провели оценку психологического состояния подопытного С., удостоверившись таким образом в его стабильности. Для исследования был выбран один из стандартных методов оценки обоняния, тест «Сниффин Стикс» («ССТ»)[1], в котором ортоназальное обоняние подопытного проверяется с помощью маленьких «лопаток», покрытых частицами одоранта. Этот эксперимент подтвердил, что у подопытного С. полностью отсутствует обоняние как в правой, так и в левой ноздре и он не чувствует даже высокие концентрации одорантов. Это исследование позволило не только подтвердить гипотезу о том, что основная часть сознательного восприятия запаха на неокортикальном уровне обусловлена именно процессами в орбитофронтальной коре, но и локализовать эти процессы, ведь у подопытного была травмирована только правая сторона орбитофронтальной коры. Для систем восприятия такая «латерализация» является чрезвычайно редким явлением.

Несмотря на то что подопытный С. не воспринимал запахи, он мог определить наличие или отсутствие обонятельного стимула с левой (не травмированной) стороны в зависимости от того, предлагали ли ему «лопатку» с одорантом или контрольную, чистую. Следовательно, левая сторона обонятельного тракта, в отличие от правой, по-прежнему функционировала. Сканирование мозга подтвердило наличие активности в левой части обонятельного тракта: обонятельной коре, орбитофронтальной коре и амигдале; к слову, амигдалу часто причисляют к зонам, участвующим в выс-

---

[1] Sniffin' Sticks Test (SST).

ших процессах обонятельного восприятия. Сканирование мозга также показало активность на всех уровнях обонятельного тракта с правой стороны, за исключением травмированной орбитофронтальной коры, оставшейся инертной. Напоследок ученые проверили кожно-гальваническую реакцию (вы наверняка слышали о другом, более популярном названии этого метода — «детектор лжи») и установили наличие у подопытного С. эмоциональной реакции на одоранты при стимуляции как правой, так и левой ноздри. Таким образом, они получили еще одно доказательство функциональности левой половины обонятельного тракта при полном отсутствии сознательной составляющей восприятия запаха.

При проведении контрольных экспериментов на подопытных с полноценным двухсторонним обонянием сканирование мозга зафиксировало наибольшую активность с правой стороны, вновь подкрепляя гипотезу о правосторонней латерализации обработки обонятельной информации на неокортикальном уровне. То, что осмысление воспринимаемых запахов происходит именно в правом полушарии мозга, кажется крайне уместным, ведь именно оно считается более артистичным и менее логико-ориентированным.



Осмысление воспринимаемых запахов происходит именно в правом полушарии мозга. Это кажется крайне уместным, ведь именно оно считается более артистичным и менее логико-ориентированным.

Авторы исследования сформулировали свои выводы следующим образом:

«...то, что левосторонняя стимуляция обоняния пациента С. привела к соответствующей периферической и централизованной активности, позволяет предположить, что левая сторона обонятельного тракта ориентирована преимущественно на обработку чувственной и эмоциональной составляющей одорантов и вместе с тем не способна сформировать сознательное восприятие запаха. По результатам данного исследования можно утверждать, что совокупность полученных нами данных является одним из первых доказательств первостепенной роли правой орбитофронтальной коры в преобразовании восходящего обонятельного сигнала в форму, доступную для сознательного восприятия».

Так каков же ответ на вопрос Крика? Готфрид и его коллеги пришли к выводу, что «явление, обнаруженное в ходе данного исследования, вполне подходит под описание феномена “псевдоаносмии”». В подтверждение выводов, уже сделанных Собелем и его коллегами, они отмечают:

«Индивид может оставаться слеп (то есть — не осознавать) к воспринимаемому запаху и вместе с тем демонстрировать полный объем бессознательных реакций на этот обонятельный раздражитель. Пациент С. безусловно утратил способность сознательно воспринимать обонятельные стимулы и сохранил лишь малую толику рудиментарных обонятельных навыков, позволяющих лишь бессознательно определить факт наличия некоего одоранта. <…> Вместе с тем активность, зарегистрированная в левой орбитофронтальной коре, <…> позволяет предположить, что левая половина обонятельного тракта сохранила большую часть функциональности и продолжает анализировать обонятельную сенсорную и аффективную информацию [на бессознательном уровне, недоступном пациенту]».

Резюмируя наш краткий экскурс в проблему сознательного восприятия запахов и вкусовых ощущений человеческим мозгом, мы можем смело утверждать, что первые исследования оказались крайне многообещающими. Тем не менее для идентификации всех структур мозга, участвующих в формировании сознательного восприятия, нам потребуется еще множество подопытных, экспериментов и исследований. Индивидуальная вариативность восприятия вкусовых ощущений — потрясающе интересная тема, и, изучая сознательные и бессознательные составляющие восприятия, мы наверняка обнаружим, что на формирование уникальных для каждого из нас ощущений влияют обе части этой невероятно сложной системы.

Глава 26

РОЛЬ ЗАПАХА И ВКУСА В ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА

В нашей повседневной жизни запах и вкусовые ощущения являются доминирующими источниками впечатлений. Результаты новейших исследований системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом показали, что она почти наверняка сыграла куда большую роль в эволюции нашего вида, чем считалось ранее. До недавнего времени этот вопрос почти не обсуждался, ведь построение гипотез о том, как именно протекал процесс эволюции чего-либо, всегда было крайне непростой затеей. Тем не менее, когда я заинтересовался этим вопросом и обратился к антропологам, то был крайне воодушевлен их энтузиазмом по теме. Прежде чем рассматривать значение системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом, нам понадобятся доказательства ее влияния на эволюцию. Нам в особенности интересны пять категорий этих доказательств: 1) генетические доказательства; 2) соперничество обоняния и зрения; 3) увеличение объема мозга; 4) адаптация опорно-двигательного аппарата для поиска еды; 5) овладение искусством управления огнем и формирование кулинарии народов мира.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА

Мы уже знаем, что гены обонятельных рецепторов считаются наиболее обширным семейством генов в геноме млекопитающих; к нему относятся от 2 до 5% генов, в зависимости от их суммарного количества у конкретного биологического вида. Гены из наиболее обширных семейств наверняка имелись и у наших древних предков; эволюционное развитие является динамическим процессом, и количество генов, вероятно, претерпело множество изменений,

но вместе с тем их примерное количество в семействе оставалось прежним благодаря их адаптационной ценности.

Эволюционное развитие млекопитающих и приматов ускорилось примерно 65 миллионов лет тому назад, когда погибли динозавры. Размер семейства генов обонятельных рецепторов у млекопитающих не менялся даже тогда, когда млекопитающие начали разделяться на различные отряды, семейства и виды; современные млекопитающие по сей день сохранили огромный репертуар генов обонятельных рецепторов. Скорее всего, принцип работы рецепторных клеток с тех пор остался почти неизменным; как и сейчас, они наверняка проецировали воспринимаемые одоранты на гломерулярный слой обонятельной луковицы, где те преобразовывались в пространственные схемы запаха, рассмотренные нами в главе 7. В пользу гипотезы о неизменности этого механизма восприятия говорит то, что гломерулы являются филогенетической константой обработки обонятельной информации; в 1997 году мы с Джоном Хильдебрандом установили, что гломерулы имеются в обонятельных системах практически у всех видов как позвоночных, так и беспозвоночных существ. Получается, что система обонятельного восприятия позволяет нам заглянуть в самые глубины эволюции. Обонятельная система уникальна; она отличается от остальных систем сенсорного восприятия своей тесной связью между рецепторными генами и образами мира запаха, которые формируются ими в нашем мозге.



Эволюционное развитие млекопитающих и приматов ускорилось примерно 65 миллионов лет тому назад, и с тех пор принцип работы рецепторных клеток и количество генов обонятельных рецепторов почти не менялись.

Так что же происходило с генами обонятельных рецепторов млекопитающих в период становления и развития современного отряда млекопитающих, к которому мы и относимся? В 2000 году Сильви Рукье и ее коллеги секвенировали гены нескольких биологических видов. Затем они расположили их в зависимости от того, как давно тот или иной вид отделился от ветки отряда приматов, и обнаружили, что количество функциональных генов неустанно снижалось — у лемуров процент функциональных генов близок

к 100%; за ними следуют ревуны, макаки, бабуины, шимпанзе и, наконец, человек, у которого объем функциональных генов составляет всего порядка 35%. На первый взгляд, результаты этого исследования будто бы подтверждают, что для человека обоняние куда менее важно, чем для большинства млекопитающих. В то же время исследование Матиаса Ласки и его мюнхенских коллег доказывает, что с этим выводом можно поспорить — экспериментируя с обонянием обезьян и сравнивая результаты с человеческими, они смогли доказать, что приматы обладают достаточно острым обонянием и способны составить конкуренцию не только грызунам, но даже собакам. Более того, в главе 9 мы уже говорили о том, что оценивать обоняние следует не по количеству рецепторов как таковых, а исключительно в контексте сложной корреляции количества обонятельных рецепторов и сопряженных с ними гломерул. Не стоит забывать и об одном из важнейших посылов этой книги: снижение количества функциональных рецепторных генов при эволюции нашего вида с лихвой компенсируется увеличением объема мозга, а также многократным расширением и усложнением лобных долей, к которым обонятельный тракт имеет привилегированный прямой доступ. Наше обоняние сформировалось в результате поддержания тонкого баланса между двумя эволюционными процессами: с одной стороны, происходило постепенное ослабление периферических структур системы обонятельного восприятия, обусловленное сужением спектра генов рецепторов; с другой стороны, наш мозг стремительно разрастался, а вместе с ним увеличивался и объем центральных структур обонятельного тракта, задействованных в обработке сенсорных образов. Прирост объема мозговых структур наряду с потреблением более насыщенной вкусами и ароматами пищи постепенно привел к развитию человеческой системы восприятия вкусовых ощущений до ее современного состояния.

СОПЕРНИЧЕСТВО ОБОНЯНИЯ И ЗРЕНИЯ

Первые современные приматы появились около 60 миллионов лет тому назад. Изучение зубов и анатомии этих животных позволило установить, что одним из наиболее распространенных примеров успешной адаптации приматов в процессе эволюции являлась всеядность. Особенности строения их скелета говорят о том,

что они ловко управлялись с предметами, могли выбирать из нескольких способов передвижения и ориентировались по зрению. Одной из характерных особенностей ранних приматов, с их направленными вперед глазами и укороченными мордами, считается более слабое, чем у иных млекопитающих, обоняние. Ослабление обоняния считается последствием изменения строения глазниц — дескать, чтобы обеспечить приматам полноценный обзор, природе пришлось укоротить им морду, а заодно и уменьшить количество обонятельных рецепторов в полости носа и обонятельной системе мозга. Предположительное ослабление обоняния приматов в процессе эволюции является одним из наиболее стойких заблуждений как в антропологии, так и в общественном сознании.

Результаты новейших исследований системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом свидетельствуют о том, что нам пора серьезно пересмотреть эту гипотезу. Повышение остроты зрения отнюдь не означает ослабление обонятельной чувствительности и разборчивости. Современная гипотеза такова: сокращение числа обонятельных рецепторов у приматов компенсируется увеличением объема мозга и увеличением вычислительных мощностей, задействованных в обработке обонятельных сигналов. Состоятельность этой гипотезы подкрепляется результатами поведенческих исследований, в ходе которых неоднократно подтвердилось наличие у приматов и людей очень даже острого обоняния.



Сокращение числа обонятельных рецепторов у приматов компенсировалось увеличением объема мозга для обработки поступающей информации.

Все это позволяет предположить, что у приматов, как и у других млекопитающих, обоняние все же являлось первостепенным способом восприятия окружающего мира. Спелость фрукта можно определить на ощупь или зрительно, но куда проще сделать это по запаху. Для поддержания фруктового рациона обитатели джунглей перешли на более сложный образ жизни; им пришлось запоминать, когда созревают фрукты, заранее планировать свой путь к ним, кормить детенышей, распределять питание между членами своей стаи. В организационных вопросах более развитый мозг с увеличенной новой корой давал огромное преимущество. К тому же древние приматы наверняка использовали обоняние для идентификации своих

сородичей и определения их социального статуса, подобно тому как это делают их современные родственники.

Для жизни на деревьях требовалось не только острое обоняние и крупный мозг, но и прекрасное зрение. В рамках адаптации к этой среде у большинства приматов сформировались крупные глаза с хорошим как дневным, так и ночным зрением. Многие из них обладают и прекрасным цветовым восприятием, которое помогает, к примеру, по цвету выбирать наиболее спелые фрукты. Помимо всего прочего, острое зрение позволяло приматам с легкостью срывать плоды с деревьев, подносить их поближе к лицу и визуально оценивать спелость. Разумеется, нас в первую очередь интересует не зрение, а обоняние; но именно развитие зрения положило начало одному из наиболее динамичных процессов в эволюции приматов — соперничеству обоняния со зрением за контроль над новой корой мозга.

УВЕЛИЧЕНИЕ ОБЪЕМА МОЗГА

Далекие предки человека выделились в отдельную ветвь группы африканских приматов где-то между 5 и 6 миллионами лет тому назад. В те времена климат нашей планеты менялся — дожди шли все реже, возникали сезонные изменения погодных условий. В Африке менялся и ландшафт: густые джунгли с буйной растительностью и изобилием фруктов отступали, оставляя за собой отдельные деревья и рощи, разбросанные по заросшим травой равнинам и полупустынным степям. Считается, что такой ландшафт дал древним гоминидам эволюционное преимущество — благодаря прямохождению они могли преодолевать существенные расстояния в поисках все более разрозненных и редких источников пищи. Эти существа были всеядными, а потому их рацион, скорее всего, состоял из листьев растений, цветов, орехов, мелких позвоночных, насекомых и фруктов. Предположительно, любимой пищей наших далеких предков-гоминидов были сладкие, содержащие много сахаров фрукты. Как однажды подметил Рик Поттс: «За счет недолговечности качественных фруктов когнитивные и социальные механизмы поиска источников пищи и их защиты от иных желающих полакомиться приобрели первостепенное значение». Считается, что именно необходимость в развитии этих когнитивных и социальных навыков стала тем самым толчком к развитию мозга при-

матов, что в дальнейшем позволил им эволюционировать в новый биологический вид — в человека. Если рассмотреть вклад обоняния и восприятия вкусовых ощущений в этот этап эволюции человека, то можно предположить, что они мотивировали древних приматов к поиску пищи, а также позволяли находить интересующие их фрукты по запаху, определять их спелость и получать удовольствие от их поглощения. К тому же, как гласит нейроэкономика (см. главу 22), именно вкусовые ощущения позволяют нам определять ценность той или иной пищи и ее место в нашем рационе.



Предположительно, любимой пищей наших далеких предков-гоминидов были сладкие, содержащие много сахаров фрукты.

Развитию прямохождения у приматов способствовало множество небольших, но сложных изменений опорно-двигательного аппарата. Истинные причины этих изменений нам неизвестны, но никто не мешает предположить, что многие из них позволили древним гоминидам добывать более вкусную и разнообразную пищу. Изменившееся строение таза позволяло приседать на корточки, удерживая еду в руках, и спокойно обнюхивать, осматривать и есть ее, при этом отдыхая. Острое зрение давало возможность пристально рассмотреть свою еду. Увеличение новой коры мозга привело к развитию мелкой моторики, которая вкупе с острым зрением давала гоминидам доступ к новым видам пищи. Развитие моторных трактов и зон мозга дало нашим далеким предкам возможность контролировать движения каждого пальца в отдельности, а это позволяло им подбирать и съедать даже мелкие семена, валяющиеся на земле. Мелкая моторика пальцев возможна благодаря прямой связи нервных клеток моторных зон новой коры с моторными нейронами спинного мозга, которые обеспечивают иннервацию мышц, управляющих пальцами. Чувствительное обоняние этих существ позволяло им не только проверять безопасность всей пищи, но и воспринимать вкусовые ощущения от поглощаемой еды. Всеядность ранних гоминидов означала, что в их рационе присутствовало немало смесей; поглощая различные сочетания фруктов, семян, листьев и мелких животных, они расширяли охват известных им вкусовых ощущений. Подбирая наиболее приятные на вкус сочетания, они делали первые шаги к становлению кулинарии.

Около 2 миллионов лет тому назад возник новый, отдельный вид гоминидов, известных нам как *Homo ergaster* («Человек работающий»), являвшийся ранним подвидом *Homo erectus* («Человек прямоходящий»). От прочих гоминидов их отличало более крупное тело, лучше приспособленное к прямохождению, и более крупный мозг (их мозг был большим как в сравнении с мозгом прочих гоминидов, так и по отношению к их собственной массе тела). Эти существа, как и современный человек, по-прежнему были всеядными; их рацион состоял из фруктов, овощей, корешков, насекомых и меда, а также мяса и костного мозга. Гипотетически усвоение вкусовых ощущений могло способствовать формированию более полезного для здоровья рациона; вот только проблема взаимосвязи между вкусовыми ощущениями от пищи и ее пищевой ценностью по сей день остается одной из самых серьезных проблем в исследовании пищевого поведения.

АДАПТАЦИЯ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ПОИСКА ЕДЫ

Сегодня научное сообщество достигло определенного консенсуса в вопросе расширения ареала обитания наших далеких предков. Примерно 2 миллиона лет тому назад они мигрировали из Африки и уже вскоре (если рассматривать процесс с точки зрения эволюции, разумеется) достигли даже островов современной Индонезии. Помимо крупного мозга и более прямой, чем у прочих гоминидов, осанки, расширению их ареала обитания наверняка поспособствовала адаптация их опорно-двигательного аппарата к дальним переходам и бегу. Какое отношение все это имеет к обонянию?

Из моих коллег-антропологов именно Дэниел Либерман во многом разделял мой энтузиазм и поддерживал идею о пересмотре роли восприятия вкусовых ощущений в эволюции человека. Мы уже упоминали его углубленные исследования эволюции человеческой головы, благодаря которым наука узнала много нового о структурных изменениях черепа, поспособствовавших развитию у человека сильного ретроназального обоняния. Другой сферой профессионального интереса Либермана является адаптация головы и тела наших далеких предков к бегу на длинные дистанции. В 2004 году Деннис Брамбл и Дэниел Либерман опубликовали статью, в которой перечислялись 26 производных признаков опор-

но-двигательной системы, которые помогали при беге на большие расстояния; например, они отмечают удлиненные кости нижних конечностей (позволяли делать большие шаги), крупные хрящи в суставах (обеспечивали амортизацию при рывках и прыжках) и подвижные соединения конечностей с корпусом (помогали сохранять равновесие при беге). Эти адаптационные черты дополняют наш список изменений опорно-двигательного аппарата, благодаря которым древние гоминиды смогли дотягиваться и приседать в поисках пищи, крутить ее в руках и изучать ее внешний вид. Поразительно, но укороченная морда считается одним из элементов адаптации к прямохождению и бегу — короткая морда не перевешивает голову и помогает сохранять равновесие. На мой взгляд, это крайне показательный пример того, что при изучении любого адаптационного изменения физиологии необходимо учитывать его влияние на поведение. Об этих и прочих примерах эволюционных изменений адаптационного характера вы можете прочитать в книге Либермана «Эволюция строения головы человека».

Так что же сподвигло этих древних людей на преодоление расстояний во многие тысячи миль через всю Азию, до самого Китая и Юго-Восточной Азии? Некоторые полагают, что ими двигала человеческая тяга к странствиям и любопытство. А что насчет поиска новых источников пищи? Вполне возможно, что древних людей мотивировал именно поиск предшественников специй и приправ — новых растений, расширяющих спектр вкусовых ощущений. С тех пор прошло около 2 миллионов лет — за это время торговые тракты, по которым шли караваны со специями, видели много волн миграции, и всякий раз люди уходили прочь из родных мест именно в поисках новых вкусов. Мы уже знаем, что центр желаний является одним из ключевых компонентов системы восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом, а обоняние имеет первостепенное значение в формировании вкусовых ощущений. Можем ли мы отрицать, что именно желания побуждают нас к действию?

ОГОНЬ, ВКУС И КУЛИНАРИЯ

Переломным моментом эволюции человека стало приготовление пищи на огне. Достоверно неизвестно, когда именно люди начали использовать огонь и как именно это произошло; споры на эту тему продолжаются по сей день. Самое ранее упоминание это-

го вопроса, которое мне удалось обнаружить, относится к концу XVIII века и принадлежит перу Джеймса Босуэлла. Многие знают его как биографа Сэмюеля Джонсона, но далеко не всем известно, что он был настоящим гурманом:

«Доктор [Бенджамин] Франклин сказал, что человек был “животным, создающим инструменты”, и это вполне логично; кроме человека ни одно животное не делает вещи, чтобы делать с их помощью другие вещи. В то же время это описание подходит лишь немногим представителям нашего вида. Я предлагаю иное определение человека — “животное, умеющее готовить”. Звери обладают памятью, умеют принимать решения и в какой-то мере обладают всеми свойственными нам чувствами и страстями; а вот поваров среди зверей нет».



Звери обладают памятью, умеют принимать решения и в какой-то мере обладают всеми свойственными нам чувствами и страстями; но вот поваров среди них нет.

В последние десятилетия многие специалисты в своих книгах по антропологии, истории, кулинарии, археологии и социологии высказались в поддержку этого определения: «Кулинария отличает человека от животных» (Клод Леви-Штраусс); кулинария составляет «суть человека» (Майкл Саймонс); приготовление пищи является «критерием оценки человечности нашего вида» (Фелипе Фернандес-Арместо). Все эти цитаты взяты из книги Ричарда Рэнгема «Зажечь огонь: как кулинария сделала нас людьми», в которой автор отмечает серьезный изъян всех этих утверждений — заявляя о том, что «кулинария сделала нас людьми, они не могут ответить, почему, когда или как это произошло».

В поисках ответов на эти вопросы Рэнгем изучил материалы полевых исследований и испытаний за несколько десятилетий и идентифицировал наиболее вероятные примеры влияния огня на эволюцию древних людей. Он проанализировал то, как именно огонь делает мясо и овощи мягче и насыщает их вкусом; по сути, он провел такой же анализ влияния термообработки на пищу, каким занимаются шеф-повара и кулинарные критики под эгидой молекулярной кухни и прочих модных кулинарных течений. Он же сосредоточился на ключевых преимуществах приготовленной пищи — повышенная энергетическая ценность и скорость получения этой

энергии. Ему удалось доказать, что люди впервые начали готовить пищу на огне в период стремительного увеличения объема мозга, благодаря которому *Homo erectus* («Человек прямоходящий») эволюционировал в новый вид — *Homo sapiens* («Человек разумный»). Если его (чрезвычайно убедительная и аргументированная) гипотеза верна, то человек умел обращаться с огнем за миллион лет до периода, к которому относятся наиболее древние из дошедших до нас материальных доказательств.

Я впервые встретился с Рэнгемом почти десять лет тому назад, когда связался с ним для обсуждения первых результатов своей работы по образам запаха и ретроназальному обонянию. Он великодушно предложил мне провести семинар на кафедре антропологии Гарвардского университета, где моя работа вызвала немалый интерес и активное обсуждение. Именно это сподвигло меня продолжить разработку своей гипотезы о системе восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом, которая во многом перекликалась с гипотезой Рэнгема и дополняла его наработки конкретными механизмами мозговой активности.

Кулинария имеет огромное культурное значение, ведь она возможна лишь при наличии сложной социальной структуры. Некоторые члены общины добывают мясо, другие собирают овощи и прочие сопутствующие ингредиенты. Одни люди будут перемещать пищу туда, где она будет храниться; другие же будут это хранилище охранять. Для приготовления пищи нужны некие емкости, которыми могут быть как ямки в земле, так и настоящая посуда — горшки или миски; помимо посуды кому-то придется сделать и приборы, без которых перемешивать и разделывать пищу откровенно неудобно. Даже когда еда наконец будет готова, семье или общине придется договориться о месте и времени сбора и организовать совместный прием пищи. Много лет тому назад Питер Фарб и Джордж Армелагос в своей книге «Пищевые пристрастия, или Антропология питания»[1] сформулировали тезис, впоследствии получивший широкое признание: именно приготовление пищи сыграло наибольшую роль в формировании человеческого общества. Как вы могли заметить из приведенных ранее цитат, с их позицией по данному вопросу солидарны многие специали-

---

[1] Farb, P., and G. Armelagos. Consuming Passions: The Anthropology of Eating. Boston: Houghton Miffl in, 1980.

сты; мы же стремимся расширить их тезис — общество древних людей сформировалось благодаря вкусовым ощущениям, ради которых они объединяли усилия и собирались у костра ради порции приготовленной на огне еды.



Гипотеза этой книги: общество древних людей сформировалось благодаря вкусовым ощущениям, ради которых они объединяли усилия и собирались у костра.

Приготовление пищи требовало скоординированных действий ото всех представителей общины — они нуждались в способе обмена информацией. Для согласования действий в этих предтечах человеческого общества должно было сложиться некое подобие языка. В своей книге «Язык как инстинкт»[1] Стивен Пинкер предполагает, что люди впервые заговорили приблизительно 40 000 лет тому назад, задолго до расселения по Старому Свету и рождения анатомически идентичных современному человеку особей. Несмотря на отсутствие материальных доказательств появления речи, мы можем предположить, что речь возникла с разделением труда и усложнением социальных взаимодействий, связанных с приготовлением пищи. Социальные взаимодействия становились сложнее, словарный запас разрастался, а грамматика пополнялась новыми структурами.

На этом моменте на сцену эволюции вновь выходит обоняние. Классические труды, посвященные быту и рациону первобытных людей, редко затрагивают эту тему, но, когда они собирались у костра и наблюдали за процессом приготовления пищи, пробовали ее и съедали свою порцию, наши далекие предки наверняка обсуждали именно сенсорные качества своей еды. Можно было обсудить как запах еще не съеденной еды, так и возникшие в первую очередь благодаря запаху вкусовые ощущения от ее поглощения. В таких беседах возникает связь между запахами, вкусовыми ощущениями и речью, и она заслуживает гораздо большего признания — вполне возможно, что именно ароматы и вкус готовящейся пищи во многом способствовали развитию человеческой речи и языков. Подобная гипотеза на первый взгляд может показаться парадоксальной, ведь мы уже говорили о том, что запахи непросто описать словами;

---

[1] Pinker, Steven. The Language Instinct: How the Mind Creates Language, 1994.

вот только запахи и вкусовые ощущения суть схемы нейронной активности, возникающие в нашем мозге, и именно эти схемы и сыграли огромную роль в развитии наших далеких предков.

Напоследок мне хотелось бы повторить ключевой тезис этой главы. Укоренившаяся в антропологии и общественном сознании гипотеза, что человек в процессе эволюции утратил остроту обоняния, давно изжила себя. Исследования последних десятилетий подтверждают, что эту концепцию нужно пересмотреть и актуализировать с помощью современных трудов, посвященных как образам запаха и восприятию вкусовых ощущений, так и системам нашего мозга, связанным с восприятием и обработкой этих ощущений. Только так мы сможем расширить и углубить наше понимание биологических и физиологических основ человеческого поведения.

Глава 27

ПОЧЕМУ ВКУС — ЭТО ВАЖНО?

Многим читателям приведенные в этой книге факты помогут разобраться в том, что такое «вкусовые ощущения» и почему они теснее связаны с центрами восприятия нашего мозга, чем с пищей, с которой мы их ассоциируем. Этот краткий экскурс в нейрофизиологию в равной мере пригодится поварам и ресторанным критикам, любителям фастфуда и людям, которые любят поужинать дома, в кругу семьи.

Прочитав эту книгу, вы не только преумножили свои познания о том, как наш мозг формирует восприятие вкусовых ощущений; теперь вы знаете, что скрытые механизмы нашего восприятия влияют на развитие социальной политики и законотворчества во всем, что касается пищи. Введение в оборот термина нейрогастрономия может во многом поспособствовать благополучию общества. Социальная политика, формируемая с оглядкой на нейрофизиологию и научные исследования проблем питания и вкусовых ощущений, будет более эффективной и ориентированной на решение и предотвращение проблем, сопровождающих нас с момента зачатия до глубокой старости. Философ Жак в пьесе Шекспира «Как вам это понравится» говорил о семи возрастах человека; мы же рассмотрим шесть возрастов вкусовых ощущений.

ВЛИЯНИЕ ВКУСОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ НА ПЕРИНАТАЛЬНОМ ЭТАПЕ ЖИЗНИ

В ходе экспериментов на животных и людях было установлено, что вкусовые ощущения матери передаются плоду через амниотическую жидкость, которой заполнена плацента, и что это опо-

средованное восприятие может влиять на вкусовые предпочтения ребенка после рождения. Мы впервые узнали о существовании этого феномена на примере животных от Патриции Педерсен, присоединившейся к штату нашей лаборатории в 80-е годы. При написании диссертации вместе с Эллиотом Блассом в Принстонском университете она провела эксперимент, в котором продемонстрировала, что при введении в амниотическую жидкость в матку беременной крысы одорированной субстанции ее запах впоследствии становится для новорожденных крысят предпочтительным сигналом к началу кормления. Другие опыты показали, что введенные в амниотическую жидкость субстанции и вкусовые ощущения от пищи, которой крыса питалась во время беременности, еще долго ассоциировались у ее потомства с приятной или вызывающей отторжение пищей.



Вкусовые ощущения матери передаются ребенку как через амниотическую жидкость, так и через материнское молоко и действительно влияют на формирование вкусовых предпочтений новорожденного.

Аналогичные эксперименты на людях показали, что вкусовые ощущения матери передаются ребенку как через амниотическую жидкость, так и через материнское молоко и действительно влияют на формирование вкусовых предпочтений новорожденного. В 2000 году Бенойст Шаал, Люк Марлэ и Робер Суссигнан из города Нузили во Франции установили, что если женщины употребляли анис во время беременности (по вкусу он напоминает лакрицу), то при тестировании реакции вскоре после рождения их дети демонстрировали более положительное отношение ко вкусу аниса, чем дети женщин, не употреблявших его в период вынашивания. Как и в экспериментах Якоба Штайнера, рассмотренных нами в главе 13, французские исследователи определяли реакцию новорожденных на анис по выражению лица.

Еще одно интересное исследование пренатального формирования вкусовых предпочтений провели Джули Менелла и Гэри Бошамп из Монельского центра химических ощущений в Филадельфии. В 2001 году они опубликовали статью, в которой резюмировали результаты своей работы следующим образом: «Группа беременных женщин была случайным образом отобрана для участия в эксперименте, по условиям которого в течение третьего триме-

стра беременности они ежедневно выпивали по стакану морковного сока; дети женщин из этой группы в дальнейшем с большим удовольствием ели хлопья со вкусом моркови, чем дети женщин из контрольной группы. <…> Это позволяет заключить, что человек, как и другие виды млекопитающих, на перинатальном этапе жизни воспринимает вкусовые ощущения пищи входящей в рацион матери, передающиеся плоду через амниотическую жидкость, и в дальнейшем более положительно относится к воспринятым перинатально продуктам питания». В других аналогичных исследованиях влияния рациона матери на состав амниотической жидкости и вкусовые предпочтения ребенка после рождения в рацион вводились продукты с чрезвычайно насыщенным вкусом, такие как чеснок.

В главе 13 мы уже упоминали, что зона нервной системы, отвечающая за самые простые гедонистические реакции на вкусовые стимулы (такие как удовольствие или отвращение), находится в стволе головного мозга и функционирует в полную силу даже у новорожденных. Сформировавшиеся на перинатальном этапе жизни вкусовые предпочтения и эмоциональные реакции на вкусовые ощущения впоследствии становятся частью этой системы врожденных гедонистических реакций.

ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ У МЛАДЕНЦЕВ

Мы уже узнали, что вкусовые предпочтения матери определенно влияют на отношение младенца к тем или иным продуктам питания. Вкусовые предпочтения в прямом смысле впитываются ребенком с материнским молоком. В другом эксперименте Бошампа и Менеллы матери пили морковный сок в течение трех первых месяцев грудного вскармливания. При введении прикорма их дети, как и дети из перинатального эксперимента, отдавали предпочтение морковному соку.

Еще в одном исследовании авторы определили сензитивный период, то есть период повышенной обучаемости, когда младенцев можно было приучить к тем или иным вкусовым ощущениям. Новорожденных разделили на две группы: одну группу кормили обычной питательной смесью, а второй группе давали смесь с повышенным содержанием белка, но менее насыщенным вкусом. До шестимесячного возраста младенцы (судя по мимике

и реакции) смирялись, если им давали непривычную смесь; а вот с шестимесячного возраста их смирение сменилось неприятием, и они отдавали предпочтение именно той смеси, к которой их приучили.



Младенцы, как и взрослые, оперируют образами вкусовых ощущений, несмотря на то что у них недоразвита значительная часть коры больших полушарий.

Бошамп и Менелла пришли к выводу, что младенцы «обладают достаточно чутким восприятием вкуса; они фиксируют в памяти образ вкусовых ощущений и впоследствии демонстрируют удовольствие и интерес к питанию в случае совпадения запомненного образа вкусовых ощущений с предложенной им пищей». Получается, что младенцы, как и взрослые, тоже оперируют *образами вкусовых ощущений*. В то же время у младенцев недоразвита большая часть коры больших полушарий, а значит, ученым предстоит провести еще много исследований, чтобы понять, как именно работает и развивается система восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом на раннем этапе жизни.

ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ В ДЕТСТВЕ

Всем известно, что вкусовые ощущения могут оказывать огромное влияние на маленьких детей. Менелла полагает, что их восприятие настолько разительно отличается от взрослого, что «дети по сути живут в иной сенсорной реальности, чем взрослые люди». Исследования показали, что дети предпочитают интенсивные сладкие, кислые и соленые вкусы, а дети-супердегустаторы более восприимчивы к горьким вкусам. За счет этих особенностей восприятия дети крайне уязвимы к пище, способной провоцировать переедание: сладкой, соленой и жирной; насыщенность вкусовых ощущений, возникающих от такой пищи, просто выводит из строя систему сенсорного контроля их мозга (рис. 22.1).

Разумеется, производители и поставщики продуктов питания прекрасно знают об этих свойствах детского восприятия. В главе 21 мы уже упоминали исследование, проведенное Эриком Шлоссером: он обнаружил, что все блюда, предлагаемые в фастфуде, идеально подходят для гиперстимуляции восприятия и чрезвычайно кало-

рийны. Благодаря этим качествам фастфуд крайне привлекателен для детей, и именно он во многом формирует их вкусовые предпочтения, интегрируясь в их сенсорные циклы с самого детства, на которое приходится период максимальной пластичности мозга (см. главу 23). Привыкая к фастфуду, дети обеспечивают этой индустрии гарантированный поток потребителей.



Дети предпочитают интенсивные сладкие, кислые и соленые вкусы, а дети-супердегустаторы более восприимчивы к горькому. Поэтому они более склонны к перееданию вредной пищи.

Сложно представить себе категорию продуктов, более ориентированную на детей, чем сладости. Сладкий вкус достаточно примитивен и ассоциируется в первую очередь с энергией, получаемой организмом из пищи с высоким содержанием сахаров; он же является наименее уточненным из основных вкусов. С возрастом мы начинаем лучше относиться к горьким продуктам и напиткам, таким как кофе, темный шоколад или пиво; разнообразие и многогранность их вкуса становятся для нас привлекательнее, чем банальная сладость, столь притягательная для детей.

Сегодня дети употребляют невероятное количество сахара. Прекрасным примером чрезмерного потребления сахара является газировка. В моем детстве порция «Кока-колы» в бутылке или в стаканчике из киоска равнялась 7 унциям (0,2 литра). Затем «Пепси» выпустили свой напиток в более крупных банках объемом в 12 унций (0,35 литра, или, как говорилось в рекламной песенке, которую крутили по радио: «двойной объем всего за никель»). Сегодня взрослая порция газировки выросла до 16 или 20 унций (примерно 500–600 мл), а 12 унций считается детской порцией; это почти в два раза больше изначальной взрослой порции газировки. Не менее показательна и ситуация с сухими хлопьями для завтрака. В наши дни поиск хлопьев без добавления сахара является настоящим приключением. Дети окружены рекламой — с экранов телевизоров, компьютеров и гаджетов персонажи мультфильмов и игр рекламируют им сладкие завтраки. Попытки регулирования ориентированной на детей рекламы на данный момент сводятся к ограничению количества сахара, соли и жира в продуктах, предназначенных для детского питания.

Детская система восприятия вкусовых ощущений уязвима, но нам предстоит провести еще много исследований, прежде чем мы поймем принципы и механизмы этой уязвимости. В ходе дальнейших исследований нам нужно будет проработать каждый элемент изображенной на рис. 22.1 системы сенсорного контроля и прояснить некоторые нюансы, такие как наличие или отсутствие у детей чрезмерной восприимчивости к желанному образу вкусовых ощущений; вероятность формирования излишне интенсивных, способных в дальнейшем привести к паталогическому подкреплению воспоминаний об образе; а также степень функциональности недоразвитых префронтальных структур детского мозга в контексте системы мотивационного контроля. В углубленном изучении нуждается и иной аспект системы восприятия вкусовых ощущений у детей, а именно — достаточно распространенная проблема стойкого отвращения к некоторым видам пищи и продуктам питания.

ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ У ПОДРОСТКОВ

Свойственная детям сенсорная уязвимость сохраняется и в подростковом возрасте. Пубертатная гормональная активность ослабляет системы контроля, и подросток получает возможность исследовать свои развивающиеся сенсорные системы и окружающий мир. В подростковом возрасте человек проходит нелегкий путь от ребенка, чье мнение во многом зависит от родительского, до относительно независимого индивида, достаточно уверенного в себе, чтобы обрести собственный круг общения и самостоятельно принимать решения. К тому же именно в подростковом возрасте человек обретает собственную покупательную способность и нередко использует ее для демонстрации своей независимости.

Все присущие пубертатному периоду социальные и физиологические процессы влияют на формирование системы восприятия вкусовых ощущений. Наиболее интересным отличием восприятия подростка от взрослого является то, что у подростка еще не до конца сформировались некоторые участки префронтальной коры, отвечающие за высшие мыслительные процессы, например принятие решений в условиях неопределенности, планирование с учетом краткосрочных и отложенных последствий и умение отказывать себе в удовлетворении сиюминутных желаний ради достижения более

долгосрочных целей. Вместе с префронтальной корой продолжают развиваться и расположенные в ней части системы восприятия вкусовых ощущений, отвечающие за формирование образов вкусовых ощущений и пищевых образов желаний.



У подростков, в отличие от взрослых, еще не до конца сформированы некоторые участки префронтальной коры, отвечающие за умение отказывать себе в удовлетворении сиюминутных желаний. Этим и пользуются маркетологи.

Неудивительно, что жертвами всемирной эпидемии ожирения становятся в первую очередь именно дети и подростки. Маркетологи индустрии фастфуда уже много десятилетий эксплуатируют возрастные уязвимости восприятия и держат руку на пульсе молодежной культуры, делая все возможное для сохранения своей целевой аудитории. Для решения многих проблем, связанных с пищевым поведением у детей, достаточно обеспечить адекватное соотношение рекламы и состава рекламируемой пищи. После публикации книги Шлоссера большинство сетевых фастфудов пересмотрели свое меню. Существует множество способов регулирования потребительского поведения. Например, на Западе многие государства законодательно обязали указывать на упаковках фастфуда сведения о составе и пищевой ценности блюда: калорийности, содержании жиров, холестерина, солей и прочих ингредиентов — такая маркировка позволяет даже юным потребителям принимать информированные, осознанные решения. Не так давно я узнал интересную вещь: на одну порцию фастфуда в Копенгагене приходится лишь 0,35 грамма трансжирных кислот, в то время как в Нью-Йорке в такой же порции их уже более 10 грамм. Очевидно, что нам предстоит еще очень много работы.

ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ И ДИЕТЫ

Наиболее распространенной ошибкой питания у взрослых людей является систематическое употребление пищи с чрезмерно насыщенным вкусом. Прочитав эту книгу, вы наверняка заметили, что люди много говорят о вкусовых ощущениях, но почти ничего о них не знают. Вокруг нас кружится бесконечный поток информации: о еде рассказывают тематические телеканалы, бесчисленные

сайты и форумы, статьи в журналах и газетах. Все говорят о том, что еда должна быть как можно вкуснее. Неплохо рассказывают о вкусовых ощущениях лишь ресторанные критики; но и они преимущественно говорят об ингредиентах блюд и почти никогда не упоминают о том, как мозг формирует вкусовые ощущения. Пока нам рассказывают, что нужно много и вкусно есть, мы будем продолжать переедать и рисковать своим здоровьем — подобные нарушения пищевого поведения чреваты развитием ожирения, диабета, сердечно-сосудистых заболеваний, инсультами и даже развитием некоторых видов рака.



Наиболее распространенной ошибкой питания у взрослых людей является систематическое употребление пищи с чрезмерно насыщенным вкусом.

Многие взрослые люди искренне верят в то, что диеты помогают контролировать потребление пищи. Что ж, логично, ведь именно эта идея легла в основу неумолимо разрастающейся индустрии диет. Существует бесконечное множество особых диет и схем питания, каждая из которых названа в честь своего создателя или основной «фишки» предлагаемого рациона. Некоторые сосредотачиваются на одном из основных питательных веществ — белках, углеводах или жирах — и превозносят его пользу или же предлагают полностью исключить его из рациона. Другие ориентированы на определенную категорию продуктов питания, национальную кухню одного из народов мира или и вовсе предлагают питаться так, как предположительно питались первобытные люди. Достаточно набрать в строке гугла слово «диета», и вы мгновенно получите список из как минимум 89 вариантов. В каждой диете есть крупица истины. Тем не менее подавляющему большинству людей ни одна из них не поможет.

Читая книгу о вкусовых ощущениях, вы уже наверняка догадались, что именно им диеты не уделяют должного внимания. Великое множество исследований свидетельствует о том, что проблема переедания неотрывно связана со вкусовыми ощущениями. Механизмы восприятия наиболее чувствительны именно к изменению силы и типа стимуляции, а следовательно, мы ощущаем весь спектр вкусовых ощущений от новой пищи, даже пресытившись другой едой. Вкусовые ощущения вплетаются в воспоминания

и часто остаются в нашей памяти в искаженном, гипертрофированном виде. Не стоит забывать и о тесной связи системы восприятия вкусовых ощущений с эмоциями — они вполне способны как сделать любимые блюда неотразимыми, так и сломить нашу волю, не позволяя нам отказать себе в добавке. Все больше исследований показывают, что жажда пищевого и наркотического характера активирует одни зоны мозга и задействует одинаковые механизмы и практически идентичные схемы мозговой активности. Роль механизмов системы восприятия вкусовых ощущений в переедании поистине огромна; она не ограничивается ни этим кратким списком, ни множеством примеров, разобранных нами ранее.



Великое множество исследований свидетельствует о том, что проблема переедания неотрывно связана со вкусовыми ощущениями.

Я надеюсь, что, сосредоточившись на исследовании этих механизмов мозговой активности, мы наконец разберемся, почему нам так сложно контролировать свое пищевое поведение. Если при составлении рекомендаций диетологи и эксперты будут учитывать систему восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом, то мы не столкнемся с ситуациями, когда рекомендации полностью противоречат нашей нейрофизиологии и только мешают потребителям принимать верные решения.

К счастью, в последние годы люди все больше интересуются тем, как вкусовые ощущения влияют на нашу жизнь. Например, Келли Браунэлл, мой коллега по Йельскому университету и один из наиболее авторитетных исследователей эпидемии ожирения, в своей книге «Пищевая война: инсайдерский взгляд на индустрию питания и американский кризис ожирения — как нам все исправить?»[1], рассказывает о некоторых наиболее актуальных и важных исследованиях. В частности, он отмечает текущую работу Энтони Склафани из Бруклинского университета, посвященную проблеме сверхстимуляции системы восприятия вкусовых ощущений чрезмерно насыщенными блюдами фастфуда; и исследование Барбары Роллс,

---

[1] Brownell, Kelly, Horgen, Katherine Battle. Food Fight: The Inside Story of the Food Industry, America's Obesity Crisis, and What We Can Do About It. McGraw-Hill, 2007.

над которым она работает в Пенсильванском государственном университете — изучает механизмы насыщения отдельных сенсорных систем и определяет, как именно вкусовые ощущения провоцируют переедание (мы рассматривали эти процессы в главе 21).

В 2006 году известный шеф-повар Жак Пепен, рассказывая о своем переезде в США в 1959 году, затронул чрезвычайно важную тему, напрямую связанную с проблемой вкусовых ощущений и пищевой ценности пищи. Во Франции он работал в трехзвездочном ресторане, а переехав в США, принял поистине парадоксальное решение устроиться на работу в одно из заведений Говарда Джонсона, которому в те годы принадлежала одна из крупнейших ресторанных сетей Америки. Пепен был очарован стремлением Говарда Джонсона передать саму суть американской кухни и с энтузиазмом взялся за приготовление традиционных блюд: бургеров, хот-догов, жареных моллюсков, макарон с сыром, картофельных оладушек, десертов с мороженым, банановых сплитов и яблочных пирогов. Он же готовил фирменные блюда: говяжью похлебку на красном вине, гребешки в грибном соусе, телятину и индейку — причем объем работы нередко исчислялся в тоннах, ведь фирменные блюда готовились в расчете на тысячи посетителей. Пепен был в полном восторге от своей работы!



Блюда традиционной кухни веками сохраняют популярность именно благодаря наличию баланса вкусовых ощущений и питательности.

В своем рассказе он подчеркивает достоинства той самобытной американской кухни во всем ее разнообразии, которого мы лишились с наступлением эпохи фастфуда: традиционные блюда имели насыщенный вкус и аромат, но вместе с тем оставались питательными и сбалансированными. Джонсон и его шеф-повара старались воспроизвести все эти качества домашней еды, чтобы ею смог насладиться каждый посетитель ресторана, будь то впопыхах заскочивший на обед офисный сотрудник или проезжий водитель в поисках ужина. Они очень трепетно относились к вкусовым качествам блюд и использовали только высококачественные продукты; более того, они заменяли маргарин на сливочное масло, дегидрированый лук на свежий, а мороженый картофель на свежий.

Составляя меню, рестораторы следили, чтобы объем блюд соответствовал насыщенности их вкусовых ощущений. Желудок посетителя наполнялся пищей прежде, чем орбитофронтальная кора подавала сигнал о пресыщении и еда становилась отталкивающей. Блюда традиционной кухни веками сохраняют популярность именно благодаря наличию этого баланса вкусовых ощущений и питательности. Только соблюдая этот баланс, мы сохраним свою систему восприятия вкуса в здоровом, полностью функциональном состоянии.

ВКУСОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ И СТАРОСТЬ

В пьесе Шекспира «Как вам это понравится» Жак завершает свой монолог о возрастах человека следующим образом:

> …Ну, а последний акт,
> Конец всей этой странной, сложной пьесы, —
> Второе детство, полузабытье:
> Без глаз, без чувств, без вкуса, без всего.
>
> Акт 2, сцена 7[1]

К его словам я бы добавил: и без вкусовых ощущений.

Когда Шекспир писал эти строки, уровень развития медицины был настолько низким, что средняя продолжительность жизни составляла около 40 лет и для большинства людей старость была поистине ужасна. В наши дни старость больше не является приговором и многие люди пребывают в добром здравии на девятом десятке жизни и даже после ста лет. Тем не менее немало пожилых людей страдают от тех или иных проявлений многочисленных возрастных недугов; немало среди стариков и инвалидов. Близким больно смотреть, как они угасают. В некоторых случаях потеря интереса к жизни может иметь физиологическую подоплеку, но достаточно часто причина угасания связана с потерей интереса к пище по причине ее «безвкусности». С этой проблемой сталкиваются многие старики вне зависимости от того, находятся ли они в медицинском учреждении или живут дома.

Благодаря возросшему интересу к этому явлению заметно увеличилось количество диагностированных случаев утраты вкусового восприятия и началась разработка подходов к ее лечению.

---

[1] Перевод Т. Л. Щепкиной-Куперник.

Во многих подобных случаях причина достаточно банальна — с возрастом системы восприятия становятся менее чувствительными. Некоторым людям везет, и снижение чувствительности на них почти не влияет; у других же системы восприятия могут серьезно пострадать от возрастных изменений даже при отсутствии хронических заболеваний. Ричард Доти из Центра исследований обоняния и вкуса при Пенсильванском университете в Филадельфии изучил обонятельную чувствительность у людей в возрасте от восьмидесяти до ста лет с помощью теста UPSIT[1] и обнаружил, что обоняние действительно слабеет с возрастом. Разумеется, определенную роль в исчезновении остроты восприятия играют и болезни. Утрата обоняния является одним из ранних симптомов болезней Альцгеймера и Паркинсона и наблюдается при ряде других заболеваний. Если учесть, что запах играет ключевую роль в формировании вкусовых ощущений, неудивительно, что вместе с обонянием многие пожилые и хронические больные люди утрачивают и вкусовое восприятие. Мы уже упоминали, что внезапная утрата обоняния может даже для молодого и сильного человека стать настоящей трагедией именно из-за сопутствующей утраты вкусовых ощущений; у пожилых людей нередко наблюдается схожая реакция. Человек может угасать по разным причинам, но при работе с подобными пациентами в приоритете должны быть именно вкусовые ощущения — проблемы сенсорного восприятия легко диагностируются и потенциально поддаются лечению. Лечение во многом зависит от личных предпочтений пациента, но при его назначении всегда учитывается и состояние здоровья — самым простым и распространенным усилителем вкусовых ощущений является обычная поваренная соль, но при некоторых болезнях она строго противопоказана.



С возрастом людям пища начинает казаться безвкусной. С этой проблемой сталкиваются многие пожилые люди вне зависимости от того, находятся ли они в медицинском учреждении или живут дома.

Недавние исследования болезни Альцгеймера неожиданно выявили ранее неизвестные взаимосвязи между этим заболеванием и системой восприятия вкусовых ощущений. В ходе исследования

---

[1] Название является аббревиатурой от University of Pennsylvania Smell Identification Test.

чувствительности вкусового восприятия у пациентов с болезнью Альцгеймера Дженнифер Стампс и Линда Бартошук из Флоридского университета обнаружили, что у некоторых пациентов ослабление вкусового восприятия, скорее всего, связано с утратой ретроназального восприятия некоторых пищевых одорантов. Меньше всего от ослабления обоняния пострадало восприятие продуктов и блюд, стимулирующих в первую очередь тактильные модальности восприятия. Исследователи предположили, что помочь таким пациентам можно, добавляя в пищу стимуляторы «ощущений в полости рта», такие как перец. Для проверки своей гипотезы они добавили перец в виноградное желе и установили, что он действительно стимулирует ретроназальное обоняние и усиливает таким образом восприятие вкусовых ощущений от блюда, но при этом абсолютно не воспринимается ортоназальным обонянием. Результаты этого исследования в очередной раз доказывают, что сенсорные системы могут взаимодействовать самыми неожиданными образами и воздействовать на восприятие за счет различных механизмов усиления, таких как конгруэнтность, которые мы подробно рассматривали в главе 14. То, что одна система восприятия в некоторых случаях может компенсировать слабость другой, говорит о том, что пожилых и тяжело больных людей нужно непременно обследовать на чувствительность систем восприятия — именно они составляют костяк группы риска и вместе с тем отчаянно нуждаются в положительных ощущениях. Продолжая работать в этом направлении, мы находим новые способы помочь тем, кто утратил вкус к жизни.

Резюмируя вышесказанное, хочется отметить, что помочь пожилому человеку, столкнувшемуся с угасанием из-за возрастных изменений систем восприятия, можно — для этого достаточно разбудить спящие в подсознании с детских лет простейшие образы желаний. Наш мозг любит насыщенные ароматы, богатые вкусы и слегка похрустывающую еду; дополните обстановку чем-нибудь ярким, включите приятную музыку и наслаждайтесь возможностью пообщаться и поесть за одним столом. Понимать то, как работает наша система восприятия вкусовых ощущений, важно на любом этапе жизни, вне зависимости от того, ближе ли мы к рассвету или к закату наших дней.

ИСТОЧНИКИ

Вступление

Gibbons, B. The intimate sense of smell. *National Geographic* 170 (1986): 324–361.

Gilbert, A. *What the Nose Knows: The Science of Scent in Everyday Life.* New York: Crown, 2008.

McGee, H. *On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen.* 2nd ed. New York: Scribner, 2004.

Shepherd, G. M. The human sense of smell: Are we better than we think? *PLoS Biology* 2 (2004): E146.

——. Smell images and the flavour system in the human brain. *Nature* 444 (2006): 316–321.

This, H. *Molecular Gastronomy: Exploring the Science of Flavor.* New York: Columbia University Press, 2006.

ГЛАВА 1. Революция запаха и вкуса

Aristotle. *On the Soul. Parva Naturalia. On Breath* (ca. 350 b.c.e.). Translated by W. S. Hett. Loeb Classical Library 288. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1957.

Blodgett, B. *Remembering Smell: A Memoir of Losing— and Discovering— the Primal Sense*. Boston: Houghton Miffl in Harcourt, 2010.

Brillat-Savarin, J. A. *The Physiology of Taste, or, Meditations on Transcendental Gastronomy* (1825). Translated by M. F. K. Fisher. Washington, D.C.: Counterpoint, 1999.

Finck, H. T. The gastronomic value of odours. *Contemporary Review* 50 (1886): 680–695.

Gilbert, A. *What the Nose Knows: The Science of Scent in Everyday Life.* New York: Crown, 2008.

Rozin, P. "Taste smell confusions" and the duality of the olfactory sense. *Perception and Psychophysics* 31 (1982): 397–401.

Schlosser, E. *Fast Food Nation: The Dark Side of the All- American Meal.* New York: Perennial, 2002.

Thomas, L. *The Lives of a Cell: Notes of a Biology Watcher.* New York: Viking, 1974.

ГЛАВА 2. Собаки, люди и ретроназальное обоняние

Hepper, P. G., and D. L.Wells. How many footsteps do dogs need to determine the direction of an odour trail? *Chemical Senses* 31 (2006): 207–212.

Lieberman, D. E. *The Evolution of the Human Head*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2011.

Negus, V. E. *Comparative Anatomy and Physiology of the Nose and Paranasal Sinuses*. Edinburgh: Livingstone, 1958.

Settles, G. Sniffers: Fluid- dynamic sampling for olfactory trace detection in nature and homeland security. *Journal of Fluids Engineering* 127 (2005): 189–218.

Wrangham, R. *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*. New York: Basic Books, 2009.

ГЛАВА 3. Как рот обманывает мозг

Cerf-Ducastel, B., and C. Murphy. fMRI activation in response to odorants delivered orally in aqueous solution. *Chemical Senses* 26 (2001): 625–637.

Veldhuizen, M. G., K. J. Rudenga, and D. M. Small. The pleasure of taste, flavor, and food. In *Pleasures of the Brain*, edited by M. L. Kringelbach and K. C. Berridge, 146–168. New York: Oxford University Press, 2010.

ГЛАВА 4. Молекулы вкуса

Atkins, P. W. *Molecules*. New York: Freeman, 1987.

Brillat-Savarin, J. A. *The Physiology of Taste, or, Meditations on Transcendental Gastronomy* (1825). Translated by M. F. K. Fisher. Washington, D.C.: Counterpoint, 1999.

Carpino, S., S. Mallia, S. La Terra, C. Melilli, G. Licitra, T. E. Acree, D. M. Barbano, and P. J. Van Soest. Composition and aroma compounds of Ragusano cheese: Native pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 87 (2004): 816–830.

Mayr, D., T. Mark, W. Lindinger, H. Brevard, and C. Yeretzian. In- vivo analysis of banana aroma by proteon transfer reaction-mass spectrometry. In *Flavour Research at the Dawn of the Twenty-first Century: Proceedings of the 10th Weurman Flavour Research Symposium*, edited by J.- L. Le Quéré and P. X. Etiévant, 256–259. London: Tec and Doc/Intercept, 2003.

McGee, H. *On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen*. 2nd ed. New York: Scribner, 2004.

Taylor, A. J. Volatile flavor release from foods during eating. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 36 (1996): 765–784.

This, H. *Molecular Gastronomy: Exploring the Science of Flavor.* New York: Columbia University Press, 2006.

Wrangham, R. *Catching Fire: How Cooking Made Us Human.* New York: Basic Books, 2009.

ГЛАВА 5. Молекулы запаха и их рецепторы

Buck, L., and R. Axel. A novel multigene family may encode odorant receptors: A molecular basis for odor recognition. *Cell* 65 (1991): 175–187.

Lancet, D. Vertebrate olfactory reception. *Annual Review of Neuroscience* 9 (1986): 329–355.

Malnic, B., J. Hirono, T. Sato, and L. B. Buck. Combinatorial receptor codes for odors. *Cell* 96 (1999): 713–723.

Mori, K., and Y. Yoshihara. Molecular recognition and olfactory pro cessing in the mammalian olfactory system. *Progress in Neurobiology* 45 (1995): 585–619.

Olfactory Receptor Database. *SenseLab*. Available at http://senselab.med.yale.edu/.

Singer, M. S. Analysis of the molecular basis for octanal interactions in the expressed rat 17 olfactory receptor. *Chemical Senses* 25 (2000): 155–165.

Zhao, H., L. Ivic, J. M. Otaki, M. Hashimoto, K. Micoshiba, and S. Firestein. Functional expression of a mammalian odorant receptor. *Science* 279 (1998): 237–242.

ГЛАВА 6. Создание сенсорного образа

Horse shoe crabs and vision. In *The Horse shoe Crab*. Available at http://www.mbl.edu/marine org/images/animals/Limulus/vision/index.html.

Kuffler, S.W. Discharge patterns and functional organization of mammalian retina. *Journal of Neurophysiology* 16 (1953): 37–68.

Mach bands. Available at http://en.wikipedia.org/wiki/Mach bands.

Mach, E. *The Analysis of Sensations* (1897). Translated by C. M. Williams and S. Waterlow. New York: Dover, 1959.

Ratliff, F. *Mach Bands: Quantitative Studies on Natural Networks in the Retina*. San Francisco: Holden Day, 1965.

Sterling, P., and J. B. Demb. Retina. In *The Synaptic Organization of the Brain*, edited by G. M. Shepherd, 217–270. 5th ed. New York: Oxford University Press, 2004.

ГЛАВА 7. Образ запаха: момент озарения

Adrian, E. D. Sensory messages and sensation: The response of the olfactory organ to different smells. *Acta Physiologica Scandinavica* 29 (1953): 5–14.

Leon, M., and B. Johnson. *Glomerular Activity Response Archive*. Available at http://gara.bio.uci.edu/.

SenseLab. Available at http://senselab.med.yale.edu/.

Sharp, F. R., J. S. Kauer, and G. M. Shepherd. Local sites of activity-related glucose metabolism in rat olfactory bulb during odor stimulation. *Brain Research* 98 (1975): 596–600.

Shepherd, G. M., W. R. Chen, and C. A. Greer. Olfactory bulb. In *The Synaptic Organization of the Brain*, edited by G. M. Shepherd, 165–216. 5th ed. New York: Oxford University Press, 2004.

Stewart, W. B., J. S. Kauer, and G. M. Shepherd. Functional organization of the rat olfactory bulb analyzed by the 2-deoxyglucose method. *Journal of Comparati Neurology* 185 (1975): 715–734.

Xu, F., C. A. Greer, and G. M. Shepherd. Odor maps in the olfactory bulb. *Journal of Comparative Neurology* 422 (2000): 489–495.

Youngentob, S. L., B. A. Johnson, M. Leon, P. R. Sheehe, and P. F. Kent. Predicting odorant quality perceptions from multidimensional scaling of olfactory bulb glomerular activity patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (2007): 1953–1958.

ГЛАВА 8. Запахи как лица

Landau, T. *About Faces: The Evolution of the Human Face: What It Reveals, How It Deceives, What It Represents, and Why It Mirrors the Mind*. New York: Anchor, 1989.

Laska, M., D. Joshi, and G. M. Shepherd. Olfactory sensitivity for aliphatic aldehydes in CD-1 mice. *Behavioural Brain Research* 167 (2006): 349–354.

Matsumoto, H., K. Kobayakawa, R. Kobayakawa, T. Tashiro, K. Mori, H. Sakano, and K. Mori. Spatial arrangement of glomerular molecular-feature clusters in the odorant-receptor class domains of the mouse olfactory bulb. *Journal of Neurophysiology* 103 (2010): 3490–3500.

SenseLab. Available at http://senselab.med.yale.edu/.

Shepherd, G. M. Smell images and the flavour system in the human brain. *Nature* 444 (2006): 316–321.

Xu, F., N. Liu, I. Kida, D. L. Rothman, F. Hyder, and G. M. Shepherd. Odor maps of aldehydes and esters revealed by functional MRI in the glomerular layer of the mouse olfactory bulb. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100 (2003): 11029–11034.

ГЛАВА 9. Пуантилизм образов запаха

Aungst, J. L., P. M. Heward, A. C. Puche, S.V. Karnup, A. Hayar, G. Szabo, and M. T. Shipley. Centre-surround inhibition among olfactory bulb glomeruli. *Nature* 426 (2003): 623–629.

Bozza, T., P. Feinstein, C. Zheng, and P. Mombaerts. Odorant receptor expression defines functional units in the mouse olfactory system. *Journal of Neuroscience* 22 (2002): 3033–3043.

Chen, W. R., and G. M. Shepherd. The olfactory glomerulus: A cortical module with specific functions. *Journal of Neurocytology* 34 (2006): 353–360.

Linster, C., and T. A. Cleland. Decorrelation of odor representations via spike timing-dependent plasticity. *Frontiers in Computational Neuroscience* 4 (2010): 157.

Maresh, A., D. Rodriguez Gil, M. C. Whitman, and C. A. Greer. Principles of glomerular organization in the human olfactory bulb — implications for odor processing. *PLoS One* 3 (2008): E2640.

Seurat, G. *A Sunday on La Grande Jatte* (1884). Available at http://www.artic.edu.

ГЛАВА 10. Усиление образа

Migliore, M., and G. M. Shepherd. Dendritic action potentials connect distributed dendrodendritic microcircuits. *Journal of Computational Neuroscience* 24 (2008): 207–221.

Pager, J. Ascending olfactory information and centrifugal infl uxes contributing to a nutritional modulation of the rat mitral cell responses. *Brain Research* 140 (1978): 251–269.

Rall, W., and G. M. Shepherd. Theoretical reconstruction of fi eld potentials and dendro-dendritic synaptic interactions in olfactory bulb. *Journal of Neurophysiology* 31 (1968): 884–915.

Rall, W., G. M. Shepherd, T. S. Reese, and M. W. Brightman. Dendrodendritic synaptic pathway for inhibition in the olfactory bulb. *Experimental Neurology* 14 (1966): 44–56.

Shepherd, G. M. Microcircuits in the nervous system. *Scientifi c American* 238 (1978): 92–103.

Shepherd, G. M., W. R. Chen, D. C. Willhite, M. Migliore, and C. A. Greer. The olfactory granule cell: From classical enigma to central role in olfactory processing. *Brain Research Reviews* 55 (2007): 373–382.

Willhite, D. C., K. T. Nguyen, A. V. Masurkar, C. A. Greer, G. M. Shepherd, and W. R. Chen. Viral tracing identifi es distributed columnar organi-

zation in the olfactory bulb. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103 (2006): 12592–12597.

Xiong, W., and W. R. Chen. Dynamic gating of spike propagation in the mitral cell lateral dendrites. *Neuron* 34 (2002): 115–126.

ГЛАВА 11. Создание, изучение и запоминание запахов

Douglas, R., K. A. C. Martin, and D. Whitteridge. A canonical microcircuit for neocortex. *Neural Compututation* 1 (1989): 480–488.

Gietzen, D. W., S. Hao, and T. G. Anthony. Mechanisms of food intake repression in indispensable amino acid deficiency. *Annual Review of Nutrition* 27 (2007): 63–78.

Haberly, L. B. Neuronal circuitry in olfactory cortex: Anatomy and functional implications. *Chemical Senses* 10 (1985): 219–238.

Haberly, L. B., and G. M. Shepherd. Current density analysis of summed evoked potentials in opposum prepyriform cortex. *Journal of Neurophysiology* 36 (1973): 789–802.

Hebb, D. O. *The Organization of Behavior.* New York: Wiley, 1949.

Neville, K. R., and L. B. Haberly. Olfactory cortex. In *The Synaptic Organization of the Brain*, edited by G. M. Shepherd, 415–454. 5th ed. New York: Oxford University Press, 2004.

Wilson, D. A., and R. J. Stevenson. *Learning to Smell: Olfactory Perception from Neurobiology to Behavior.* Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2006.

ГЛАВА 12. Запах и вкус

Kringelbach, M. L., and K. C. Berridge, eds. *Pleasures of the Brain*. New York: Oxford University Press, 2010.

Rolls, E. T. Taste, olfactory, and food texture reward pro cessing in the brain and obesity. *International Journal of Obesity* 35 (2010): 550–561.

Schoenbaum, G., J. A. Gottfried, E. A. Murray, and S. J. Ramus, eds. *Linking Affect to Action: Critical Contributions of the Orbitofrontal Cortex.* Boston: Blackwell, for the New York Academy of Sciences, 2007.

Yeshurun, Y., and N. Sobel. An odor is not worth a thousand words: From multidimensional odors to unidimensional odor objects. *Annual Review of Psychology* 61 (2010): 219–241.

ГЛАВА 13. Вкус и вкусовые ощущения

Bartoshuk, L. Interview. *Science Careers* (blog), 2010. Available at http://blogs.sciencemag.org/sciencecareers/2010/06/linda-bartoshuk.html.

Brillat-Savarin, J. A. *The Physiology of Taste, or, Meditations on Transcendental Gastronomy* (1825). Translated by M. F. K. Fisher. Washington, D.C.: Counterpoint, 1999.

Brochet, F., and D. Dubourdieu. Wine descriptive language supports cognitive specifi city of chemical senses. *Brain and Language* 77 (2001): 187–196.

Dinehart, M. E., J. E. Hayes, L. M. Bartoshuk, S. L. Lanier, and V. B. Duffy. Bitter taste markers explain variability in vegetable sweetness, bitterness, and intake. *Physiology and Behavior* 87 (2006): 304–313.

Garcia, J., and R. A. Koelling. Relation of cue to consequence in avoidance learning. *Psychonometric Science* 4 (1966): 123–124.

Small, D. M., J. C. Gerber, Y. E. Mak, and T. Hummel. Differential neural responses evoked by orthonasal versus retronasal odorant perception in humans. *Neuron* 47 (2005): 593–605.

Steiner, J. E. Discussion paper: Innate, discriminative human facial expressions to taste and smell stimulation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 237 (1974): 229–233.

Verhagen, J. V., and L. Engelen. The neurocognitive bases of human multimodal food perception: Sensory integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 30 (2006): 613–650.

Yarmolinsky, D. A., C. S. Zuker, and N. J. Ryba. Common sense about taste: From mammals to insects. *Cell* 139 (2009): 234–244.

ГЛАВА 14. Ощущения в полости рта и вкус

Penfield, W., and T. Rasmussen. *The Cerebral Cortex of Man*. New York: Macmillan, 1950.

Verhagen, J. V., and L. Engelen. The neurocognitive bases of human multimodal food perception: Sensory integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 30 (2006): 613–650.

Wang, G.-J., N. D. Volkow, C. Felder, J. S. Fowler, A. V. Levy, N. R. Pappas, C. T. Wong, W. Zju, and N. Netusil. Enhanced resting activity of the oral somatosensory cortex in obese subjects. *NeuroReport* 13 (2002): 1151–1155.

ГЛАВА 15. Зрение и вкус

Brochet, F., and D. Dubourdieu. Wine descriptive language supports cognitive specifi city of chemical senses. *Brain and Language* 77 (2001): 187–196.

Engen, T. The effect of expectation on judgments of odor. *Acta Psychologica* 36 (1972): 450–456.

Koza, B. J., A. Cilmi, M. Dolese, and D. A. Zellner. Color enhances orthonasal olfactory intensity and reduces retronasal olfactory intensity. *Chemical Senses* 30 (2005): 643–649.

Morrot, G., F. Brochet, and D. Dubourdieu. The color of odors. *Brain and Language* 79 (2001): 309–320.

Small, D. M., M. Jones-Gotman, R. Zatorre, M. Petrides, and A. Evans. Flavor processing: More than the sum of its parts. *NeuroReport* 8 (1997): 3913–3917.

ГЛАВА 16. Слух и вкус

Bourne, M. *Food Texture and Viscosity: Concept and Mea sure ment*. 2nd ed. New York: Academic Press, 2002.

Vickers, Z. M. Crispness and crunchiness — a difference in pitch? *Journal of Texture Studies* 15 (1984): 157–163.

Vickers, Z. M., and M. C. Bourne. A psychoacoustical theory of crispness. *Journal of Food Science* 41 (1976): 1158.

Vickers, Z. M., and S. S. Wasserman. Sensory qualities of food sounds based on individual perceptions. *Journal of Texture Studies* 10 (1980): 319.

ГЛАВА 17. Мышцы вкуса

Amat, J.-M., and J.-D. Vincent. *L'art de parler la bouche pleine*. Paris: La Presqu'ile, 1997.

Brillat-Savarin, J. A. *The Physiology of Taste, or, Meditations on Transcendental Gastronomy* (1825). Translated by M. F. K. Fisher. Washington, D.C.: Counterpoint, 1999.

Lieberman, D. E. *The Evolution of the Human Head*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2011.

Linforth, R. S. T., A. Blissett, and A. J. Taylor. Differences in the effect of bolus weight on flavor release into the breath between low-fat and high-fat products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2005): 7217–7221.

Matsuo, M., K. M. Hiiemae, M. Gonzalez- Fernandez, and J. B. Palmer. Respiration during feeding on solid food: Alterations in breathing during mastication, pharyngeal bolus aggregation, and swallowing. *Journal of Applied Physiology* 104 (2007): 674–681.

Pfeiffer, J. C., T. A. Hollowood, J. Hort, and A. J. Taylor. Temporal synchrony and integration of sub-threshold taste and smell signals. *Chemical Senses* 30 (2005): 539–545.

Tsachaki, M., R. S. T. Linforth, and A. J. Taylor. Aroma release from wines under dynamic conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57 (2009): 6976–6981.

ГЛАВА 18. Сводя все воедино: система восприятия вкусовых ощущений человеческим мозгом

Bensafi, M., N. Sobel, and R. M. Khan. Hedonic-specific activity in piriform cortex mimics that during odor perception. *Journal of Neurophysiology* 98 (2007): 3254–3262.

Brillat-Savarin, J. A. *The Physiology of Taste, or, Meditations on Transcendental Gastronomy* (1825). Translated by M. F. K. Fisher. Washington, D.C.: Counterpoint, 1999.

Kosslyn, S. M. Mental images and the brain. *Cognitive Psychology* 22 (2005): 333–347.

Rinck, F., C. Rouby, and M. Bensafi. Which format for odor images? *Chemical Senses* 34 (2009): 11–13.

Veldhuizen, M. G., K. J. Rudenga, and D. M. Small. The plea sure of taste, flavor, and food. In *Pleasures of the Brain*, edited by M. L. Kringelbach and K. C. Berridge, 146–168. New York: Oxford University Press, 2010.

ГЛАВА 19. Вкус и эмоции

Franken, I. H. A., J. Booij, and W. van den Brink. The role of dopamine in human addiction: From reward to motivated attention. *European Journal of Pharmacology* 526 (2005): 199–206.

La Bar, K. S., A. C. Nobre, D. R. Gitelman, T. B. Parrish, Y.-H. Kim, and M.-M. Mesulam.

Hunger selectively modulates corticolimbic activation to food stimuli in humans. *Behavioral Neuroscience* 113 (2001): 493–500.

Pelchat, M. L., A. Johnson, R. Chan, J. Valdez, and J. D. Ragland. Images of desire: Food-craving activation during fMRI. *NeuroImage* 23 (2004): 1486–1493.

Small, D. M., R. J. Zatorre, A. Dagher, A. C. Evans, and M. Jones-Gotman. Changes in brain activity related to eating chocolate: From plea sure to aversion. *Brain and Language* 124 (2001): 1720–1733.

ГЛАВА 20. Вкус и память: новая интерпретация Пруста

Fink, G. R., H. J. Markowitsch, M. Reinkemeier, T. Brudkbauer, J. Kessler, and W.-D. Heiss. Cerebral repre sen ta tion of one's own past: Neural networks involved in autobiographical memory. *Journal of Neuroscience* 16 (1996): 4275–4282.

Gottfried, J. A., A. P. R. Smith, M. D. Fugg, and R. J. Dolan. Remembrance of odors past: Human olfactory cortex in cross-modal recognition memory. *Neuron* 42 (2004): 687–695.

Lehrer, J. *Proust Was a Neuroscientist*. New York: Houghton Mifflin, 2007.

Proust, M. *Remembrance of Things Past*. Vol. 1, *Swann's Way and Within a Budding Grove* (1913, 1919). Translated by C. K. Scott Moncrieff and T. Kilmartin. New York: Random House, 1981.

——. *Remembrance of Things Past*. Vol. 3, *The Captive, The Fugitive, Time Regained* (1923, 1925, 1927). Translated by C. K. Scott Moncrieff and T. Kilmartin. New York: Vintage, 1982.

Shepherd-Barr, K., and G. M. Shepherd. Madeleines and neuromodernism: Reassessing mechanisms of autobiographial memory in Proust. *Auto/Biography Studies* 1(1998): 39–60.

ГЛАВА 21. Вкус и ожирение

Kessler, D. A. *The End of Overeating: Taking Control of the Insatiable American Appetite*. Emmaus, Pa.: Rodale, 2009.

McGraw, P. *The Ultimate Weight Solution Food Guide*. New York: Pocket Books, 2004.

Rolls, B. J., E. T. Rolls, E. A. Rowe, and K. Sweeney. Sensory specific satiety in man. *Physiology and Behavior* 27 (1981): 137–142.

Schlosser, E. *Fast Food Nation: The Dark Side of the All-American Meal*. New York: Perennial, 2002.

Small, D. M. Individual differences in the neurophysiology of reward and the obesity epidemic. *International Journal of Obesity* 33 Suppl. 2 (2009): 44–48.

Wang, G.-J., N. D. Volkow, C. Felder, J. S. Fowler, A. V. Levy, N. R. Pappas, C. T. Wong, W. Zju, and N. Netusil. Enhanced resting activity of the oral somatosensory cortex in obese subjects. *NeuroReport* 13 (2002): 1151–1155.

ГЛАВА 22. Принятие решений: нейроэкономика вкуса и питательной ценности

Corwin, R. L., and P. S. Grigson. Symposium overview — food addiction: Fact or fiction? *Journal of Nutrition* 139 (2009): 617–619.

Geisler, S., and D. S. Zahm. Afferents of the ventral tegmental area in the rat anatomical substratum for integrative functions. *Journal of Comparative Neurology* 490 (2005): 270–294.

Glimcher, P. W. *Decisions, Uncertainty, and the Brain: The Science of Neuroeconomics*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2003.

Hare, T. A., C. G. Camerer, and A. Rangel. Self-control in decision-making involves modulation of the vmPFC valuation system. *Science* 324 (2009): 646–648.

Pelchat, M. L. Food addiction in humans. *Journal of Nutrition* 139 (2009): 620–622.

Schultz, W. Getting formal with dopamine and reward. *Neuron* 36 (2002): 241–263.

Shepherd, G. S. What can a research man say about values? *Journal of Farm Economics* 38 (1956): 8–16.

Volkow, N. D., G.-J. Wang, and R. D. Baler. Reward, dopamine and the control of food intake: Implications for obesity. *Trends in Cognitive Sciences* 15 (2011): 37–45.

ГЛАВА 23. Пластичность человеческой системы восприятия вкуса

Eliot, T. S. "The Dry Salvages." In *Four Quartets*. New York: Harcourt, Brace, 1943.

Gonzalez, K. M., C. Peo, T. Livdahl, and L. M. Kennedy. Experience-induced changes in sugar taste discrimination. *Chemical Senses* 33 (2008): 173–179.

Hebb, D. O. *The Organization of Behavior*. New York: Wiley, 1949.

Mainland, J. D., E. A. Brenner, N. Young, B. N. Johnson, R. M. Khan, M. Bensafi, and N. Sobel. Olfactory plasticity: One nostril knows what the other learns. *Nature* 419 (2002): 8902–8903.

Wang, H. W., C. J. Wysocki, and G. H. Gold. Induction of olfactory receptor sensitivity in mice. *Science* 260 (1993): 998–1000.

Wilson, D. A., and R. J. Stevenson. *Learning to Smell: Olfactory Perception from Neurobiology to Behavior*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2006.

ГЛАВА 24. Запах, вкус и речь

Acree, T. E. *Flavornet*, 2003. Available at http://www.flavornet.org/flavornet.html.

Brochet, F., and D. Dubourdieu. Wine descriptive language supports cognitive specificity of chemical senses. *Brain and Language* 77 (2001): 187–196.

Burn, G. In pictures: Cy Twombly at Tate Modern. *Guardian*, June 14, 2008. Available at http://www.guardian.co.uk/books/2008/jun/14/saturdayreviewsfeatres. guardianreview17.

Miller, J. I. *The Spice Trade of the Roman Empire, 29* b.c.–a.d. *641*. New York: Oxford University Press, 1969.

Noble, A. *The Wine Aroma Wheel*, 2010. Available at http://winearomawheel.com/.

Parker, R. M., Jr. *Parker's Wine Buyer's Guide*. 4th ed. New York: Fireside, 1995.

Thomas, D. Chez Depardieu: The actor Gйrard Depardieu's new restaurant is all the buzz in Paris. Dana Thomas books a table. *New York Times*, March 28, 2004, 18–22.

Walter, B. *Of Music and Music Making*. New York: Norton,1961.

ГЛАВА 25. Запах, вкус и сознание

Crick, F., and C. Koch. A framework for consciousness. *Nature Neuroscience* 6 (2003): 119–126.

Li, W., I. Lopez, J. Osher, J. D. Howard, T. B. Parrish, and J. A. Gottfried. Right orbitofrontal cortex mediates conscious olfactory perception. *Psychological Science* 21 (2010): 1454–1463.

Sela, L., Y. Sacher, C. Serfaty, Y. Yeshurun, N. Soroker, and N. Sobel. Spared and impaired olfactory abilities after thalamic lesions. *Journal of Neuroscience* 29 (2009): 12059–12069.

Sobel, N., V. Prabhakaran, C. A. Hartley, J. E. Desmond, G. H. Glover, E. V. Sullivan, and J. D. E. Gabrieli. Blind smell: Brain activation induced by an undetected airborne chemical. *Brain* 122 (1999): 209–217.

Tait, D. S., and V. J. Brown. Diffi culty overcoming learned non-reward during reversal learning in rats with Ibotenic acid lesions of orbital frontal cortex. In *Linking Affect to Action: Critical Contributions of the Orbitofrontal Cortex*, edited by G. Schoenbaum, J. A. Gottfried, E. A. Murray, and S. J. Ramus, 407– 420. Boston: Blackwell, for the New York Academy of Sciences, 2007.

Verhagen, J. V. The neurocognitive bases of human multimodal food perception: Consciousness. *Brain Research Reviews* 53 (2007): 271–286.

ГЛАВА 26. Роль запаха и вкуса в эволюции человека

Boswell, James. *Boswell's Life of Johnson, Together with Boswell's Journal of a Tour to the Hebrides and Johnson's Diary of a Journey into North Wales* (1785). 6 vols. Edited by G. B. Hill. Revised and enlarged by L. F. Powell. Oxford: Clarendon, 1934–1964.

Bramble, D. M., and D. E. Lieberman. Endurance running and the evolution of *Homo*. *Nature* 432 (2004): 345–352.

Farb, P., and G. Armelagos. *Consuming Passions: The Anthropology of Eating*. Boston: Houghton Miffl in, 1980.

Hildebrand, J. G., and G. M. Shepherd. Molecular mechanisms of olfactory discrimination: Converging evidence for common principles across phyla. *Annual Review of Neuroscience* 20 (1997): 595–631.

Laska, M., A. S. Seibt, and A. Weber. "Microsmatic" primates revisited: Olfactory sensitivity in the squirrel monkey. *Chemical Senses* 25 (2000): 47–53.

Lieberman, D. E. *The Evolution of the Human Head*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2011.

Pinker, S. *The Language Instinct: How the Mind Creates Language*. New York: Morrow, 1994.

Potts, R. Environmental hypotheses of hominim evolution. *Yearbook of Physical Anthropology* 41 (1998): 93–138.

Rouquier, S., A. Blancher, and D. Giorgi. The olfactory receptor gene repertoire in primates and mouse: Evidence for reduction of the functional fraction in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97 (2000): 2870–2874.

Wrangham, R. *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*. New York: Basic Books, 2009.

ГЛАВА 27. Почему вкус — это важно?

Beauchamp, G. K., and J. A. Mennella. Flavor perception in human infants: Development and functional signifi cance. *Digestion* 83 Suppl. (2011): 1–6.

Brownell, K. D., and K. B. Horgren. *Food Fight: The Inside Story of the Food Industry, America's Obesity Crisis, and What We Can Do About It*. New York: McGraw-Hill, 2004.

Kristof, N. D. Killer girl scouts. *New York Times*, May 21, 2006, sec. 4, 15.

Mennella, J. A., C. P. Iagnow, and G. K. Beauchamp. Prenatal and postnatal flavor learning by human infants. *Pediatrics* 107 (2001): E188.

Pedersen, P. E., and E. M. Blass. Prenatal and postnatal determinants of the 1st suckling episode in albino rats. *Developmental Psychobiology* 15 (1982): 349–355.

Pépin, J. Howard Johnson's, adieu. *New York Times*, April 28, 2006, A23.

Schaal, B., L. Marlier, and R. Soussignan. Human foetuses learn odours from their pregnant mother's diet. *Chemical Senses* 25 (2000): 729–737.

Schlosser, E. *Fast Food Nation: The Dark Side of the All- American Meal*. New York: Perennial, 2002.

Stamps, J. F., and L. M. Bartoshuk. Rescuing fl avor perception in the el der ly. *AChemS Abstracts* P46 (2011).

Stickrod, G., D. P. Kimble, and W. P. Smotherman. In utero taste/odor aversion conditioning in the rat. *Physiology and Behavior* 28 (1982): 5–7.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Алкоголь 55, 160, 206
Амигдала 145, 200, 204-206, 209-211, 219, 223, 234, 237, 275
Аминокислоты 60, 75-77, 137-138
Аристотель 26, 28, 34

Б

База данных ольфакторных рецепторов (ORDB) 80
Баррель 103
Болезнь Альцгеймера 132, 239, 301, 302
Паркинсона 208, 237, 239, 301
Болюс 189-192
Бутандион 63

В

Вибриссы 103
Вино 175, 263
Вирус бешенства 126
Вкус в детстве 293
в подростковом возрасте 295
в старости 300
во младенчестве 292
ВНА (2-трет-бутил-4-метоксифенол) 59, 60
Воспоминание Пруста 201, 214-225
о Комбре 221
Восприятие слуховое 180

Г

Гипонеофагия 160-161
Гиппокамп 205-213, 223-225, 250, 254
Гломерула (ГЛОМ) 92
Глотание 191
Глутаральдегид 251
Грелин 245

Д

Депардье Жерар 256, 262
Десенсибилизация 217, 218
Диеты 297
ДНК 35-40, 76, 268, 270
Дофамин 208, 237-241
Дыхание 191

З

Запах молочный 62, 63
Зрение 81

И

Извилина поясная 209, 211
Импринтинг 161
Ингибиция латеральная 84-91, 120-127
Исследование структура-свойство (QSAR) 71

К

Качества вкусовые 152
Качество гедонистическое 157-159, 292
Квалия 115
Кислота линолевая 63
Клетки гранулярные (ГК) 92, 120-129
митральные (МК) 92, 120-129
перигломерулярные 92, 119, 120, 249
пирамидальные 92, 131-134, 144
пучковые (ПК) 92, 120, 121, 126
стволовые 247-249, 274
Кодирование предиктивное 88
Колумб Христофор 28, 29

Кора орбитофронтальная
обонятельная (ОФК) 92, 141
поясная 195, 205, 206, 224
Коэффициент сужения 117

Л

Лептины 245
Линкольн Авраам 111
Липоксигеназа 58
Луковица обонятельная 90

М

Маргарин 63
Марко Поло 29, 259
Масс-спектромия с реакцией переноса протона (РПП/МС) 54, 56, 64
Мастикация 189, 191, 192, 227
Мечехвост 82-85
Микроцепи 125, 171, 268
Молекулярная гастрономия 18
кухня 49, 53, 67-69, 156, 168
Молекулярные рецептивные спектры (MRRs) 78
Мольер 183
Музыка 255, 267

Н

Нейрон промежуточный 92, 121, 132, 144, 239
Нейроны звездчатые 145
Нейроэкономика 236, 237, 239, 241, 243, 283
Неокортекс 116, 130, 136, 140-146, 171
Неофилия 129
Неофобия 129

О

Область покрышки вентральная (VTA) 237, 241
Обоняние ортоназальное 18
ретроназальное 15
Обонятельный рецепторный нейрон (ОРН) 90, 91
Обучение реверсивное 148
Оксигенация 58
Ольфактометр 103, 107
Островок 195, 208
Ощущение рефлекторное 48

П

Память ассоциативная 116, 133, 140, 221, 239, 272
Патриотизм 25
Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) 97, 99, 222, 223
Полимеразная цепная реакция (ПЦР) 73, 74, 77
Полосы Маха 84
Полуфабрикаты 66, 67, 229
Постдокторант 73
Потенциация долговременная (ДВП) 254
Правило Хебба 134
Приматы 28, 40, 55, 140, 190, 279-283
Приоритетность 243-245
Пропилтиоурацил 159
Псевдоаносмия 270, 271, 277
Псевдослепота 270-272
Пуантилизм 113, 114

Р

Распознавание лиц 110
Реакция Майяра 60-62, 230
Ретикулярная система 240, 241
Рецепторы вкусовые 149
ольфакторные 74
Родопсин 68
Ругбред 24

С

Сера 59
Сетчатка 170
Синтез интрамодальный 155, 178
межмодальный 155
сенсорный 156
Собаки 34-44, 119, 174, 184, 234

Спектр аффинности 75
Специи 29 59, 259
Супераддитивность 197
Супердегустатор 159, 160, 293
Сыр Хаварти 24
Сыры 63, 64, 98

Т

Таблица вкусовых стимулов и рецепторов 151
восприятия вкусовых ощущений 200
ощущений в полости рта 163
рецепторов ощущений 164
Таламус 141, 142, 195-198, 271-274
Тастанты 154-158, 168
Термообработка 61, 190
Терпены 58, 70, 215, 216
Тесла 102
Тест Сниффин Стикс (CCT) 275
Торможение латеральное 82
Тракт вкусовой 152, 154
дыхательный 39
зрительный 170-172, 196-198, 210, 270, 273
нейронный 215, 217
обонятельный 130, 133, 142-149, 168, 172, 213, 218, 246, 255, 271-277
ортоназальный 169
осязательный 165, 196
ретроназальный 31, 39
сенсорный 141, 145, 197
слуховой 180

У

Умами 19, 150, 151, 200, 229, 251

Ф

Фастфуд 28, 228, 229, 293, 294-299
Фенолы 58, 59, 70, 263
Феномен Беарнского соуса
Феромоны 69, 92, 252, 271
Фруктоза 251
Фрукты 53-58, 181, 262, 281-284

Х

Хиазма 171

Ц

Цитралва 252

Ч

Человек прямоходящий 40, 284, 287
работающий 284
разумный 287
Чувствительность дискриминационная 89, 107

Ш

Шоколад 211-213, 231
Шум 87, 117, 118

Э

Эксперимент 73, 83, 157, 175, 233, 241, 251, 253, 265, 275, 291
Энграмма 224
Энология 175
Эпитоп 107
Этилен 53, 54
Эффект гештальта 110, 111, 221
супермаркета 232

Я

Ядро горизонтального лимба диагональной борозды Брока (ЯГЛДБ) 92, 129, 258
хвостатое 206-209
Язык 184

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научно-популярное издание

РЕВОЛЮЦИЯ В МЕДИЦИНЕ
САМЫЕ ГРОМКИЕ И УДИВИТЕЛЬНЫЕ ОТКРЫТИЯ

Шеперд Гордон

НЕЙРОГАСТРОНОМИЯ

Почему мозг создает вкус еды и как этим управлять

Главный редактор *Р. Фасхутдинов*
Руководитель отдела *Т. Решетник*
Руководитель направления *Н. Румянцева*
Ответственный редактор *А. Подоляк*
Научный редактор *В. Олейников*
Научный консультант *М. Тардов*
Младший редактор *Е. Фоменко*
Художественный редактор *В. Давлетбаева*
Технический редактор *О. Куликова*
Компьютерная верстка *Л. Кузьминова*
Корректор *А. Яковлева*

Страна происхождения: Российская Федерация
Шығарылған елі: Ресей Федерациясы

ООО «Издательство «Эксмо»
123308, Россия, Москва, ул. Зорге, дом 1, строение 1. Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru
Өндіруші: «ЭКСМО» АҚБ Баспасы, 123308, Ресей, Мәскеу, Зорге көшесі, 1 үй, 1 ғимарат.
Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru.
Тауар белгісі: «Эксмо»
Интернет-магазин : www.book24.ru

Интернет-магазин : www.book24.kz
Интернет-дүкен : www.book24.kz
Импортёр в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».
Қазақстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.
Дистрибьютор и представитель по приему претензий на продукцию,
в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»
Қазақстан Республикасында дистрибьютор және өнім бойынша арыз-талаптарды
қабылдаушының өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС,
Алматы қ., Домбровский көш., 3«а», литер Б, офис 1.
Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz
Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.
Сертификация туралы ақпарат сайтта: www.eksmo.ru/certification

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ
о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»
www.eksmo.ru/certification
Өндірген мемлекет: Ресей. Сертификация қарастырылмаған

Дата изготовления / Подписано в печать 15.10.2020. Формат 70x100 $^{1}/_{16}$.
Гарнитура «CharterITC». Печать офсетная. Усл. печ. л. 25,93.
Тираж 3000 экз. Заказ 5951/20.
Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ООО “ИПК Парето-Принт”, 170546, Тверская область,
Промышленная зона Боровлево-1, комплекс №3А.
www.pareto-print.ru

ISBN 978-5-699-96292-1



12+

Москва. ООО «Торговый Дом «Эксмо»
Адрес: 123308, г. Москва, ул. Зорге, д.1, строение 1.
Телефон: +7 (495) 411-50-74. **E-mail:** reception@eksmo-sale.ru

По вопросам приобретения книг «Эксмо» зарубежными оптовыми покупателями обращаться в отдел зарубежных продаж ТД «Эксмо»
E-mail: **international@eksmo-sale.ru**

International Sales: International wholesale customers should contact Foreign Sales Department of Trading House «Eksmo» for their orders.
international@eksmo-sale.ru

По вопросам заказа книг корпоративным клиентам, в том числе в специальном оформлении, обращаться по тел.: +7 (495) 411-68-59, доб. 2261.
E-mail: **ivanova.ey@eksmo.ru**

Оптовая торговля бумажно-беловыми
и канцелярскими товарами для школы и офиса «Канц-Эксмо»:
Компания «Канц-Эксмо»: 142702, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное-2,
Белокаменное ш., д. 1, а/я 5. Тел./факс: +7 (495) 745-28-87 (многоканальный).
e-mail: **kanc@eksmo-sale.ru**, сайт: www.**kanc-eksmo.ru**

Филиал «Торгового Дома «Эксмо» в Нижнем Новгороде
Адрес: 603094, г. Нижний Новгород, улица Карпинского, д. 29, бизнес-парк «Грин Плаза»
Телефон: +7 (831) 216-15-91 (92, 93, 94). **E-mail**: reception@eksmonn.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Санкт-Петербурге
Адрес: 192029, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской обороны, д. 84, лит. «Е»
Телефон: +7 (812) 365-46-03 / 04. **E-mail**: server@szko.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Екатеринбурге
Адрес: 620024, г. Екатеринбург, ул. Новинская, д. 2щ
Телефон: +7 (343) 272-72-01 (02/03/04/05/06/08)

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Самаре
Адрес: 443052, г. Самара, пр-т Кирова, д. 75/1, лит. «Е»
Телефон: +7 (846) 207-55-50. **E-mail**: RDC-samara@mail.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Ростове-на-Дону
Адрес: 344023, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов, 44А
Телефон: +7(863) 303-62-10. **E-mail**: info@rnd.eksmo.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Новосибирске
Адрес: 630015, г. Новосибирск, Комбинатский пер., д. 3
Телефон: +7(383) 289-91-42. E-mail: eksmo-nsk@yandex.ru

Обособленное подразделение в г. Хабаровске
Фактический адрес: 680000, г. Хабаровск, ул. Фрунзе, 22, оф. 703
Почтовый адрес: 680020, г. Хабаровск, А/Я 1006
Телефон: (4212) 910-120, 910-211. **E-mail**: eksmo-khv@mail.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Тюмени
Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г. Тюмени
Адрес: 625022, г. Тюмень, ул. Пермякова, 1а, 2 этаж. ТЦ «Перестрой-ка»
Ежедневно с 9.00 до 20.00. Телефон: 8 (3452) 21-53-96

Республика Беларусь: ООО «ЭКСМО АСТ Си энд Си»
Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г. Минске
Адрес: 220014, Республика Беларусь, г. Минск, проспект Жукова, 44, пом. 1-17, ТЦ «Outleto»
Телефон: +375 17 251-40-23; +375 44 581-81-92
Режим работы: с 10.00 до 22.00. **E-mail:** exmoast@yandex.by

Казахстан: «РДЦ Алматы»
Адрес: 050039, г. Алматы, ул. Домбровского, 3А
Телефон: +7 (727) 251-58-12, 251-59-90 (91,92,99). E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz

Украина: ООО «Форс Украина»
Адрес: 04073, г. Киев, ул. Вербовая, 17а
Телефон: +38 (044) 290-99-44, (067) 536-33-22. **E-mail**: sales@forsukraine.com

Полный ассортимент продукции ООО «Издательство «Эксмо» можно приобрести в книжных магазинах «Читай-город» и заказать в интернет-магазине: www.chitai-gorod.ru.
Телефон единой справочной службы: 8 (800) 444-8-444. Звонок по России бесплатный.

Интернет-магазин ООО «Издательство «Эксмо»
www.book24.ru
Розничная продажа книг с доставкой по всему миру.
Тел.: +7 (495) 745-89-14. E-mail: **imarket@eksmo-sale.ru**

ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ К НАМ!

БОМБОРА
ИЗДАТЕЛЬСТВО

БОМБОРА – лидер на рынке полезных и вдохновляющих книг. Мы любим книги и создаем их, чтобы вы могли творить, открывать мир, пробовать новое, расти. Быть счастливыми. Быть на волне.

МЫ В СОЦСЕТЯХ:
bomborabooks bombora
bombora.ru

В электронном виде книги издательства вы можете купить на www.litres.ru

ЛитРес:
один клик до книг

book 24.ru
Официальный интернет-магазин издательской группы "ЭКСМО-АСТ"

ГОРДОН МЮРРЕЙ ШЕПЕРД – почетный профессор нейробиологии в Йельской школе медицины.

Одно из самых распространенных заблуждений гласит, что у всякой еды есть вкус. В любой еде действительно содержатся молекулы вкуса, вот только сам он формируется в нашем мозге. Если мы стремимся к здоровому питанию и хотим избежать множества хронических заболеваний, ассоциируемых с неправильным рационом и нехваткой питательных веществ, важно понимать, как мозг создает те вкусовые ощущения, что испытываем. Проще говоря, нам предстоит освоить науку о вкусовых ощущениях — нейрогастрономию. На основе молекул вкуса эта система формирует ощущения, эмоции, воспоминания, сознание, речь и мотивирует к принятию решений.

«Многие даже не догадываются, что вкус пищи неотделим от ее аромата. И если зажать нос, можно не отличить ломтик яблока от кусочка лука. В «Нейрогастрономии» раскрываются и более удивительные факты о нашем обонянии и чувстве вкуса. Например, что мы способны различать молекулярный состав пищи с точностью до атома. Как врачу, мне очень понравилась научная дотошность автора. Сложные нейрофизиологические процессы разъяснены детально и с наглядными аналогиями. Рекомендую книгу всем, кто интересуется устройством нашего организма!»

ГАЛЕЕВА ИРИНА, невролог, автор блога @doctor_galeeva



«Нейрогастрономия — грандиозное путешествие в мир вкусов и запахов. Автор в мельчайших деталях рассматривает процесс обоняния и вкуса от молекул вкуса и запаха до образа этих чувств в головном мозге, рассказывает о давней традиции недооценивать силу нашего обоняния в сравнении с другими млекопитающими. Раскрывает тайны о влиянии стремления наслаждаться едой и напитками на ход истории от освоения человеком огня до изобретения молекулярной кухни и искусства наслаждаться вином».

ОЛЕЙНИКОВ ВАСИЛИЙ, невролог, автор блога @dr_oleinikov



БОМБОРА
ИЗДАТЕЛЬСТВО

БОМБОРА – лидер на рынке полезных и вдохновляющих книг. Мы любим книги и создаем их, чтобы вы могли творить, открывать мир, пробовать новое, расти. Быть счастливыми. Быть на волне.

bomborabooks bombora.ru

ISBN 978-5-699-96292-1

