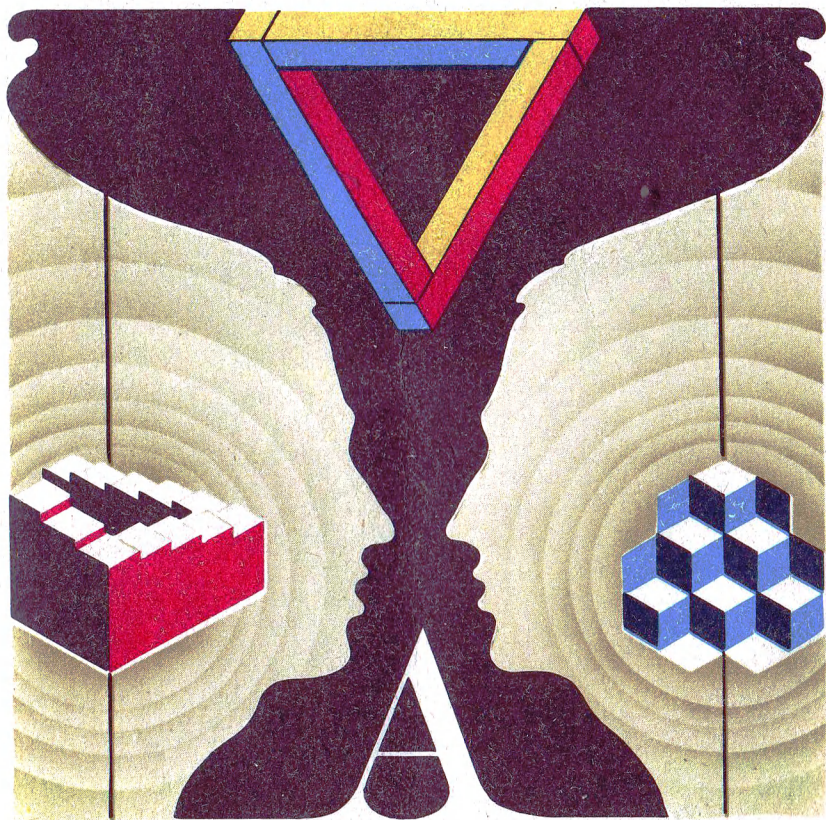


# МР И знаний

В.И. ШОСТАК

## Природа наших ощущений



М И Р З Н А Н И Й

---

**В.И. ШОСТАК**

# **Природа наших ощущений**

*Книга для  
внеклассного чтения учащихся  
8—10 классов*

ББК 28.903  
Ш79

Рецензенты: член-корр. АН СССР  
Л. Г. Воронин (МГУ им. М. В. Ло-  
моносова), доктор биол. наук, про-  
фессор Н. А. Фомин (ЧГПИ)

**Шостак В. И.**

**Ш79** Природа наших ощущений: Кн. для внеклас. чте-  
ния учащихся 8—10 кл.— М.: Просвещение, 1983.—  
127 с., ил.— (Мир знаний).

В книге изложены современные данные о механизме ощу-  
щений. В ней рассказывается о строении, принципах работы и осо-  
бенностях функционирования органов зрения, слуха, вестибулярной  
чувствительности, вкуса, обоняния, осязания, тепловой чувстви-  
тельности, боли.

Ш 4306021000—615  
103(03)—83 174—83

ББК 28.903  
5А2

© Издательство «Просвещение», 1983 г.

Ибо на что еще полагаться нам? Что достоверней  
чувств может быть для того, чтобы правду и ложь разграничить?

(Лукреций. «О природе вещей»)

**Ч**резвычайно разнообразен в своих проявлениях окружающий нас внешний мир, который мы воспринимаем, познаем через наши ощущения. А между тем, что такое ощущения? В какой степени достоверно они отражают объективную реальность? Каков механизм возникновения ощущений? Эти и много других аналогичных вопросов уже на протяжении тысячелетий волнуют пытливого человеческого ум. Ведь действительно, характер полученных ответов порой в решающей степени влияет на самые разнообразные виды человеческой деятельности: и мировоззрение, и практику.

Вместе с тем для понимания способов отражения в сознании человека объектов внешнего мира требуются данные очень широкого круга наук: физики, химии, математики, описывающих свойства материи; анатомии, позволяющей понять строение наших органов чувств; физиологии, представляющей сведения о происходящих в них процессах; биофизики и биохимии, раскрывающих тонкие механизмы различных взаимодействий; психологии, характеризующей интегральные свойства человеческой психики, и т. д. Вот поэтому, поставив перед собой задачу ознакомиться с природой наших ощущений, мы должны попытаться охватить эту проблему во всей широте и сложности рассматриваемых вопросов.

## 1. В ПОСТОЯННОЙ БОРЬБЕ МНЕНИЙ

**И**стория науки о закономерностях и механизмах формирования наших ощущений уходит в глубокую древность. Можно даже полагать, что развитие этих представлений относится к числу самых первых человеческих знаний, что обусловлено прежде всего непосредственной практической значимостью таких сведений.

Очень сложный путь в своем развитии проделала наука об ощущениях, что в значительной мере обусловлено сложным, комплексным характером этих знаний. Ведь действительно, как это уже отмечалось, такие сведения связаны и с психологией, предоставляющей возможность описать сами ощущения, и с анатомией, изучающей материальный субстрат формирования ощущений, и с физиологией, раскрывающей их механизмы, и с физикой, химией, математикой, позволяющими объективно характеризовать различные воздействия на человека. Отдельно стоит выделить связь с философией. Ведь наука об ощущениях — путь к пониманию сущности сознания, его природы. И, следовательно, — путь к решению основного философского вопроса о первичности материи и вторичности сознания. А отсюда непосредственная связь с теорией познания, ответ на вопрос — познаваем ли внешний мир при помощи наших ощущений. Все это проблемы очень сложные, имеющие прямую связь как с мировоззрением людей, так и с их практикой, и потому волнующие человечество с древних времен. Вот поэтому среди первых научных сведений мы сталкиваемся с представлениями о механизмах формирования наших ощущений. Представления эти в большей своей части весьма наивны, часто совершенно неверны, но

иногда представляли собой и гениальные догадки. Однако к ним ко всем мы сейчас должны относиться с чувством глубочайшего уважения. Ведь они отражают исторический объективный путь развития наших знаний, без которого был бы невозможен современный уровень науки.

Дошедшие до нас сведения из античного мира весьма отрывочны и основаны главным образом на теоретических рассуждениях, иногда наблюдениях за окружающими явлениями. Первые упоминания о том, что головной мозг связан с умственной деятельностью, мы находим у древнегреческого анатома, физиолога и врача Алкемона Кротонского (VI—V вв. до н. э.). По его мнению, глаз способен видеть благодаря внутреннему огню. В работах Алкемона имеются также первые данные о слухе, обонянии, вкусе. Его учитель, выдающийся математик древности Пифагор (около 571—497 до н. э.) положил начало акустике, без чего невозможно было бы развитие представлений о слухе.

Создателем атомистической теории строения материи, греческим философом Левкиппом (V в. до н. э.) и его гениальным учеником Демокритом (460—370 до н. э.) высказывалась мысль, что зрительное восприятие обусловлено попаданием в глаз «отпечатков» вещей из внешнего мира. По представлениям выдающегося сицилийского мудреца и естествоиспытателя Эмпедокла (490—430 до н. э.), зрение, слух, обоняние, осязание объясняются тончайшими материальными истечениями, направляющимися к организму от тел.

Интересные мысли о возникновении ощущений мы находим у одного из популярных афинских философов Анаксагора (около 500—428 до н. э.), знаменитого древнегреческого врача и реформатора античной медицины Гиппократа (460—377 до н. э.), великого древнегреческого философа и естествоиспытателя Аристотеля (384—322 до н. э.), материалиста и атеиста Эпикура (341—270 до н. э.), родоначальника александрийской школы ученых Герофила (330—250 до н. э.), его современника великого математика древности Евклида (III в. до н. э.) и др.

«Дерзновенный», по выражению М. В. Ломоносова, великий мыслитель Древнего Рима, философ и поэт, страстный последователь атомистического материализма Тит Лукреций Кар (около 99—55 до н. э.), как бы завершая многовековой период чисто философских размышлений о природе, основанных на простом наблюдении проис-

ходящих в ней явлений, отразил свое мировосприятие в знаменитой поучительной поэме «О природе вещей». В ней очень много интересных мыслей, величественна основная идея — мир независим от богов и вполне доступен познанию, единственным достоверным источником которого являются чувственные ощущения. И в начале нашей эры знаменитому пергамскому врачу Клавдию Галену (129—201) удалось уже экспериментально доказать связь ощущений с деятельностью головного мозга.

Мрачная эпоха средневековья не дала практически ничего нового естествознанию. Основные положения учения Аристотеля и Галена были превращены в застывшие догмы, исключая возможность какого-либо продвижения науки вперед. Это привело к тому, что очень прогрессивные для своего времени взгляды античных мыслителей стали олицетворять схоластику и консерватизм.

И только эпоха Возрождения пробуждает живую мысль исследователя и стремление к познанию мира, человеческого естества. Это подготовило почву для интенсивного развития материалистического естествознания, основанного на надежных фактических данных.

Огромное влияние на развитие многих наук оказали взгляды выдающегося французского философа, физика, математика, физиолога Рене Декарта (1596—1650), с именем которого связан принцип детерминизма, т. е. причинной обусловленности всякого явления, в том числе и актов жизнедеятельности. Некоторые конкретные положения его учения как естественное следствие уровня науки того времени несколько механистичны, однако детерминизм явился одним из основополагающих принципов всех наук и послужил фундаментом для развития представлений об отраженной, рефлексорной (т. е. обусловленной внешними воздействиями) деятельности нервной системы. Вот поэтому учение о рефлексе как основном механизме функционирования нервной системы неразрывно связано с именем Р. Декарта.

Гениальный взлет мысли, дерзновенная прозорливость и тонкая наблюдательность позволили нашему великому соотечественнику М. В. Ломоносову (1711—1765), опередившему свое время, внести значительный вклад во многие области естествознания, в том числе и в физиологию органов чувств. Так, в частности, в своем знаменитом «Слове о происхождении света, новую теорию о цветах представляющем» были предсказаны по существу современные пред-

ставления о механизмах цветового зрения. Источником познания, по Ломоносову, служат показания наших органов чувств, проверяемые опытом.

На протяжении XVIII и XIX вв. физиология обогащается фундаментальными данными о строении и функциях нервной системы, органов чувств, о закономерностях возникновения ощущений, развивающихся в результате воздействия различных раздражителей. Благодаря работам выдающегося чешского физиолога, анатома и офтальмолога (глазного врача) И. Прохаски (1749—1820), английского анатома, физиолога и хирурга Ч. Белла (1774—1842), знаменитого французского физиолога Ф. Мажанди (1783—1855) сформировались представления о чувствительных структурах нервной системы. В результате блестящих исследований немецких физиологов Э. Вебера (1795—1878), И. Мюллера (1801—1858), Г. Гельмгольца (1821—1894), Э. Геринга (1834—1918) были расшифрованы механизмы функционирования *органов чувств* (глаза, уха и др.) и сформулированы основные положения психофизики — науки о количественной взаимосвязи между физическими параметрами раздражителя и характером возникающих при этом ощущений. Такому прогрессу способствовали также достижения в области физики, химии, математики, которые позволили понять природу и свойства тех материальных факторов и явлений внешней и внутренней среды, воздействие которых на организм приводит к возникновению ощущений.

В это же время интенсивно развивается новая область физиологии — электрофизиология, прогресс которой связан с именем немецкого физиолога Э. Дюбуа-Реймона (1818—1896). Накопление знаний о «животном электричестве» в значительной степени способствовало расшифровке механизмов функционирования органов чувств и созданию чувствительных методов для их исследования.

Это был блестящий период в физиологии, период формирования фундаментальных представлений о деятельности человеческого организма. Однако не все факты оказались правильно осмысленными. В физиологии возник своеобразный кризис, суть которого заключалась в отрицании возможности познания внешнего мира при помощи наших ощущений. Блестящие экспериментаторы, наблюдательные исследователи проявили несостоятельность в своих философских концепциях. В частности, И. Мюллер на основании того, что зрительные ощущения могут воз-



никать не только при попадании света в глаз, но и в результате его электрического или механического раздражения, приходит к выводу, что наши ощущения отражают не свойства раздражителя, а свойства органов чувств.

Эти взгляды разделял Э. Геринг и другие исследователи того времени, они оказали существенное влияние на мировоззрение и Г. Гельмгольца, одного из талантливейших учеников И. Мюллера. Гельмгольц был стихийным материалистом, он резко выступал против витализма и метафизики в физиологии и медицине, однако его философские воззрения отличались непоследовательностью. Признавая объективную реальность внешнего мира, он утверждал, что понятия и представления образуются в результате воздействия предметов внешнего мира на органы чувств человека. Вместе с тем Гельмгольц выдвинул теорию, в соответствии с которой представления человека о внешнем мире являются совокупностью условных знаков, символов, но не копиями, слепками объектов окружающего мира. В одной из своих основных работ «Физиологическая оптика» Гельмгольц пишет, что он обозначил ощущения как символы внешних влияний и отверг всякую аналогию с вещами, которые они представляют.

Такая философская трактовка достижений в физиологии приводила к агностицизму, т. е. отрицанию возможности познания объективной реальности, за что взгляды И. Мюллера были раскритикованы немецким философом-материалистом Л. Фейербахом и обозначены как «физиологический идеализм».

Громаднейшее значение для материалистического понимания успехов естественных наук, перспектив их дальнейшего развития, для теории познания имело одно из основных философских произведений В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» (1909). В нем дано четкое философское понятие материи: «Материя есть философская категория для обозначения объективной реальности, которая дана человеку в ощущениях его, которая копируется, фотографируется, отображается нашими ощущениями, существуя независимо от них» (Полн. собр. соч., т. 18, с. 131). В этом определении нашло однозначное отражение основное положение материалистической философии о первичности материи, объективной реальности и вторичности нашего сознания как продукта деятельности особым образом организованной материи — мозга. Отсюда также совершенно очевидно следует, что ощущения, одно из про-

явлений нашего сознания, возникают в результате воздействия факторов объективной реальности на соответствующие структуры (органы чувств) человеческого организма. По В. И. Ленину, «ощущение есть действительно непосредственная связь сознания с внешним миром, есть превращение энергии внешнего раздражения в факт сознания» (Полн. собр. соч., т. 18, с. 46); «ощущение есть субъективный образ объективного мира...» (там же, с. 120).

Эти положения получили развитие и в последующих работах В. И. Ленина. Ленинская теория отражения составила фундамент материалистической теории познания и открыла неограниченные просторы для естествоиспытателей на пути познания объективной реальности — неживой и живой природы.

Современный этап в развитии физиологии ощущений связан прежде всего с именами наших великих соотечественников — «отца русской физиологии» И. М. Сеченова (1829—1905) и «старейшины физиологов мира» И. П. Павлова (1849—1936).

И. М. Сеченов на основе глубокого анализа достижений физиологии и медицины того времени впервые в истории естествознания применил рефлекторный принцип для понимания психической деятельности. Он провозгласил: «Все акты сознательной и бессознательной жизни по способу происхождения суть рефлексы». Его блестящая работа «Рефлексы головного мозга» (1863) будоражила умы широких масс. Сеченов становится властителем дум передовой интеллигенции. Реакционные круги оценивают его как философа нигилизма и аморализма. Именно потому за это произведение против него было возбуждено судебное дело. «Эта материалистическая теория... разрушая моральные основы общества в земной жизни, тем самым уничтожает религиозный догмат жизни будущей; она не согласна ни с христианским, ни с уголовно-юридическим воззрением и ведет положительно к развращению нравов», — говорилось в заключении цензурного комитета. Но боязнь широкой огласки заставила царские власти отменить это позорное суждение.

Продолжая славные сеченовские традиции, И. П. Павлов создал учение об *анализаторах* как о совокупности нервно-рецепторных структур, обеспечивающих восприятие внешних раздражителей, трансформацию их энергии в процесс нервного возбуждения и проведение его в центральную нервную систему. По представлениям И. П. Пав-

лова, всякий анализатор состоит из трех частей: периферической, или рецепторной, проводниковой и центральной, или корковой, где завершаются аналитико-синтетические процессы по оценке биологической значимости раздражителя.

Развивая павловские представления, академик Л. А. Орбели (1882—1958) создает учение об афферентных системах как о входящих в состав анализатора и взаимодействующих структурах, проводящих возбуждение от рецепторов в центральную нервную систему (от латинского *afferens*, *afferentis* — приносящий).

Большой вклад в изучение физиологии анализаторов внесли наши отечественные научные школы, созданные П. П. Лазаревым (1878—1942), Л. А. Орбели, С. И. Вавиловым (1891—1951), К. М. Быковым (1886—1959), С. В. Кравковым (1893—1951).

В настоящее время развитие физиологии ощущений связано с исследованием, с одной стороны, очень тонких клеточных, молекулярных, биофизических, биохимических и нейрофизиологических механизмов функционирования анализаторов и, с другой, — очень сложных психофизиологических закономерностей восприятия и опознания образов. И как отражение этой стороны функционирования появился и получил широкое распространение термин *сенсорные системы* (от латинского *sensus* — ощущение, чувство).

Таким образом, наука об ощущениях в своем развитии проделала большой и сложный путь, следствием чего явилось существование в настоящее время нескольких терминов, очень близких по своему значению: «органы чувств», «анализаторы», «афферентные системы», «сенсорные системы», которые достаточно часто, как и в данной книге, употребляются как равнозначные. Рассмотрению механизмов формирования наших ощущений и будут посвящены последующие главы.

## II. СКОЛЬКО У НАС ОРГАНОВ ЧУВСТВ?

Действительно, сколько у нас органов чувств? И достаточно ли их, чтобы обеспечить нашему организму получение всей необходимой информации как о событиях внешнего мира, так и о состоянии внутренней среды? Нередко приходится слышать, что человек обладает пятью чувствами: зрением, слухом, вкусом, обонянием и осязанием. И как о выражении обостренной, даже загадочной чувствительности иногда говорят о «шестом чувстве», не имея в виду ничего конкретного, а скорее нечто близкое к интуиции.

Но так ли это? Ведь на самом деле, если более внимательно проанализировать наши ощущения, то мы со всей очевидностью можем насчитать не пять их видов и даже не шесть, а существенно больше.

С некоторой степенью условности, учитывая анатомическое единство и общность функций, в современной физиологии различают восемь анализаторов: зрительный, слуховой, вестибулярный, вкусовой, обонятельный, кожный, двигательный (дающий ощущения о работе опорно-двигательного аппарата) и висцеральный (или анализатор внутренних органов).

Но и это совсем не означает, что у человека возможно только восемь ощущений. Их гораздо больше. Однако возникает вопрос: достаточно ли людям таких органов чувств? И действительно, в животном мире можно обнаружить представителей, обладающих анализаторами, каких у человека нет. Например, многие рыбы способны воспринимать напряженность магнитного поля, летучие мыши ориентируются благодаря способности реагировать на

ультразвуки. И эти примеры не исключительны. Поэтому ответ на поставленный вопрос можно найти только с учетом эволюции животного мира и тех воздействий, которые имели биологическую значимость, т. е. сигнализировали о пище, опасности, своих собратьях и т. п. И поэтому, если мы теперь оценим органы чувств именно с такой точки зрения, то станет очевидным, что они воспринимают раздражители, которые являются признаками биологически важных явлений и предметов. И при этом не только среды внешней, но и внутренней.

Действительно, если не говорить о зрении и слухе, биологическая значимость которых очевидна, как бы мы ориентировались в пищевых продуктах без вкуса и обоняния; возможно ли было бы определить тепло или холод без температурной чувствительности; смогли бы мы определить параметры движения и положение тела в пространстве без вестибулярного анализатора? И это можно сказать без всяких исключений о каждой сенсорной системе! Ни одна из них не является лишней, а все они в целом обеспечивают восприятие практически всех биологически значимых в процессе эволюции раздражителей.

Вместе с тем приходится учитывать и то обстоятельство, что на самых последних этапах эволюции (ничтожных по своей длительности по сравнению со всей историей развития животного мира) появились связанные с техническим прогрессом факторы, которые, несомненно, биологически значимы, однако для восприятия их нет соответствующих органов чувств. Например, ионизирующее излучение, электромагнитные поля сверхвысоких частот и др. И в этом особая опасность таких воздействий, так как человек непосредственно их не способен ощутить, а начинает чувствовать только их опосредованные (нередко опасные для здоровья) последствия.

Но люди не обречены на узость представлений о мире в результате ограниченных возможностей своих органов чувств. Нас очень интересуют явления, не воспринимаемые нашими анализаторами. И вот здесь на помощь приходят различные технические приспособления, которые позволяют нам «видеть» инфракрасное излучение, «слышать» ультразвуки и радиоволны, «ощущать» ионизирующее излучение, ориентироваться в невесомости. И это не только исключительные ситуации. Благодаря союзу физиологии и техники в принципе становится возможным вернуть зрение слепым и слух глухим, хотя для решения этих задач

необходимо преодолеть очень много как теоретических, так и технических трудностей.

**Строение анализаторов.** Несмотря на разнообразие тех ощущений, которые возникают при работе наших органов чувств, можно найти ряд принципиально общих признаков в их строении и функционировании. В целом можно сказать, что анализаторы представляют собой совокупность взаимодействующих образований периферической и центральной нервной системы, осуществляющих восприятие и анализ информации о явлениях, происходящих как в окружающей среде, так и внутри самого организма.

Для того чтобы нам разобраться в этих процессах, прежде всего необходимо составить достаточно четкое представление о том материальном субстрате, в котором и происходят интересующие нас процессы. Это не означает, что все органы чувств устроены совершенно одинаково, однако в принципиальном отношении это структуры однотипные. Имеющиеся же в каждом из них особенности будут разобраны нами при рассмотрении конкретных вопросов.

Все анализаторы на своей периферии имеют воспринимающие аппараты — *рецепторы* (от латинского *recipere* — принимать), в которых происходит трансформация (превращение) энергии раздражителя в процесс возбуждения. Это возбуждение через периферический (т. е. расположенный вне центральной нервной системы) сенсорный нейрон, который имеет, как правило, очень длинный отросток (совокупность таких отростков, нервных волокон, и составляет нерв), и *синапсы* (от греческого *synapsis* — соприкосновение, связь), т. е. контакты между нервными клетками, попадает в центральную нервную систему. Расположение первого центрального сенсорного нейрона может быть различным — спинной мозг, продолговатый мозг, мост. Но далее пути сходятся. Почти все афферентные системы идут в промежуточный мозг, в частности в его отдел — зрительный бугор (таламус), а оттуда в кору головного мозга. Чтобы легче было ориентироваться в некоторых анатомических структурах, на рисунке 1 представлена общая схема строения центральной нервной системы.

**Рецепторы.** Теперь попытаемся разобраться, как же «работают» отдельные звенья анализаторов, имея в виду опять-таки закономерности, общие для всех сенсорных систем. О частностях речь впереди. Очевидно, что логичнее всего начинать рассмотрение этого вопроса с рецепто-

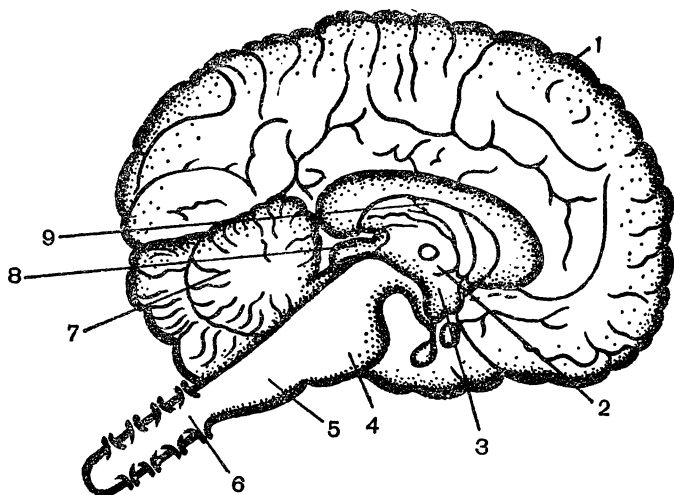


Рис. 1. Общая схема строения центральной нервной системы (в продольном разрезе):

1 — кора головного мозга; 2 — зрительный бугор (таламус); 3 — подбугорье (гипоталамус); 4 — мост; 5 — продолговатый мозг; 6 — спинной мозг; 7 — мозжечок; 8 — четверохолмие; 9 — лимбический мозг.

ров. Несмотря на их очень большое разнообразие по строению, все они выполняют, как это уже отмечалось, одну и ту же функцию — трансформацию энергии раздражителя в процесс нервного возбуждения. Естественно, что, поскольку организм сталкивается с различными видами энергии, постольку различны и механизмы этой трансформации, хотя конечный итог качественно одинаков.

Имеется несколько признаков, по которым классифицируют рецепторы, однако основной из них — это по модальности, т. е. по виду энергии раздражителя. С этой точки зрения различают следующие виды рецепторов. *Механорецепторы* воспринимают механическую энергию; к ним относятся рецепторы тактильной, слуховой, вестибулярной, проприоцептивной (двигательной) и отчасти висцеральной чувствительности. Достаточно широко представлены *хеморецепторы* — рецепторы обоняния, вкуса, сосудов и внутренних органов. Названная группа, однако, достаточно разнообразна по классу воспринимаемых химических раздражителей: это и углекислый газ, и кислород,

и водородные ионы, и практически бесконечный перечень вкусовых и обонятельных воздействий. Можно сразу обратить внимание и еще на одну особенность этих образований: они воспринимают раздражители не только внешней, но и внутренней среды, т. е. межклеточной жидкости и плазмы крови. Отдельно говорят об *осморецепторах*, воспринимающих изменения осмотического давления в межклеточной жидкости. Кроме того, кожный анализатор имеет *терморецепторы*, реагирующие на тепловую энергию; в зрительном анализаторе имеются *фоторецепторы*, воспринимающие электромагнитное излучение в видимой части спектра. Это у человека, а у некоторых представителей животного мира имеются *электрорецепторы* (рецепторные органы системы боковой линии рыб). Иногда выделяют и болевые (или ноцицептивные) рецепторы, хотя по этому поводу и нет единства взглядов, что мы с вами обсудим позже.

Если существует такая «специализация» рецепторов, то означает ли это, что тот или иной воспринимающий прибор способен реагировать только на один вид энергии? Наверное, индивидуальный жизненный опыт читателя позволит на этот вопрос ответить отрицательно. Действительно, разве не вызывает механический удар в глаз ощущение вспышки света (говорят: «Искры из глаз посыпались»)? А это и есть следствие раздражения фоторецепторов механической энергией. В лабораторных экспериментальных условиях показано, что любой рецептор можно возбудить весьма разнообразными видами раздражителей, среди которых универсальным является электрический импульс. Однако при этом обращает на себя внимание огромное (на 6—9—12 порядков) различие в количествах энергии, необходимой, чтобы вызвать возбуждение. Вот почему в огромном множестве раздражителей внешнего мира и внутренней среды выделяют так называемый *адекватный* (т. е. соответствующий) для данного рецептора раздражитель, для восприятия которого имеются специфические механизмы. Это и обуславливает чрезвычайно высокую чувствительность рецепторов к «своим», т. е. адекватным, раздражителям. И в этом случае уровень чувствительности приближается к теоретически возможному пределу, т. е. достаточно, буквально, нескольких квантов энергии, чтобы вызвать возбуждение в рецепторе.

А теперь рассмотрим в общем виде последовательность процессов, происходящих в начальной части сенсорной



системы. Взаимодействие афферентной системы с раздражителем по существу начинается еще до рецептора. У многих анализаторов имеются так называемые вспомогательные структуры, которые выполняют задачу некоторой количественной обработки сигнала; трансформации, перехода в другой вид энергии здесь не происходит. Это, например, роговица, зрачок и хрусталик в зрительном анализаторе; ушная раковина, барабанная перепонка и слуховые косточки в слуховом и т. п. Благодаря функциям вспомогательных структур рецепторы защищены от воздействия чрезвычайно сильных или неадекватных раздражителей. Но вместе с тем здесь осуществляется проведение энергии адекватных воздействий, возможно ее концентрирование на единицу площади, возможен несложный анализ, заключающийся в выделении некоторых составных частей раздражителя. За счет вспомогательных структур может происходить понижение или повышение чувствительности сенсорного органа в целом.

В конечном итоге энергия раздражителя достигает рецептирующей клетки, которая содержит субстрат, способный трансформировать эту энергию в биологические процессы. Такими свойствами обладают только рецепторы, и механизмы трансформации оказываются очень различными, но в конечном итоге все они приводят к возникновению своеобразного биоэлектрического феномена — *рецепторного потенциала*.

**Кодирование информации в сенсорной системе.** Своеобразной и очень важной особенностью рецепторного потенциала является четкая количественная зависимость его параметров от качественных и количественных характеристик раздражителя. Здесь, в рецепторе, начинаются процессы кодирования информации и одновременно ее анализ, т. е. выделение отдельных признаков. Кодирование на рецепторном уровне обеспечивается, во-первых, высокой избирательной чувствительностью. Среди громадного множества воздействий, падающих на рецептор, только адекватные раздражители обуславливают возникновение рецепторного потенциала. И во-вторых, амплитуда рецепторного потенциала пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя. Именно в этой части афферентной системы происходит логарифмическое преобразование сигнала, т. е. переход на гораздо более экономный код, позволяющий при помощи сравнительно небольших изменений биологического сигнала передавать информацию о

диапазоне изменений на 9—12 порядков, возможных в естественных условиях.

Рецепторный потенциал является первым звеном в цепи последующих событий, развивающихся в афферентной системе. На следующем этапе передачи возбуждения, а это и означает передачу информации, возникает *нервный импульс*. И здесь мы обнаруживаем гораздо большее разнообразие способов кодирования. При этом, однако, не следует забывать, что речь идет о таких элементарных признаках раздражителя, как его интенсивность, длительность и некоторые другие. В частности, информация об интенсивности раздражителя, которая логарифмически кодируется электрическим ответом рецептора, в нервной импульсации может выражаться величиной *латентного*, или *скрытого*, *периода*, т. е. времени от момента воздействия раздражителя до появления первого импульса (от латинского *latens* — скрытый, невидимый), количеством импульсов в ответ на каждый раздражитель, изменением частоты исходной импульсации, а также структурой самого ответа.

Хотя и это выглядит достаточно сложно, на самом деле все происходит еще гораздо сложнее, потому что восходящие в центральную нервную систему афферентные пути представляют собой не просто параллельно идущие каналы связи, а являются элементами с чрезвычайно сложным взаимодействием. В результате этого взаимодействия в каждом звене анализатора один и тот же признак закодирован по-разному. Естественно, возникает вопрос: а что дает такое взаимодействие, какая в этом биологическая целесообразность? А дело заключается в том, что анализаторы человека обеспечивают не просто ощущение элементарных воздействий света, звука, давления и т. п., они обеспечивают *опознавание образа* реального предмета внешнего мира. Такие реальные предметы и явления, естественно, обладают весьма большим количеством раздражителей, которые падают одновременно или в определенной последовательности не только на совокупность рецепторов одной сенсорной системы, но даже и на различные афферентные системы. Нейрофизиологической основой такого взаимодействия в пределах одного анализатора является принцип *рецептивных полей* и *нейронов-детекторов*.

Рецептивное поле представляет собой совокупность рецепторов, замыкающихся на один нейрон того или иного порядка афферентной системы. Однако даже одиночное

рецептивное поле по своей структуре неоднородно. Принято различать его центр и периферию, которые по-разному реагируют на воздействующий стимул. Как правило, центральная часть отвечает на включение раздражителя (так называемая «оп-реакция»), а периферические — на выключение («off-реакция»). Строение и свойства рецептивных полей в пределах одной сенсорной системы весьма разнообразны, что соответственно повышает информационную емкость наших анализаторов, т. е. увеличивается количество пропускаемой информации. К этому еще необходимо добавить, что элементы в пределах одного поля также взаимодействуют между собой, в конечном итоге усиливая или ослабляя выходной сигнал.

Но если бы наши сенсорные системы были способны только односложно реагировать на начало или конец действия раздражителя, то в таких условиях практически невозможно было бы восприятие признаков и опознание образов (что и представляет собой конечную цель работы анализаторов). Оказывается, что в сложных нейронных структурах, проецирующихся на рецепторную периферию, имеются весьма своеобразные элементы, которые обладают врожденной способностью реагировать только на один какой-либо признак, выделяя его из множества других. Этот признак, конечно, по своей структуре гораздо более сложен, чем элементарный раздражитель, падающий на одиночный рецептор. Такие нейроны были названы детекторами. В настоящее время имеются основания говорить не только о врожденных детекторах, но и о приобретенных в процессе индивидуальной жизнедеятельности. Если это так, то тогда значительно легче объяснить механизм узнавания предметов на основании принципа детектирования.

**Общие свойства анализаторов.** Мы отметили, что в строении анализаторов много общего, принципиально они устроены однотипно. Это позволяет нам предполагать, что имеются и такие свойства, которые присущи всем органам чувств. И наше предположение достаточно обосновано. Действительно, можно выделить ряд общих, как их называют, *психофизиологических* или *психофизических* свойств анализаторов. Что же это за свойства?

1. Чрезвычайно высокая чувствительность к адекватным раздражителям. Как уже отмечалось, эта чувствительность близка к теоретическому пределу, и по существу такой уровень чувствительности в технике во многих

случаях пока еще недостижим. Можно было бы даже сказать, что если бы чувствительность наших органов чувств вдруг оказалась на порядок выше, то это бы только затруднило нашу жизнь. В этом случае мы бы в буквальном смысле слышали, как растут растения, как бежит кровь по сосудам, броуновское движение молекул и т. п.

Количественной мерой чувствительности является *пороговая интенсивность*, т. е. наименьшая интенсивность раздражителя, воздействие которого дает ощущение. Чем ниже пороговая интенсивность, или, как часто говорят просто, порог, тем выше чувствительность, и наоборот.

2. Все анализаторы обладают дифференциальной, или различительной, или контрастной, чувствительностью, т. е. обладают способностью устанавливать различие по интенсивности между раздражителями. Эта функция анализатора определяется наименьшей величиной (называемой разностным или дифференциальным порогом), на которую следует изменить силу раздражителя, чтобы вызвать едва заметное, минимальное изменение ощущения.

Данное положение впервые было введено немецким физиологом Э. Вебером в середине прошлого века и подвергнуто математическому анализу немецким физиком Г. Фехнером (1860), который показал, что интенсивность наших ощущений пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя. Данное положение вошло в физиологию как основной психофизический закон Вебера — Фехнера. Вспомним, что процесс логарифмирования сигнала осуществляется уже на рецепторном уровне и, как видите, сохраняется для анализатора в целом.

Однако впоследствии было показано, что чаще имеет место степенная, а иногда и иного рода зависимость. Однако для нас сейчас самое главное, что необходимо отметить, — это наличие строгого количественного взаимоотношения между интенсивностью ощущения и интенсивностью раздражителя.

3. Характерным для анализаторов является их свойство приспосабливать уровень своей чувствительности к интенсивности раздражителя. Это свойство получило название *адаптации*. В общем виде в процессе адаптации при высоких интенсивностях воздействующих раздражителей чувствительность понижается и, наоборот, при низких повышается. В нашей жизни примеров тому очень много. Вспомните, если вы опоздали к началу киносеанса, то, войдя в зрительный зал, сначала вы ничего не видите.

Но проходит несколько минут и начинают хорошо различаться и зрители, и кресла, и вы без труда находите свободное место. Но вот вы выходите в ярко освещенное помещение и снова ничего не видите — вы «ослеплены», но эта слепота очень быстро проходит. Таким образом, благодаря адаптации поддерживается относительная стабильность интенсивности наших ощущений независимо от интенсивности воздействующих раздражителей.

Однако внимательный читатель сразу возразит, что здесь явное противоречие закону Вебера — Фехнера! Нет, никакого противоречия нет. Основной психофизический закон предполагает оценку наших ощущений на стабильном уровне адаптации. Когда же чувствительность меняет свой уровень, то, как это очевидно из разобранных примера, меняется и соотношение между интенсивностью ощущения и интенсивностью раздражителя.

Интересно заметить, что адаптации подвержены и отдельные элементы сенсорных систем, в частности рецепторы. Но в них она протекает совершенно иначе. Адаптация рецепторов чаще всего выражается в том, что они реагируют или на начало действия раздражителя, или на его прекращение, или на изменение интенсивности. Даже при таком остром ощущении, как боль! Наверное, многим приходилось получать уколы при введении лекарств. Хорошо известно, что боль, и довольно резкая, ощущается в момент введения иглы, но когда она введена и остается неподвижной, — боль исчезает. Однако стоит только пошевелить иглу, как снова ощущается резкая боль.

Процессы адаптации происходят и в нервных элементах сенсорных систем. Механизм ее довольно сложен, но сущность сводится к настройке, обеспечивающей оптимальное восприятие сигнала.

4. Анализаторам присуща тренируемость. Это свойство заключается как в повышении чувствительности, так и в ускорении адаптационных процессов под влиянием самой сенсорной деятельности. В повседневной жизни и в литературе мы можем найти достаточно много примеров, когда ощущения человека, как говорят, «обостряются». Именно в этом смысле употребляют выражения «чуткие пальцы пианиста», «наметанный глаз охотника», «тонкий слух музыканта» и многие другие. Все эти примеры говорят об упражняемости, тренируемости наших органов чувств, что дает иногда весьма значительное повышение чувствительности, обеспечивая тем самым более совершенное

реагирование на раздражители внешней и внутренней среды.

5. Очень своеобразным свойством анализаторов является их способность некоторое время сохранять ощущение после прекращения действия раздражителя. Такая «инерция» ощущений обозначается как *последствие*, или *последовательные образы*. Очевидно, каждый человек без всякого труда может вспомнить и не только вспомнить, но и немедленно проверить это явление. Действительно, стоит нам посмотреть на яркую электрическую лампочку и затем закрыть глаза, как мы сможем убедиться в наличии такой инертности зрения. На примере зрения это выражено особенно ярко, но практически у всех анализаторов имеется это свойство.

Естествен вопрос — а не извращает ли последовательный образ наши представления о реальном внешнем мире? Можно ли в таком случае «доверять» нашим ощущениям? Вполне! Более того, следовые процессы в анализаторах абсолютно необходимы для восприятия и опознания образов. В частности, если человеку только на сотые доли секунды предъявить какую-либо достаточно хорошо освещенную и не очень сложную картинку, то, несмотря на столь кратковременную экспозицию, исследуемый вполне правильно опишет это изображение. Но если теперь вслед за первым предъявлением сразу же дать второе в виде какого-либо неоформленного образа, то второе изображение «сотрет» первое, и человек уже не сможет опознать показанный ему первый тест.

Длительность последовательного образа очень сильно зависит от интенсивности раздражителя, и в некоторых крайних случаях будет даже ограничивать возможности анализатора, например, по восприятию прерывистых стимулов или при необходимости срочно перейти к восприятию раздражителей слабой интенсивности.

6. Анализаторы в условиях нормального функционирования находятся в постоянном взаимодействии. И такое взаимодействие вполне «рационально», биологически оправдано. Проявляется оно в том, что раздражитель, падающий на какую-либо одну афферентную систему, вызывает изменения функционального состояния не только этой афферентной системы, но и других. Обратите внимание, что подавляющее большинство предметов и явлений внешнего мира представляет собой очень богатую гамму

весьма разнообразных раздражителей, воспринимаемых различными органами чувств.

Весьма своеобразным проявлением взаимодействия является викарирование (от латинского *vicarius* — заменяющий) органов чувств, или их взаимозаменяемость. Сразу же надо оговориться, что такое замещение в прямом смысле этого слова никогда не бывает и не может быть полным. Например, слепой человек не может увидеть едущий автомобиль, но, воспринимая звук его двигателя, вибрацию почвы, запах выхлопных газов и некоторые другие признаки, он безошибочно опознает его. Именно за счет этой замечательной способности к викарированию люди, лишённые некоторых, иногда даже нескольких анализаторов, живут полноценной жизнью, воспринимая окружающий нас мир во всем многообразии его проявлений.

Таким образом, нами рассмотрены свойства анализаторов, при помощи которых специфическая энергия адекватного раздражителя трансформируется в процесс нервного возбуждения. Распространение этого возбуждения до высших уровней центральной нервной системы приводит к формированию ощущения. Было показано, что характер ощущения детерминирован объективными качествами раздражителя. Благодаря данным свойствам анализатор из громадного множества самых разнообразных явлений внешнего мира или внутренней среды выделяет и воспринимает только те изменения, которые являются для него адекватными. Он обладает механизмами, позволяющими оценить интенсивность этого раздражителя, его длительность, локализацию (местоположение) в пространстве, частоту следования или модуляции, сравнить его с аналогичными воздействиями.

Однако это аналитические процессы, и если бы все заканчивалось только ими, то окружающий нас мир представлялся бы нам не в виде образов, предметов, событий, явлений, а в виде какой-то какофонии звуков, мельканий, обонятельных и вкусовых ощущений и т. д., что, кстати, и бывает иногда при некоторых видах очень серьезных психических заболеваний. Следовательно, существуют еще механизмы синтеза, которые, интегрируя эти элементарные процессы, приводят к формированию образа и опознанию его. Очень существенно, что процессы анализа и синтеза находятся в тесном единстве и постоянном взаимодействии.

Как уже упоминалось, начальным этапом такого

синтеза является принцип детектирования, т. е. функционирование таких нервно-рецепторных комплексов, для которых адекватным воздействием по существу является уже достаточно сложный набор элементарных раздражителей, обозначаемый как признак. Было отмечено, что это врожденная способность нервных образований. Можно в принципе считать, что, чем выше уровень афферентной системы, тем больше становится сложность выделяемых признаков. И вместе с тем на высших уровнях сенсорной системы функционируют элементы, которые интегрируют информацию, получаемую от различных детекторов, и «сравнивают» ее по нескольким признакам с хранящимися в памяти эталонами.

Таким образом, заключительный этап афферентного синтеза представляет собой выработанный в процессе индивидуальной жизнедеятельности механизм. Если представить, что человек никогда в жизни не видел самолета, не читал и не слышал о нем, то, увидев его впервые и, безусловно, получив всю афферентную информацию о нем, он не опознает его. В процессе естественного развития человека идет интенсивное накопление сенсорного опыта, сенсорное обучение, которое является основой для его последующей сенсорной деятельности.

Итак, мы ознакомились с общими принципами строения и функционирования наших органов чувств, а теперь перейдем к рассмотрению конкретных вопросов деятельности анализаторов.



### III. СВЕТ. ГЛАЗ. ЗРЕНИЕ

С самых древних времен свет очаровывал человека и в то же время представлялся ему загадкой. Трудно переоценить значение в жизни человека ощущений, связанных со зрением. Сравнительно несложные расчеты показывают, что более 90 % информации о внешнем мире мы получаем через зрительный анализатор. По неперечислимому многообразию деталей и оттенков, по своей красочности и полноте зрительные ощущения несравненно богаче всех других.

Единственный ли это способ получать информацию о внешнем мире? Конечно, нет! Всем хорошо известно, сколь важны для человека слуховые ощущения, существенное значение принадлежит и другим видам чувствительности: кожной, обонятельной, вестибулярной и др. Вместе с тем утрата зрения очень затрудняет жизнь человека, делает ее порой невозможной без помощи окружающих. В многообразии представителей животного мира можно без труда найти таких, у которых основными каналами связи с внешним миром являются другие афферентные системы: органы боковой линии у рыб, эхолокация у летучих мышей, хеморецепция у насекомых и др. Однако в процессе эволюции человека факторы, связанные со зрительными ощущениями, оказались биологически наиболее важными, что и обусловило совершенствование фоторецепции, т. е. способности к восприятию световых раздражителей. В свою очередь высокая степень развития зрительной системы способствовала совершенствованию и высших нервных функций.

**Зрительный анализатор — сложноорганизованная система.** Когда говорят о зрительной системе, зрительном анализаторе, понимают достаточно большую совокупность образований, выполняющих функции построения светового изображения на светочувствительных элементах, трансформацию энергии электромагнитного излучения в нервное возбуждение, кодирование и перекодирование информации о зрительном образе и его опознание. Такое многообразие и сложность функций осуществляется благодаря работе удивительнейших по своим свойствам отдельных структур анализатора. Иногда это такие свойства, которые не могут быть воспроизведены даже самыми совершенными техническими устройствами.

На рисунке 2 показана в общих чертах схема строения зрительного анализатора человека. Благодаря свойствам светопреломляющего аппарата глаза изображение рассматриваемого предмета фокусируется на сетчатую оболочку, содержащую светочувствительные рецепторные элементы — специализированные клетки, палочки и колбочки. В этих структурах происходит трансформация специфической энергии внешнего раздражителя, т. е. электромагнитного излучения, в процесс нервного возбуждения, распространяющегося к зрительным центрам. Этот путь не прост. Да и сама сетчатая оболочка — структура очень сложная, но об этом немного позже.

Волокна зрительного нерва в полости черепа делятся примерно поровну, и одна часть переходит на противоположную сторону. А далее их путь аналогичен — они проходят через структуры головного мозга, претерпевая многочисленные переключения. Это происходит главным образом в среднем (четверохолмие) и промежуточном (наружное коленчатое тело) мозге, достигая в конечном итоге

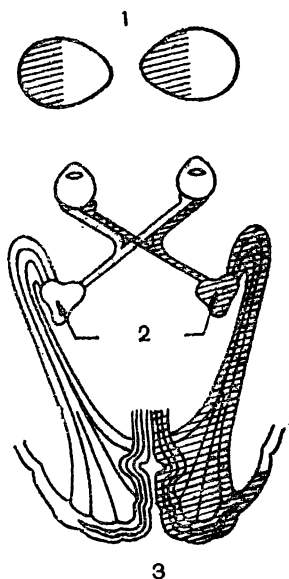


Рис. 2. Схема строения зрительного анализатора: 1 — поля зрения; 2 — наружные коленчатые тела; 3 — зрительная кора.

затылочной области коры, где расположены высшие зрительные центры.

Для обеспечения работы нервных аппаратов зрительного анализатора прежде всего необходимо создать изображение рассматриваемого предмета на световоспринимающем слое, слое рецепторов. Органом, который обеспечивает фокусирование изображения, является глаз. Это настолько своеобразный орган, что до сих пор не перестает удивлять исследователей своими исключительными свойствами. Даже в настоящее время не могут быть созданы технические системы, в полной мере моделирующие только его оптические свойства, не говоря уже о других его возможностях.

Строение глаза схематически представлено на рисунке 3. Подобно тому как в фотоаппарате получается изобра-

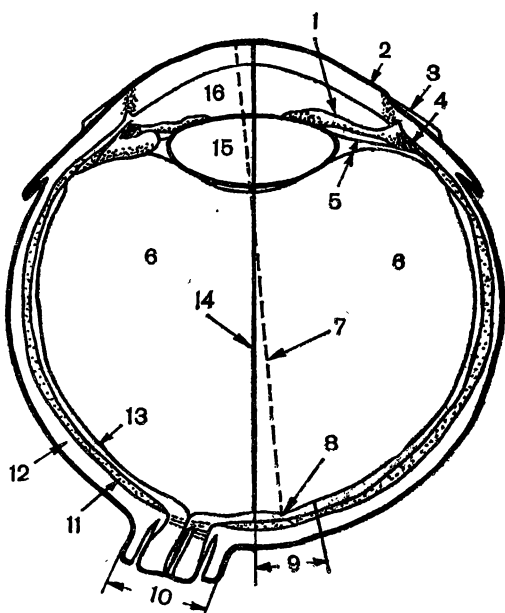


Рис. 3. Строение глаза:

1 — радужная оболочка; 2 — роговица; 3 — конъюнктива; 4 — ресничная мышца; 5 — цинновы связки; 6 — стекловидное тело; 7 — зрительная ось; 8 — центральная ямка; 9 — желтое пятно; 10 — зрительный нерв; 11 — сосудистая оболочка; 12 — склера; 13 — сетчатка; 14 — оптическая ось; 15 — хрусталик; 16 — передняя камера.

жение на светочувствительной пленке, в глазу на так называемой сетчатой оболочке формируются изображения рассматриваемых предметов. Однако попадающие в глаз световые лучи, прежде чем они достигнут сетчатки, проходят через несколько преломляющих поверхностей: переднюю и заднюю поверхности роговой оболочки, влагу передней камеры, хрусталик и стекловидное тело.

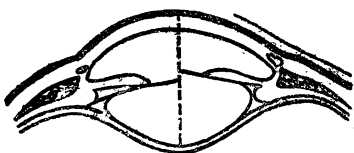


Рис. 4. Механизм аккомодации.

Левая половина рисунка изображает хрусталик при рассматривании удаленного предмета, правая — при рассматривании близкого предмета, при этом увеличивается выпуклость хрусталика.

Для ясного видения предмета необходимо, чтобы лучи от всех его точек попадали на поверхность сетчатки, т. е. были здесь сфокусированы. Совершенно очевидно, что для обеспечения такого фокусирования при рассматривании разноудаленных предметов глаз должен обладать способностью менять свою преломляющую силу. Таким механизмом является аккомодация (рис. 4). Сущность этого свойства заключается в том, что кривизна хрусталика может меняться в зависимости от степени растяжения капсулы, в которую он заключен. Связки между краем этой капсулы и так называемым ресничным телом находятся в натянутом состоянии, и их натяжение передается капсуле, сжимающей и уплотняющей хрусталик. При сокращении ресничных мышц тяга связок ослабевает и хрусталик в силу своей эластичности принимает более выпуклую форму.

Способность к аккомодации обычно характеризуют объемом аккомодации, отражающим диапазон расстояний, на которых человек может фокусировать на сетчатке изображение предметов. У глаза молодого человека с нормальным зрением этот диапазон простирается от 10 см (ближняя точка ясного видения) до бесконечности (дальняя точка ясного видения). Однако с возрастом эластичность хрусталика уменьшается, вследствие чего ближняя точка отодвигается. Это состояние называется старческой дальнозоркостью, что не совсем правильно, или пресбиопией.

Для того чтобы вернуть человеку способность читать на удобных для него дистанциях (а таковой принято считать расстояние около 30 см), люди начинают пользоваться очками с собирательными стеклами. В возрасте 42—45 лет это совершенно нормальное явление. Стремление

избежать ношения очков и связанное с этим перенапряжение аккомодационного аппарата влекут за собой еще более существенное ухудшение зрения.

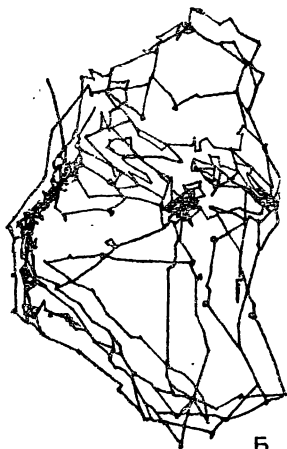
Вместе с тем ношение очков становится необходимым не только с возрастом, но и в результате врожденных особенностей оптической системы глаза (так называемых аномалий рефракции). Среди них различают близорукость, или миопию, и дальнозоркость, или гиперметропию. При близорукости параллельные лучи фокусируются перед сетчаткой, поэтому такие люди четко видят только близко расположенные предметы, а для рассматривания отдаленных объектов (т. е. в быту практически постоянно) должны пользоваться очками с рассеивающими стеклами, уменьшающими преломляющую силу оптической системы глаза и тем самым отодвигающими фокус к сетчатке. При дальнозоркости параллельный пучок света фокусируется позади сетчатки, вследствие этого лица с такой особенностью зрения даже при помощи максимального аккомодационного усилия не могут сфокусировать на сетчатке изображения близко расположенных объектов. Удастся четко видеть лишь удаленные объекты, да и то при известном напряжении. Двойковыпуклые очки восстанавливают нормальные взаимоотношения.

Вместе с тем далеко не безразлично, на какой участок сетчатки попадает изображение. Сетчатая оболочка по своей структуре, как это будет показано немного ниже, весьма неоднородна, и местом, приспособленным для рассматривания деталей предмета, является ее центральная часть (центральная ямка). Вот поэтому человек произвольно и автоматически поворачивает свои глаза так, чтобы изображение рассматриваемого предмета или его деталей попадало именно на этот участок сетчатки. Аппаратом, обеспечивающим эту функцию фиксации изображения, являются глазные мышцы. Расположены они и функционируют таким образом, что обеспечивают поворот глазного яблока в любом направлении и позволяют помещать на центральной ямке изображение любого предмета, находящегося или появляющегося в поле зрения.

При помощи специального приспособления были зарегистрированы движения глазного яблока при рассматривании различных предметов. Данные одного из таких опытов представлены на рисунке 5. Не правда ли, несколько неожиданная получилась картина? Глаз «обводит» контуры



А



Б

Рис. 5. Запись движений глаза (Б) при рассматривании в течение двух минут фотографии скульптурного портрета египетской царицы Нефертити (А).

объекта, задерживаясь и возвращаясь неоднократно к наиболее тонким его деталям.

**Светощущение.** Ощущение света — это субъективный образ, возникающий в результате воздействия электромагнитных волн длиной от 390 до 720 нм на рецепторные структуры зрительного анализатора. Из этого следует, что первым этапом в формировании светощущения является трансформация энергии раздражителя в процесс нервного возбуждения. Это и происходит в сетчатой оболочке глаза, строение которой в схематическом виде представлено на рисунке 6.

Непосредственно светочувствительными элементами являются зрительные рецепторы — палочки и колбочки. Первые из них обладают высокой чувствительностью, но не способны к цветовосприятию, они обеспечивают зрение в сумерках. Вторые характеризуются низкой чувствительностью, работают только при высокой освещенности, но обеспечивают цветовое зрение. Возникшее в рецепторах возбуждение через биполярные и ганглиозные клетки по волокнам зрительного тракта попадает в центральную нервную систему. Горизонтальные и амакриновые клетки меняют взаимодействие между элементами сетчатки и обеспечивают тем самым ее перестройку в зависимости от

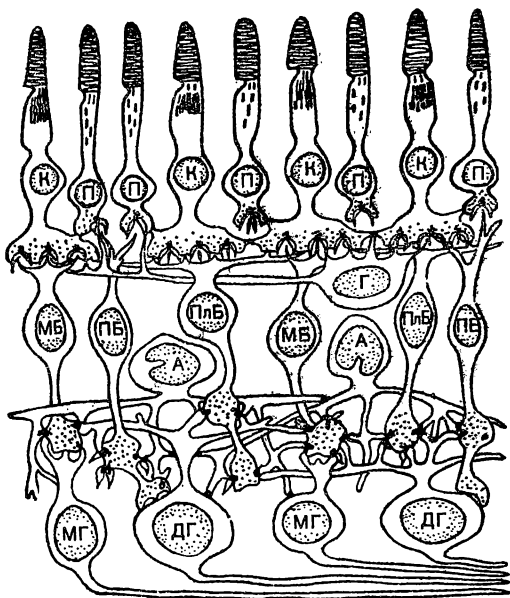


Рис. 6. Схема строения сетчатки:

К — колбочки; П — палочки; МБ — миниатюрные биполярные клетки (связаны только с колбочками); ПлБ — плоские биполярные клетки (связаны и с колбочками, и с палочками); Г — горизонтальная клетка; А — амакриновые клетки; МГ — миниатюрные (колбочковые) ганглиозные клетки; ДГ — диффузные ганглиозные клетки.

характера падающих раздражителей. Кроме того, имеется слой пигментных клеток с отростками, которые заходят между рецепторами, что обеспечивает более благоприятные условия для работы светочувствительных элементов.

Колбочковая и палочковая световоспринимающие системы, помимо различий по абсолютной чувствительности, имеют неодинаковую и спектральную чувствительность. Колбочковое зрение наиболее чувствительно к излучению с длиной волны 554 нм, а палочковое — 513 нм. Это, в частности, проявляется в изменении соотношения по яркости в дневное и сумеречное или ночное время. Например, днем в саду самыми яркими кажутся плоды, имеющие желтую, оранжевую или красноватую окраску, ночью же зеленые. Днем в поле выделяются яркие маки, по сравнению с ко-

торыми голубые васильки кажутся неприметными. После захода солнца в сумерках картина меняется.

Трансформация энергии электромагнитного излучения в процесс нервного возбуждения происходит в рецепторах. В наружных сегментах палочек имеется особый фоточувствительный пигмент родопсин, а во внутреннем — ядро и митохондрии, обеспечивающие энергетические процессы в рецепторной клетке. При действии электромагнитных волн видимой части спектра происходит расщепление молекулы родопсина, что обуславливает появление рецепторного потенциала, который запускает цепь взаимосвязанных процессов, приводящих в конечном итоге к возникновению в ганглиозных клетках распространяющегося нервного возбуждения.

В темноте же идет восстановление, регенерация родопсина. В этих реакциях непосредственным участником является витамин А. Он в организме синтезироваться не может, мы его получаем только с пищей. Если концентрация данного вещества снижается, то зрение существенно ухудшается. Особенно это становится заметным в условиях пониженной освещенности — в сумерках, ночью. Такое состояние получило название гемералопии, или в просторечье «куриной слепоты».

Чувствительность рецепторных элементов сетчатки приближается к теоретически возможному максимуму. Для возникновения зрительного ощущения достаточно, чтобы палочкой был поглощен 1—2 кванта света. Всегда ли нужна такая чрезвычайно высокая чувствительность? Конечно, нет. Ведь мы даже чаще бываем в хорошо освещенных помещениях, и, следовательно, рецепторы подвержены интенсивнейшей бомбардировке. Однако орган зрения позволяет нам видеть как в самых густых сумерках, так и при ярком солнечном освещении. Возможным это становится потому, что глаз обладает замечательным свойством — менять свою светочувствительность в зависимости от условий освещенности. Это свойство получило название адаптации.

Освещенность в естественных условиях меняется на 6—9 порядков, примерно в таком же диапазоне соответственно меняется и световая чувствительность. Это обеспечивается несколькими механизмами. К ним относится изменение диаметра зрачка, который выполняет функцию, аналогичную диафрагме фотоаппарата. Как в зависимости от условий освещенности фотограф пользуется пленка-



ми различной чувствительности, так и глаз имеет две такие «пленки»: одна предназначена для работы в сумерках — палочковая, вторая для высокой освещенности — колбочковая. Но в отличие от всех технических систем чувствительность каждой из них способна также меняться посредством изменения концентрации фотопигментов, благодаря функционированию пигментного эпителия. В результате перестройки взаимодействия между элементами сетчатки меняется чувствительность и зрительных центров. В целом это и позволяет очень тонко приспосабливать наше зрение к условиям освещенности.

Удивительнейшую особенность в работе светоприемников глаза заметил советский исследователь А. Л. Ярбус. Он создал оригинальное приспособление в виде располагаемой на роговице присоски с миниатюрной лампочкой. Естественно, эта присоска двигалась вместе с глазным яблоком, и потому изображение источника света всегда падало на одно и то же место сетчатки, на одни и те же рецепторы. При этом было замечено, что у человека ощущение света возникает только в момент включения и выключения лампочки, но, когда она горит постоянно, человек не видит ее. Весьма своеобразный факт! Ведь мы привыкли непрерывно видеть предмет при его рассмотрении. Оказалось, что рецепторы сетчатки работают по on-, off-типу, т. е. реагируют только на включение или выключение светового раздражителя. Непрерывность же наших ощущений связана с тем, что глаз постоянно совершает микродвижения, благодаря которым изображения перемещаются по сетчатке, «включая» и «выключая» при этом всякий раз новые рецепторы.

Чувствительность различных участков сетчатки к свету неодинакова. Установлено, что область центральной ямки, где палочки почти совсем отсутствуют, а находятся только колбочки, имеет самую низкую абсолютную чувствительность. Участки сетчатки, отдаленные от центра на  $10-12^\circ$ , обладают самой высокой плотностью палочковых рецепторных элементов на единицу площади; это место отличается самой высокой световой чувствительностью, которая далее к периферии постепенно снижается. Эта особенность зрения наглядно проявляется при рассмотрении слабо светящихся предметов в темноте (например, циферблат часов). Если смотреть на них прямо, то они не видны, если же под углом  $10-12^\circ$ , то заметны достаточно отчетливо.

На сетчатке имеется еще одно своеобразное место, которое совершенно лишено рецепторов и потому к свету нечувствительно. Это так называемое слепое пятно, или диск зрительного нерва; здесь отростки ганглиозных клеток группируются в зрительный нерв. Слепое пятно в поле зрения расположено снару- жи под углом в среднем около  $15^\circ$  и имеет угловые размеры около  $1^\circ$ . При обычной зри- тельной работе человек его не замечает, но в палиции та- кого участка легко убедиться при помощи широко извест- ного опыта Мариотта (рис. 7).



Рис. 7. Опыт Мариотта.

Закройте левый глаз, пра- вым непрерывно смотрите на крест. При определенном рас- стоянии рисунка от глаза (подберите его, приближая и отодвигая рисунок) белый круг исчезнет, так как его изобра- жение будет проецироваться на слепое пятно сетчатки.

**Цветощущение.** Окружающий нас мир трудно пере- числить в разнообразии цветовых оттенков, а между тем цвет — это также отражение в наших ощущениях такой физической характеристики, как спектральный состав из- лучения. Природа цвета впервые была объяснена англий- ским физиком И. Ньютоном. Именно ему впервые удалось, поместив призму перед отверстием в затемненной комнате, разложить «белый» свет на его составные семь частей. По- чему семь? Совершенно случайно. Под влиянием некоторых бытовых традиций он выбрал это число, хотя с таким же основанием можно было бы выделить 10, 15 и т. д.

Итак, цветоощущение есть субъективный образ спектра излучения, т. е. характеристики его частотных составля- ющих. Но как возникает цветоощущение? Этот вопрос вол- новал многие поколения исследователей, и история его особенно богата широко известными именами. Наш вели- кий соотечественник М. В. Ломоносов, немецкий поэт И. В. Гёте, английский физиолог Т. Юнг, немецкие физио- логи И. Мюллер, Г. Гельмгольц, Э. Геринг... И это очень неполный перечень. Однако, несмотря на гениальные до- гадки, лишь сравнительно недавно нам стал понятен меха- низм цветоощущения.

Рецепторами, обеспечивающими цветовосприятие, явля- ются колбочки. В сетчатке глаза человека выделено три типа колбочек, каждый из которых содержит специфиче- ский пигмент, отличающийся характерной чувстви- тельностью. Это эритролаб, имеющий максимум чувстви- тель-

ности в длинноволновой части спектра (красночувствительный); хлоролаб — в средней (зеленочувствительный) и цианолаб — в коротковолновой (синечувствительный).

Таким образом, глаз человека имеет три цветоприемника (как, кстати, в цветном телевизоре), но каждый из них, являясь наиболее чувствительным к определенной длине волны, все-таки воспринимает излучение и других участков спектра. Вследствие этого при попадании на сетчатку лучей того или иного спектрального состава возникает строго определенное по интенсивности возбуждение каждого из цветоприемников, которое достигает зрительных центров и находит соответствующее субъективное выражение. Вот поэтому при наличии только трех цветоприемников возможно несравнимо большее количество субъективных характеристик (человек различает около 150 цветовых тонов).

А если у разных людей будут колбочки с неодинаковой спектральной чувствительностью? Или будет отсутствовать какой-либо вид цветовоспринимающих рецепторов? Поймут ли такие люди друг друга при обозначении и опознании цветов? Опыт показывает, что далеко не всегда. Обнаружены особенности цветовосприятия у различных рас. Широко известны отклонения в цветовом зрении у некоторых людей. Их часто называют дальтониками, что не совсем верно. Термин «дальтонизм» связан с именем известного английского физика и химика Д. Дальтона (1766—1844), страдавшего слепотой на красный и зеленый цвет. Правильнее говорить о выпадении или ослаблении одного или нескольких цветоприемников. Когда они сохранены полностью, то это обозначается как трихроматизм, т. е. трехцветное зрение; когда какой-либо выпадает и остается только два — дихроматизм (двухцветное зрение); соответственно при монохроматизме (одноцветное зрение) функционирует только один цветоприемник; в случае полной ахроматизации (бесцветное зрение) колбочковый аппарат полностью не функционирует. Естественно, в каждой группе имеется подразделение в зависимости от степени ослабления того или иного цветоприемника.

Если палочки имеются практически на всех участках сетчатки (за исключением центральной ямки), хотя распределены они неравномерно, то цветовоспринимающие рецепторы — колбочки — занимают более ограниченное пространство. Поэтому наше периферическое зрение бесцветно.

Как уже отмечалось ранее, колбочки характеризуются низкой чувствительностью, поэтому в условиях пониженной освещенности, в сумерках, ночью, наше зрение становится бесцветным. Отсюда поговорка: «В темноте все кошки серые».

**Острота зрения.** Достаточно хорошо понятно, что только свето- и цветоощущения явно недостаточно для восприятия того или иного зрительного образа. Ведь всякий предмет можно представить как состоящий из определенного количества элементов, деталей, различающихся по форме и светотехническим характеристикам. Следовательно, для опознания этого предмета необходимо, чтобы орган зрения обеспечивал восприятие каждой из этих деталей или, говоря другими словами, чтобы ощущения их не сливались. Эту способность глаза обозначили как остроту зрения, что означает тот наименьший угол, под которым две рассматриваемые точки различаются как отдельные. Таким образом, есть некоторая аналогия между остротой зрения и разрешающей способностью оптической системы, хотя полностью отождествлять эти понятия нельзя.

Количественно острота зрения выражается величиной, обратной этому минимальному углу в минутах. Так, если у человека две точки не сливаются под углом, равным  $1'$ , то говорят, что у него острота зрения  $1,0$ ; если же этот угол равен  $10'$  или  $0,5'$ , то острота зрения равна соответственно  $0,1$  или  $2,0$ .

Почему же у людей бывают разные значения этого показателя? Можно указать на два основных фактора, определяющих величину остроты зрения. Во-первых, это состояние светопреломляющих сред глаза. Естественно, что если они окажутся неспособными сфокусировать изображение на сетчатке или изменены размеры глазного яблока, то это приведет к «размытости» деталей и ухудшению их различения. И во-вторых, это состояние сетчатки, точнее диаметр ее рецептивных полей. Для того чтобы две точки в нашем ощущении не сливались в одну, необходимо, чтобы изображения от них падали на различные рецептивные поля и даже разделенные еще одним возбужденным полем. В этом случае сигналы о возбуждении пойдут по различным каналам и будут восприняты разными нейронами соответствующих центров, что и является непременным условием различения.

Вот поэтому, когда по тем или иным причинам меняется величина рецептивных полей, меняется и острота

зрения. Наименьшие по размерам рецептивные поля находятся в области центральной ямки сетчатки, которая и является участком, обеспечивающим самую высокую разрешающую способность. К периферии размеры рецептивных полей резко возрастают, а острота зрения соответственно уменьшается. Данным обстоятельством и объясняется необходимость фиксирования изображения в области центральной ямки, только при этом возможно различение мелких деталей предмета. В сумерках в сетчатке глаза происходят изменения, приводящие к возрастанию площади рецептивных полей, что и обуславливает снижение остроты зрения.

**Восприятие глубины пространства.** Мы хорошо знаем, что окружающие нас предметы трехмерны, поэтому, естественно, возникает вопрос: как в условиях построения практически плоского оптического изображения на сетчатке у человека возникает ощущение глубины пространства?

Механизмы, которые обеспечивают это свойство наших ощущений, весьма сложны и неоднозначны при работе на разных расстояниях. На малых дистанциях (1—3—5 м и особенно ближе 1 м) основным является взаимодействие между правым и левым глазом, или, как это называют, бинокулярное зрение. В отличие от многих других парных органов человеческого организма, в том числе и парных органов чувств, левый и правый глаз не просто дополняют друг друга, расширяя тем самым поле зрения, но во взаимодействии дают новую качественную способность оценки глубины пространства.

Если сравнить поля зрения правого и левого глаза, то обращает на себя внимание, что они на значительной площади перекрывают одно другое. А если это так, то от одной точки пространства будут возникать изображения в правом и левом глазу. Но почему же при этом у нас возникает ощущение одной точки, а не двух? А теперь давайте сделаем такой опыт: глядя на какой-нибудь предмет, находящийся на расстоянии 2—4 м, пальцем руки слегка сместим глазное яблоко, при этом возникает двоение изображения. Уже из одного такого факта можно сделать вывод, что на сетчатках правого и левого глаза имеются участки, раздражение которых приводит к возникновению возбуждения в одних и тех же нейронах зрительных центров. И этот вывод очень четко подтверждается самыми сложными экспериментами. Такие точки сетчатки были названы идентичными (или соответственными) в отличие

от диспаратных точек, раздражение которых дает ощущение двоения.

Для того чтобы изображения от одних и тех же точек объекта падали на идентичные участки сетчатки, человек, глядя на тот или иной предмет, подсознательно производит сведение или разведение зрительных осей (это называют соответственно конвергенцией и дивергенцией). В процессе такого акта работает глазодвигательная мускулатура, по степени напряжения которой, а также по возникающему при этом незначительному и неощутимому двоению у человека и формируется восприятие глубины пространства.

При рассматривании предметов на близких расстояниях в оценке удаленности предмета или его деталей определенное значение имеет и механизм аккомодации. Сущность этого механизма заключается в том, что при «наводке глаза на резкость» принимают участие, как было показано выше, также определенные мышцы, по оценке степени напряжения которых у человека вырабатываются представления об удаленности предмета.

Вместе с тем каждый на основании своего индивидуального опыта хорошо знает, что при рассматривании изображений на плоскости (фотографии, рисунки, кинофильмы, экран телевизора и т. д.), т. е. когда по существу нет глубины пространства, мы достаточно хорошо воспринимаем и степень удаленности предметов. В этом случае, равно как и при наблюдении за достаточно удаленными предметами, основное значение в оценке глубины пространства принадлежит другим механизмам, которые в полной мере могут быть осуществлены и при монокулярном зрении. Здесь основную роль играют величина изображения знакомого предмета на сетчатке, заполненность пространства, соотношение между кажущимися размерами разноудаленных предметов и т. п. Таким образом, все эти признаки формируются на основании индивидуального опыта каждого человека. И если такой опыт отсутствует, то оценка удаленности предмета становится затруднительной. Вот почему Луна и Солнце нам представляются одинаково удаленными, равно как и все звезды. Поэтому при рассматривании незнакомых предметов в так называемом «пустом» пространстве оценить расстояния до них становится невозможным.

**Инерция зрения.** От момента попадания световых лучей на сетчатку до возникновения у человека ощущения

света проходит определенный промежуток времени, еще более значительный — до опознания образа. Оказывается, что такой интервал достаточно велик. Еще в начале этого века путем остроумных психофизиологических экспериментов было показано, что при раздражителях средней интенсивности (в 400 раз превышающей порог) у человека ощущение света возникает только спустя 0,1 с после его фактического действия, увеличиваясь до 0,25 с при уменьшении интенсивности раздражителя и несколько уменьшаясь при возрастании яркости.

Аналогично этому ощущение не прекращается с прекращением действия раздражителя, а сохраняется на протяжении иногда длительного промежутка времени, занимая порой несколько секунд и даже десятки секунд. Это явление получило название «последовательные образы», и оно хорошо знакомо практически каждому человеку. Если в поле вашего зрения попадает ярко горящая лампочка, молния, ярко освещенный предмет и т. п., то, отведя взгляд, вы еще некоторое время будете видеть их, хотя порой и с изменением цвета и фона. Этот феномен привлек пристальное внимание исследователей, его изучению было посвящено очень большое количество работ, однако было и немало разочарований, так как данное явление крайне трудно оценивать объективно.

Учитывая такую инерционность в возникновении и исчезновении наших ощущений, попытаемся представить временно́е взаимоотношение между субъективными процессами и фактическим действием света в условиях прерывистого его воздействия. При сравнительно редких световых импульсах ощущение успевает исчезнуть до момента следующего фотостимула. Однако очевидно, что при возрастании частоты мельканий, т. е. уменьшении межимпульсного интервала, наступает такое состояние, когда всякая последующая вспышка света подается еще на фоне ощущения, возникшего от предшествующей. В этом случае мы видим свет непрерывным, несмотря на то что объективно он мелькающий. Вот поэтому при частотах до 20—30 Гц мы различаем мелькания, а при больших — уже нет. Та минимальная частота, при которой наступает эффект «слияния» мельканий, получила название критической частоты слияния мельканий (КЧСМ).

Различные участки сетчатки обладают различной инерционностью и величиной КЧСМ. Так, наше центральное зрение более инертно по сравнению с периферическим.

В этом легко убедиться, когда вы смотрите на экран телевизора. Если ваш взгляд направлен непосредственно на экран, то вы отчетливо видите изображение, которое представляется вам постоянным. Но стоит отвести взор в сторону на  $25-45^\circ$ , как станет заметна развертка, экран начнет мелькать, детали изображения при этом вы уже рассмотреть не сможете.

На инерционности зрения основано кино. Как хорошо известно, при демонстрации фильма на экране с определенной частотой меняются изображения, однако ощущение человека при этом непрерывно. А если меняется расположение деталей в кадре (на определенные угловые размеры), то это приводит к возникновению ощущения движения этих деталей.

**Ощущение и опознание.** Итак, наши зрительные ощущения весьма разнообразны. Но они элементарны, т. е. представляют собой отражение только светотехнических характеристик объекта, но не его самого. Однако на основе этих ощущений в результате совместной деятельности большого количества афферентных каналов формируется *восприятие*, т. е. осознание взаимоотношений между свойствами объекта. Конечным же этапом является формирование *представлений*. Характерной чертой этого этапа является ведущая роль смысловой стороны восприятия, когда на первом месте находится существо объекта независимо от вариантов его формы. Последнее получило обозначение как инвариантное опознание образа.

У человека все эти процессы составляют единое целое, однако при некоторых заболеваниях ощущение не заканчивается формированием представлений. Такой больной может детально охарактеризовать отдельные свойства предмета, но опознать и назвать его не может.

Как уже упоминалось, существенная роль в деятельности зрительного анализатора принадлежит детекторам, благодаря свойствам и функционированию которых становится возможным восприятие комплексных свойств раздражителей. Естественно, возникает вопрос: так сколько же должно быть таких детекторов, чтобы охватить все многообразие оптических раздражителей внешнего мира? Оказывается, сравнительно немного. Эксперименты показывают, что на основе относительно малочисленного набора признаков нейроны более высокого порядка (т. е. расположенные в высших отделах центральной нервной системы) — ассоциативные нейроны — обеспечивают инва-





Рис. 8. Различные варианты написания буквы А.

риантное опознание предмета. Посмотрите на рисунок 8. На нем вы без труда во всех знаках опознаете букву А. Это и есть проявление инвариантности опознания, т. е. независимости от формальных признаков.

**Необычные зрительные ощущения.** Создатель классической физиологической оптики немецкий физиолог Г. Гельмгольц, внесший громадный вклад в понимание механизмов работы глаза, отмечал в «конструкции» и «техническом исполнении» этого органа много несовершенств. По его мнению, оптический прибор с дефектами, которые можно обнаружить в глазу, был бы весьма ненадежным и мало пригодным к употреблению. Мы сейчас не можем разделить точку зрения этого выдающегося исследователя, так как знаем, что некоторые «дефекты» глаза при более пристальном их изучении оказываются еще не всегда понятными нам совершенствами. И, конечно, нельзя забывать, что в наших зрительных ощущениях функционирование глаза — это только начальный этап, хотя и абсолютно необходимый, но все-таки и не единственный. Работа зрительных центров сводится не просто к восприятию изображения на сетчатке, которое, действительно, далеко не всегда совершенно, а к формированию сложного специфического взаимодействия между отдельными структурами, субъективным эквивалентом которого и являются наши ощущения. В процессе индивидуального опыта человека идет непрерывная коррекция этих ощущений, «сверка» их с реально существующим эталоном. Именно этот процесс и обеспечивает точность и совершенство нашего зрительного аппарата в целом.

Вместе с тем любой читатель может привести факты, когда наши зрительные ощущения не в полной мере соответствуют реальной действительности. Описан ряд явлений, при которых зрение «обманывает» нас, приводя иногда к курьезным ситуациям, а порой и к весьма нежелательным последствиям. Это так называемые *энтоптические*

ские явления, миражи, галло, иллюзии и некоторые другие. Рассмотрим их в общих чертах.

Под энтоптическими явлениями понимают такие зрительные ощущения, возникновение которых либо вовсе не связано с действием лучистой энергии на сетчатку, либо является следствием своеобразных условий освещения сетчатки. К первым из них относят так называемый собственный свет сетчатки. Это явление знакомо почти всем. Когда вы находитесь в практически полностью затемненном помещении, то можете отметить появление зрительных образов, чаще всего неоформленных. Описаны они впервые немецким естествоиспытателем и поэтом И. В. Гёте (1749—1832), а также чешским физиологом Я. Э. Пуркинье (1787—1869). Отмечена зависимость такого рода ощущений от индивидуальных особенностей человека. Окончательной ясности о природе собственного света сетчатки еще нет, однако имеются основания полагать, что это связано с процессами не столько в сетчатке, сколько в зрительных центрах.

К другого рода энтоптическим феноменам относятся явления, связанные с попаданием на сетчатку теней объектов, имеющих в самом глазу. Например, «летающие мушки», которые особенно отчетливо видны при ярком равномерном освещении (когда смотрят на голубое небо). Они обусловлены тенями различного рода помутнений в преломляющих средах глаза. При помощи специальных опытов можно увидеть тень от кровеносных сосудов сетчатки и даже, как полагают, от эритроцитов.

Явления иного рода по происхождению представляют собой миражи, которые послужили объектом и многочисленных описаний, и разнообразных исследований. Нередко они оказывались источником мистического страха или «всевышних знамений». Однако по своей сущности миражи — вполне реальные явления, а многие из них могут быть даже зарегистрированы объективно (например, сфотографированы). Как правило, под миражами понимают возникновение ощущений предметов, которых на самом деле нет или они находятся в другом месте. Отсюда и представление об их таинственности. Однако, как оказывается, в основе возникновения миражей лежат широко известные физические закономерности.

Одной из часто встречающихся причин возникновения миражей являются особенности атмосферной рефракции (преломления света) при соприкосновении теплого и хо-

лодного слоев воздуха. На рисунке 9 показано, как в условиях пустыни могут быть видны предметы. Над горячим песком находится нагретый воздух, выше которого расположен слой более холодного. Хотя такие условия неустойчивы, но встречаются нередко. Луч света из точки  $A$  проходит сквозь более холодный воздух непосредственно от вершины дерева к наблюдателю. В то же время луч, проходящий через границу холодного и горячего воздуха, подвергается преломлению, поэтому, когда он попадает в глаз наблюдателя, то кажется, что он исходит из точки  $A^1$ , откуда ощущение отражения от водной поверхности (так желанной жаждущими путниками пустыни). Но по мере приближения к этому зеркальному изображению оно, увы, естественно, исчезает. Аналогичные эффекты можно наблюдать в теплый, ясный день при спуске по асфальтированному шоссе. Свет от неба на некотором удалении от наблюдателя преломляется над шоссе так, что кажется отражением от водной поверхности.

Над поверхностью воды можно наблюдать противоположное явление (рис. 10). Непосредственно над водой нередко слой воздуха более холодный, чем несколько выше. И в результате отдаленный корабль на море может казаться плавающим в небе. Возможно, что легенда о Лету-чем голландце и имела в своей основе реальные факты.

Всем людям практически знакомо интересное явление в виде разноцветных колец вокруг Солнца, Луны, фонарей. Их обозначают как венцы или гало. Они связаны с физико-оптическими особенностями наблюдения. Гало являются результатом рассеяния света, возникающего при определенных условиях. Когда взвешенные в воздухе частицы весьма малы, они рассеивают свет по всем направлениям. Когда же они велики по сравнению с длиной световой волны, то от них происходит отражение, как от твердых тел или от водяных капель. Между этими двумя крайними вариантами находятся частицы определенной величины, приблизительно равной длине волны. В соответствии с законами физической оптики, если водяная капля, находящаяся в воздухе, вызывает какое-нибудь дифракционное явление, сопровождающееся разложением цветов, то неизбежно должно образоваться гало. Гало особенно отчетливы, когда капли одинакового размера. При этом отдельные гало накладываются друг на друга, и яркости их складываются. Чем меньше размеры водяных капель, тем больше радиус гало.



Рис. 9. Схема хода лучей над нагретой поверхностью.

Принципиально аналогичными по происхождению являются вертикальные «столбы» света, иногда возникающие от фонарей в зимний день. Они обусловлены специфическими условиями отражения от частичек снежной пыли.

Все рассмотренные случаи характеризуются тем, что появление необычных зрительных ощущений обусловлено вполне определенными физическими причинами и даже могут быть подтверждены способами регистрации, измерений и т. п. Совершенно иными по происхождению являются ощущения, которые чаще всего обозначают как иллюзии. Посмотрите на рисунок 11. Вы обнаружите явное расхождение между вашими ощущениями и данными самого простого объективного измерения. На фрагменте *A* сторона треугольника *dc* нам явно кажется больше стороны *ab*, хотя, взяв линейку, вы убедитесь в их равенстве. Фрагмент *B* также демонстрирует, что наше представление о неравенстве отрезков *a* и *b* является ложным. На фрагменте *B* верхняя фигура по периметру и площади кажется не равной нижней, на самом деле при наложении фигуры совместятся. Проанализируем фрагмент *Г*. На нем каждая левая фигура кажется больше каждой правой, хотя все

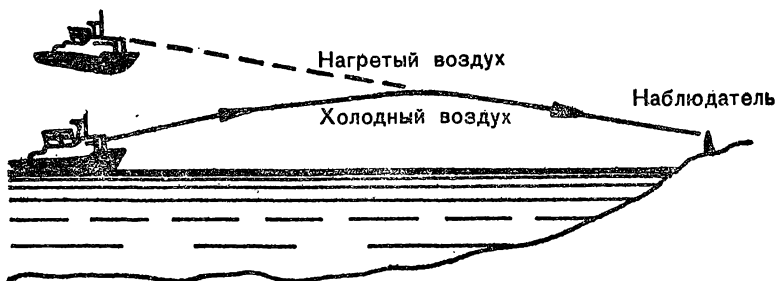


Рис. 10. Схема хода лучей над охлажденной поверхностью.

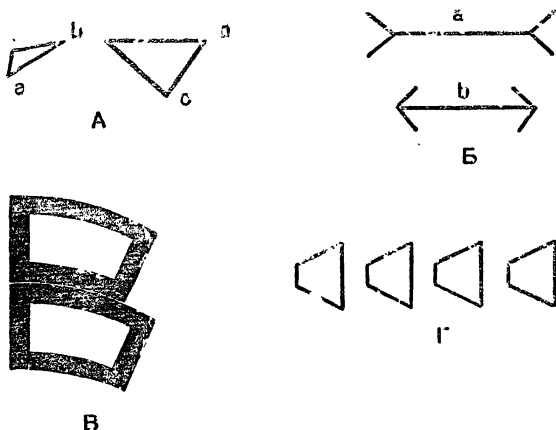


Рис. 11. Несколько примеров зрительных иллюзий.

фигуры одинаковы. Иллюзия исчезает, если на этот рисунок посмотреть с правой стороны так, чтобы взгляд скользил по плоскости чертежа.

Перечень аналогичных примеров можно продолжить. В специальной литературе их приводится очень много. Однако разобраться в причинах возникающих ошибок не так просто. Можно утверждать, что иллюзии такого рода не обусловлены какими-либо дефектами проекции изображения на сетчатке. В этом легко убедиться, если сравниваемые отрезки изолировать от окружающих их деталей. Следовательно, эти детали оказываются далеко не безразличными в формировании наших ощущений об основном объекте. Создавая фон, на котором рассматривается данный объект, они служат основанием для психологической коррекции наших ощущений. Индивидуальный опыт человека «подправляет» их до наиболее вероятных в нашей повседневной практике, хотя в некоторых частных случаях, о чем и свидетельствует рисунок, такая коррекция приводит к определенным ошибкам в наших суждениях о свойствах реальных предметов.

А теперь рассмотрим пример фигур-«перевертышей» (рис. 12 и 13). Не приходится сомневаться, что и в том и в другом случае изображение на сетчатке остается неизменным; однако мы попеременно воспринимаем то один, то другой образ. Наиболее широко известен пример такого

вида — это рисунок американского психолога Э. Дж. Боринга «Неоднозначная теща». На нем мы воспринимаем то изображение прелестной молодой девушки, то лицо ужасной старухи, причем, когда воспринимается один объект, совершенно исчезает другой. Аналогичных примеров (специально созданных рисунков) довольно много. Иногда, хотя и не часто, они встречаются и в условиях реальной действительности.

В настоящее время очень трудно дать нейрофизиологическое толкование природы данного явления. С психологической же точки зрения такое «перевертывание» есть следствие стремления нашего сознания любой зрительный образ идентифицировать с каким-либо известным нам объектом. В рассмотренных примерах таких решений оказы-



Рис. 12. Зрительное «перевертывание» этого изображения приводит к тому, что попеременно видны либо два профиля, обращенные один к другому, либо ваза.



Рис. 13. Иллюзия «неоднозначная теща».

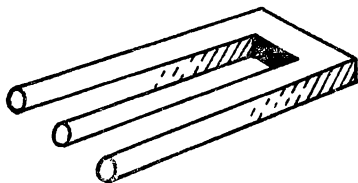
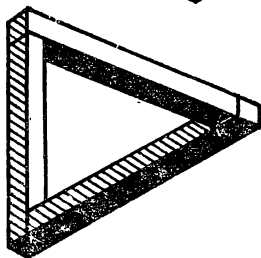
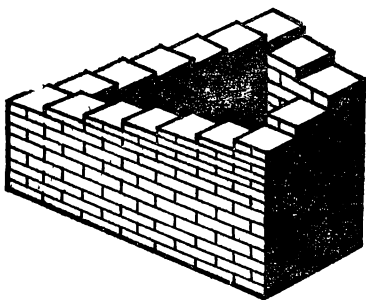


Рис. 14. Невозможные фигуры.

вается два. Однако в принципе возможно и большее количество решений такой задачи. Вспомните, как одно и то же облако может вызвать различные ассоциации. А если внимательно всмотреться в какую-нибудь совершенно случайную кляксу неправильной формы... Обратите внимание на возникающие при этом ассоциации.

Стремление к упорядочению, формированию образа может иногда приводить к «конфликтам» в нашем сознании. Вот перед вами странные, необычные, или, как их называют, невозможные, фигуры (рис. 14). Если бы наш зрительный анализатор формально воспринимал их, то это были бы заурядные образы. Но, как уже неоднократно отмечалось, наше зрительное восприятие заканчивается опознанием образа, т. е. идентификацией его с каким-либо известным из предшествующего опыта эталоном. В рассматриваемом случае такой эталон не находится, хотя отдельные «узлы» этих фигур вполне реальны.

Все эти примеры являются достаточно хорошей иллюстрацией сложности процессов в зрительной системе по восприятию реальной действительности и исключительной роли нашего индивидуального опыта в этой деятельности. Вот поэтому Ф. Энгельс в своей замечательной работе «Диалектика природы», анализируя философские взгляды Г. Гельмгольца, писал, что специальное устройство человеческого глаза не является абсолютной границей для человеческого познания; к нашему глазу присоединяются не только еще другие чувства, но и деятельность нашего мышления.

## IV. МИР ЗВУКОВ

**М**ы живем в мире звуков. Да, действительно, это целый мир, мир богатый, разнообразный, непрерывно изменяющийся. Отсутствие звука трудно представить, и еще труднее искусственно создать среду, в которой бы была абсолютная тишина.

Все хорошо знают, что звук с физической точки зрения представляет собой колебания воздуха. И сам термин «звук» уже отражает связь между характером субъективных ощущений человека и явлениями материального мира. В окружающей нас среде практически постоянно происходят разнообразные механические процессы. Движение транспорта, людей, животных; различные метеорологические явления — ветер, дождь, гром; работа различных механизмов — все это в большей или меньшей степени вызывает колебания окружающих предметов и, следовательно, колебания воздуха. Даже если в хорошо изолированной от звука комнате находится только один человек, то и он является причиной таких колебаний. Ведь при этом человек дышит, периодически меняет позу, по его сосудам пульсирует кровь. И эти столь незначительные процессы тоже вызывают соответствующие колебательные процессы.

Совершенно понятно, что очень многие из таких колебаний в окружающей среде для животных и человека имеют большое сигнальное значение, т. е. по существу несут в себе информацию о тех явлениях, которые и послужили причиной колебаний. Именно это и обусловило формирование и совершенствование в процессе эволюции специальных органов чувств, которые были бы способны улавливать такие колебания воздуха, т. е. органов слуха. Благо-



даря органу слуха, слуховому анализатору человек и ощущает как звук механические колебания окружающего его воздуха или, как это иногда бывает, колебания воды. Звуковые ощущения возможны также, если колеблющееся твердое тело находится в непосредственном контакте с головой, но это уже несколько своеобразная ситуация. Сначала же мы рассмотрим процессы восприятия звука в воздушной среде.

**Физическая природа звука.** Звук как явление физическое представляет собой колебательные движения материальных тел — твердых, газообразных или жидких. Возникновение слуховых ощущений человека связано, как правило, именно с колебаниями воздуха. Вот поэтому в безвоздушной среде передача звука становится невозможной.

Колебания воздуха, воспринимаемые органом слуха человека как звук, в естественных условиях имеют очень широкий диапазон величин давления, в связи с этим принято пользоваться логарифмической шкалой, выражая уровень интенсивности в белах (Б) или децибелах (дБ)<sup>1</sup>. Встречающиеся в природе звуки характеризуются примерно следующим соотношением:

**Интенсивности ( $\text{мкВт/м}^2$ ) и уровни (дБ) звуков**

Порог слышимости	0,000001	0
Спокойное дыхание	0,00001	10
Шум спокойного сада	0,0001	20
Перелистывание страниц газеты	0,001	30
Обычный шум в доме	0,01	40
Работа пылесоса	0,1	50
Обычный разговор	1,0	60
Радио	10,0	70
Оживленное уличное движение	100,0	80
Поезд на эстакаде	1000,0	90
Шум в вагоне метро	10000,0	100
Гром	100000,0	110
Порог неприятных (болевых) ощущений	1000000,0	120

---

<sup>1</sup>Децибел — единица уровня интенсивности, равная десятикратному десятичному логарифму отношения интенсивности одного звука к некоторой другой интенсивности звука, условно принятой за уровень отсчета и близкой к пороговой.

Колебания, имеющие интенсивности, выходящие за пределы данного диапазона, как звук уже не воспринимаются, т. е. они или совсем не слышны и не вызывают практически никаких ощущений, или воспринимаются тактильными и болевыми рецепторами и дают ощущения давления или боли, вытесняющие слуховые ощущения.

Звук как колебательный процесс характеризуется также частотой, которая по существу представляет собой описание изменений звукового давления во времени. Если эти изменения имеют правильный синусоидальный характер, то говорят о чистом тоне. В реальных условиях к такому чистому основному тону, как правило, примешивается еще некоторое количество добавочных тонов, которые придают звуку его часто неповторимую индивидуальность. Звук считается чистым, если добавочные тоны по своей акустической энергии не превышают 10 %. В жизни нам нередко приходится сталкиваться с естественными чистыми звуками. Это звуки, издаваемые птицами и зверями, это звуки, получающиеся при произнесении нами гласных.

Звуки, в которых нельзя выделить основного тона и в которых соответственно колебания звукового давления описываются более сложной, чем синусоидальная, зависимостью, обозначают как шумы. И если акустическая энергия распределена равномерно по всему спектру, то говорят о «белом» шуме.

Орган слуха человека воспринимает колебания воздуха (при достаточном уровне интенсивности) в диапазоне от 16 Гц до 20 кГц, и соответственно эти частоты в физике и технике обозначают как звуковые, а менее 16 Гц — как инфразвук и более 20 кГц — как ультразвук. Человек инфра- и ультразвуковые колебания не слышит, сколь бы большой интенсивности они ни были. Но это совсем не означает, что такие виды энергии вообще на человека не действуют. Они представляют собой типичный пример раздражителей, которые мы с вами обозначили ранее как «внерецепторные», т. е. которые не вызывают специфических ощущений. Человек же начинает ощущать их опосредованно в результате взаимодействия, и нередко неблагоприятного, с тканями нашего тела.

Звук как колебательный процесс характеризуется также длиной волны, которая количественно при неизменной частоте может меняться в зависимости от скорости распространения звука. Эта скорость в воздухе при 0 °С и нормальном атмосферном давлении составляет 332 м/с, воз-

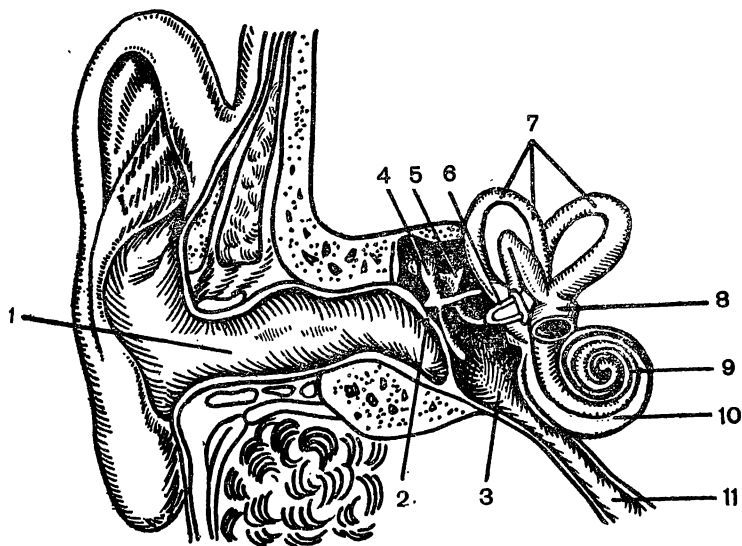


Рис. 15. Схема строения уха:

1 — наружный слуховой проход; 2 — барабанная перепонка; 3 — полость среднего уха (барабанная полость); 4 — молоточек; 5 — наковальня, 6 — стремя; 7 — полукружные каналы; 8 — преддверие; 9 — вестибулярная лестница улитки; 10 — барабанная лестница улитки; 11 — евстахиева труба.

растая при повышении давления и температуры воздуха.

В более плотной среде скорость распространения звука значительно выше, составляя при этом (в м/с): в графите — 6000, в стекле — 5500, в алюминии — 5140, в железе и стали — 5000, в твердых породах дерева (в продольном направлении) — 4000, в меди — 3560 и в воде (при 19 °C) — 1461. Таким образом, звуковые колебания одной и той же частоты в разных средах имеют различную длину волны. Это оказывается небезразличным для нашего слуха и обуславливает некоторые особенности слухового восприятия при пребывании человека под водой. А теперь рассмотрим механизм восприятия звука.

**Ухо — орган восприятия звука.** Слуховой анализатор человека представляет собой специализированную систему для восприятия звуковых колебаний, формирования слуховых ощущений и опознавания звуковых образов. Вспомогательный аппарат периферической части анализатора — это ухо (рис. 15).

Различают наружное ухо, в состав которого входят ушная раковина, наружный слуховой проход и барабанная перепонка; среднее ухо, состоящее из системы соединенных между собой слуховых косточек — молоточка, наковальни и стремени, и внутреннее ухо, которое включает улитку, где расположены рецепторы, воспринимающие звуковые колебания, а также преддверие и полукружные каналы. Полукружные каналы представляют собой периферическую рецепторную часть вестибулярного анализатора, о котором пойдет отдельный разговор.

Наружное ухо устроено таким образом, что обеспечивает подведение звуковой энергии к барабанной перепонке. При помощи ушных раковин происходит относительно небольшое концентрирование этой энергии, а наружный слуховой проход обеспечивает поддержание постоянной температуры и влажности как факторов, обуславливающих стабильность работы звукопередающего аппарата.

Барабанная перепонка представляет собой тонкую перегородку толщиной около 0,1 мм, состоящую из волокон, идущих в различных направлениях. Функция барабанной перепонки хорошо отражена в ее названии — она начинает колебаться, когда на нее падают звуковые колебания воздуха со стороны наружного слухового прохода. При этом ее строение позволяет ей передавать практически без искажения все частоты звукового диапазона. Система слуховых косточек обеспечивает передачу колебаний от барабанной перепонки к улитке.

Рецепторы, которые обеспечивают восприятие звуковых колебаний, расположены во внутреннем ухе — в улитке (рис. 16). Это название связано со спиралеобразной формой данного образования, состоящего из 2,5 витка.

В среднем канале улитки на основной мембране расположен кортиев орган (по имени итальянского анатома Корти, 1822—1888). В этом органе и находится рецепторный аппарат слухового анализатора (рис. 17).

Как же происходит формирование ощущений звука? Вопрос, который и в настоящее время привлекает пристальное внимание исследователей. Впервые (1863) весьма убедительное толкование процессов во внутреннем ухе представил немецкий физиолог Г. Гельмгольц, разработавший так называемую резонансную теорию. Он обратил внимание, что основную мембрану улитки образуют волокна, идущие в поперечном направлении. Длина таких волокон увеличивается к вершине улитки. Отсюда понятна

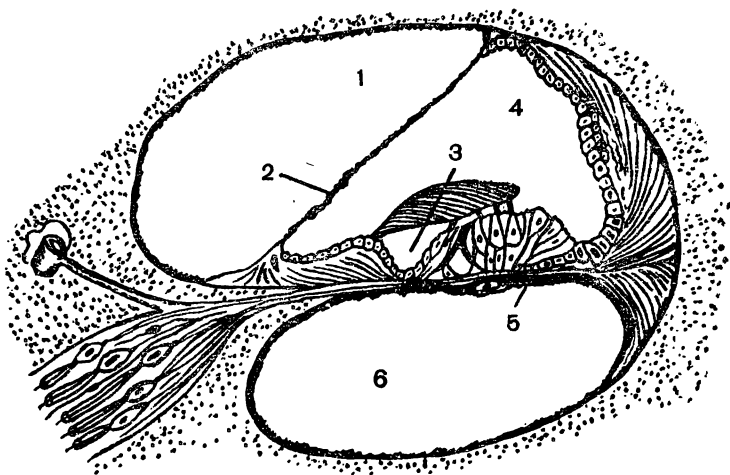


Рис. 16. Поперечный разрез завитка улитки:

1 — вестибулярная лестница; 2 — вестибулярная мембрана; 3 — кортиев орган; 4 — средний канал; 5 — основная мембрана; 6 — барабанная лестница.

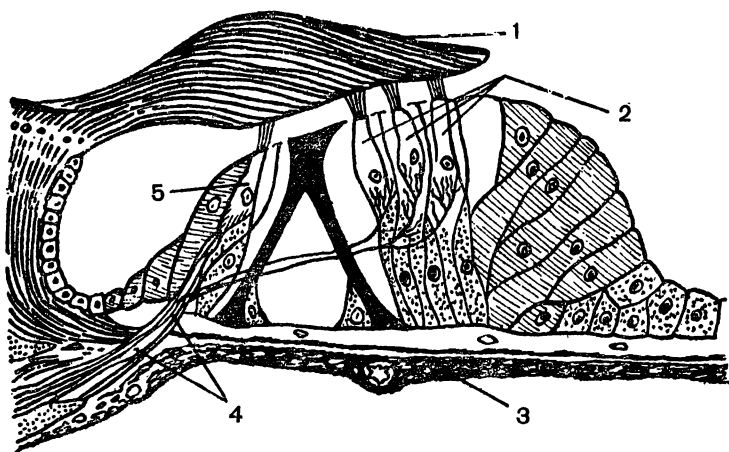


Рис. 17. Схема кортиева органа:

1 — покровная мембрана; 2 — наружные волосковые клетки; 3 — основная мембрана; 4 — нервные волокна; 5 — внутренняя волосковая клетка.

аналогия работы этого органа с арфой, у которой различная тональность достигается разной длиной струн. По представлению Гельмгольца, при воздействии звуковых колебаний вступает в резонанс какое-то определенное волокно, ответственное за восприятие данной частоты. Очень подкупающая своей простотой и завершенностью теория, но которую, увы, пришлось оставить, поскольку оказалось, что струн — волокон — в основной мембране слишком мало, чтобы воспроизводить все слышимые человеком частоты, натянуты эти струны слишком слабо, да и кроме того, их изолированные колебания невозможны. Эти трудности для резонансной теории оказались непреодолимы, но они послужили импульсом для последующих исследований.

По современным представлениям, передача и воспроизведение звуковых колебаний обусловлены частотно-резонансными свойствами всех сред улитки. При помощи весьма остроумных экспериментов было обнаружено, что при низких частотах колебаний (100—150 Гц, может быть несколько выше, но не более 1000 Гц) волновой процесс охватывает всю основную мембрану, возбуждаются все рецепторы кортиева органа, расположенного на этой мембране. При возрастании частоты звуковых волн в колебательный процесс вовлекается только часть основной мембраны, и тем меньше, чем выше звук. При этом максимум резонанса сдвигается по направлению к основанию улитки.

Однако мы пока еще не рассмотрели вопрос, каким же образом происходит трансформация энергии механических колебаний в процесс нервного возбуждения. Рецепторный аппарат слухового анализатора представлен своеобразными волосковыми клетками, которые являются типичными механорецепторами, т. е. для которых адекватным раздражителем служит механическая энергия, в данном случае колебательные движения. Специфической особенностью волосковых клеток является наличие на их вершине волосков, которые находятся в непосредственном соприкосновении с покровной мембраной. В кортиевом органе различают один ряд (3,5 тыс.) внутренних и 3 ряда (12 тыс.) наружных волосковых клеток, которые различаются по уровню чувствительности. Для возбуждения внутренних клеток требуется больше энергии, и это является одним из механизмов органа слуха воспринимать звуковые раздражители в широком диапазоне интенсивностей.

При возникновении колебательного процесса в улитке

в результате движений основной мембраны, а вместе с ней и кортиева органа происходит деформация волосков, упирающихся в покровную мембрану. Эта деформация и служит пусковым моментом в цепи явлений, приводящих к возбуждению рецепторных клеток. В специальном эксперименте было обнаружено, что если во время подачи звукового сигнала от поверхности волосковых клеток отводить биотоки и затем, усилив их, подвести к громкоговорятелю, то мы обнаружим достаточно точное воспроизведение звукового сигнала. Это воспроизведение распространяется на все частоты, в том числе и на человеческий голос. Не правда ли, достаточно близкая аналогия с микрофоном? Вот отсюда и название — микрофонный потенциал. Доказано, что этот биоэлектрический феномен и представляет собой рецепторный потенциал. Отсюда следует, что волосковая рецепторная клетка достаточно точно (до определенного предела по интенсивности) через параметры рецепторного потенциала отражает параметры звукового воздействия — частоту, амплитуду и форму.

При электрофизиологическом исследовании волокон слухового нерва, которые подходят непосредственно к структурам кортиева органа, регистрируются нервные импульсы. Примечательно то, что частота такой импульсации зависит от частоты воздействующих звуковых колебаний. При этом до 1000 Гц отмечается практически их совпадение. Хотя более высокие частоты в первые не регистрируются, но сохраняется определенная количественная зависимость между частотами звукового раздражителя и афферентной импульсации.

Итак, мы ознакомились со свойствами человеческого уха и механизмами функционирования рецепторов слухового анализатора при воздействии звуковых колебаний воздуха. Но возможна передача и не только через воздух, а посредством так называемой костной проводимости. В последнем случае колебания (например, камертона) передаются костями черепа и затем, минуя среднее ухо, попадают непосредственно в улитку. Хотя в данном случае способ подведения акустической энергии иной, но механизм взаимодействия ее с рецепторными клетками остается тот же самый. Правда, при этом несколько различны и количественные отношения. Но в том и в другом случае возбуждение, первично возникшее в рецепторе и несущее определенную информацию, передается по нервным структурам до высших слуховых центров.

Каким же образом кодируется информация о таких параметрах звуковых колебаний, как частота и амплитуда? Сначала о частоте. Вы, очевидно, обратили внимание на своеобразный биоэлектрический феномен — микрофонный потенциал улитки. Он ведь по существу свидетельствует о том, что в значительном диапазоне колебания рецепторного потенциала (а они отражают работу рецептора и по восприятию, и последующей передаче) практически точно соответствуют по частоте звуковым колебаниям. Однако, как уже тоже отмечалось, в волокнах слухового нерва, т. е. в тех волокнах, которые воспринимают информацию от рецепторов, частота нервных импульсов не превышает 1000 колебаний в секунду. А это значительно меньше, чем частоты воспринимаемых звуков в реальных условиях. Как же эта задача решается в слуховой системе? Ранее мы с вами, когда рассматривали работу кортиева органа, отмечали, что при низких частотах звукового воздействия колеблется вся основная мембрана. Следовательно, возбуждаются все рецепторы, и частота колебаний без изменения передается волокнам слухового нерва. При больших же частотах в колебательный процесс вовлекается только часть основной мембраны и, следовательно, только часть рецепторов. Они передают возбуждение соответствующей части нервных волокон, но уже с трансформацией ритма. В этом случае определенной частоте соответствует определенная часть волокон. Такой принцип обозначают как пространственный способ кодирования. Таким образом, информация о частоте обеспечивается частотно-пространственным кодированием.

Однако хорошо известно, что подавляющее большинство реальных звуков, воспринимаемых нами, в том числе и речевые сигналы, представляют собой не правильные синусоидальные колебания, а процессы, имеющие гораздо более сложную форму. Как же в этом случае обеспечивается передача информации? Еще в начале прошлого века выдающийся французский математик Жан Батист Фурье разработал оригинальный математический метод, позволяющий любую периодическую функцию представить в виде суммы ряда синусоидальных составляющих (ряда Фурье). Строгими математическими методами доказывалось, что эти составляющие имеют периоды, равные  $T$ ,  $T/2$ ,  $T/3$  и т. д., или, иначе говоря, имеют частоты, кратные основной частоте. И немецкий физик Г. С. Ом (которого все



очень хорошо знают по его закону в электротехнике) в 1847 г. выдвинул идею, что в кортиево́м органе происходит именно такое разложение. Так появился еще один закон Ома, который отражает очень важный механизм звуковосприятия. Благодаря своим резонансным свойствам основная мембрана разлагает сложный звук на его составляющие, каждая из которых воспринимается соответствующим нервно-рецепторным аппаратом. Таким образом, пространственный рисунок возбуждения несет информацию о частотном спектре сложного звукового колебания.

Для передачи информации об интенсивности звука, т. е. амплитуде колебаний, в слуховом анализаторе имеется механизм, также отличный от способа работы других афферентных систем. Чаще всего информация об интенсивности передается частотой нервной импульсации. Однако в слуховой системе, как это следует из только что рассмотренных процессов, такой способ невозможен. Оказывается, что и в данном случае используется принцип пространственного кодирования. Как уже отмечалось, внутренние волосковые клетки имеют чувствительность ниже, чем наружные. Таким образом, различной интенсивности звука соответствует разное сочетание возбужденных рецепторов двух этих видов, т. е. специфическая форма пространственного рисунка возбуждения.

В слуховом анализаторе вопрос о специфических детекторах (как это хорошо выражено в зрительной системе) остается все еще открытым, тем не менее и здесь имеются механизмы, которые позволяют выделять все более и более сложные признаки, что в конечном итоге завершается формированием такого рисунка возбуждения, который соответствует определенному субъективному образу, описываемому по соответствующему «этало́ну».

**Психофизиология слуха.** Слуховой анализатор, как и все органы чувств, с психофизиологической точки зрения характеризуется прежде всего абсолютной чувствительностью. Как уже отмечалось, слуховая чувствительность настолько велика, что если бы она была еще выше, то это только затруднило бы звуковую ориентировку человека. Вместе с тем необходимо заметить, что в пределах звукового диапазона чувствительность очень различается. Орган слуха человека имеет максимальную чувствительность в области 1000—3000 Гц, ощущая интенсивность звука величиной  $1 \cdot 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>. В сторону как более высоких, так и более низких частот чувствительность заметно снижается.

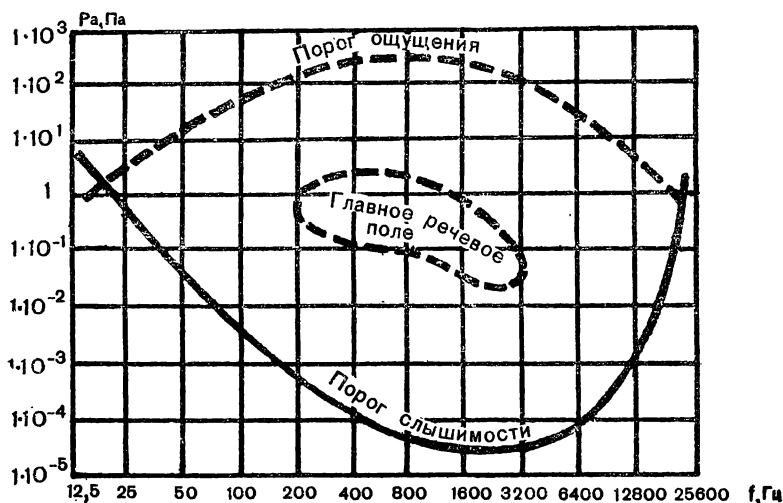


Рис. 18. Величины порога слышимости и порога ощущения в зависимости от частоты звуковых колебаний.

Обладая столь высокой абсолютной чувствительностью, наш орган слуха оказывается практически незащищенным от звуковых колебаний высокой интенсивности, которые вызывают у нас чувство неприятного давления и даже боли. Вот поэтому принято различать порог слышимости и порог ощущения (понимая под последним неприятное или болевое ощущение). Величины этих порогов для колебаний звукового диапазона представлены на рисунке 18.

Но что будет за пределами звукового диапазона, будут ли человек ощущать эти частоты при той или иной их интенсивности? Американский физик Р. Вуд (1868—1955), известный своими «научными» проказами не менее, чем научными достижениями, принес однажды в театр генератор инфразвука и включил его в разгар спектакля. Это вызвало совершенно неожиданный и непонятный для очень многих эффект. Зрители не слышали артистов, актеры не могли играть свои роли, и спектакль был сорван. С некоторыми из присутствовавших сделалась истерика, другие в безотчетной тревоге покинули зал.

Весьма своеобразны проявления действия ультразвука на человеческий организм. Возможно, некоторые с ним ознакомились при посещении физиотерапевтического кабинета с лечебной целью. Очевидно, многим также извест-

но, что некоторые животные — самые яркие примеры — летучие мыши, дельфины — «слышат» ультразвуковые колебания, используя их в целях эхолокации. Однако это большие и сложные вопросы, которые подлежат отдельному рассмотрению.

Слуховой анализатор соответственно общим свойствам, присущим всем органам чувств, обладает хорошо выраженной способностью к различению уровней интенсивности звука. В средней части звукового диапазона человек способен улавливать различие 0,4—2 дБ. Это свидетельствует о достаточно высокой дифференциальной чувствительности слуховой системы.

Однако до сих пор мы говорили о физической характеристике звуковых колебаний и порог слышимости выражали через звуковое давление, интенсивность звука или аналогичные им параметры. Но можно ли количественно охарактеризовать слуховые ощущения при восприятии звуков различной интенсивности? И таким психофизиологическим эквивалентом объективного физического фактора является субъективная громкость звука. Единственным способом количественной характеристики наших слуховых ощущений, как и всяких других ощущений, является сравнение их с каким-либо стандартом. В качестве такого стандарта выбрано ощущение на пороге слышимости в той части звукового диапазона, чувствительность к которой максимальна. При этом довольно часто уровень ощущения тоже выражают в децибелах над порогом слышимости. Однако для более корректной характеристики используется иная система единиц (фоны и соны).

Субъективные ощущения, связанные с частотой, принято характеризовать как высоту тона. За единицу высоты тона как параметра ощущения выбран мел. Зависимость между физическими и физиологическими параметрами довольно сложна. В области частот ниже 500 Гц численные значения высоты тона в мелах практически равны численным значениям частоты в герцах. В остальной части диапазона зависимость носит непрямолинейный характер.

Хорошо понятно, что частота звуковых колебаний и длина волны — тесно взаимосвязанные характеристики. Изменение длины волны при одинаковой скорости распространения неизбежно влечет за собой и изменение частоты, а субъективно — высоты тона. Именно с этим связан так называемый доплер-эффект, с которым все в жизни неоднократно сталкивались. Заключается он в том, что высота

тона быстро приближающегося издающего звуки предмета (самолета, поезда, автомобиля) оказывается выше, чем удаляющегося. Как несложно представить себе, в результате движения в первом случае длина волны окажется меньше, чем во втором.

Однако все хорошо знают, что в реальной действительности человек встречается не только с чистыми тонами, но и со звуками более сложного состава. И в зависимости от структуры частотного звукового спектра формируется его соответствующий субъективный эквивалент. Так, в частности, если в звуковых колебаниях, помимо его основной частоты, имеются кратные ей составляющие, так называемые обертоны, то соответствующий этому составу характер звучания обозначается как тембр. Именно тембр придает звуку его неповторимую индивидуальность, по которой узнают голоса друзей, даже если мы не видим их, звук различных музыкальных инструментов, даже если это будет одна и та же нота.

А если звук представлен частотами, не кратными какой-либо из них? В этом случае в простейшем варианте, когда мы имеем две некрatные частоты, в результате сложения двух колебаний одинаковой амплитуды, но несущественно различающихся по своей частоте, отмечается медленное нарастание фаз обоих колебаний. Возникает так называемое биение, частота биений соответствует разнице частот колебаний слагаемых. Например, частоты 100 и 110 Гц дают биение в 10 Гц. По аналогичному механизму возникают и добавочные тоны (рис. 19).

Вместе с тем при одновременном воздействии двух тонов возможен и эффект маскировки, т. е. один из них становится слышимым хуже или совсем неслышимым. Огромным маскирующим эффектом обладают низкие тоны. Звуковые колебания частотой 200—400 Гц при достаточно больших уровнях их интенсивности могут очень сильно замаскировать почти все вышележащие частоты. Всем хорошо известно, сколь отчетливо слышны в оркестре мелодии низких инструментов — органа, контрабаса, хотя относительная их громкость при этом не превышает такие высокочастотные инструменты, как скрипка, виолончель и др.

Важным свойством органа слуха является его способность определять (локализовать) местоположение звука в пространстве. Это свойство позволяет с точностью до  $3^\circ$  по горизонтальной плоскости находить направление на источ-

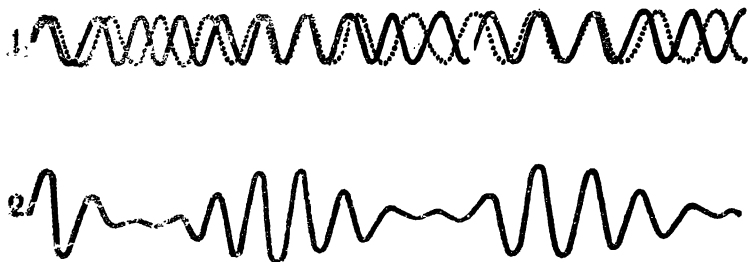


Рис. 19. Происхождение биений:  
1 — исходные колебания; 2 — добавочная частота.

ник звука. Такая способность обусловлена одновременной работой обеих звуковоспринимающих систем и чрезвычайно развитой способностью оценивать различия по громкости и по фазе звуков, поступающих в правое и левое ухо.

Если мы при помощи специальной установки будем подавать звуковые щелчки таким образом, чтобы они одновременно достигали левого и правого уха, то обнаружим интереснейшее явление. В том случае, когда стимулами служат два щелчка, каждый из которых подается только на одно ухо, то при интервале между ними более 1—2 мс испытуемый слышит их раздельно. Но если эти же два стимула разделены интервалом в диапазоне от 20 до 800 мкс, то при таких условиях испытуемый воспринимает их как один щелчок, по идущий с одной стороны, с той, в частности, где звук подается раньше. Изменяя длительность временного интервала, можно варьировать иллюзию латерализации (т. е. восприятие их с одной из сторон) от «совсем сбоку» до «внутри головы». Когда оба щелчка совпадают, слышится один звук в середине черепа. Несложные расчеты показывают, что при реальном междушном расстоянии около 21 см различие во времени прихода звука в правое и левое ухо составляет 600 мкс, т. е. такое временное различие более чем достаточно для эффекта латерализации. А с учетом минимально ощутимого временного интервала (около 20 мкс) различие в расстоянии от источника звука до правого и левого уха оказывается достаточным при величине около 7 мм.

Вместе с тем, когда по овина длины звуковой волны окажется меньше междушного расстояния, то она не сможет «обогнуть» голову, и потому звук из-за такого экранирующего эффекта будет несколько ослаблен. При ско-

рости звука около 340 м/с при частотах выше 800 Гц это различие по интенсивности играет существенную роль в определении направления источника звука. По вертикальной плоскости точность слухового анализатора в оценке направления несколько меньше.

Определение расстояния до источника звука осуществляется по механизмам более сложным и уже связанным не только со свойствами слуховой системы, но и с индивидуальным опытом человека. Поэтому каждый из нас с очень небольшой точностью определит расстояние до источника чистого тона, не связанного в нашем представлении с каким-то реальным естественным явлением, и с гораздо более высокой точностью мы решаем эту задачу относительно шума двигателя автомобиля, крика птицы, голоса человека, т. е. звуков, нам хорошо знакомых по жизненному опыту.

**Музыкальные звуки и музыкальный слух.** В чем различие между музыкой и шумом? Субъективные критерии для решения этого вопроса оказываются недостаточно убедительными. Даже искусствоведы иной раз расходятся в мнении относительно музыкальности того или иного произведения, равно как иногда мы слышим музыкальные фразы, в которых имитируются некоторые шумовые эффекты. Однако, если с физической точки зрения сравнивать явно музыкальные и явно шумовые звуки, то обнаруживается совершенно однозначная разница. Музыкальные звуки представлены чистыми тонами, спектр же шумов может быть весьма разнообразным и чаще всего неправильным.

Вместе с тем просто чистый тон как музыка очень беден. И, как правило, при физическом анализе звучаний музыкальных инструментов помимо основного тона обнаруживаются обертоны, да и основных тонов бывает несколько. А аккорд представляет собой совместное звучание нескольких (не менее трех) звуков, разных по высоте и извлекаемых одновременно.

Ранее мы отмечали, что в таком случае могут возникнуть разнообразные явления — маскировки, биение. Если в результате биений образуется новый тон, который слышен наряду с двумя исходными, то нередко он воспринимается как очень неприятный и раздражающий. Такое явление называется *диссонансом*. Однако если частоту биений увеличить настолько, что отношение частот звучащих тел приблизится к отношению частот в мажорной

гамме, то получающийся в результате звук будет приятным, или гармоничным. А явление это называют *консонансом* или *гармонией*.

Трудно приложимы физические закономерности в определении октавы и нотного ряда, хотя обращает на себя внимание строгое количественное соотношение между высотами тонов различных октав и между октавами. Частотная характеристика октав представлена на таблице.

Октавы	Диапазон, Гц
1. Субконтроктава	16,35—32,7
2. Контроктава	32,7—65,4
3. Большая октава	65,4—130,8
4. Малая октава	130,8—261,6
5. Первая октава	261,6—523,2
6. Вторая октава	523,2—1046,5
7. Третья октава	1046,5—2093
8. Четвертая октава	2093—4186
9. Пятая октава	4186—8372

В пределах малой октавы частотная характеристика выглядит следующим образом:

Название нот	до	ре	ми	фа	соль	ля	си	до
Обозначение нот	c	d	e	f	g	a	b	c'
Отношение частот	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
Частота, Гц	130,8	147,1	163,5	174,4	196,2	218	245,2	261,6

И такое соотношение сохраняется во всех октавах. Можно дать достаточно детальную физическую характеристику практически всех феноменов, связанных с музыкальными звучаниями, но на их основе далеко не всегда удастся удовлетворительно объяснить закономерности музыкальных явлений, а чаще всего это просто оказывается невозможным. Очевидно, физика здесь может выполнить только вспомогательную функцию, а объяснения необходимо искать в свойствах человеческой психики.

Столь же сложной с физиологической точки зрения представляется попытка объяснения природы музыкального слуха. Хорошо известно, что музыкально одаренные люди легко определяют все тоны, входящие в любой сложный аккорд. Если эта способность сочетается со способностью точно называть высоту составляющих звуков (в их нотном обозначении), то говорят об «абсолютном» слухе. «Абсолютный» слух не является совершенно необходимым для музыкантов, но значительно облегчает их профессиональную деятельность.

К музыкальным особенностям слуха относятся также различение интервалов между двумя произвольно выбранными тонами, чувствительность к консонансам и диссонансам, мажорным и минорным созвучиям, музыкальная память, способность воспроизводить смысл звуковых образов, улавливать связь между звуками, запоминать их, внутренне представлять, сознательно воспроизводить.

**Восприятие речевых сигналов.** Проблемой чрезвычайной сложности является расшифровка механизмов, обеспечивающих восприятие речевых сигналов. И эта сложность связана прежде всего с тем, что среди всех представителей животного мира никто, кроме человека, такой способностью не обладает. А отсюда следует, что мы не располагаем какими-нибудь аналогами среди экспериментальных животных, не имеем адекватных биологических моделей, на которые могли бы направить всю силу физиологического эксперимента.

Человеческая речь со всем ее многообразием языковых вариантов по своим физическим характеристикам — частоте, интенсивности, различным модуляциям — не содержит в себе ничего качественно специфического, что отличало бы ее от звуков, никакого отношения к речи не имеющих. Известно лишь, что для мужских голосов характерны тоны частотой 80—150 Гц, а для женских и детских — более высокие, до 400—500 Гц, хотя во всем их проявлении речевые сигналы занимают более широкую область, как это показано на рисунке 18.

Наверное, многие также знают, что если попытаться составить самое простое слово из отдельных звуков, соответствующих буквам, то эта задача окажется очень трудной выполнимой.

Каждый понимает, что знание всех букв еще не обеспечивает способности читать. И нередко так бывает, что ребенок приходит в первый класс, зная все буквы, а на-



учить его читать порой даже труднее, чем тех, кто совсем не знает букв. Вот поэтому с нейрофизиологической точки зрения механизмы, обеспечивающие передачу информации об отдельном звуке (как правило, чистом тоне или шуме), не могут дать картины восприятия речи и распознавания речевых сигналов.

Тщательный анализ процессов речеобразования, наблюдения над детьми в период овладения ими речью, специальные психологические эксперименты выявили, что в качестве входного сигнала для системы восприятия речи являются так называемые *фонемы*. Пока это понятие еще не всегда вполне конкретное. Фонема представляет собой совокупность фонетических признаков, которая составляет структурно-информационную единицу данного языка. Из этого следует, что количество фонем превышает общее число элементарных речевых звуков, и из фонем уже можно составить речевой сигнал (например, слово).

Ранее упоминалось о том, что в слуховой системе детекторов, как это было в зрительном анализаторе, на определенные комплексы признаков не обнаружено. И тем более вряд ли можно ожидать обнаружения врожденных детекторов на речевые фонемы. Однако есть основания полагать, что в процессе овладения речью или изучения иностранного языка формируются такие нейрональные структуры, которые опознают те или иные фонемы, выделяя их из других. Наблюдения за лицами с поражениями височной коры левого полушария головного мозга позволяют предполагать, что в этой области находятся данные структуры. Нарушение «фонематического слуха» выражается в том, что такие больные путают близкие фонемы при их звуковом воспроизведении и буквенной записи.

Полагают, что фонемный код используется для промежуточного описания речевого сообщения. Опознавание же речевого сигнала как определенного количества информации, описывающего явления и предметы внешнего мира, а также абстрактные понятия, очевидно, осуществляется в результате функционирования широких областей коры головного мозга во взаимодействии с нижележащими образованиями.

Таким образом, благодаря деятельности слухового анализатора формируются разнообразнейшие слуховые ощущения, которые обусловлены воздействием факторов реальной действительности и являются их субъективным отражением.

## У. ОЩУЩЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛА В ПРОСТРАНСТВЕ

Давайте сделаем такой опыт. Он возможен, практически, в любых условиях. Закройте глаза и наклоните голову или туловище. Задача очень простая. Это легко удастся каждому. Такая поза может поддерживаться достаточно долго, если она не слишком неудобная. Но когда нам нужно именно поддерживать эту позу, как и многие другие, то необходимо напряжение соответствующих мышц, иначе равновесие будет утрачено. Из этого следует, что человек без зрительного контроля способен оценивать свое положение в пространстве, точнее, относительно направления силы земного притяжения. Каким же образом формируются такого рода ощущения? Простые самонаблюдения показывают, что в данном случае в некоторых частях тела деформируется — растягивается или сжимается кожа, а значит раздражаются кожные рецепторы. При этом происходит также сокращение одних и расслабление других групп мышц, и, следовательно, раздражаются рецепторы опорно-двигательного аппарата. Может быть, именно они и дают ощущение положения тела в пространстве? На этот вопрос, безусловно, можно ответить утвердительно. Но вместе с тем необходимо категорически заметить, что не только они, и не столько они!

А теперь сделаем более сложный эксперимент. На качелях или приспособлении аналогичного типа изменим положение тела относительно направления силы земного притяжения, но так, чтобы при этом не напрягались какие-либо мышцы, глаза были закрыты и нельзя было бы ориентироваться по кожным раздражениям. И в этом случае человек безошибочно оценивает свое положение в пространстве. Следовательно, мы можем говорить о нали-

чий сенсорной системы, которая формирует ощущение такого рода.

Однако мы хорошо знаем, что не менее редко человек изменяет положение в пространстве, сохраняя при этом неизменной ориентацию относительно силы земного притяжения. Естественно, что в данном случае нас интересуют такие ситуации, при которых перемещения осуществляются не за счет собственных мышц, а пассивно, например на любом виде транспорта. Ощущаем ли мы такие перемещения? Наверное, многим приходилось путешествовать в каюте теплохода. При хорошей погоде и отсутствии зрительных ориентиров у нас нет никаких ощущений перемещения. Совершенно аналогичная ситуация при полете на большой высоте на современном самолете. При этом иногда даже ощутима отчетливая диссоциация между ощущением неподвижности и знанием того, что самолет летит со скоростью 800—900 км/ч. Но, если вдруг меняется скорость или направление движения, то мы это улавливаем очень тонко без каких-либо видимых или слышимых ориентиров.

Ощущения нашего положения и перемещения в пространстве мы получаем благодаря функционированию вестибулярного анализатора. Название его произошло от соответствующего анатомического образования, которое мы рассмотрим несколько позже. А сейчас для нас важно заметить, что эти ощущения очень существенны для человека, поскольку позволяют адекватно реагировать на изменение положения тела в пространстве. Ведь, в самом деле, мы очень хорошо ощущаем, когда оказываемся именно в неустойчивом состоянии. И наоборот, когда такое состояние устойчиво, в покое или при равномерном прямолинейном движении, специфические ощущения отсутствуют (вернее, они для нас привычны, и мы их не замечаем).

Рассмотрим, как устроены и как функционируют структуры вестибулярного анализатора, который, как и все анализаторы, состоит из рецепторной, проводниковой и центральной частей. Рецепторы его расположены в так называемом вестибулярном аппарате, от них начинаются первые пути, передающие информацию о специфических раздражителях в различные отделы центральной нервной системы.

Вестибулярный аппарат расположен в непосредственной близости к периферической части слухового анализатора, в так называемом лабиринте. Принцип действия

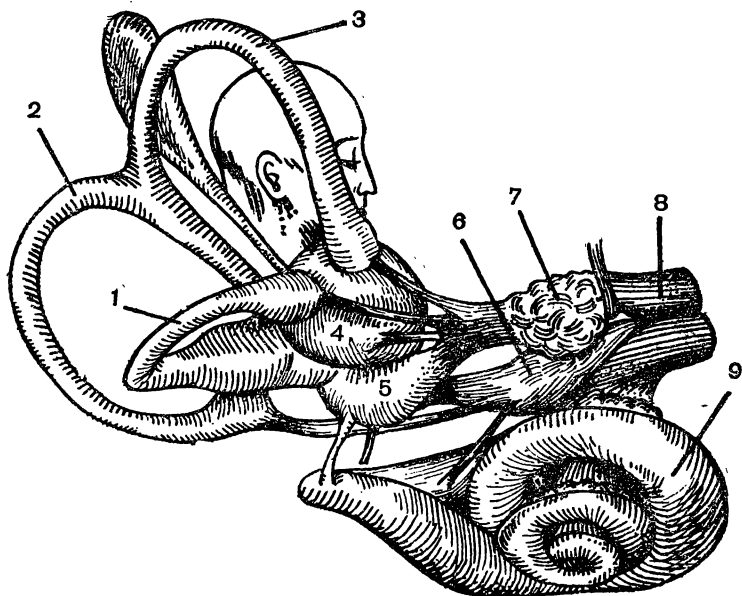


Рис. 20. Строение и расположение лабиринта

1, 2, 3 — соответственно горизонтальный, задний и передний полукружные каналы; 4, 5 — отолитов аппарат; 6, 7 — нервные ганглии; 8 — вестибулярный нерв; 9 — улитка.

вестибулярных рецепторов очень напоминает функционирование слуховых, хотя они воспринимают совершенно различные по своей биологической значимости раздражители. Устройство этого своеобразного органа показано на рисунке 20.

Вестибулярный аппарат состоит из двух частей: системы полукружных каналов и так называемого отолитового аппарата или отолитового органа. Сообщающиеся между собой полукружные каналы расположены в трех почти взаимно перпендикулярных плоскостях и внутри заполнены своеобразной жидкостью — эндолимфой. У каждого полукружного канала имеется своеобразное расширение — ампула, в которой и находятся рецепторы.

Рецепторы полукружных каналов представляют собой волосковые клетки. Их волоски заключены в желеобразную массу, при смещении которой они будут деформироваться. Рецепторы отолитового аппарата имеют аналогичное строение (рис. 21). Их волоски расположены также в желе-

образной массе, в которую включены кристаллы фосфата и карбоната кальция. Эти кристаллы и называют отолитами (в дословном переводе — ушные камни), отсюда и термин — отолитов орган.

Принцип действия рецепторов вестибулярного аппарата состоит в том, что они воспринимают силы, которые приводят к деформации волосков чувствительных клеток. В полукружных каналах такая сила возникает, когда имеется угловое ускорение, т. е. увеличение или уменьшение скорости вращения. В таких условиях эндолимфа в результате инерции смещает желеобразную массу, в которой находятся волоски. Но если угловая скорость будет постоянной, то деформация волосков не возникает и рецепторы не возбуждаются.

Если плоскость вращения точно совпадает с плоскостью одного из полукружных каналов, то возбуждение возникает только в его рецепторах. Гораздо более часты ситуации, когда вовлеченными оказываются все чувствительные клетки в результате разложения сил. Понятно, что при этом степень смещения эндолимфы в каждом из каналов будет зависеть от величины угла между плоскостью вращения и плоскостью полукружного канала.

Нетрудно также заметить, что угловое ускорение при вращении в некоторых плоскостях будет вызывать смещение эндолимфы на правой и левой сторонах в противоположных относительно ампулы направлениях. Например, по рисунку 20 несложно представить, что при вращении в горизонтальной плоскости с одной стороны смещение эндолимфы будет в направлении ампулы, а с другой — от нее к каналу. Отсюда следует, что деформация волосков рецепторов будет также разнонаправленной. Это обстоятельство обуславливает степень возбуждения рецепторов и по существу представляет собой один из механизмов кодирования информации о направлении ускорения.

Если мы теперь рассмотрим устройство рецепторных образований отолитового аппарата (рис. 21), то нам станет понятным, какие силы они воспринимают. Но сначала заметим, что даже в строго вертикальном положении, когда продольная ось тела совпадает с силой земного притяжения (вверх или вниз головой), отолиты будут то давить на волоски рецепторов, то растягивать их. Совершенно очевидно, что изменение положения головы изменит величину или характер такого воздействия. Вероятно, понятно также, что при прямолинейных ускорениях любого направ-

лепия возникнут силы инерции, деформирующие волоски. И конечно, такая деформация будет достаточно выраженной при воздействии центробежной силы, даже при вращении с постоянной угловой скоростью.

Таким образом, вестибулярный аппарат воспринимает самые различные изменения положения тела (точнее, головы) в пространстве. Рецепторы полукружных каналов реагируют на угловые ускорения любых направлений, а рецепторные клетки отолитового органа на центробежные силы, прямолинейное ускорение и силу земного притяжения. Только равномерное прямолинейное движение не воспринимается рецепторами вестибулярного аппарата. Но если учесть, что мы все время находимся в состоянии равномерного движения и если учесть его физическую природу, то станет понятной биологическая целесообразность отсутствия чувствительности к нему.

Вестибулярный аппарат представляет собой периферическую воспринимающую часть сложной афферентной системы, обозначаемой как вестибулярный анализатор. Вместе с характерными для всех сенсорных систем признаками нейрональной организации для вестибулярного анализатора свойственно и некоторое своеобразие. Оно заключается в хорошо выраженных связях вестибулярных афферентных структур с двигательными и вегетативными ядрами, т. е. такими участками центральной нервной системы, которые регулируют деятельность скелетной мускулатуры и внутренних органов. Специфический сенсорный путь идет через зрительный бугор в височную область коры, функционирование которой и обуславливает формирование соответствующих субъективных ощущений.

Специфическая сенсорная функция вестибулярного анализатора заключается в формировании ощущений относительно положения и перемещения нашего тела. Эти ощу-

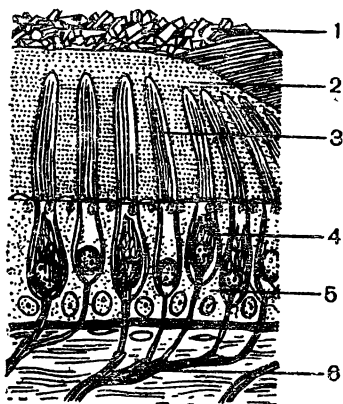


Рис. 21. Рецепторы отолитового аппарата:

1 — отолиты; 2 — желеобразная масса; 3 — волоски; 4 — рецепторные клетки; 5 — опорные клетки; 6 — нервные волокна

щения не столь разнообразны, как зрительные и слуховые, но биологически достаточно существенны. Их весьма трудно описать, но каждому очень хорошо знакомы те ощущения, которые возникают при увеличении или уменьшении скорости автомобиля, при начале движения лифта (вверх или вниз), на виражах и, наконец, даже при вращении во время игр или танцев. Всем известно, что эти ощущения достаточно точно отражают те изменения, которые происходят с нашим телом относительно какого-либо исходного положения. Своеобразным сенсорным феноменом вестибулярного анализатора является так называемая иллюзия противовращения, возникающая после остановки вращательного движения тела. Это ощущение, очевидно, также знакомо очень многим.

Абсолютную чувствительность вестибулярного анализатора характеризуют минимальными, т. е. пороговыми, величинами воспринимаемых факторов. Для углового ускорения порог составляет  $0,015-0,05 \text{ рад/с}^2$ , для прямолинейного —  $2-20 \text{ см/с}^2$ , при наклонах головы пороговая величина равна примерно  $1^\circ$  при наклонах в сторону и  $1,5-2^\circ$  при наклонах вперед и назад. Центробежная сила воспринимается при ее значениях  $0,005-0,01 \text{ g}$ .

Как и в случае других афферентных систем, чувствительность вестибулярного анализатора весьма высока и позволяет улавливать самые незначительные изменения в положении тела в целом или головы. Например, в определенных условиях мы воспринимаем колебания головы, обусловленные пульсацией крови. Очень хорошо мы ощущаем также тряски и вибрации, встречающиеся в быту и при езде на городском транспорте в самых благоприятных условиях. Существенное значение в поддержании постоянной чувствительности нашей вестибулярной сенсорной системы имеет ее низкая адаптируемость, т. е. специфические ощущения сохраняются практически на протяжении всей длительности действия раздражающего фактора, сколь бы долго оно ни продолжалось, и абсолютная чувствительность при этом меняется мало.

Таким образом, ощущения, возникающие в результате функционирования вестибулярного анализатора, представляют собой субъективную оценку действующих на тело человека ускорений, центробежной и гравитационных сил. Они совершенно естественны и биологически целесообразны. Но их нельзя путать с неприятными ощущениями, которые возникают иногда у многих людей при воздействии

комплекса факторов, связанных с передвижением в различных видах транспорта (болезнь движения).

Если меняется привычное соотношение между различными субъективными ориентирами в пространстве, то это может привести к развитию своеобразных иллюзий. Ведущей при этом является афферентная импульсация с отолитового аппарата. Например, очевидно, многие замечали, что при крутом вираже самолета линия горизонта и земная поверхность человеку представляются неестественно наклоненными в сторону. Возникающая в таком случае центробежная сила как бы заменяет, имитирует силу земного притяжения, что и приводит к кажущемуся искажению. Следует заметить, что иллюзии подобного рода сильно выражены у пассажиров, но не у пилотов. У них длительная практика «исправила» такие искажения и восстановила соответствие между ощущениями и реальной действительностью.

В очень своеобразной ситуации оказывается вестибулярный анализатор человека, когда исчезают привычные для него силы земного притяжения, т. е. в невесомости. О возникающих при этом ощущениях теперь все хорошо знают по прямым репортажам из космоса. Но необходимо помнить, что космос пока удел избранных, а космонавты — люди, прошедшие специальный отбор и тренировку. И даже у них первый период пребывания в невесомости сопровождается определенными сенсорными расстройствами. Специальные эксперименты на животных показывают, что в таких условиях в начальный период весьма существенно меняется первая импульсация в волокнах, отходящих от рецепторов отолитового аппарата. Однако спустя некоторый промежуток времени как субъективные ощущения, так и объективные признаки возвращаются к исходному уровню.

Раздражители, падающие на вестибулярный анализатор, вместе с рассмотренными ощущениями обуславливают возникновение специфических рефлекторных реакций со стороны мышечной системы человека. Биологический смысл такого рода реакций заключается в перераспределении мышечного тонуса и двигательных актах, направленных главным образом на противодействие тем силам, которые их вызвали.

В частности, если во время виража центробежная сила удаляет тело человека от центра вращения, то повышается тонус мышц на стороне, обращенной к центру, что



препятствует такому отклонению. Понаблюдайте за своим поведением в момент начала движения лифта. Возникают так называемые «лифтные реакции». При движении кабины вниз человек слегка приподнимается, как бы стремясь остаться в прежнем положении. При начале движения кабины вверх наблюдается двигательная реакция противоположного направления, но аналогичного биологического смысла. По такой же закономерности тело отклоняется назад при ускорении, направленном вперед, и вперед — при противоположном направлении ускорения. Правда, в таких случаях проявляет себя инерция покоя и движения, но изменение тонуса мышц выявляется и в объективном физиологическом наблюдении.

При вращательных и прямолинейных движениях возникает своеобразная глазодвигательная реакция. Это так называемый *нистагм*. Конкретный смысл данного слова (от греч. *nystagmos* — дремота) плохо связан с существом такой глазодвигательной реакции. Дело заключается в том, что во время сна наблюдаются быстрые движения глаз, которые, кстати говоря, являются признаком очень своеобразной стадии сна — парадоксального сна, практически всегда наблюдающегося в нормальных условиях. Однако при движении эта реакция направлена на сохранение фиксации глазом уходящих из поля зрения объектов. Вот поэтому в нистагме различают медленный компонент, по направлению совпадающий с направлением движения, и быстрый компонент, при помощи которого глаз возвращается в исходное положение.

Однако при равномерном (прямолинейном или вращательном) движении нистагм возникает в том случае, если у человека глаза открыты, и он наблюдает за окружающими предметами. Это — оптокинетический (зрительно-двигательный) нистагм, равно как и в том случае, когда человек неподвижен, но движутся рассматриваемые объекты. При вращении же человека с постоянной скоростью при закрытых глазах нистагм отсутствует, он появляется только вначале (положительное ускорение), при остановке (отрицательное ускорение) и некоторое время после нее. Это так называемый вращательный и послеовращательный нистагм. Непосредственный механизм его развития отличен от оптокинетического, хотя биологическое значение у них аналогичное. В менее выраженной форме, но по аналогичным закономерностям наблюдаются и движе-

ния головы. Однако они очень легко контролируются и подавляются произвольно.

Вестибуло-моторные реакции проявляются также и при наклонах головы. Они заключаются в перераспределении мышечного тонуса правой и левой (или передней и задней) сторон тела, сгибателей и разгибателей конечностей. Их значение состоит в сохранении устойчивого состояния при новом положении головы.

Все вестибуло-моторные реакции являются отражением функционирования связей между вестибулярными ядрами и двигательными центрами спинного и головного мозга, о которых говорилось ранее.

Печальную популярность получили реакции со стороны внутренних органов, поскольку очень многим людям приходилось испытывать неприятные ощущения во время качки на корабле, при «болтанке» самолета, на извилистых дорогах и в некоторых других ситуациях (укачивание, морская болезнь, болезнь движения). Биологическое значение этих реакций, как полагают, заключается в обеспечении повышенной мышечной активности, которая отмечается в таких условиях. Однако их выраженность довольно часто бывает значительно больше, чем это требуется для обеспечения усиленного обмена веществ в работающих мышцах. В таких случаях говорят о повышенной вестибулярной чувствительности или вестибулярной неустойчивости.

Таким образом, с функционированием вестибулярного анализатора связаны биологически очень важные виды деятельности — ощущение положения и перемещения тела в пространстве, а также соответствующие им реакции со стороны скелетной мускулатуры и внутренних органов.

Вот так, немного переделав известную латинскую поговорку «О вкусах не спорят», можно отразить очень большую субъективность и индивидуальность вкусовых ощущений человека. Если попытаться их перечислить, то получается практически бесконечный список иногда с очень неконкретными и сугубо индивидуальными обозначениями. Вот поэтому издавна предпринимались попытки найти «элементарные» составляющие, из которых можно было бы получить любое сложное вкусовое ощущение. Было достаточно много таких предложений. Одна из первых классификаций принадлежит М. В. Ломоносову (1752), который писал: «Главные из более отчетливых вкусовых ощущений такие: 1) вкус кислый, как в уксусе; 2) едкий, как в винном спирте; 3) сладкий, как в меде; 4) горький, как в смоле; 5) соленый, как в соли; 6) острый, как в дикой редьке; 7) кисловатый, как в незрелых плодах. Которые из них простые, которые сложные, можно будет объяснить не раньше, чем когда известна будет природа начал».

В настоящее время подавляющим большинством исследователей признается, что имеется четыре элементарных вкусовых ощущения: кислое, горькое, сладкое и соленое, как это представлено на так называемой пирамиде вкусов Хеннинга, которая была предложена еще в начале века (рис. 22). Согласно точке зрения этого исследователя, а она была подтверждена многими экспериментами, любой вкус может быть получен, если смешать в необходимой пропорции три из четырех возможных первичных вкусов.

---

<sup>1</sup> О вкусах всегда спорят (лат.).

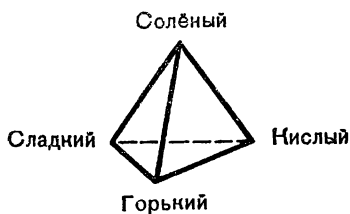


Рис. 22. Пирамида вкусов Хен-винга.

Отсюда следует, что смешанные вкусы могут быть представлены положением точки на одной из поверхностей такой символической пирамиды вкусов. Расстояние точки от углов определяет, как соотносится смешанный вкус с первичными и, следовательно, какая доля каждого из них требуется для того, чтобы получить нужную «смесь». Нет таких веществ, вкус которых

можно было бы получить, лишь смешав все четыре первичных вкуса, поэтому ни один вкус не окажется внутри пирамиды, вне образующей ее поверхности.

Одним из традиционных, но не решенных полностью до настоящего времени вопросов является вопрос о связи химической природы вещества и производимого им вкусового ощущения. Такая связь кажется всем весьма очевидной. Но вместе с тем установить достаточно строгое соответствие вкуса с какой-либо химической или физической характеристикой вещества пока не удастся. Найдено, что кислые вещества представлены в основном кислотами (кроме очень слабых, например карболовой). Однако интенсивность кислого ощущения зависит не только от концентрации водородных ионов, но и от анионов. И характер этой связи очень неопределенный. Соленым в чистом виде является только хлорид натрия, никакие другие хлориды, как никакие другие натриевые соединения, не дают такого ощущения. Сладкими являются сахара, спирты, альдегиды, кетоны, амиды, эфиры, аминокислоты, а также некоторые соли бериллия и свинца. Горький вкус представлен самыми разнообразными веществами — это соли калия, магния, аммония, а также органические соединения — хинин, кофеин, стрихнин, никотин и др.

А теперь рассмотрим, как функционируют структуры, обеспечивающие восприятие вкусовых раздражителей, т. е. вкусовой анализатор. Рецепторами вкусового анализатора являются специализированные эпителиальные клетки, входящие в состав так называемых вкусовых лукович (рис. 23). Каждая такая луковича содержит несколько рецепторных и опорных клеток и соединяется с поверхностью через вкусовую пору. Внутри луковича находится

специфическая жидкость, которая смывает клеточные элементы. Вкусовые луковицы расположены на сосочках языка, а также в значительно меньших количествах в слизистой нёба, глотки, гортани, миндалин, нёбной занавески. Наблюдается достаточно выраженная специализация сосочков по восприятию различных вкусовых веществ. К сладкому наиболее чувствителен кончик языка, к горькому — корень, к кислому — края, к соленому — кончик и края.

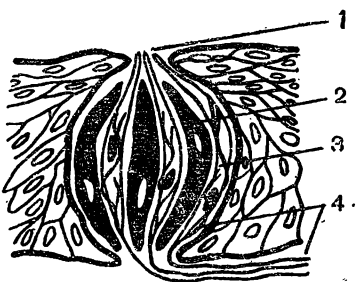


Рис. 23. Строение вкусовой луковицы:

1 — вкусовая пора; 2 — опорная клетка; 3 — рецепторная клетка; 4 — нервные волокна.

Вкусовые рецепторные клетки представляют собой очень своеобразные структуры. Живут они сравнительно недолго, меняя при этом и место расположения, и нервные связи, и форму, и свойства. Их замечательной особенностью является способность приходить в состояние возбуждения под влиянием вкусовых веществ. Непременным условием возникновения вкусового ощущения является растворение на поверхности языка исследуемого вещества. В этом убедиться очень легко. Если поверхность языка тщательно осушить фильтровальной бумагой и положить кусочек сахара или кристаллик поваренной соли, то мы почувствуем только прикосновение. Специфическое вкусовое ощущение в таких условиях не возникает до тех пор, пока не будет растворено хотя бы мельчайшее количество этого вещества.

К настоящему времени еще нет окончательной ясности в вопросе о том, как именно взаимодействуют рецепторы и молекулы веществ. Задача заключается в том, чтобы расшифровать механизмы специфической чувствительности, например, к сладким или горьким веществам при их очень большом разнообразии химического строения. Так, в частности, очень тонкие химические исследования на уровне одной клетки привели к созданию ферментативной гипотезы вкуса. Согласно этой гипотезе, различные вкусовые вещества избирательно подавляют или активируют определенные ферменты, катализируя специфические процессы в рецепторной клетке. Хорошо обоснованная адсорбционная гипотеза предполагает, что начальным этапом вку-

совой рецепции является адсорбция молекулы вещества на специализированных участках белковой цепи, связанной с мембраной рецептора. Вполне вероятно сочетание этих механизмов в виде последовательных этапов, первым из которых является физико-химический (адсорбция на мембране микроворсинок рецепторной клетки), а последующие — ферментативные.

Несмотря на то что до сих пор ученым не удалось расшифровать механизмы взаимодействия между молекулой вещества и рецепторными структурами, безусловно следующее. В результате такого процесса развивается возбуждение рецепторной клетки, сопровождающееся специфическими биохимическими и биоэлектрическими явлениями, которые в свою очередь обуславливают возбуждение в последующих звеньях вкусового анализатора.

Пока еще нет окончательной ясности, в каких именно участках коры находится представительство вкусового анализатора, однако имеются данные, что с вкусовой чувствительностью связан нижний конец центральной извилины и некоторые другие области коры.

Как и другие органы чувств, вкусовой анализатор характеризуется рядом признаков, отражающих зависимость наших вкусовых ощущений от параметров химических раздражителей и условий их воздействия. Абсолютную вкусовую чувствительность, как правило, характеризуют пороговой концентрацией веществ, при нанесении которых на всю поверхность языка возникают соответствующие вкусовые ощущения. Такой минимальной концентрацией для сахара является  $0,01$  моль/м<sup>3</sup>, для хлорида натрия —  $0,05$  моль/м<sup>3</sup>, для соляной кислоты —  $0,0007$  моль/м<sup>3</sup>, для солянокислого хинина —  $0,0000001$  моль/м<sup>3</sup>. Эти цифры достаточно демонстративно говорят о высокой абсолютной чувствительности органа вкуса.

Необходимо заметить, что величина порога существенно зависит от температуры раствора. Самая высокая чувствительность оказывается при температуре около  $+37^{\circ}\text{C}$ , т. е. при нормальной температуре человеческого тела. При более высоких и более низких температурах отмечается, как правило, снижение чувствительности, и при  $0^{\circ}\text{C}$  наблюдается резкое уменьшение чувствительности ко всем вкусовым веществам.

Вкусовой анализатор обладает также достаточно выраженной дифференциальной чувствительностью, т. е. способностью различать интенсивность раздражителей, сле-

дующих один после другого с достаточным интервалом. Однако величины разностных порогов колеблются в зависимости от исходной концентрации и вида вещества в весьма широком диапазоне, составляя от 5 до 50 %.

Во вкусовой системе очень выражены следовые процессы. Каждый хорошо знает, что ощущение исчезает значительно позже прекращения действия раздражителя даже при споласкивании рта водой. Однако этот период можно резко сократить, если воздействовать другим раздражителем. Вот поэтому, если горькое на вкус лекарство запивать водой, то горький вкус сохраняется достаточно долго, но если после этого пожевать кусочек хлеба, то горький вкус исчезает гораздо быстрее.

В наших вкусовых ощущениях мы нередко сталкиваемся с явлением адаптации. При длительном соприкосновении какого-либо вкусового вещества с поверхностью языка вкус его постепенно становится менее отчетливым, и в конце концов оно может показаться безвкусным. Возьмите в рот кусочек сахара. При совершенно неподвижном языке (а это необходимое условие для адаптации) сладкий вкус ощущается в течение короткого промежутка времени, потом остается только неприятное чувство раздражения языка посторонним предметом. Но стоит переместить кусочек сахара на другой участок языка, как сладкий вкус возникает вновь. По этой же причине хорошо посоленный суп представляется человеку пресным, если он перед этим ел селедку. Быстрее всего происходит адаптация к сладким и соленым веществам, гораздо медленнее — к горьким и кислым.

Своеобразное явление представляет собой так называемый вкусовой контраст, заключающийся в усилении одних вкусовых ощущений после действия других. Эта особенность нашего вкуса известна практически всем. Нередко приходилось наблюдать, например, что вкус сладкого вещества становится гораздо интенсивнее, если перед этим во рту было что-нибудь соленое. Даже дистиллированная вода кажется сладковатой после того, как рот был сполоснут раствором поваренной соли. В свою очередь сладкие вещества повышают чувствительность к кислому.

Особое место в явлениях вкусового контраста занимают горечи, которые обостряют чувствительность практически ко всем другим веществам. Вот поэтому академик И. Н. Павлов (1897), рассматривая случаи снижения вкусовой чувствительности, писал: «Требуется энергичный

удар по вкусовому аппарату для того, чтобы могли ожить сильные и нормальные вкусовые ощущения, и, как говорит опыт, всего скорее в этом отношении достигают резкие неприятные вкусовые раздражения».

В нашей реальной жизни мы гораздо чаще сталкиваемся со сложными вкусовыми ощущениями, чем с элементарными вкусами. И разнообразие их практически бесконечно. Ведь сколько кулинаров трудится, чтобы создать оригинальный неповторимый вкус блюда! Такое громадное разнообразие обусловлено не только многочисленными возможными вариантами смешения элементарных вкусов, но и участием других афферентных систем в формировании сложного вкусового ощущения. Ведь действительно, всякое реальное пищевое вещество воспринимается не только вкусовыми рецепторами, но также при помощи органа обоняния, тактильной, температурной и иногда даже болевой чувствительности. Это и обуславливает сложность и неповторимость наших вкусовых ощущений в конкретных условиях.

Таким образом, вкусовые ощущения человека представляют собой следствие очень сложного комплекса физико-химических, нейрофизиологических и психофизиологических процессов, имеющих исключительную биологическую значимость в нашей жизни. Но природа их еще таит очень много загадок, что и порождает многочисленные споры по этому поводу.



**В** жизни человека запахи и их восприятие играют меньшую роль по сравнению с ощущениями, связанными с другими органами чувств. Однако они все же являются практически постоянными спутниками нашей жизни, и для большинства людей трудно представить мир без характерных запахов. Необходимо заметить, что в отличие от человека для многих животных запахи имеют труднопереоценимое значение в поиске пищи, избегании врагов, в своеобразной связи между различными особями одного вида и т. п. Это относится к насекомым, многим видам рыб, земноводным, многим млекопитающим.

Обоняние — один из древнейших видов чувствительности. Однако у человека с его великолепно развитыми органами зрения и слуха обонятельная чувствительность в обычных условиях приобрела второстепенное значение для получения информации о внешнем мире и ориентировки в нем. У человека эта функция в значительной степени редуцирована, но не утрачена полностью. И в тех случаях, когда человек лишен способности ориентироваться при помощи органов зрения и слуха, обонятельная чувствительность вместе с тактильной приобретает первостепенное значение в контакте человека с внешним миром. Так, в частности, широко известен пример с О. И. Скороходовой, которая в детские годы стала слепоглухонемой. Однако целенаправленная, но труднейшая тренировка и обучение позволили ей восстановить речь и стать трудоспособным человеком. В своей получившей широкую популярность книге «Как я воспринимаю, представляю и понимаю окружающий мир» она, в частности, пишет: «Я слишком при-

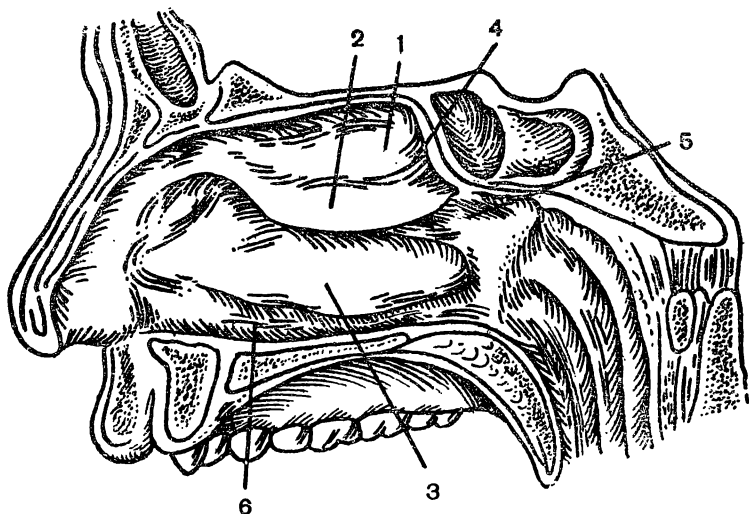


Рис. 24. Схема строения носовой полости:

1, 2, 3 — соответственно верхняя, средняя и нижняя носовые раковины;  
4, 5, 6 — верхний, средний и нижний носовые ходы.

выкла к тому, что целиком руковожусь обонянием и осязанием, и поэтому все, что я воспринимаю из окружающей среды, кажется мне таким же обычным, как если бы я воспринимала посредством зрения и слуха». В 1961 г. О. И. Скороходова стала кандидатом педагогических наук.

Запах — это субъективный образ одного из явлений реальной действительности, заключающегося в воздействии молекул летучих веществ на орган обоняния. Рецепторная часть обонятельного анализатора у человека представляет собой слизистую обонятельной области носа, которая занимает среднюю часть верхней носовой раковины и соответствующий ей участок слизистой оболочки носовой перегородки (рис. 24).

Обонятельный эпителий включает рецепторные клетки, которые относятся к наиболее древним рецепторам. Эти клетки выполняют функцию как трансформации энергии раздражителя в нервное возбуждение, так и передачи этого возбуждения к обонятельному центру — так называемой обонятельной луковице. Между рецепторными клетками находятся опорные и базальные клетки, а также боуменовы железы, вырабатывающие слизистый секрет.

Обонятельные (рецепторные) клетки (рис. 25) имеют

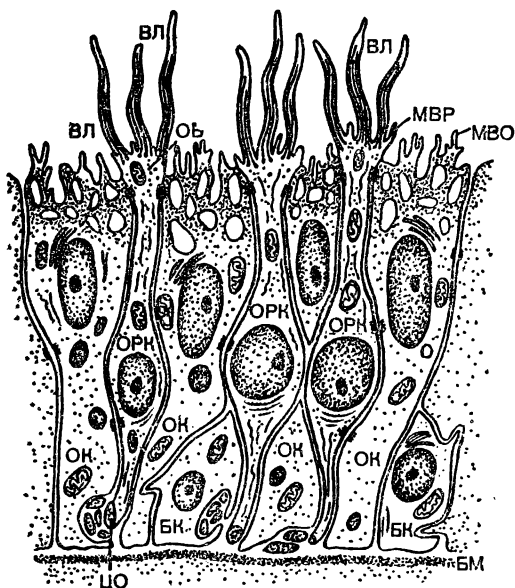


Рис. 25. Схема строения обонятельного эпителия по данным электронной микроскопии:

**ВЛ** — обонятельные волоски; **МВР** — микровиллы рецепторных клеток; **МВО** — микровилла опорных клеток; **ОБ** — обонятельная булава; **ОРК** — обонятельная рецепторная клетка; **ОК** — опорная клетка; **БК** — базальная клетка; **ЦО** — центральный отросток обонятельной клетки; **БМ** — базальная мембрана.

веретеновидную форму и снабжены коротким периферическим отростком, заканчивающимся на поверхности рецепторного слоя специфическим утолщением — обонятельной булавой.

Несмотря на различный уровень филогенетического развития, отличия в среде обитания и неодинаковое значение обоняния в жизни различных позвоночных животных, обязательной структурой воспринимающих (вершин) обонятельных клеток являются волоски. Эти волоски погружены в жидкую среду, продуцируемую боуменовыми железами. Кроме того, можно отметить короткие пальцевидные выросты цитоплазмы — микровиллы.

Интересно сопоставить количество обонятельных клеток у животных с различной степенью развития обоняния. Так, у кролика их число составляет около 100 млн., у

восточноевропейской овчарки — более 220 млн. У человека 10 млн. обонятельных клеток.

Первичные процессы обонятельной рецепции совершаются, по всей очевидности, в волосках обонятельных клеток. Для возбуждения рецептора требуется непосредственный контакт с молекулой пахучего вещества. Некоторые исследователи полагают, что эти молекулы, адсорбируясь на небольшом участке мембраны обонятельного рецептора, вызывают локальное изменение ее проницаемости для отдельных ионов. В результате развивается рецепторный потенциал — начальный этап нервного возбуждения. Предпринималось очень много попыток установить зависимость между строением молекулы пахучего вещества и параметрами рецепторного потенциала, а также особенностями строения рецепторной клетки. Однако одна за другой появляющиеся теории, несмотря на их изящество, кажущуюся на первый взгляд логичность и убедительность, не выдерживали проверки временем. Вопрос остается открытым в своей принципиальной сущности и в настоящее время.

Попытаемся дать характеристику обонятельным ощущениям. Задача не из легких. Ведь при этом мы должны полностью полагаться только на самоотчет исследуемого. Для оценки абсолютной чувствительности чаще всего используется число молекул в  $1 \text{ м}^3$  или в  $50 \text{ см}^3$  воздуха (считается, что на один «пюх» у человека расходуется около  $50 \text{ см}^3$ ). Обращают на себя внимание очень резкие колебания величин порогов для различных веществ, для различных индивидуумов и для различных видов животных. В качестве примера могут служить пороговые концентрации (число молекул в  $1 \text{ м}^3$  воздуха) сильно пахнущих веществ для собаки и человека.

Вещество	Пороговые концентрации	
	собака	человек
Уксусная кислота	$2 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{13}$
Масляная кислота	$9 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^9$
Этилмеркаптан	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^8$
Альфа-ион <sup>1</sup>	$1 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^8$

<sup>1</sup> Альфа- и бета-ионы представляют собой широко известные душистые вещества, используемые в парфюмерной и пищевой промышленности.

Механизмом, который несколько повышает чувствительность, является, по бытовой терминологии, «принюхивание». Дело в том, что при спокойном дыхании воздух в основном идет через нижний и средний носовые ходы, т. е. минуя обонятельную область. Конечно, при высоких концентрациях летучих веществ молекулы их попадают и в верхний носовой ход, вызывая соответствующие ощущения. Если же концентрация находится на пороге различения, то во время «принюхивания», т. е. усиленного вдоха или нескольких коротких энергичных вдохов, воздух проходит и через верхний носовой ход, возбуждая обонятельные рецепторы.

С давних времен предпринимались многочисленные попытки классифицировать многообразный мир запахов. Эти попытки продолжаются и в настоящее время. Однако, к сожалению, приходится констатировать, что единства мнений по этому вопросу пока не достигнуто. Наибольшей популярностью пользуется классификация, разработанная еще в 1925 г. голландским исследователем Цваардемакером. По его мнению, запахи можно разделить на следующие классы и подклассы:

1. Класс эфирных запахов (многие простые и сложные эфиры, ацетон, хлороформ и др.).

2. Класс ароматических запахов. Включает пять подклассов: камфарные (камфара и др.), пряные (эвгенол и др.), анисовые (ментол и др.), лимонные (герапиол и др.), миндальные (бензальдегид и др.).

3. Класс цветочных (бальзамных) запахов. Включает три подкласса (представители подклассов: фенилэтиловый спирт, иононон, ванилин).

4. Класс амбро-мускусных запахов (тринитробутилтолуол и др.).

5. Класс чесночных запахов. Включает три подкласса (представители подклассов: сероводород, триметиламин, иод).

6. Класс пригорелых запахов (бензол, фенол, анилин и др.).

7. Класс каприловых запахов (каприловая кислота и др.).

8. Класс отталкивающих запахов (пиридин, хинолин и др.).

9. Класс тошнотворных запахов (индол, скатол).

Внимательный читатель, очевидно, заметит, сколь легко пайти недостатки у этой классификации, а для многих

окажутся незнакомыми приводимые в качестве примера химические вещества, при помощи которых по существу характеризуются запахи. Вот поэтому классификация запахов вряд ли решенный окончательно вопрос.

Не менее сложной оказалась проблема первичных, или элементарных, запахов, из которых путем смешения можно было бы получить любые или хотя бы большинство встречающихся в природе естественных запахов. Ни одна из предложенных систем не выдержала критики. Исследования, поиски продолжаются. Кажущаяся совершенно очевидной зависимость характера обонятельных ощущений от химической структуры молекул летучего вещества экспериментальной проверкой не подтверждается. Это означает, что химические или физические свойства вещества, обуславливающие его запах, по существу не раскрыты.

Обонятельный анализатор характеризуется очень высоким дифференциальным порогом, который составляет 30—60 %. Это означает, что наш орган обоняния обладает гораздо меньшей способностью различать интенсивности раздражителей, чем при помощи зрения, слуха, вкуса и т. д. Вместе с тем полный диапазон воспринимаемых концентраций может охватывать 12 порядков.

Для обонятельного анализатора характерна адаптация, в результате которой чувствительность к запаху снижается при его длительном действии, и притом настолько, что человек перестает его ощущать, даже если это довольно неприятный запах. И наоборот, чувствительность восстанавливается, когда запахи отсутствуют. Обонятельной чувствительности присущи также и некоторые другие психофизиологические свойства — подавление одного запаха другим, слияние и компенсация запахов. Они хорошо известны феноменологически, в быту, но механизм их пока в должной мере не расшифрован.

## VIII. ОСЯЗАНИЕ

Осязание как способ контакта с внешним миром и получения информации о нем играет без преувеличения исключительную роль, потому что во взаимодействии с другими видами ощущений, и прежде всего со зрением, осязание послужило основой для формирования у человека целостных представлений об окружающих предметах и развития способности к трудовой деятельности. Вот поэтому В. И. Ленин в своей работе «Материализм и эмпириокритицизм» (1909) по познавательному значению осязания поставил в один ряд со зрением. А И. М. Сеченов, основываясь на всестороннем сравнительном анализе осязания и зрения, назвал осязание «чувством, параллельным зрению». При потере зрения и слуха с помощью тактильной чувствительности можно научить человека читать, пользуясь специальным шрифтом (рельефный точечный шрифт Брайля), а это сразу делает принципиально неограниченными возможности человека познавать мир.

Осязание, или тактильная чувствительность, обусловлено функционированием механочувствительных афферентных систем кожного анализатора. Источником тактильных ощущений являются механические воздействия в виде прикосновения и давления.

Тактильные рецепторы весьма многочисленны и разнообразны по форме (рис. 26). В коже очень много нервных окончаний, а распределены они весьма неравномерно. Особенно много их в пальцах рук, ладонях, губах, что и обеспечивает этим областям более высокую по сравнению с другими участками чувствительность. Очень много нервных окончаний заложено в волосяных фолликулах.

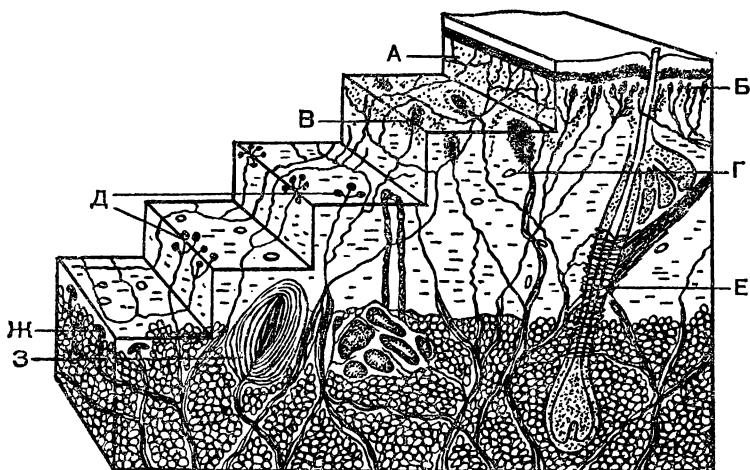


Рис. 26. Схематическое изображение иннервации и рецепторов кожи:

А — свободные нервные окончания; Б — диски Меркеля; В — тельца Мейснера; Г — сплетение нервных волокон с разветвлениями вокруг кровеносных сосудов; Д — колбы Краузе; Е — нервное сплетение волосяной сумки; Ж — тельца Руффини; З — тельца Пачини.

Установлено, что прикосновение и давление воспринимаются нервными сплетениями вокруг волосяных фолликулов, свободными нервными окончаниями, тельцами Мейснера и Пачини, дисками Меркеля. Читатель, очевидно, догадывается, что эти названия связаны с именами их первооткрывателей.

Как уже было отмечено, многие из рецепторных образований механически связаны с кожными волосками, что значительно повышает их чувствительность. Это объясняется тем, что волоски выполняют роль рычага, увеличивая интенсивность воздействия на рецептирующие структуры. Сбривание волос значительно уменьшает тактильную чувствительность. В общем виде механизм возбуждения тактильных рецепторов можно представить следующим образом. Механический стимул вызывает деформацию нервного окончания, что сопровождается растяжением поверхностной мембраны и возникновением рецепторного потенциала, обуславливающего появление распространяющихся нервных импульсов.

А с чем же связано дифференцирование прикосновения и давления? Это зависит от адаптационных способ-



ностей рецепторов. Те из них, у которых такое свойство выражено хорошо, т. е. реагируют только на изменение интенсивности стимула, связаны с кратковременным ощущением — прикосновением, даже когда это длительно давящий стимул. Медленно адаптирующиеся рецепторы посылают импульсы даже при длительном действии механического раздражителя. Они обеспечивают ощущение длительности давления. По механизму прикосновения могут восприниматься и вибрационные раздражители.

Возбуждение, несущее информацию о тактильных раздражителях, передается в центральную нервную систему и в конце концов в ее высший отдел — кору головного мозга, где и формируются специфические субъективные ощущения. Нетрудно заметить, что рецепторная площадь осязания несравненно больше, чем у других органов чувств, в буквальном смысле — вся поверхность нашего тела, т. е. не только кожа, но и слизистые оболочки, и роговица, и даже волосы. Может быть, это обусловит большое разнообразие в строении проводящих путей тактильной чувствительности? Нет! Они, естественно, многочисленны, но подчиняются общей закономерности. Афферентные пути со всех участков тела через спинной и задний мозг сходятся в область зрительного бугра, а оттуда в заднюю центральную извилину коры головного мозга и некоторые другие ее участки. Это так называемые соматосенсорные зоны.

В осязательных афферентных системах различают два пути. Рецептивные поля одного из них очень велики, покрывают все тело и часто неспецифичны. С функционированием этой части тактильной сенсорной системы связана генерализованная, т. е. охватывающая очень широкие кожные покровы, чувствительность. Рецептивные поля второго пути невелики и обладают гораздо большей специфичностью как в отношении чувствительности к различным раздражителям, так и в соответствующих им ощущениях. Есть основание полагать, что первая из этих сенсорных систем в эволюционном отношении более древняя, она обеспечивает неспецифическое реагирование на различные раздражители. Вторая же делает возможным тонкий дифференцированный анализ.

Очень интересным является то обстоятельство, что на поверхность коры проецируется поверхность тела. Но эта проекция весьма своеобразна. Наибольшие площади занимают те участки кожи, которые имеют более тонко дифференцированную тактильную чувствительность, т. е. паль-

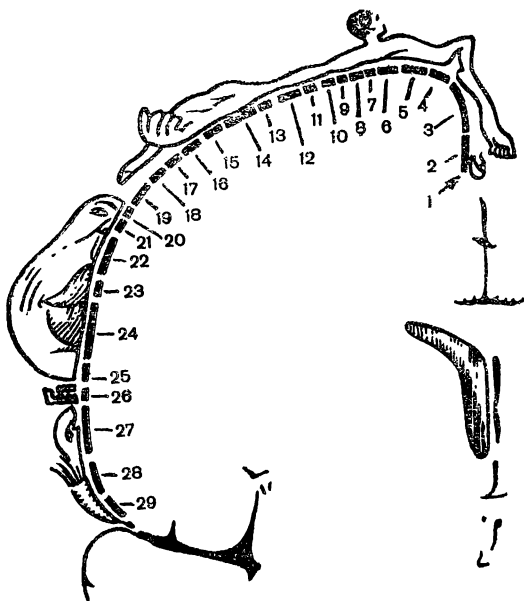


Рис. 27. Расположение в соматосенсорной зоне коры больших полушарий проекций различных частей тела:

1 — половые органы; 2 — пальцы; 3 — ступня; 4 — го-  
лень; 5 — бедро; 6 — туловище; 7 — шея; 8 — голова;  
9 — плечо; 10 — локтевой сустав; 11 — локоть; 12 —  
предплечье; 13 — запястье; 14 — кисть; 15 — мизинец;  
16 — безымянный палец; 17 — средний палец; 18 —  
указательный палец; 19 — большой палец; 20 — глаз;  
21 — нос; 22 — лицо; 23 — верхняя губа; 24 — нижняя  
губа; 25 — подбородок; 26 — зубы, десны, челюсть;  
27 — язык; 28 — глотка; 29 — внутренние органы.

цы, кисти, лицо, губы. Можно даже определить достаточно четко границы таких проекций, и при этом получается весьма своеобразная фигура (рис. 27), размеры частей тела на которой соответствуют размерам сенсорного представительства.

Весьма существенной является способность человека очень точно относить (локализовать) все ощущения прикосновения и давления к определенному месту кожи. Однако такая способность является не врожденной, а вырабатывается в процессе жизненного опыта и во взаимодействии с другими органами чувств, главным образом зрением и мышечным чувством (о котором у нас разговор впереди). В этом можно легко убедиться посредством зна-

менитого опыта Аристотеля. Если к маленькому шарiku прикоснуться перекрещенными указательным и средним пальцами, то возникает ощущение прикосновения к двум шарикам. И действительно, наш повседневный опыт учит, что внутренней стороной указательного пальца и наружной среднего одновременно могут касаться только два разных шарика.

На различных местах кожи тактильная чувствительность развита неодинаково. Это можно легко определить, если прикасаться к разным местам тела кисточкой. В одних будет достаточным самого легкого прикосновения, в других она совсем не будет ощущаться. Порог раздражения самых чувствительных участков равен 50 мг, а в наименее чувствительных он достигает 10 г. Самая высокая чувствительность в области губ, носа, языка, наименьшая на спине, подошвах стопы, животе.

Для осязания характерно и пространственное ощущение. Оно заключается в способности различать, воспринимать как отдельные две одновременно раздражаемые

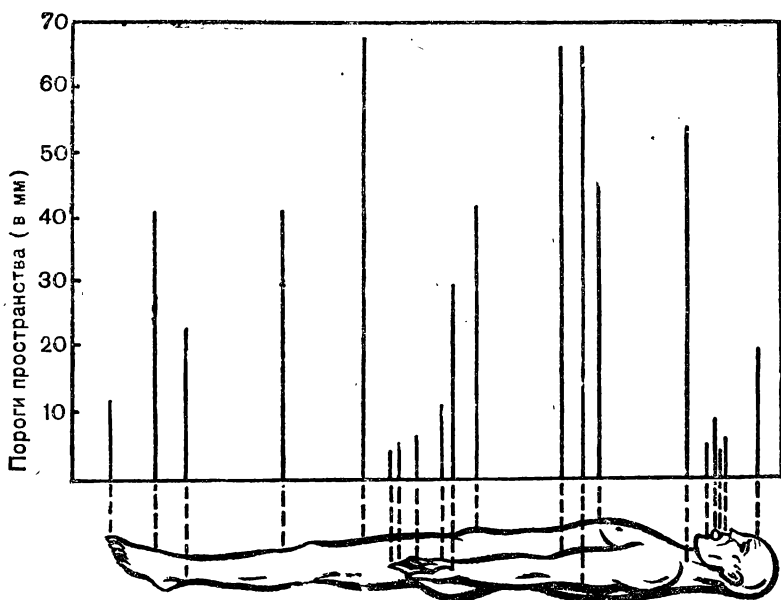


Рис. 28. Величины порогов пространственного различения на различных участках тела человека.

точки. Попробуйте на разных участках тела найти наименьшее расстояние между двумя одновременно раздражаемыми точками, при котором возникает ощущение двойного воздействия. Это и будет порог пространства кожной чувствительности. Вы убедитесь, что такие пороги на различных частях поверхности тела очень различаются. Сравните полученные вами данные с рисунком 28.

Понятно, что тактильная чувствительность имеет определенное биологическое значение для всей поверхности тела. Однако первостепенным является осязание руками и взаимодействие рук в процессе осязания. Специальными экспериментами установлено, что узнавательная способность правой и левой руки неодинакова, что обозначают как функциональная сенсорная асимметрия. Предложите кому-либо из ваших знакомых на ощупь узнавать предметы правой и левой рукой, и вы убедитесь, что при этом будет затрачиваться неодинаковое время. Замечено, что правши не только быстрее и точнее выполняют работу правой рукой, но и лучше опознают предметы на ощупь этой же рукой. Причина заключается опять же в гораздо большем опыте правой конечности, т. е., по всей вероятности, сенсорная асимметрия представляет собой следствие двигательной асимметрии.

Наверное, каждый по своему опыту знает, что тактильное опознание предмета наиболее успешно, когда оно производится двумя руками, или бимануально. И дело при этом совсем не в том, что используется большая поверхность. Наоборот, замечено, что при бимануальном ощупывании человек использует правую и левую руку попеременно. Причина кроется скорее в том, что в таких условиях человек «осматривает» предмет как бы с двух сторон. Можно даже говорить о том, что в нашем сознании для многих предметов обихода существуют тактильные образы от правой и левой руки. «Соединение» этих образов, т. е. ассоциативная функция головного мозга, позволяет узнавать предметы и быстрее, и точнее.

Таким образом, осязательная чувствительность, с одной стороны, является одним из наиболее древних видов чувствительности и очень хорошо развита у многих животных, с другой стороны, она сыграла заметную роль в формировании человека.

## IX. ТЕПЛО ИЛИ ХОЛОДНО?

С этими терминами у нас связаны совершенно конкретные ощущения. Практически, не сомневаясь, любой из нас может дать вполне однозначную оценку — тепло ли ему или холодно. Но вместе с тем не нужно особой наблюдательности, чтобы заметить, что эта оценка очень субъективна. Одни и те же температурные условия различными людьми оцениваются по-разному. Даже один и тот же человек, но в различные моменты времени иной раз дает неодинаковую оценку одним и тем же условиям температуры внешней среды.

Поскольку наш организм представляет собой замечательный термостат, т. е. удерживает свою температуру в очень ограниченных рамках, то именно в целях поддержания этого постоянства должны меняться процессы теплопродукции и теплоотдачи в зависимости от температуры окружающей среды и других условий, влияющих на состояние теплового баланса. И надо заметить, что эти термостатические механизмы работают великолепно. Не без помощи, конечно, технических приспособлений (одежда и некоторые другие), но температура тела сохраняется постоянной ( $+35...+37^{\circ}\text{C}$ ) при колебаниях температуры внешней среды в диапазоне более  $100^{\circ}\text{C}$ . Понятно, что такая совершенная регуляция постоянства температуры тела возможна только при способности очень тонко улавливать колебания температуры окружающей среды.

Эта способность, т. е. способность воспринимать параметры тепловой обстановки, формировать соответствующие субъективные ощущения и терморегуляторные реакции, осуществляется благодаря очень хорошо развитой тонкой температурной чувствительности.

Температурную сенсорную систему обычно рассматривают как часть кожного анализатора, и для того имеются достаточные основания. Во-первых, рецепторы этой афферентной системы расположены в коже. Во-вторых, они, как показывают многие исследования, не могут быть отделены от рецепторов тактильных. И в-третьих, проводящие пути и центры тактильной и температурной чувствительности также значительно совпадают. Однако это совсем не означает, что имеется сходство и в ощущениях. Совсем нет, тактильная и температурная чувствительность совершенно четко различаются субъективно, равно как и по некоторым объективным показателям — условнорефлекторному и электрофизиологическому.

Еще в конце прошлого века было очень убедительно показано существование в коже участков, избирательно чувствительных к действию тепла и холода. Расположены они очень неравномерно. Большие всего их на лице, особенно на губах и веках. И эта особенность локализации присуща не только человеку, но и очень многим животным, распространяясь также в определенной степени и на тактильную чувствительность. Ученые полагают, что высокую чувствительность кожных рецепторов в лицевой части головы следует поставить в связь с общим филогенетическим ходом развития головного конца тела и соответствующих нервнорефлекторных аппаратов.

Специальными исследованиями найдено, что общее число точек холода на всей поверхности тела около 250 000, а тепла только 30 000. Не так легко установить, какими рецепторами воспринимаются температурные раздражители, ведь в коже много чувствительных элементов, раздражение которых приводит к ощущениям прикосновения, давления и даже боли. Изучение времени реакции на тепловые и холодовые воздействия и сравнение полученных данных с теплопроводностью кожи позволило прийти к заключению, что тепловые рецепторы залегают на глубине около 0,3 мм, а холодовые — 0,17 мм. Эти рассчитанные величины оказались в очень хорошем соответствии со средней глубиной расположения нервных окончаний типа телец Руффини и концевых колб Краузе (рис. 26). Вот поэтому широко распространено мнение, что именно они и являются температурными рецепторами. Притом показано, что раздражение телец Руффини приводит к ощущению тепла, а колб Краузе — холода. Вместе с тем найдено, что к температурному воздействию оказа-

лись чувствительны и участки кожи, в которых находились только свободные нервные окончания.

Более четкими являются факты, полученные при электрофизиологическом исследовании первых волокон, несущих афферентную импульсацию от температурных рецепторов. И по характеру этой импульсации можно опосредованно судить о свойствах рецепторов. В частности, оказалось, что в состоянии температурного равновесия, т. е. при стабильной температуре, терморецепторы посылают свои разряды с некоторой постоянной частотой, зависящей от абсолютной температуры. При этом с тепловыми ощущениями связаны волокна, реагирующие на изменения температур в диапазоне от  $+20$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Максимальная частота импульсации наблюдается у них при  $+38...+43^{\circ}\text{C}$ . Холодовые волокна «работают» при температуре  $+10...+41^{\circ}\text{C}$  с максимумом при  $+15...+34^{\circ}\text{C}$ .

Необходимо заметить, что как холодовые, так и тепловые рецепторные структуры адаптируются очень слабо. Это означает, что при длительном действии постоянной температуры, а точнее говоря, при неизменной температуре самих рецепторов, сохраняется неизменной частота посылаемых ими импульсов. Вполне удается даже обнаружить функциональную зависимость между этими двумя показателями — температурой и импульсацией. Отсюда следует очень важное для понимания физиологии терморегуляции положение — тепловые и холодовые рецепторы являются датчиками абсолютной температуры, а не ее относительных изменений. Однако каждый хорошо знает, что если судить по нашим ощущениям, то мы гораздо лучше воспринимаем как раз относительные изменения температуры. И это свидетельствует о более сложных нейрофизиологических механизмах ощущения по сравнению с рецепторным актом.

Термические ощущения человека охватывают всю гамму оттенков от нейтральной зоны через «слегка прохладно» до «холодно» и «нестерпимо холодно». И в другую сторону — через «тепловато», «тепло» до «горячо» или «жарко». При этом крайние как холодовые, так и тепловые ощущения без резкой границы переходят в ощущения боли.

Основой для формирования ощущений, естественно, являются параметры афферентной импульсации, приходящей в центральную нервную систему от тепловых и холодовых рецепторов. В общем виде эту зависимость мож-

но представить таким образом, что усиление импульсации от тепловых рецепторов и ослабление от холодовых дает ощущение тепла, а усиление импульсации по холодовым и ослабление по тепловым волокнам дает ощущение холода.

Однако специальные психофизиологические эксперименты показывают, что способность ощущать температуру зависит от нескольких факторов: абсолютной внутрикожной температуры, скорости ее изменения, исследуемой области, ее площади, длительности температурного воздействия и др. Понятно, что сочетание этих факторов может быть самым разнообразным. А отсюда термочувствительные ощущения человека несравненно богаче, чем афферентация, посылаемая единичным терморецептором. В высших центрах происходит интеграция сигналов, приходящих от большого количества как тепловых, так и холодовых рецепторов.

Для температурной чувствительности характерна хорошо выраженная адаптация. Сравните: на рецепторном уровне адаптация практически отсутствует. С этой психофизиологической особенностью мы сталкиваемся повседневно. Вода, которая нам кажется сначала горячей, если в ней держать руку или ногу, спустя некоторое время, всего несколько минут, становится значительно «прохладнее», хотя температура ее при этом остается практически неизменной. Вспомните, когда в жаркий летний день вы входите в воду реки, озера, моря, то первое ощущение «холодно» быстро сменяется на «слегка прохладно» или даже нейтрально.

Близким по своим механизмам к адаптации является температурный контраст, с которым мы сталкиваемся также очень часто. Сделаем очень простой, но достаточно убедительный опыт. Заполним три цилиндра водой разной температуры. Левую руку поместим в сосуд, где температура воды  $20^{\circ}\text{C}$ , а правую — в сосуд с температурой воды  $40^{\circ}\text{C}$ . Наши ощущения будут совершенно отчетливы: слева — «прохладно», справа — «тепло». Через 2—3 мин обе руки поместим в цилиндр с водой при температуре  $30^{\circ}\text{C}$ . Теперь для левой руки будет «тепло», а для правой «холодно». Однако очень скоро, через несколько десятков секунд, ощущения выравниваются в результате явления адаптации. И аналогичных примеров очень много.

Иногда нарушение взаимодействия между тепловыми и холодовыми афферентными потоками может привести к некоторым парадоксальным ощущениям. Например, пара-



доксальное ощущение холода. Вспомните, когда вы быстро залезаете в ванну с горячей водой (при ее температуре выше  $+45^{\circ}\text{C}$ ), то при этом нередко возникает ощущение холода, вплоть до того, что кожа становится «гусиной». И это несложно объяснить. Ведь холодовые рецепторы расположены более поверхностно, поэтому именно они воспринимают «первый удар». Более того, электрофизиологическими экспериментами обнаружено, что при таком резком повышении температуры в холодовых рецепторах происходит усиление импульсации, а это ведь сигнал холода.

Как уже было отмечено, афферентная импульсация от терморецепторов зависит от внутрикожной температуры. Степень же и скорость ее изменения определяются направлением, интенсивностью и скоростью теплового потока. Эти параметры в свою очередь зависят не только от температуры объектов, с которыми мы контактируем, но и от их теплоемкости, теплопроводимости, массы. В этом мы можем легко убедиться, если сравним наши ощущения, когда держим в руках металлический, деревянный и пенопластовый предметы при одной и той же комнатной температуре. Металлический предмет будет нам казаться прохладным, деревянный — нейтральным, а пенопластовый — даже слегка теплым. В первом случае тепловой поток будет направлен от кожи и, следовательно, приведет к снижению внутрикожной температуры, в третьем случае мы столкнемся с противоположным явлением, а во втором — с промежуточным.

По той же самой причине один и тот же предмет (лучше металлический) при температуре около  $+30^{\circ}\text{C}$  кожей шеи и лица будет восприниматься как холодноватый, а пальцами стопы как тепловатый. Дело в том, что в результате особенностей терморегуляции человеческого организма наши кожные покровы в разных местах тела имеют различную температуру, что, естественно, отражается на температурной чувствительности этих участков.

Человек способен различать разницу температур до  $0,2^{\circ}\text{C}$ . При этом диапазон воспринимаемых внутрикожных температур составляет от  $+10$  до  $+44,5^{\circ}\text{C}$ . Обратите внимание — внутрикожных. При температурах менее  $+10^{\circ}\text{C}$  наступает холодовая блокада температурных волокон и волокон другой чувствительности. На этом, кстати, основан один из способов обезболивания (как это не совсем точно называют — «замораживание»). При температурах же

выше  $+44,5^{\circ}\text{C}$  на смену ощущению «горячо» приходит ощущение «больно».

Информация о температуре окружающей среды используется для выработки ответной терморегуляторной реакции организма. А в чем же заключается это терморегуляторное реагирование? Прежде всего необходимо вспомнить, что человек является теплокровным, или гомойотермным, существом. Это означает, что все биохимические процессы в нашем организме будут протекать в необходимом направлении и с необходимой интенсивностью только в очень узком диапазоне температур. На поддержание этого диапазона и направлены терморегуляционные реакции.

Тепловой баланс человека зависит от соотношения двух противоположных процессов — теплопродукции и теплоотдачи. Теплопродукция, или, как ее иначе называют, химическая терморегуляция, заключается в образовании тепла при различных реакциях обмена веществ в организме. Теплоотдача, или физическая терморегуляция, представляет собой потерю тепла телом человека в результате теплопроводения, теплоизлучения и испарения.

Интенсивность теплопродукции и теплоотдачи регулируется в зависимости от температуры окружающей среды, точнее, от внутрикожной температуры. Однако диапазон терморегуляторных изменений теплопродукции значительно меньше, чем теплоотдачи. И поэтому поддержание постоянства температуры тела достигается главным образом изменением интенсивности отдачи тепла. Для этого имеются очень эффективные приспособления, такие, как потоотделение и изменение просвета подкожных сосудов (покраснение и побледнение кожи). Данные процессы достаточно сложны в своей организации и должны быть предметом отдельного специального разговора. Но запуск этих механизмов достигается в результате получения информации от термочувствительных структур, которые мы рассмотрели.

## Х. МЫШЕЧНОЕ ЧУВСТВО

**М**ышечная двигательная активность практически непрерывно сопровождает все проявления жизнедеятельности человека. Это совершенно понятно, когда речь идет о каких-либо физических упражнениях, как бытовых, так и специальных. Но не только в таких условиях. Когда человек спокойно стоит, сидит и даже лежит, его скелетная мускулатура не приходит в состояние полного покоя. Ведь каждое из названных положений представляет определенную позу, которая направлена на противодействие силе земного притяжения. Более того, даже в состоянии глубокого естественного сна не происходит полного расслабления мышечного аппарата человека.

Сопровождается ли мышечная активность какими-либо специфическими ощущениями? Не торопитесь с ответом. Как это принято в физиологии, попытаемся ответить на этот вопрос экспериментально. Попросите вашего соседа закрыть глаза. А затем придайте его руке любое положение. Для наглядности лучше такое, чтобы участвовали все суставы. Затем попросите этого человека, чтобы он, не открывая глаз, теперь уже самостоятельно придал второй руке такое же положение. И вы убедитесь, что это задание будет выполнено быстро, с большой точностью и без каких-либо затруднений. Этот немудреный опыт порождает очень сложный вопрос: «Как правая рука ведает, что делает левая?»

Давайте теперь проанализируем факт, который хорошо знаком каждому из повседневной жизни. Наверное, не раз случалось, находясь в неудобной позе, «отсидеть» или «отлежать» ногу либо руку. Такое состояние всегда со-

проводится временным, полным или частичным нарушением чувствительности. Обратите внимание — нарушением чувствительности. Вспомните, сколь неточными при этом становятся движения такой конечности и совершенно не удается продублировать ее положение на противоположной стороне без контроля глаз. А если вы никогда не обращали на такое явление внимания, то при первом удобном случае попытайтесь это проверить. Из рассмотренных в общем-то широко известных фактов логичным будет сделать, по крайней мере, два предположения. Во-первых, наши мышцы, или, точнее, опорно-двигательный аппарат, наделены чувствительностью. И во-вторых, такой вид чувствительности необходим для координации мышечной деятельности.

Эти предположения, к которым мы пришли, анализируя наши повседневные наблюдения, явились предметом весьма многочисленных исследований. К настоящему времени накоплено много и морфологических, и функциональных данных, позволяющих говорить о двигательном анализаторе как о совокупности периферических образований, которые воспринимают состояние опорно-двигательного аппарата и обеспечивают формирование соответствующих ощущений, сопровождающихся двигательными и вегетативными рефлексиями. Иными словами говоря, биологическая роль двигательного анализатора заключается в обеспечении координации двигательной активности и снабжении работающих мышц необходимыми веществами.

Нервные окончания в структурах опорно-двигательного аппарата весьма разнообразны по форме и механизмам функционирования. Они располагаются в мышцах, сухожилиях, фасциях, надкостнице, тканях суставов. Здесь можно обнаружить рецепторные образования, встречающиеся и в других частях тела (в частности, такие, как рассматривались при описании тактильной и температурной чувствительности), а также и специализированные чувствительные структуры, присущие только двигательному анализатору. Их часто называют проприоцепторами или проприорецепторами, а обусловленную ими чувствительность как проприоцептивную (проприорецептивную) чувствительность. Такими специфическими рецепторами опорно-двигательного аппарата являются сухожильные органы Гольджи и мышечные веретена. Оба вида чувствительных образований по механизму функционирования от-

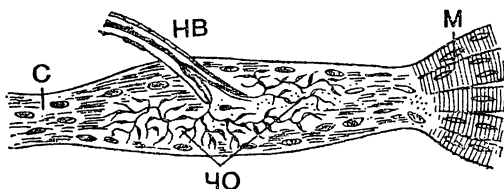


Рис. 29. Сухожильный орган Гольджи:  
С — сухожилие; НВ — чувствительное нервное  
волокно; ЧО — его чувствительные окончания;  
М — мышечные волокна.

носятся к механорецепторам, т. е. воспринимающим механическую энергию, однако их конкретная роль в передаче информации неоднозначна.

Сухожильные органы Гольджи (описаны в 1880 г. выдающимся итальянским гистологом, лауреатом Нобелевской премии К. Гольджи) располагаются в сухожилиях обычно на границе мышечной и сухожильной ткани, в опорных участках капсул суставов, в суставных связках (рис. 29).

Из рисунка понятно, что это рецепторное образование расположено «последовательно» (по аналогии с электротехническими схемами) в цепи «мышца — сухожилие». Отсюда следует, что раздражение данного рецептора развивается тогда, когда возникает растяжение в этой цепи. Это, в частности, отмечается при наличии даже небольшого сокращения мышцы, т. е. даже в состоянии покоя. И степень возбуждения рецептора будет тем сильнее и тем значительнее, чем интенсивнее сокращение. Кроме того, при приложении какой-то внешней силы; растягивающей эту систему (масса самой мышцы, конечности), возбуждение в рецепторах также возрастает.

В естественных условиях, таким образом, аппарат Гольджи никогда не бывает в покое, но степень его возбуждения отражает интенсивность растяжения структуры, в которой он расположен. Для многих ситуаций такая способность является вполне достаточной, чтобы посылать в центральную нервную систему информацию, отражающую состояние опорно-двигательного аппарата.

Представим себе несколько абстрактную, но по своей принципиальной сущности реальную ситуацию (рис. 30). На этой схеме показаны контуры костей коленного сустава человека, вычерченные на основании рентгенограмм. Пунктирные линии а, б и в соединяют произвольно вы-

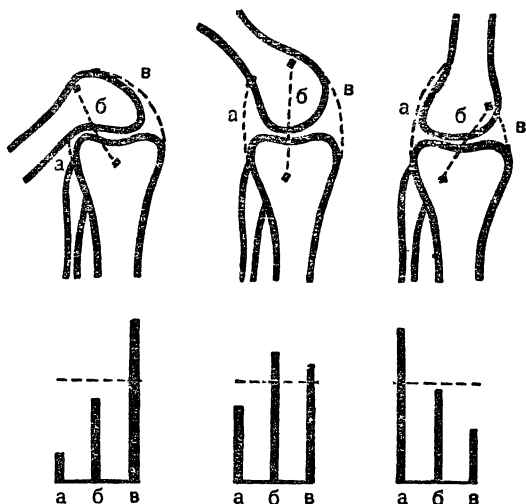


Рис. 30. Функционирование рецепторов при различных положениях сустава.

бренные точки, между которыми могут быть натянуты связки. Длина черных столбиков пропорциональна длине связок *a*, *b* и *v*. Если представить, что в этих связках расположены рецепторы растяжения типа органа Гольджи, то тогда можно считать, что длина столбиков передает степень возбуждения рецепторов, заключенных в этих связках, а пунктирная горизонтальная линия — порог появления афферентной импульсации. Из этого следует, что в первом примере (максимальное сгибание) надпороговое возбуждение возникает только в рецепторах связки *v*, во втором примере (промежуточное положение) — в *b* и *v*, а в третьем (максимальное разгибание) — только в рецепторах связки *a*. Таким образом, в каждом разобранным случае и во всех промежуточных нерассмотренных для всякого определенного положения суставов существует своя специфическая картина афферентной импульсации, поступающей от рецепторных структур в центры двигательного анализатора.

Вторым видом специфических рецепторных образований опорно-двигательного аппарата являются так называемые мышечные веретена, описанные еще в середине прошлого столетия. Они представляют собой вытянутые

структуры, расширенные в середине за счет капсулы и напоминающие по форме веретена.

В отличие от органа Гольджи, расположенного «последовательно» между мышцей и сухожилием, мышечное веретено в этой цепи расположено «параллельно». Это и определяет специфику условий, при которых возбуждается такой рецептор. Непосредственной причиной возбуждения мышечного веретена и в этом случае является его растяжение. А теперь давайте постараемся представить, при каком состоянии мышцы будет растянуто мышечное веретено (рис. 31).

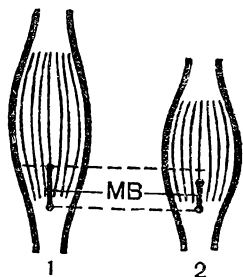


Рис. 31. Изменение степени растяжения мышечного веретена (MB) при расслаблении (1) и сокращении (2) мышцы.

Легко понять, что при сокращении мышцы точки прикрепления мышечного веретена сближаются, а при расслаблении — удаляются, т. е. мышечное веретено растягивается. Из этого следует, что данные рецепторные структуры возбуждаются во время расслабления мышцы, а степень их возбуждения будет пропорциональна степени расслабления. Мышечное веретено по своим физическим свойствам весьма эластичное образование, вследствие чего даже при реально возможных максимальных сокращениях сохраняется некоторая степень его растяжения и, следовательно, некоторая степень его возбуждения. Легко догадаться, что при искусственном механическом растяжении сухожильно-мышечной структуры в мышечном веретене, так же как и в органе Гольджи, возбуждение будет усиливаться.

Наличие таких двух рецепторных образований позволяет получать тонко дифференцированную информацию о состоянии мышцы, т. е. степени ее сокращения, расслабления или растяжения. При расслабленном состоянии мышцы имеется редкая тоническая афферентная импульсация от сухожильных рецепторов Гольджи и усиленная от мышечных веретен. При сокращении отмечается противоположное соотношение. При искусственном растяжении афферентация усиливается от обоих видов рецепторов. Таким образом, любое состояние мышцы находит отражение в характере импульсации от обоих видов рецепторов сухожильно-мышечных структур.

Рассмотрим более детально структуру и свойства мышечного веретена. Каждое мышечное веретено состоит, как

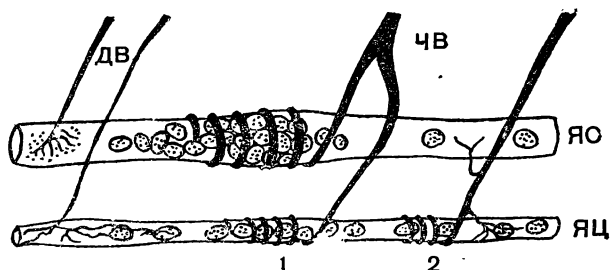


Рис. 32. Схема строения и иннервации двух типов (ЯС и ЯЦ) интрафузальных мышечных волокон:

ЧВ — чувствительные нервные волокна; ДВ — двигательные нервные волокна; 1, 2 — первичные и вторичные нервные окончания.

правило, из нескольких так называемых интрафузальных мышечных волокон, в которых различают центральную часть и периферическую — мионевральную — трубку. Существует два типа интрафузальных мышечных волокон: ЯС-волокна, у которых ядра сконцентрированы в центральной части в виде ядерной сумки, и ЯЦ-волокна с расположением ядер в виде ядерной цепочки (рис. 32).

Количество мышечных веретен и содержание в них интрафузальных мышечных волокон в различных мышцах неодинаково. Можно заметить, что, чем сложнее и тоньше выполняемая мышцей работа, тем больше в ней рецепторных образований. Полагают, что ЯЦ-волокна связаны с тонкокоординированной мышечной работой.

Интрафузальные мышечные волокна получают как чувствительную, так и двигательную иннервацию. Окончания чувствительных нервных волокон или оплетают в виде спирали центральную часть (первичные окончания), или располагаются в области миотрубки (вторичные окончания). Именно в этих нервных структурах и возникает афферентная импульсация, передаваемая в центральную нервную систему, в зависимости от степени растяжения волокна.

А какова же функция двигательных волокон, подходящих к этим рецепторным структурам? Их роль была раскрыта сравнительно недавно известным современным физиологом, шведским ученым, Нобелевским лауреатом Р. Гранитом. Дело заключается в том, что периферическая, мионевральная часть интрафузального мышечного волок-



на содержит сократительные элементы, состоящие из поперечнополосатых мышечных волокон (т. е. таких же, как и в обычных скелетных мышцах). При их сокращении длина интрафузального мышечного волокна, естественно, уменьшается. А если мы теперь снова обратимся к рисунку 31, то станет очевидным, что такое состояние мышечного веретена сделает его более чувствительным к расслаблению мышцы; таким образом, при помощи этих двигательных нервных волокон регулируется чувствительность мышечных веретен.

Всем хорошо понятно, сколь велик мышечный аппарат человека. Соответственно этому столь же широко распространены рецепторные структуры. Нередко подходящие к ним чувствительные нервные волокна идут вместе с двигательными в составе нервов, которые иногда не совсем верно обозначают как двигательные. Практически все нервы смешанные, т. е. содержат как двигательные, так и чувствительные волокна.

Чисто сенсорный путь имеет переключение в продолговатом мозге, в зрительном бугре и заканчивается в коре головного мозга. Интересно заметить, что у человека корковое представительство двигательного анализатора (т. е. чувствительная система) совпадает с корковыми двигательными структурами — передней центральной извилиной. Однако чувствительные пути идут также в соматосенсорную зону (задняя центральная извилина) и префронтальную кору. Все эти участки имеют непосредственное отношение к регуляции двигательной активности.

Помимо рассмотренного специфического сенсорного пути, проприоцептивная импульсация попадает также в мозжечок, ретикулярную формацию, гипоталамус и некоторые другие структуры. Эти связи являются отражением роли данной импульсации в регуляции двигательной активности и деятельности внутренних органов. Последнее положение не должно вызывать удивления. Ведь всякая двигательная активность требует резкой интенсификации доставки кислорода, питательных веществ, удаления углекислого газа и других продуктов обмена веществ. А для этого необходимо усиление деятельности практически всех систем внутренних органов — кровообращения, дыхания, выделения и др. Такая согласованность станет возможной, если в вегетативные центры (которые регулируют работу внутренних органов) будет поступать информация о состоянии мышц.

Рассмотрим чисто сенсорную характеристику деятельности двигательного анализатора. Абсолютную чувствительность этой афферентной системы измерить достаточно трудно. Принято судить о ней по некоторым косвенным признакам, в частности по точности воспроизведения положения сустава и ощущению изменения его положения. Установлено, в частности, что самым чувствительным в таком смысле является плечевой сустав. Для него порог восприятия смещения при скорости  $0,3^\circ$  в секунду составляет  $0,22—0,42^\circ$ . Наименее чувствительным оказался голеностопный сустав, у него порог составляет  $1,15—1,30^\circ$ . Для многих суставов человек с закрытыми глазами через 10—15 секунд воспроизводит положение с ошибкой около 3 %.

Иногда для оценки чувствительности, в частности дифференциальной, двигательного анализатора используют величину едва различимой разницы в силе тяжести. В весьма широком диапазоне исследуемых значений эта величина близка к 3 %.

Адаптация в двигательном анализаторе на рецепторном уровне выражена слабо. Благодаря этому афферентная импульсация длительное время не изменяется при неизменной степени растяжения рецепторов. Однако интегральная чувствительность сенсорной системы в целом меняется в зависимости от нагрузки на опорно-двигательный аппарат. Хорошо известна его тренируемость, что выражается в развитии очень тонкой двигательной координации соответствующих групп мышц у ювелиров, музыкантов, хирургов и т. п.

С полным основанием можно говорить об исключительной значимости двигательного анализатора в выработке у человека пространственных представлений о внешнем мире. Проприоцепция для человека является основой, можно даже сказать, абсолютным критерием удаленности и размеров предмета. Ведь действительно, чтобы сложилось первоначальное представление о расстоянии до предмета, его габаритах, необходимо это расстояние «отмерить» во время ходьбы или дотянуться до предмета рукой и ощупать его. Неоднократные сочетания такого рода ощущений со зрительными, слуховыми, тактильными ощущениями позволяют выработать способность оценивать расстояния и размеры только на основе работы зрительного, слухового, кожного анализаторов. Механизмы таких ощущений, есте-

ственно, имеют свои особенности, которые и рассматривались в соответствующих главах.

Постоянной и плохо восполнимой функцией двигательного анализатора является его участие в рефлексорном формировании мышечного тонуса. Человек всегда (за исключением условий космического полета) находится под воздействием силы земного притяжения. Под ее влиянием голова, туловище, конечности и суставы принимают определенное положение, а мышцы подвергаются некоторой степени растяжения. Все это, естественно, сопровождается раздражением рецепторов мышц, сухожилий, суставных структур. Отсюда следует, что от них в центральную нервную систему постоянно поступает афферентная импульсация той или иной интенсивности, а в ответ на нее рефлексорно поддерживается соответствующая степень тонического сокращения всех скелетных мышц. Такой тонус, с одной стороны, является базисом, на котором развиваются сокращения, а с другой, обеспечивает поддержание той или иной адекватной позы.

Жизнь человека невозможно представить без движений. Двигательный анализатор — одно из звеньев управления двигательной активностью.

Очень точно биологическое значение двигательного анализатора оценил И. М. Сеченов (1891): «Мышечное чувство может называться ближайшим регулятором движений и в то же время чувством, которое помогает животному познавать в каждый данный момент положение в пространстве, притом как при покое его, так и при движении. Оно представляет, следовательно, одно из орудий ориентации животного в пространстве и времени».

## XI. СИГНАЛЫ ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ

**В** 1912 г. И. П. Павлов писал: «...надо признать в больших полушариях существование еще особых анализаторов, которые имеют целью различать огромный комплекс внутренних явлений, происходящих в самом организме. Нет сомнения, что для организма важен анализ не только внешнего мира — для него также необходимо сигнализирование вверх и анализирование того, что происходит в нем самом. Словом, кроме перечисленных внешних анализаторов, должны существовать анализаторы внутренние».

Завершая рассмотрение сенсорных систем, мы должны остановиться на последней, которая сигнализирует о состоянии нашей внутренней среды, о деятельности внутренних органов. Очень много своеобразного в функционировании этого анализатора, отражением чего является противоречивость во взглядах и относительно его структуры, и касательно механизмов деятельности, и даже названия. В физиологии говорят и об интероцептивном, и о висцеральном, и о висцерально-химическом, и о внутреннем анализаторе.

Чтобы нам лучше понять биологическую значимость этого анализатора, остановимся на понятии «внутренняя среда» организма. Выдающийся французский физиолог, основоположник современной экспериментальной физиологии Клод Бернар (1813—1878) в конце своей жизни писал: «*La fixité du milieu interieur est la condition de la vie libre*» («Постоянство внутренней среды — условие свободного существования организма»). Эти слова стали одним из фундаментальных положений в физиологии.

Сложна и многообразна эволюция животного мира. Однако на протяжении миллионов лет сущность жизни не изменилась. В основе ее лежит специфический обмен веществ (метаболизм), направленный на самообновление. Специфичность метаболизма заключается прежде всего в участии в нем белков и нуклеиновых кислот. Элементарным носителем такого обмена веществ является клетка.

На самых ранних этапах эволюции, когда существовали только одноклеточные организмы, этот специфический метаболизм осуществлялся в обмене с внешней средой — водами Мирового океана. Стал усложняться животный мир, появилось громадное разнообразие многоклеточных организмов, многие из них покинули водную стихию. Но в таком многоклеточном организме среда вокруг клетки во многом осталась неизменной, похожей по составу на воды Мирового океана, в которых и возникла жизнь.

И вот эту внешнюю среду клетки обозначили как внутреннюю среду организма. В настоящее время под внутренней средой понимают кровь (точнее, плазму крови), лимфу и межклеточную жидкость (в том числе и спинномозговую жидкость). Сравните на таблице содержание основных веществ в жидкостях человеческого организма и в морской воде.

Вещества	Содержание вещества (%)		
	во внутриклеточной жидкости	в межклеточной жидкости	в морской воде
Вода	80—85	99	96,6
Органические вещества	13,5	0,10—0,15	пет
Натрий	0,044	0,32	0,34
Калий	0,53	0,016	0,01
Кальций	0,00016	0,01	0,01
Магний	0,013	0,001	0,001
Хлор	0,276	0,37	0,35

Не правда ли, поразительное сходство между межклеточной жидкостью и морской водой! И весьма существенные различия между внутри- и межклеточной жидкостями. Такие различия являются отражением того, что специфический метаболизм протекает именно в клетке.

Поддержание специфического метаболизма, т. е. первоосновы жизни, возможно только при поддержании строгого динамического постоянства внутренней среды организма. Этот принцип, впервые выдвинутый К. Бернаром, был впоследствии развит выдающимся американским физиологом У. Б. Кеннопом (1871—1945) и обозначен как *гомеостаз*.

Можно назвать несколько параметров внутренней среды, поддержание которых особенно важно для жизни. Это содержание кислорода, углекислого газа, водородных ионов, ряда минеральных веществ, осмотическое давление, градиенты гидростатического давления, температура и некоторые другие. Диапазон колебаний этих параметров очень невелик.

Благодаря такому строгому постоянству внутренней среды животное может находиться в весьма разнообразных условиях внешней среды, т. е. существовать в определенной степени «независимо» от нее (вспомните — «условие свободного существования организма»).

Однако эта независимость кажущаяся. Все время как внешние, так и внутренние факторы стремятся нарушить внутреннюю среду. Вот поэтому существует очень оперативно функционирующий регуляторный аппарат, который выравнивает, компенсирует все возмущающие воздействия. Одной из составных частей такого регуляторного аппарата является интероцептивный анализатор.

Понятие «интероцептивный анализатор» в настоящее время включает в себя афферентные системы, воспринимающие и передающие в центральную нервную систему сигналы не только об изменениях внутренней среды (в ее классическом толковании К. Бернара — У. Кеннона), но и от всех внутренних органов. Ведь даже при самом спокойном состоянии человека деятельность внутренних органов не прекращается, хотя интенсивность ее, конечно, уменьшается.

Эти изменения находятся в сложной взаимной зависимости, а также в очень большой степени определяются уровнем физической и психической активности человека. Такая ситуация свидетельствует о необходимости специального аппарата координации деятельности внутренних органов, приведения их в соответствие потребностям целостного организма.

Сейчас хорошо известно, что наши внутренние органы имеют огромное количество разнообразных рецепторов, которые объединяют понятием «интероцепторы», или «интерорецепторы». Находятся они на внутренней поверхности сосудов (главным образом, артериальных), в слизистых оболочках почти всех полых внутренних органов, в толщине их стенок и на их поверхности. Надо даже заметить, что области, где пока не обнаружены рецепторные образования, все время суживаются.

Легко себе представить, что процессы, о которых должны сигнализировать интероцепторы, по своей природе весьма разнообразны; это изменение механического давления, растяжение, колебания температуры, сдвиг концентрации различных составных частей, отклонения осмотического давления и т. п. По существу для восприятия всех этих и аналогичных им факторов существуют интерорецепторы соответствующего вида чувствительности. Различают механорецепторы, хеморецепторы, терморецепторы и осморецепторы. Есть основания говорить также и о болевых рецепторах, но об этом отдельный разговор в следующей главе.

Наиболее распространены механорецепторы, они имеются и в кровеносных сосудах, и в дыхательных путях, и в стенках полых органов (желудочно-кишечный тракт, мочевой пузырь), и в некоторых других органах. Эти чувствительные структуры реагируют главным образом на растяжение органов и тем самым сигнализируют о степени их наполнения или изменении в них давления. Нередко различают отдельные разновидности механорецепторов: прессо-, баро-, волюморецепторы, отражая тем самым некоторую их специализацию.

Очень широко во внутренних органах представлены хеморецепторы, более всего их в артериальных кровеносных сосудах и в слизистой желудочно-кишечного тракта. Сосудистые хеморецепторы — это и есть стражи внутренней среды. Они очень чутко воспринимают изменение концентрации кислорода, углекислого газа, водородных ионов. Незначительные изменения этих показателей очень хорошо отражают качественные и количественные сдвиги в метаболизме. Интересно, что сосудистые хеморецепторы очень чувствительны к самым разнообразным чужеродным веществам, которые попали в кровь либо в результате отравления, либо при введении некоторых лекарственных препаратов.

В настоящее время появились данные, позволяющие допустить существование такой разновидности хеморецепторов, как ионорецепторы, которые обладают специфической чувствительностью к некоторым минеральным веществам, особенно ионам натрия. Хорошо понятна их биологическая роль, но наши сведения о них еще очень ограничены.

На слизистых поверхностях некоторых отделов желудочно-кишечного тракта доказано наличие терморецепторов, воспринимающих температуру содержимого этих органов, хотя колебания ее в условиях нормального питания сравнительно невелики.

Весьма своеобразным свойством обладают осморецепторы — специфические нервные клетки одного из отделов гипоталамуса. Эти клетки содержат вакуоли, мембраны которых проницаемы для воды и непроницаемы для солей. Когда в результате повышения концентрации минеральных веществ возрастает осмотическое давление, вода из этой вакуоли выходит, и она сморщивается. При помощи такого механизма улавливаются очень тонкие изменения водно-солевого баланса, что для организма жизненно важно.

Как видите, рецепторный аппарат интероцептивного анализатора весьма разнообразен. Сигналы от внутренних органов попадают в таламус, гипоталамус, мозжечок, ретикулярную формацию ствола мозга. Так же как и в других сенсорных системах, интероцептивная импульсация достигает и коры больших полушарий. Однако своеобразие коркового центра интероцептивного анализатора заключается в более широком и менее четком его расположении.

В настоящее время считают, что проекционными зонами внутренних органов являются орбитальная (лобная) кора и некоторые прилегающие к ней участки, двигательная область и внутренняя поверхность больших полушарий (так называемая лимбическая область).

Очень трудно дать психофизиологическую характеристику интероцептивного анализатора. Дело заключается в том, что ощущения, возникающие при раздражении внутренних органов, как правило, неопределенны, плохо осознаваемы, что совсем не означает их малой значимости. Это очень четко определил И. М. Сеченов в своей знаменитой работе «Рефлексы головного мозга» (1863): «К раз-



ряду же явлений самосознания относятся те неопределенные темные ощущения, которые сопровождают акты, совершающиеся в полостных органах груди и живота. Кто не знает, например, ощущения голода, сытости и переполнения желудка... Подобного рода факты, которыми переполнена патология человека, явным образом указывают на ассоциацию этих темных ощущений с теми, которые даются органами чувств. К сожалению, относящиеся сюда вопросы чрезвычайно трудны для разработки и поэтому удовлетворительное решение их принадлежит будущему».

В настоящее время, когда никто и не сомневается в существовании интероцептивного анализатора, тем не менее единства мнений о характере связанных с ним ощущений нет. До сих пор существует точка зрения, согласно которой ощущения возникают только при чрезвычайных раздражениях внутренних органов и сигнализируют по существу о патологическом процессе (боли, распирание, жжение и т. п.). Но вместе с тем достаточно обоснованными являются представления о том, что и в нормальном состоянии деятельность интероцептивного анализатора сопровождается такими ощущениями, как наполнение желудка, мочевого пузыря (не имея в виду их перерастяжение) и некоторые другие.

Очень многое сделано в раскрытии механизма возникновения таких ощущений, как аппетит, голод, сытость, жажда. Несомненна их связь с изменениями химического состава крови, хотя относительно каких именно веществ — окончательной ясности нет. Несомненна также связь такого рода ощущений с деятельностью гипоталамуса. В нем найдены отдельные участки, которые «заведуют» этими чувствами. Есть основания говорить о центре сытости, голода, жажды и т. п. В эксперименте на животных показано, что электрическое раздражение центра голода приводит к поеданию громадного количества пищи, а центра сытости — к отказу от пищи даже на фоне крайнего истощения.

Вряд ли позволительным будет упрощенно связывать формирование рассматриваемых ощущений с деятельностью только каких-то определенных центров. Очевидно, правильнее представлять их как результат сложного взаимодействия различных отделов центральной нервной системы. И вместе с тем несомненна роль интероцептивной импульсации в этом взаимодействии.

Биологическое значение интероцептивного анализатора выступает особенно наглядно при рассмотрении громадного множества рефлекторных ответов со стороны как внутренних органов, так и скелетных мышц в результате раздражения внутренних органов. Рассмотрение их — отдельная самостоятельная большая задача. Но важно подчеркнуть, что при всем многообразии таких рефлекторных реакций в них почти всегда можно усмотреть направленность на обеспечение соответствия, координации, адекватности в деятельности различных систем целостного организма.

**Б**оль... Вряд ли найдется человек, которому не пришлось бы испытать это неприятное ощущение, с которым связано у нас представление о заболевании, травме, повреждении. И наверное, если спросить, хорошо ли это, когда у человека возникает ощущение боли, то подавляющее большинство не только отрицательно ответят на этот вопрос, но даже удивятся его нелепости. Но так ли все просто и однозначно? Внимательно вдумайтесь в слова гениального французского философа, энциклопедиста, мыслителя Вольтера. В 1757 г. он писал: «О, смертные! Всегда, везде, где ни были бы вы, за ваши радости благодарите бога. Что я сказал: за радости? За боль, за эту высшую премудрость Провидения! Ведь боль, распространяясь быстро в теле, сигнализирует о вредностях. Она — наш верный страж, она всегда твердит нам громко: будь осторожней, храните, берегите вашу жизнь!»

Не правда ли, очень интересная и верная мысль. Действительно, каждый из нас великолепно знает, что если возникает ощущение боли, то это всегда признак, сигнал неблагополучия в организме, основание, чтобы обратиться за помощью к врачу, принимать лекарство.

Однако только ли сигнал? Наверное, многим из вас приходилось видеть, слышать, читать, какие страдания причиняет человеку боль. Внимательно отнеситесь к словам выдающегося французского хирурга и физиолога Р. Лериша, который на протяжении длительной врачебной практики имел достаточно большую возможность оценить значение боли. В своей книге, посвященной хирургическому лечению болей (1937), он категорически заявляет: «Со всем убеждением человека, посвятившего часть своей жиз-

ни поискам способов облегчения страдальцев, я должен подняться против этой страшной ошибки, ...которая всегда приводится в качестве возражения против хирургического лечения некоторых болевых синдромов». И далее: «Защитная реакция? Счастливое предупреждение? Но в действительности большинство болезней, и притом наиболее тяжелых, появляются у нас без предупреждения. Почти всегда болезнь — драма в двух актах, из которых первый протекает в мрачном безмолвии наших тканей, светильники погашены, мерцают лишь свечи. Когда же появляется боль, это почти всегда уже второй акт. Слишком поздно. Развязка приближается. И боль делает только более мучительным и более печальным уже и так безнадежное состояние».

Очень образно! И... тоже убедительно. В этих двух на первый взгляд противоположных высказываниях скрыта сама противоречивая сущность боли, ее биологическая целесообразность и ее вредные, порой даже роковые последствия для человека. С одной стороны, возникновение болевого ощущения свидетельствует о воздействии какого-либо вредящего фактора на организм, но с другой, такое ощущение обуславливает возникновение многих реакций в организме, как защитных, так и патологических. Это очень четко сформулировал выдающийся советский физиолог академик Л. А. Орбели, который писал (1935), что «боль является сигналом, симптомом различных болезненных, патологических процессов, разыгрывающихся в тех или иных частях организма. Кроме того, боль является результатом раздражений, переходящих уже определенную силу, определенную интенсивность и связанных обычно с разрушительным действием на организм. Следовательно, мы можем рассматривать и рассматриваем боль как сигнал опасности угрожающих явлений для организма и как защитное приспособление, вызывающее специальные защитные рефлексy и реакции».

Таким образом, совершенно очевидно, что боль — это не просто индифферентное ощущение, а, как определил академик П. К. Анохин, «своеобразное психофизиологическое состояние человека, возникающее в результате воздействия сверхсильных или разрушительных раздражений, вызывающих органические или функциональные нарушения в организме». Поэтому боль целесообразно рассматривать как интегративную функцию организма, которая мобилизует самые разнообразные функциональные системы

и включает такие компоненты, как сознание, ощущение, память, мотивации, вегетативные, соматические и поведенческие реакции, эмоции.

Из этого следует, что боль характеризуется весьма существенным своеобразием, отличающим ее от ощущений, связанных с функционированием всех ранее разобранных органов чувств. Такое своеобразие, во-первых, заключается в том, что для боли нет специфических по модальности (виду энергии) адекватных раздражителей. Это могут быть и механические, и тепловые, и химические воздействия. Правда, очень многие из них объединяет то, что они вызывают болевые ощущения, когда достигают очень большой интенсивности, значительно превышающей пороговые величины для соответствующих органов чувств.

Во-вторых, болевая чувствительность присуща практически всем частям нашего тела. И если общепринятыми являются понятия об органах зрения, слуха, обоняния, вкуса и т. д., то выделить какой-либо специализированный орган боли нет никаких оснований. Болевые ощущения могут быть связаны и с любым участком кожной поверхности, и с внутренними органами, и с мышцами и т. д. Однако не все ткани обладают в одинаковой степени болевой чувствительностью. Из практики нейрохирургических операций хорошо известно, что ткань мозга безболезненна, что позволяет проводить такие операции под местным обезболиванием (ведь в этих случаях необходимо поддерживать словесный контакт с пациентом). И до сих пор является не в полной мере понятным происхождение головных болей. В настоящее время полагают, что этот часто встречающийся недуг возникает вследствие раздражения сосудов, сдавливания нервных стволов, повышения внутричерепного давления, воспалительных процессов, особенно мозговых оболочек. Безболезненной является костная ткань, но не надкостница, которая, напротив, обладает очень высокой болевой чувствительностью, в чем мог убедиться каждый из вас, когда случалось «набить шишку» (ведь «шишка» представляет собой поднадкостничное кровоизлияние).

Боль во внутренних органах возникает только при определенных обстоятельствах: нарушение кровоснабжения, сильное и длительное сокращение гладкой мускулатуры, растяжение стенки полых органов, воспалительные изменения. Просто же прикосновение, укол или нанесение разреза даже не ощущается. Выдающийся английский врач, основоположник физиологии Вильям Гарвей

(1578—1657) дает описание любопытнейшего наблюдения за виконтом Монтгомери, у которого грудная клетка была разрушена в раннем детстве, и он жил, имея обнаженное сердце. Гарвей писал: «Я доставил молодого человека к королю Карлу I, и его величество имел возможность собственными глазами наблюдать этот удивительный случай. Без всякого ущерба для его здоровья у живого человека можно было видеть движения сердца и даже прикасаться рукой к сокращающимся желудочкам. И его величество имел возможность, так же как и я, убедиться, что сердце нечувствительно к прикосновению. Молодой человек даже не знал, что мы дотрагиваемся до его сердца...» Кстати, интересно заметить, что в те времена, когда не было объективных методов регистрации физиологических процессов, проведение экспериментов в присутствии «благородных свидетелей» (коим и был в описанном случае король Карл I) служило непременным условием доказательства истины.

Весьма своеобразным является феномен отраженных болей. Сущность его заключается в том, что возникающее у человека ощущение боли воспринимается не в истинном месте повреждения (как правило, во внутренних органах), а на других частях, чаще всего поверхности тела. Это явление впервые было описано и оценено в конце XIX в. английским невропатологом Г. Хедом и русским исследователем Г. А. Захарьиным. Отсюда возник термин «зоны Захарьина — Хеда»; под ними понимаются определенные области кожи, в которых при заболевании внутренних органов появляются отраженные боли, а также повышенная температурная чувствительность. Например, при некоторых заболеваниях сердца боли «отдают» в лопатку, руку, и аналогичных примеров очень много.

Совершенно оригинальными являются так называемые фантомные боли (от французского *fantôme* — привидение, призрак). Они иногда возникают после удаления конечностей и субъективно локализируются (находятся) в отсутствующей части тела. Очень яркое описание фантомных болей дал великий русский хирург Н. И. Пирогов (1810—1881): «Многие из ампутированных чувствуют по временам боль в пальцах, уже давно не существующих, определяют даже и в которых пальцах боль сильнее... Кто наблюдал их, тот, наверное, согласится со мной, что нельзя хладнокровно смотреть на страдальцев в пароксизме болей».

Говоря о своеобразии болевых ощущений, необходимо также отметить их очень большую неопределенность по субъективной характеристике. Так, очень часто мы слышим и читаем, что боль может быть острая, тупая, колющая, режущая, тянущая, гложущая, давящая, буравящая, дергающая, пульсирующая, стучащая, жгучая, пронизывающая, сверлящая, стреляющая, мозжащая, грызущая, ноющая, глухая, тихая, монотонная, мгновенная, молниеносная и много других очень выразительных определений. Однако обращает на себя внимание, что подавляющее большинство из них даны по аналогии с повреждающим внешним воздействием, чаще всего не совпадающим с истинной причиной возникновения болей. С другой стороны, очевидно, многие на основании своего жизненного опыта заметили, что одинаковые воздействия различными людьми воспринимаются как болевые ощущения неодинаковой интенсивности, даже один и тот же человек в различных состояниях по-разному воспринимает болевые раздражители.

Как правило, отдельно говорят о каузалгии (от греческого *kausis* — жжение и *algos* — боль), под которой понимается болевой синдром, характеризующийся интенсивными жгучими болями, сосудодвигательными и трофическими расстройствами, а также отрицательными эмоциональными реакциями. Обычно каузалгия обусловлена повреждением некоторых периферических нервов и нарушением вегетативной иннервации. Эти боли находятся на пределе переносимости.

Несмотря на такую неопределенность в характеристике болевых ощущений, можно все-таки подметить одну особенность, которую легко понять, сделав простой эксперимент. Если произвести укол пальца, то мы можем уловить двойное ощущение боли. Сначала возникает относительно слабое, но точно локализованное болевое ощущение. Спустя 1—2 секунды оно становится более интенсивным, разлитым и длительным. Впервые полностью разделить это «двойное ощущение» удалось Г. Хеду в 1903 г., которому с экспериментальной целью был пересечен чувствительный нерв. Тогда уже было известно, что нервы способны регенерировать, т. е. восстанавливаться. Естественно, что сразу после перерезки в иннервируемом участке пропали все виды чувствительности, которые восстанавливались с неодинаковой скоростью. Через 8—10 недель обнаружили первые признаки регенерации, через 5 месяцев восстано-

вилась болевая чувствительность, но очень своеобразная. Легкий укол, даже прикосновение ассистента вызывали мучительное, почти непереносимое чувство боли. Исследуемый кричал, трясся всем телом, хватался за того, кто нанес раздражение. При этом, если у него были завязаны глаза, он не мог сказать, где возникает ощущение боли. И только спустя пять лет болевые ощущения у этого человека стали обычными. Так возникло учение о *протопатической* и *эпикритической чувствительности*. Полагают, что протопатическая чувствительность (от греческого *protos* — первый и *pathos* — страдание) представляет собой самую древнюю примитивную недифференцированную чувствительность низкого уровня, а эпикритическая (от греческого *epikriticos* — вынесение решения) — высокочувствительный и тонкодифференцированный вид чувствительности, возникшей на более поздних стадиях филогенеза. Эти два вида чувствительности, как полагал Хед, восстанавливаются после перерезки нерва с различной скоростью. Убедительно и логично! Но, справедливости ради, необходимо заметить, что такая точка зрения встречает определенные возражения со стороны некоторых исследователей.

При всем многообразии болевых ощущений и неизбежной отсюда трудности объективной их оценки предпринимались многочисленные попытки найти способ их количественной характеристики. К сожалению, приходится констатировать, что к настоящему времени не удалось разработать общепринятой и достаточно надежной методики. Наиболее популярной является разработанная в 40—50-х годах американскими физиологами Харди, Вольфом и Гуделом оценка, основанная на тепловом принципе. В их приборе свет от лампы накаливания фокусируется на изучаемый участок кожи, которая обычно тщательно закрашивается тушью (поглощение инфракрасных лучей — носителей тепловой энергии — при этом составляет около 90 %). Многочисленные исследования показали, что тепловой порог боли достигается при температуре около  $+44,5^{\circ}\text{C}$ . Это соответствует  $0,86 \text{ Вт/см}^2$ . Была выделена 21 ступень порогов различения (*just noticeable difference* — JND) боли от нуля до максимума. Авторы предложили единицу болевого ощущения — *dol*, эквивалентную 2JND. В энергетических единицах  $1 \text{ dol} = 0,06 \text{ Вт/см}^2$ . Интенсивная, предельно переносимая боль, по их данным, возникает при 10,5 *dol*. Однако существенный недостаток этого метода заключается в том, что он не учитывает пси-



хологических особенностей человека, его индивидуальную переносимость боли.

Таким образом, боль как ощущение может изучаться и определяться только на человеке. Однако интересы науки и потребности практической медицины очень часто ставят такие вопросы, разрешить которые можно только в эксперименте на животных. Но как же быть тогда с ощущением, если его крайне трудно оценить у человека и совсем невозможно у животного? Методическим принципом, который позволяет преодолеть эти трудности, является изучение поведенческих и вегетативных реакций при нанесении *ноцицептивного раздражителя*. Обратите внимание — не болевого, а ноцицептивного (от латинского *posse* — повреждать). Однако это совсем не означает отсутствие боли у животных. Естественно, что в таком случае мы сталкиваемся с процессами более сложными, чем функционирование только сенсорной системы.

Как отражение исключительной биологической значимости ноцицептивного воздействия, развивающиеся в ответ на него реакции охватывают многие системы организма, а иногда приводят и к специфическим состояниям. Даже в тех случаях, когда на вредящий раздражитель не возникают выраженные двигательные защитные реакции, можно отметить существенные изменения в кровообращении, дыхании, процессах выделения, внутренней секреции и т. д.

Но все-таки, если в боли имеется компонент ощущения, то, следовательно, необходимо охарактеризовать нервно-рецепторный аппарат и центры, функционирование которых приводит к формированию такого ощущения. Тем более, что этот вопрос, несмотря на значительную историю, и в настоящее время не утратил своей загадочности. Да, без всякого преувеличения, загадочности! Имеются ли специфические болевые рецепторы? На сегодняшний день на этот вопрос однозначно ответить нельзя, потому что есть факты, которые, казалось бы совершенно однозначно, подтверждают одну или другую взаимоисключающую точку зрения. Еще в 1794 г. дед Чарлза Дарвина — английский врач, натуралист и поэт Эразм Дарвин утверждал, что специфических рецепторов боли нет, а боль возникает при чрезвычайно сильных раздражениях рецепторов тепла, прикосновения и др. Это в значительной мере умозрительное утверждение впоследствии получило ряд эксперимен-

тальных и клинических подтверждений, и нет достаточных оснований, чтобы отвергнуть такое представление.

Но, с другой стороны, существует теория специфичности рецепторов боли, которая была сформулирована в конце XIX в. немецким исследователем М. Фреем и которая также нашла своих сторонников. Действительно, на коже у каждого человека есть безболезненные точки. Вспомните, как в романе А. Толстого «Петр Первый» молодой Петр учится протаскивать через щеку иглу с ниткой без всякой боли. В специальной литературе есть немало описаний случаев, когда при наличии тактильной и температурной чувствительности болевые ощущения отсутствовали.

Хотя пока не представляется возможным однозначно выяснить вопрос относительно специфичности рецепторов боли, но можно говорить по крайней мере о трех видах ноцицепторов. Во-первых, это термочувствительные ноцицепторы, воздействие на которые температурой  $+45^{\circ}\text{C}$  и выше дает ощущение боли. Во-вторых, механочувствительные ноцицепторы, раздражение которых наступает в результате деформации кожи, например при давлении на иглу груза в 30 г. И в-третьих, хемочувствительные рецепторы, которые привлекают наибольший интерес. Оказалось, что в месте нанесения ноцицептивного воздействия в результате микротравматизации клеток образуются биологически активные вещества, которые и возбуждают хеморецепторы. К таким биологически активным веществам относятся, во-первых, внутриклеточные катионы калия и кальция, во-вторых, так называемые биогенные амины (ацетилхолин, 5-гидрокситриптамин, гистамин) и, в-третьих, протеиназы (ферменты, расщепляющие белки), пептиды (продукты такого расщепления): ангиотензин, брадикинин, каллидин, субстанция Р. Очевидно, этот список может быть дополнен веществами, образующимися во время воспалительных процессов и др. Примечательно, что в выделениях животных и растений, укусы и соприкосновение с которыми вызывают боль, жжение, зуд, содержатся такие же или близкие им вещества. Найдено, что зуд возникает при раздражении тех же самых рецепторов, по воздействиями несколько меньшей интенсивности.

Импульсы возбуждения от болевых рецепторов проводятся в центральную нервную систему по двум видам нервных волокон. Полагают, что афферентная импульсация, связанная с острой колющей (эпикритической)

болью, распространяется по тонким миелиновым (имеющим оболочку) волокнам типа  $A\delta$ , а с жгучей длительной (протопатической) — по тонким немиелинизированным волокнам типа  $C$ . Скорость проведения в последних меньше.

Весьма интересной особенностью восприятия болевых раздражителей и проведения болевых сигналов является их зависимость от вегетативной иннервации рецепторов и нервных проводников. Оказывается, тонкие симпатические волокна, оплетающие нервные стволы, являются регуляторами болевой чувствительности, а также, что еще более удивительно, регуляторами соотношения между эпикритической и протопатической чувствительностью. Иногда при травмах, операциях повреждаются эти симпатические модуляторы, и тогда преобладает протопатическая боль с ее жгучим, тягостным характером, невыносимой интенсивностью.

Однако формирование как болевых ощущений, так и соответствующих поведенческих и вегетативных реакций связано с деятельностью центральной нервной системы и ее высшего отдела — коры головного мозга. Очень трудно выделить какое-либо образование, которое можно было бы с достаточным основанием назвать центром боли (как это можно было бы сделать относительно всех других афферентных систем). У лиц, которые были лишены болевой чувствительности, каких-либо анатомических особенностей не обнаружено.

Несмотря на многообразие структур, принимающих участие в формировании боли как состояния, особая роль отводится зрительному бугру (таламусу). Именно с этим образованием связано взаимодействие между диффузной и дискретной системами, формирование ощущений, регуляция афферентного потока. Вот поэтому при нарушении данной функции развиваются тяжелейшие мучительные «центральные» боли (в медицинской практике обозначаемые как таламический синдром), возникающие без всяких внешних воздействий или при крайне незначительных.

Однако в центральной нервной системе есть и так называемые антиноцицептивные системы и механизмы, к которым относится ряд образований среднего мозга, лимбической системы, электрическое раздражение которых в эксперименте приводит к обезболиванию. Нейрофизиологическим механизмом такого антиноцицептивного действия является, очевидно, торможение первых централь-

ных нейронов высокопороговой диффузной (протопатической) афферентации.

Наверное, каждый на основании собственного опыта замечал, что на развитие болевых реакций и ощущений очень большое влияние оказывает эмоциональная настроенность. В несколько упрощенном виде многочисленные факты психологического и физиологического аспектов можно свести к тому, что эмоциональные состояния типа страха резко усиливают реакцию на боль, а состояния типа агрессии, ярости, напротив, уменьшают реактивность на ноцицептивные воздействия. Известно, что существенного ослабления болевых ощущений или даже полного их исчезновения добиваются путем внушения. Именно на этом принципе основан метод физиологического обезболивания родов. Можно допустить, что антиноцицептивные системы включаются в общую функциональную систему эмоционального, биологически значимого поведения тогда, когда болевые сигналы не могут являться определяющими в формировании типа поведения. По существу, некоторые фармакологические средства, например типа морфия, используемые в целях обезболивания, действуют именно через изменение эмоционального фона. При этом человек ощущает боль, но переносит ее очень легко, без неприятных переживаний и выраженных вегетативных реакций.

Некоторое время назад для ослабления тягостных ощущений, связанных с непереносимой длительной болью органического происхождения (злокачественная опухоль), применяли операции рассечения лобной доли мозга. Действительно, эта операция давала положительный результат, генерализованные эмоциональные реакции на боль исчезали, человек становился «равнодушным» к собственным болевым ощущениям, которые тем не менее по существу не изменились. Однако такие операции приводили к эмоциональному огрублению, нарушению интеллекта и социально неадекватному поведению, поэтому они распространения не получили.

Вместе с тем борьба с болью является одной из повседневных задач медицинской практики, естественно, не как самоцель, а одновременно с устранением причин, которые вызывают эту боль. Не входя во все медико-фармакологические детали обезболивания, можно отметить, что имеются четыре принципиальные возможности для обезболивания:

## 1. Периферический блок возникновения и передачи

ноцицептивной афферентации, т. е. снижение чувствительности рецепторов и нарушение проводимости нервов.

2. Центральный блок синаптической передачи в восходящих ноцицептивных системах.

3. Стимуляция антиноцицептивных систем.

4. Центральное торможение.

Для каждого из них имеются различные фармакологические средства и приемы.

Таким образом, боль может быть понята только во всей ее диалектической противоречивости на основе единства социально-психологического, нейрофизиологического и медицинского подхода. И многие тайны природы боли еще предстоит раскрыть.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**И**так, состоялось краткое знакомство с механизмами формирования наших ощущений. Очевидно, вполне можно было убедиться в чрезвычайной сложности и широте рассматриваемых вопросов. Современный этап развития представлений о функционировании сенсорных систем характеризуется исследованием, с одной стороны, тонких биофизических, биохимических и нейрофизиологических механизмов трансформации энергии внешнего раздражителя в процесс первого возбуждения и, с другой — интегральных нейрофизиологических и психофизиологических закономерностей процессов ощущения, восприятия и опознания образов. Очень много сложностей на этом пути познания. Но получаемые результаты, современный методический уровень позволяют верить в успех.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Артамонов И. Д. Иллюзии зрения. М.: Наука, 1969, 223 с.
- Брэгг У. Мир света. Мир звука. М.: Наука, 1967, 335 с.
- Вавилов С. И. Глаз и солнце. М.: Наука, 1976, 127 с.
- Грегг Дж. Опыты со зрением в школе и дома. М.: Мир, 1970, 199 с.
- Грегори Р. Л. Глаз и мозг. Психология зрительного восприятия. М.: Прогресс, 1970, 271 с.
- Грегори Р. Л. Разумный глаз. М.: Мир, 1972, 209 с.
- Демидов В. Как мы видим то, что видим. М.: Знание, 1979, 207 с.
- Кассиль Г. Н. Наука о боли. М.: Наука, 1975, 399 с.
- Корытин С. А. Запахи в жизни зверей. М.: Знание, 1978, 128 с.
- Линдсей П., Норман Д. Переработка информации у человека (Введение в психологию). М.: Мир, 1974, 550 с.
- Миннарт М. Свет и цвет в природе. М.: Наука, 1969, 344 с.
- Пэдхем Ч., Сондерс Дж. Восприятие света и цвета. М.: Мир, 1978, 226 с.
- Райт Р. Х. Наука о запахах. М.: Мир, 1966, 224 с.
- Сомьен Дж. Кодирование сенсорной информации в нервной системе млекопитающих. М.: Мир, 1975, 415 с.
- Тамбиев А. Х. Летучие вещества, запахи и их биологическое значение. М.: Знание, 1974, 64 с.
- Цвикер Э., Фельдкеллер Р. Ухо как приемник информации. М.: Связь, 1971, 256 с.
- Экопомов Л. Мир наших чувств. М.: Знание, 1976, 192 с.

# СОДЕРЖАНИЕ

## I. В ПОСТОЯННОЙ БОРЬБЕ МНЕНИЙ

4

## II. СКОЛЬКО У НАС ОРГАНОВ ЧУВСТВ?

11

## III. СВЕТ. ГЛАЗ. ЗРЕНИЕ

24

## IV. МИР ЗВУКОВ

47

## V. ОЩУЩЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛА В ПРОСТРАНСТВЕ

65

## VI. DE GUSTIBUS SEMPER DISPUTANDUM EST

74

## VII. ЗАПАХИ — ЭТО ТОЖЕ ЦЕЛЫЙ МИР

80

## VIII. ОСЯЗАНИЕ

86

## IX. ТЕПЛО ИЛИ ХОЛОДНО?

92

## X. МЫШЕЧНОЕ ЧУВСТВО

98

## XI. СИГНАЛЫ ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ

107

## XII. БОЛЬ

114

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

125

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

126



*ШОСТАК ВИКТОР ИВАНОВИЧ*  
**ПРИРОДА НАШИХ ОЩУЩЕНИЙ**

---

Редактор *В. И. Полетаева*  
Художник *С. Ф. Лукин*  
Художественный редактор *Е. А. Михайлова*  
Технический редактор *С. С. Якушкина*  
Корректор *А. А. Гусельникова*

ИБ № 7470

Сдано в набор 19.11.82. Подписано к печати 30.06.83. Формат 84×108<sup>1/32</sup>. Бум. типограф. № 2. Гарпитура обычн. новая. Печать высокая. Усл. печ. л. 6,72. Усл. кр.-отт. 7,14. Уч.-изд. л. 6,56. Тираж 200 000 экз. Заказ 3157. Цена 20 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение»  
Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.

Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Минский ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат  
МНПО им. Я. Коласа. 220005, Минск, Красная, 23.