

Высшее профессиональное образование

---

БАКАЛАВРИАТ

**Е. Е. ЛЯКСО, А. Д. НОЗДРАЧЕВ**

# **ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ**

*Учебник*

*для студентов учреждений*

*высшего профессионального образования*



Москва

Издательский центр «Академия»

2012

УДК 612.821(075.8)  
ББК 88.4я73  
Л976

Рецензенты:

директор Института мозга человека им. Н. П. Бехтеревой РАН,  
чл.-корр. РАН *С. В. Медведев*;  
зав. лабораторией сравнительной физиологии мозжечка  
Института эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова РАН,  
чл.-корр. РАН, проф. *Р. А. Григорьян*

**Ляко Е. Е.**

Л976 Психофизиология : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Е. Е. Ляко, А. Д. Ноздрачев. — М.: Издательский центр «Академия», 2012. — 336 с. — (Сер. Бакалавриат).

ISBN 978-5-7695-6892-3

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 030300 — Психология (квалификация «бакалавр»).

Учебник включает темы, отражающие содержание дисциплины «Психофизиология». Издание содержит описание классических теорий и подходов, современные психофизиологические методы исследования и данные, полученные отечественными и зарубежными исследователями. В нем освещаются физиологические механизмы, лежащие в основе психических процессов и состояний. В рамках книги авторами предпринята попытка объединения взглядов представителей разных научных школ и направлений, что определяет ее междисциплинарный характер.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 612.821(075.8)  
ББК 88.4я73

*Учебное издание*

**Ляко Елена Евгеньевна, Ноздрачев Александр Данилович**

**Психофизиология**

**Учебник**

Редактор *Е. А. Кречетова*. Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*.

Компьютерная верстка: *Н. В. Протасова*. Корректоры *Н. В. Козлова, И. А. Ермакова*

Изд. № 101114508. Подписано в печать 10.11.2011. Формат 60×90/16. Гарнитура «Таймс».

Печать офсетная. Бумага офс. № 1. Усл. печ. л. 21,0. Тираж 1 200 экз. Заказ №

ООО «Издательский центр «Академия». [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)

125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 266.

Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 14964 от 21.12.2010.

Отпечатано в полном соответствии с качеством электронных носителей, предоставленных издательством в ОАО «Саратовский полиграфический комбинат», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. [www.sarpk.ru](http://www.sarpk.ru)

*Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Ляко Е. Е., Ноздрачев А. Д., 2012

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ISBN 978-5-7695-6892-3

Психофизиология — наука о физиологических механизмах психических процессов и состояний. Ее возникновение как самостоятельной дисциплины обусловлено всем предшествующим ходом развития научной мысли, существованием теоретической базы в виде анатомии, физиологии, медицины, психологии и философии, разработанными методологическими подходами. Как молодая и активно развивающаяся область знаний, она не имеет четко очерченных границ сфер изучения. Предмет и задачи дисциплины определяются ее междисциплинарным характером и интегративным подходом к изучению внимания, мышления и речи, эмоциональных проявлений, сознания человека. Научная методология психофизиологии базируется на двойственном подходе к изучению восприятия, эмоций, памяти, мышления и сознания человека, с одной стороны, как физиологическому процессу, с другой — как процессу психическому, зависящему от окружающей среды и социокультурных особенностей.

Настоящий учебник содержит основные разделы психофизиологии и не претендует на роль всеохватывающего учебного руководства. Целью его создания явились, прежде всего, формирование у студентов мировоззрения о биосоциальной сущности человека, освещение основных психофизиологических понятий и феноменов и, по-возможности, описание их механизмов.

Учебник включает темы, отражающие в соответствии с Государственным образовательным стандартом Министерства образования и науки РФ содержание дисциплины «Психофизиология». Он состоит из четырнадцати глав и глоссария. Темы, освещенные в учебнике: предмет и методы психофизиологии; психофизиологические основы восприятия; психофизиология движений; психофизиологические механизмы обучения и памяти; психофизиология основы эмоционального поведения; психофизиология внимания; психофизиологические основы сна и сновидений; психофизиология речи; мышление и его свойства; сознание; психофизиологические основы формирования целенаправленного поведения; направления прикладной психофизиологии, такие как клиническая, дифференциальная, возрастная психофизиология.

В первой из глав рассказывается о предмете и задачах дисциплины, о предпосылках возникновения психофизиологии как самостоятельной науки. Прослеживается связь психофизиологии с системой естественно-научных и гуманитарных знаний, изложены представления о биосоциальной сущности человека. Описаны основные классические и современные методы психофизиологических исследований, использование которых в практике стало возможным благодаря техническому прогрессу: методы анализа электрической активности мозга, включающие регистрацию импульсной активности нервных клеток; электроэнцефалографию; вызванные потенциалы; магнитоэнцефалографию; электроокулографию; электромиографию; измерение локального мозгового кровотока; томографические методы; позитронно-эмиссионную томографию; ядерную магнитную резонансную интроскопию; магнитно-резонансную томографию.

Во второй главе речь идет о свойствах восприятия и о параметрах воспринимаемых объектов; даются представления об абсолютной и дифференциальной чувствительности, сенсорных порогах, шумах в сенсорных системах и проблеме обнаружения сигналов в шуме; изложены общие принципы конструкции и закономерности функционирования сенсорных систем; представлены основные теории и возможные механизмы восприятия, а также его нарушения.

Психофизиология движений рассмотрена в третьей главе. Здесь описаны различные типы движений, структура двигательного акта, уровни организации движения, дается представление о схеме тела и освещены некоторые основные нарушения движений.

В четвертой главе, посвященной психофизиологическим механизмам обучения и памяти, рассказывается о типах и механизмах обучения; о биологической памяти и ее видах. В ней в историческом ракурсе изложены гипотезы и теории о временной организации и о стадиях фиксации памяти: о последовательно развивающихся следах, об основных положениях теории консолидации энграммы, а также теория единого следа. Описана трехкомпонентная модель памяти, представлены молекулярные механизмы долговременной памяти и теория активной и рабочей памяти. Авторами осуществлена попытка представить в рамках одного учебника разные, порой противоречивые взгляды, высказываемые представителями многих школ. Заканчивается глава описанием основных нарушений памяти.

В пятой главе изложены классические и современные представления о психофизиологических основах эмоционального поведения. Читатель знакомится в ней с классификацией эмоций, их функциями, связью эмоций и потребностей, структурно-функциональной организацией эмоций. Важным в данной главе

является раздел, посвященный психофизиологии стресса, описывающий типы стресса и стадии его развития.

В главе шестой излагается материал о психофизиологии внимания, начиная с понятия, описываются свойства, виды и этапы развития, прослеживается связь типов внимания и памяти; рассказывается о непроизвольном, произвольном и постпроизвольном внимании, описаны его нарушения.

Глава седьмая освещает психофизиологические основы сна и сновидений. Наряду с классическими представлениями о природе, стадиях сна и бодрствования, в ней изложены основные положения теории REM-сна; рассказывается о состоянии сон-бодрствование в онтогенезе, о сновидениях, о нарушениях сна и бодрствования, о повышенной потребности во сне и причинах ее возникновения.

Глава восьмая рассказывает о психофизиологии речи: ее функциях, системности, процессе речеобразования. Авторы считают, что речь является некой определяющей составляющей поведения, способностью, отличающей человека от других живых существ. Именно речь наиболее подходит для роли выделяющего признака («В начале было слово»). В этой главе на основе существующих знаний предпринята попытка представления речи как системообразующего фактора поведения.

Мышление и его свойства описаны в главе девятой. Структура главы включает описание категорий мышления, мыслительные операции и их типы; электрофизиологические и психофизиологические корреляты мышления и принятия решения, половые особенности и мышление, вводится понятие интеллекта и интеллектуальной деятельности.

Следующая глава освещает проблему сознания, которое рассматривается как высшая форма психического отражения действительности, связанная с речью и свойственная общественно развитому человеку. В главе представлены формы и функции сознания, основные теории о механизмах его возникновения, вводится понятие бессознательного и рассматривается его структура, описываются типы нарушения сознания.

Глава одиннадцатая — психофизиологические основы формирования целенаправленного поведения является логическим завершением рассмотренного материала. Основываясь на представлениях и знаниях, вынесенных при изучении предшествующих разделов учебника, описываются формы врожденного и приобретенного поведения, дается представление о потребностях и мотивациях, а также их классификация. В качестве системообразующего фактора организации целенаправленного поведения рассматривается доминирующая мотивация. Описан принцип доминанты и основные ее свойства по А. А. Ухтомскому.

Заключительные главы (двенадцатая, тринадцатая и четырнадцатая) освещают некоторые направления прикладной психофизиологии: дифференциальной, клинической, возрастной, психофизиологии образования. В главе клинической психофизиологии перечислены причины возникновения, симптомы и механизмы депрессии и шизофрении. Возрастная психофизиология включает раздел пренатальной и детской психофизиологии, данные об особенностях пренатального развития и раннего постнатального онтогенеза.

В конце каждой главы предложены вопросы для проверки усвоенного материала; даны обязательная и дополнительная литература. Для заинтересовавшихся темой и желающих получить информацию из первоисточников представлен список классических трудов и последних периодических изданий.

Таким образом, структура учебника и изложенный в нем материал позволяют создать целостное представление о предмете психофизиологии, основных ее понятиях и областях изучения.

*Авторы*

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

---

- АКТГ — адrenокортикотропный гормон  
ВНД — высшая нервная деятельность  
ВП — вызванные потенциалы  
ВПФ — высшие психические функции  
ГАМК — гамма-аминомасляная кислота  
ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота  
КГР — кожно-гальванический рефлекс  
ЛП — латентный период  
ЛФК — левая фронтальная кора  
МРТ — магнитно-резонансная томография  
МЭГ — магнитоэнцефалография  
ОР — ориентировочная реакция  
ПАБ — предшественник амилоидного белка  
ПД — потенциал действия  
ПФК — правая фронтальная кора  
ПЭТ — позитронно-эмиссионная томография  
РНК — рибонуклеиновая кислота  
РП — рецепторный потенциал  
фМРТ — функциональная магнитно-резонансная томография  
цАМФ — циклический аденозинмонофосфат  
ЦНС — центральная нервная система  
ЧСС — частота сердечных сокращений  
ЭКГ — электрокардиограмма  
ЭМГ — электромиография  
ЭОГ — электроокулография  
ЭЭГ — электроэнцефалограмма  
ЯМРИ — ядерная магнитная резонансная интроскопия  
REM — rapid eye movement — быстрые движения глаз (пер. с англ.)

# ГЛАВА 1

## ПРЕДМЕТ ПСИХОФИЗИОЛОГИИ, ЗАДАЧИ НАУЧНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

---

### **Основные положения**

Психофизиология — междисциплинарная наука о физиологических механизмах психических процессов и состояний, возникшая на стыке физиологии и психологии.

Психофизиология — сравнительно молодая область научных знаний, тесно связанная с физиологией, анатомией, психологией, философией, медициной. Ее предмет и задачи определяются междисциплинарным характером и интегративным подходом к изучению внимания, эмоциональных проявлений, сознания, мышления и речи человека.

Методология исследования базируется на двойственном подходе к изучению свойств и особенностей восприятия, эмоций, памяти, мышления и сознания человека: с одной стороны, как к физиологическому процессу, с другой — как к процессу психическому, зависящему от окружающей среды и социокультурных особенностей.

Основными методами, используемыми психофизиологией, являются методы регистрации электрической активности мозга, магнитных полей организма, томографические методы.

Изучение, а следовательно, и знание психофизиологических механизмов организации поведения человека оттачивает наше мышление и уменьшает число ошибок в формировании концептуальных представлений. В процессе познания эксперимент играет важную, но не ведущую роль.

### **1.1. Предмет и задачи дисциплины**

**Психофизиология** (от греч. *psyche* — ‘душа’, *physis* — ‘природа’, *logos* — ‘учение’) — междисциплинарная наука, возникшая на стыке физиологии и психологии. **Физиология** — наука о закономерностях функционирования живых организмов, их отдельных систем, органов и клеток. **Психология** — наука о закономерностях развития и функционирования психики.



Психофизиология изучает роль биологических факторов, в том числе свойств нервной системы, в реализации психической деятельности, т.е. исследует психические процессы и состояния в единстве с их нейрофизиологическим субстратом. Она представляет собой область физиологии и психологии, задача которой состоит в изучении объективно регистрируемых сдвигов физиологических функций, сопровождающих сложнейшие процессы восприятия, запоминания, мышления, эмоций и др.

Распространенные в научной литературе определения этой области знаний принципиально не различаются, но все они подчеркивают междисциплинарный характер новой самостоятельной дисциплины, возникшей на основе знаний, накопленных в нейрофизиологии, физиологии высшей нервной деятельности, нейропсихологии и психологии.

**Задачами** психофизиологии являются:

- исследование психофизиологических механизмов психических процессов и состояний на разных уровнях организации живой системы: системном, нейронном, синаптическом и молекулярном;
- изучение нейрофизиологических механизмов организации высших психических функций человека.

## **1.2. Предпосылки возникновения психофизиологии как самостоятельной науки**

### **1.2.1. Хронология основных событий**

Термин «психофизиология» был предложен в начале XIX столетия французским философом Н. Массиасом для исследования различных аспектов психики, осуществляемых посредством физиологических методов.

Первая попытка выделить психофизиологию в самостоятельную науку была предпринята немецким психологом В. Вундтом. Он ввел в психологию экспериментальный метод и выделил в ней два направления: *физиологическую психологию*, объектом изучения которой явились простейшие психические процессы (данный термин используется и в настоящее время); «*психофизиологию народов*» — направленную на изучение механизмов развития высших психических функций (ВПФ) посредством анализа языка, мифов, обычаев, искусств.

В 1970 г. вышел в свет учебник Д. Милнера «Физиологическая психология», где были представлены данные о принципах строе-

ния и функциональной организации мозга, о физиологических механизмах мотивации и эмоции, памяти, двигательной и сенсорных систем. В 1975 г. был опубликован учебник «Введение в физиологическую психологию» Р. Томпсона, известного работами в области системных и нейронных механизмов обучения и памяти.

В 70-е гг. минувшего столетия американское общество психофизиологов приступило к выпуску журнала «Psychophysiology». К этому же периоду относится официальное утверждение термина «психофизиология».

Выделение психофизиологии в самостоятельную, по отношению к физиологической психофизиологии, дисциплину (1973 г.) связано с именем А. Р. Лурия. Официальный статус это научное направление приобрело в 1982 г. на Первом международном конгрессе (Монреаль), во время организации Международной психофизиологической ассоциации и учреждения журнала «International Journal of Psychophysiology», в редколлегию которого вошла академик Н. П. Бехтерева.

Первоначально психофизиология развивалась по трем направлениям:

- 1) исследование психики как результата недифференцированной деятельности мозга;
- 2) изучение на клиническом материале роли определенных структур мозга в психических процессах, т. е. локального характера мозгового обеспечения психики;
- 3) развитие представлений об интегративной деятельности мозга, лежащей в основе системных процессов, определяющих специфику организации поведения и развития ВПФ.

В создание и разработку системного подхода внесли значительный вклад исследования отечественных физиологов И. П. Павлова, И. М. Сеченова, Ф. В. Овсянникова, А. А. Ухтомского, В. М. Бехтерева, Н. Н. Бернштейна, П. К. Анохина, Н. П. Бехтеревой, А. С. Батуева и др. В психологии точка зрения об иерархической многоуровневой организации деятельности мозга, обеспечивающей реализацию психических процессов, была высказана Л. С. Выготским и развита в работах А. Р. Лурия.

Следует отметить некую специфику становления психофизиологической науки в России. Базируясь на достижениях физиологической школы И. М. Сеченова, В. М. Бехтерева, И. П. Павлова, Н. Е. Введенского, А. А. Ухтомского, в течение довольно продолжительного периода она развивалась изолированно от мировой научной мысли, что было связано с событиями Второй мировой войны и последовавшего за ней периода «холодного занавеса». В силу этих обстоятельств ряд открытий был совершен независимо друг от друга отечественными и зарубежными исследователями.

Последние десятилетия (конец XX и начало XXI в.) характеризуются открытостью, активным обменом научными знаниями и исследовательскими кадрами, сотрудничеством научных коллективов разных стран, объединяющихся для разработки общих задач, что позволяет говорить об интернациональной науке. Ярким примером явился прошедший в сентябре 2008 г. в Санкт-Петербурге XIV Всемирный конгресс по психофизиологии «The Olympics of the Brain».

## 1.2.2. Методологическая база психофизиологии

Вопросом о том, что следует считать методологической базой психофизиологии, задавались многие исследователи.

Согласно одной из точек зрения (в дальнейшем не получившей широкой поддержки), психофизиологическое изучение человека должно базироваться исключительно на неинвазивных методах (не проникающих через поверхность кожи), предполагающих преимущественно регистрацию электроэнцефалограммы (ЭЭГ), электрокардиограммы (ЭКГ), кожно-гальванического рефлекса (КГР) и др.

В соответствии с другим подходом исследования необходимо проводить на макро- и микроуровнях. В этой связи возник вопрос: что считать предметом психофизиологии?

Изучение физиологических процессов ВПФ на *макроуровне* осуществляется посредством данных ЭЭГ, вызванных потенциалов (ВП) и т. д. Большинство исследователей высказывали мнение о том, что изучение психических функций должно осуществляться на основе суммарных показателей.

*Микроуровень* подразумевает изучение собственно нейронных механизмов, лежащих в основе психических процессов и состояний. Сторонниками данного представления являлись Х. Дельгадо (организатор центра нейробиологии, известный исследованиями по изучению механизмов агрессии, разработке методов телеметрической регистрации поведения и активности мозга животных при его химической, электрической и электромагнитной стимуляции на расстоянии) и Е. Н. Соколов (с его именем связана разработка принципов кодирования информации в нейронных сетях, открытие нейронов-детекторов).

Дальнейшее развитие научной мысли требовало привлечения экспериментальных данных, полученных на микроуровне, что привело к расширению области психофизиологических знаний. В это представление внесли вклад работы в области изучения нейронной активности мозга и открытие нейронов-детекторов. Нейронами-детекторами признаков называют нервные элемен-

ты, выделяющие специфической реакцией признаки сенсорного стимула разной степени сложности. В 1959 г. в сетчатке лягушки было открыто несколько групп нейронов-детекторов: детекторы движущегося угла, контраста и границы. Эти данные были опубликованы в работе У. Мак-Каллаха, У. Питерсона, Х. Матурана «Что говорит глаз мозгу лягушки». В 1960-х гг. широкую известность получило открытие Т. Визелем, Д. Хьюбелом нейронов зрительной коры, отвечающих разрядом только на один из наклонов световой полосы (на ориентацию), которые получили название нейронов — детекторов первого порядка.

Был также описан особый тип сенсорных нейронов (названных гностическими), кодирующих целостные образы. Согласно концепции гностических единиц, разработанной Ю. Конорским, узнаванию знакомого объекта (лица, жеста, голоса) соответствует возбуждение не ансамбля нейронов, а лишь единичных нейронов. Экспериментальные исследования подтвердили это предположение. В нижневисочной коре обезьян были обнаружены нейроны (названные «детекторами моей бабушки»), избирательно отвечающие на появление лица конкретного человека, обезьяны, реагирующие на мимику, на выражение определенных эмоций.

Описан класс нервных клеток (названных нейронами цели), обнаруженных в гипоталамусе, височной коре, хвостатом ядре мозга обезьян. Эти нейроны избирательно реагируют на появление пищи, на ее вид или запах. А. С. Батуев выявил такие нейроны в теменной и лобной коре у обезьян и показал, что их активность зависит от состояния насыщения или голода животного. Нейроны целевых движений описаны В. Б. Швырковым. Их реакция предшествует акту хватания пищи или нажиму на педаль, за которым следует подача пищи. Была изучена функция командных нейронов, запускающих определенные двигательные акты. Нейроны «ожидания» реагировали на тоническое мотивационное возбуждение (исследования К. В. Судакова). При возникновении состояния голода нейроны (в латеральном гипоталамусе) разряжались пачками спайков, при удовлетворении потребности тип их активности характеризовался единичными разрядами.

Нейроны новизны, возбуждающиеся при действии новых стимулов и снижающие активность по мере привыкания к ним, выявлены в гиппокампе, в неспецифических ядрах таламуса, в ретикулярной формации среднего мозга. В гиппокампе найдены нейроны «тождества», реагирующие на знакомое, многократно повторяющиеся, стимулы. В. Б. Швырков выделил у кролика группу нейронов поискового поведения. Эти клетки активизируются только в момент ориентировочно-исследовательского процесса.

### **1.2.3. Правомерность переноса данных, полученных на животных, для объяснения механизмов психических функций человека**

В пользу существования универсальных механизмов клеточного функционирования свидетельствуют данные о принципах кодирования информации в нервной системе. Например, свойство приобретенной памяти на нейронном уровне обусловлено фосфорелированием — дефосфорелированием рецептивных белков, экспрессией генов.

Имеются многочисленные доказательства того, что формы взаимодействия организмов со средой, возникшие эволюционно более поздно, не отменяют существование предыдущих форм, а сохраняются и сосуществуют вместе, наслаиваясь друг на друга.

В процессе передачи информации участвуют два класса информационных молекул-медиаторов и пептидов, взаимодействующих между собой. Медиаторы в эволюции появились позже пептидов, они передают информацию на ближайшее расстояние в химическом синапсе. Пептиды, действуя на большие расстояния, играют роль в запуске различных типов поведения у простейших. Например, в кладке яиц у морского моллюска аплизии. Показано их участие в пищевом поведении кроликов. Установлено, что эти биологически активные вещества образуют биохимическую основу состояния страха и тревоги у человека.

Таким образом, и у высших животных, и у человека обе системы передачи информации сосуществуют вместе. Это означает, что в процессе эволюции, при создании новых форм адаптации организма к среде, сохраняется принцип биохимической универсальности живых организмов, проявляющийся в принципиально сходных системах функционирования.

Рассматривая проблему использования данных, полученных на животных, для изучения поведения человека, Е. Н. Соколов сформулировал принцип психофизиологического исследования: «человек — нейрон — модель». Основные положения этого принципа состоят в следующем: психофизиологическое исследование начинается с изучения поведенческих реакций человека; затем осуществляется переход на изучение механизмов (на животных — посредством микроэлектродной техники, на человеке — с использованием методов ЭЭГ и ВП); далее следует интеграция результатов и, как итог, — построение модели.

Данные современной психофизиологии в рамках предложенного Е. Н. Соколовым методологического подхода «человек — нейрон — модель» отражены в книгах «Психофизиология» (1981),

«Теоретическая психофизиология» (1986) и в обобщающих работах последних лет — «Восприятие и условный рефлекс. Новый взгляд» (2003) и «Очерки по психофизиологии сознания» (2008).

#### **1.2.4. Современные представления о предмете психофизиологии**

**Предметом психофизиологии** является изучение структуры психофизиологических факторов (биологических и социальных) и особенностей их влияния на процесс исторического и индивидуального развития человека.

Одна из актуальных проблем современной науки — выявление специфики природы человека. Правомерной признана точка зрения, высказанная А. С. Батуевым в ряде работ (1991 — 2008), о том, что уникальность природы человека обусловлена его биосоциальной сущностью. Поэтому, рассматривая человеческую природу в контексте реальной жизнедеятельности, не следует искусственным образом выделять биологические и социальные составляющие.

Представления о биосоциальной сущности человека базируются на следующих положениях:

- о подчиненности деятельности организма и его систем работе головного мозга;
- о зависимости психической деятельности (синтез сознательного и бессознательного) от функционального состояния головного мозга и физиологических систем организма;
- о программирующей деятельности мозга человека в процессе подготовки к выполнению разных форм активности (поведения);
- о системообразующих факторах, определяющих на сознательном и бессознательном уровнях психики характер нервно-психического статуса человека и особенности его деятельности;
- о физиологических предпосылках формирования индивидуальной психической деятельности человека; о влиянии социальной среды на формирование определенных черт характера и личности в целом.

Изучение человека должно базироваться на междисциплинарном комплексном подходе, основанном на интеграции знаний естественно-научного и гуманитарного профиля, с использованием системного подхода к анализу закономерностей формирования поведения и психики человека.

С определенной долей осторожности можно признать, что такой подход наметился в науке в последние годы.

### 1.3. Связь психофизиологии с системой естественно-научных и гуманитарных знаний

Психофизиология в ее современном виде тесно связана с естественно-научными дисциплинами: *биологией и ее разделами* — генетикой, биохимией, нейробиологией поведения, нейроморфологией; *физиологией* — общей физиологией, нейрофизиологией, физиологией высшей нервной деятельности (ВНД), физиологией сенсорных систем, физиологией трудовых процессов, патофизиологией; *гуманитарными дисциплинами* — философией, филологией, психологией, педагогикой, социологией, этикой.

В науке психофизиологии выделяют теоретические и прикладные области, тесно связанные между собой.

К основным *теоретическим областям* психофизиологии относятся: психофизиологические механизмы кодирования и декодирования информации; психофизиология восприятия, памяти и научения; психофизиология движения и управления вегетативными реакциями; психофизиология воли, мышления и речи, эмоций; психофизиология функциональных состояний, стресса, сна; психофизиология сознания.

*Прикладные области* включают: клиническую, педагогическую, социальную, экологическую, возрастную психофизиологию, психофизиологию диагностики и компенсации когнитивных нарушений; психофизиологию наркомании и алкоголизма.

Психофизиология — наука преимущественно экспериментальная. Выработка единой методологии изучения основ психической деятельности при сохранении для каждой научной дисциплины своих специфических методов и подходов, в настоящее время является ведущей ее задачей.

### 1.4. Основные методы психофизиологических исследований

*Метод регистрации импульсной активности нервных клеток.* Исследование нейрональной активности объекта при выполнении поведенческих задач легло в основу изучения механизмов интегративной деятельности мозга, механизмов компенсации (в условиях клиники) и коррекции при лечении.

В зависимости от задачи исследования используется внеклеточная и внутриклеточная регистрация. *Внеклеточная регистрация* нейрональной активности (микроэлектрод располагают в непосредственной близости к клетке): число спайков; частота спайков,

межспайковых и межразрядных интервалов; и изменение этих параметров при различных воздействиях и поведенческих актах позволяет охарактеризовать участие нейронов разных структур мозга в приеме, анализе внешних сигналов и осуществлении ответных действий. *Внутриклеточная регистрация* нейрональной активности (микроэлектрод располагают внутри клетки) дает информацию о соотношении возбуждательных и тормозных процессов и о механизмах модуляции нейронной активности.

Одним из показателей активности нейронов является потенциал действия (ПД). Его регистрация осуществляется с помощью специальных микроэлектродов, строение и схема расположения которых представлены на рис. 1.1. К электродам предъявляется ряд требований. Диаметр их кончика, т.е. регистрирующей поверхности, должен быть около 1 мкм; сопротивление — в пределах 3 МОм (зависит от используемого материала — металлического или стеклянного электрода). Стеклянный электрод заполняется раствором электролита. Для регистрации нейрональной активности могут быть использованы также пучки микроэлектродов: например, серебряная проволока диаметром 7—10 мкм в стеклянной изоляции 40—45 мкм. Длина кончика каждого электрода (не покрытого изоляцией) находится в пределах 10—20 мкм, диаметр — 5—10 мкм, сопротивление — 2—3 МОм. При погружении электрода в мозг с помощью микроманипулятора величина шага составляет несколько микрон.

**Электроэнцефалография (ЭЭГ)** — метод исследования головного мозга, основанный на регистрации его электрических

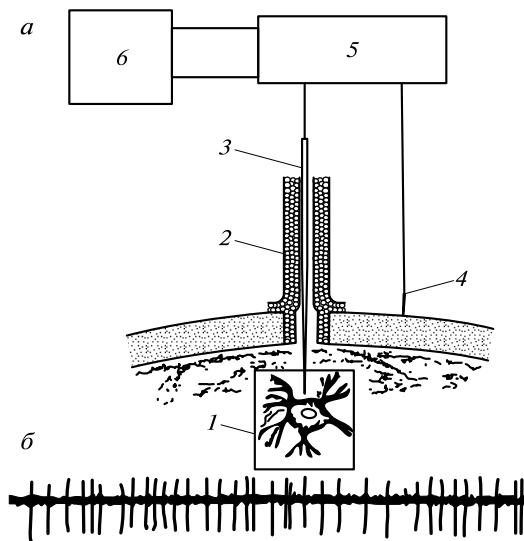


Рис. 1.1. Принципиальная схема регистрации импульсной активности нейрона:

*а:* 1 — нейрон (увеличенный) и кончик отводящего электрода; 2 — микроманипулятор (в разрезе); 3 — микроэлектрод; 4 — индифферентный электрод; 5 — усилитель; 6 — монитор и записывающее устройство; *б:* пример записи импульсной активности нейрона



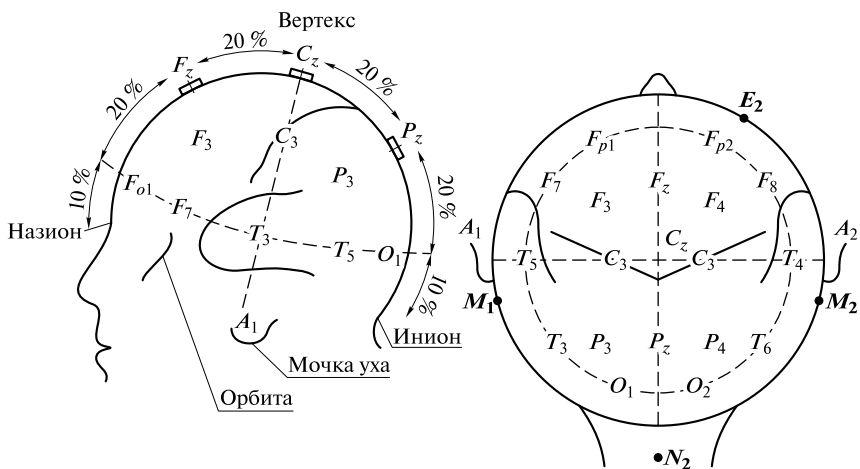


Рис. 1.2. Схема расположения электродов по системе «10—20» (Jasper Н. Н., 1958):

$E_2$  — наружный край правого глаза;  $M_1$ ,  $M_2$  — левый и правый сосцевидные отростки;  $N_2$  — второй шейный позвонок по средней линии

потенциалов. ЭЭГ представляет собой сложный колебательный электрический процесс, который может быть зарегистрирован при расположении электродов на мозге или на поверхности скальпа, и является результатом электрической суммации и фильтрации элементарных процессов, протекающих в нейронах головного мозга. ЭЭГ отражает функциональную активность не отдельных нервных клеток, а их популяций, т. е. функциональную активность мозга. При расположении электродов на голове испытуемого используют две основные системы отведений: международную систему «10—20» (Jasper Н. Н., 1958) и модифицированные схемы с уменьшенным количеством электродов. На рис. 1.2. схематически показано расположение электродов по системе «10—20».

У здорового человека на ЭЭГ выделяют несколько ведущих ритмов, различающихся по частотному диапазону, амплитуде и функциональному значению:

- *альфа-ритм* — его частотный диапазон — от 8 до 13 кол/с, амплитуда — около 50 мкВ. Ритм доминирует в ЭЭГ здоровых людей в спокойном состоянии бодрствования, любая активация (усиление внимания и т. д.) ведет к его угнетению;

- *бета-ритм* более высокочастотный ритм: от 13 до 30 кол/с; возможно его подразделение на низкий (до 20 кол/с) и высокий (свыше 20 кол/с), амплитуда — до 25 мкВ. Он появляется при напряженной умственной работе, при деятельности в постоянно изменяющихся условиях, например при частой смене заданий;

- *тета-ритм* — частотный диапазон от 4 до 8 кол/с, амплитуда около 100 мкВ. Хорошо регистрируется в состоянии засыпания;

- *дельта-ритм* — частота от 0,5 до 3,5 кол/с, амплитуда около 300 мкВ. Проявляется в глубоком сне, характеризует также патологические состояния центральной нервной системы (ЦНС). Доминирует в ЭЭГ детей, его выраженность коррелирует с поведением;

Анализ ЭЭГ осуществляется визуально и с помощью ЭВМ. При визуальной оценке, позволяющей выявить очевидные изменения электрической активности мозга, при интерпретации ЭЭГ учитывают формы волн, их амплитуду и частоту. Компьютерные методы включают спектральный анализ ЭЭГ, оценку ее фрактальной размерности, метод пространственной синхронизации потенциалов мозга или когерентности.

*Спектральный анализ* основан на разложении сигнала с помощью Фурье-преобразования с целью выделения частотных компонентов, после чего рассчитывается мощность ЭЭГ в каждой частотной полосе для всех отведений. Полученные данные представляются в виде наглядных изображений, где цвет отражает интенсивность ритмов каждого частотного диапазона в различных частях мозга. Этот метод получил название картирования мозга. *Анализ корреляционной или фрактальной размерности* используется для оценки показателя общей комплексности корковой динамики и отражает ее статические свойства. Динамическая мера фрактальной размерности (для изучения динамических характеристик системы применяют энтропию А. Н. Колмогорова) отражает минимальное количество активированных нейронов и нейронных цепей, лежащих в основе исследуемого сегмента ЭЭГ. Метод *пространственной синхронизации потенциалов мозга* позволяет выявить сходство активности различных областей коры мозга в одном и том же частотном диапазоне. В его основе лежит быстрое преобразование Фурье.

В последнее время используется нелинейная мера — совместная фрактальная размерность, дающая качественную оценку степени динамического взаимодействия двух одновременно регистрируемых аттракторов из различных областей коры головного мозга. *Аттрактор* — множество точек в фазовом пространстве динамической системы, к которым стремятся траектории систем.

*Метод вызванных потенциалов (ВП)* заключается в выделении слабых и сверх слабых изменений электрической активности мозга в ответ на предъявляемый стимул. ВП представляет собой последовательность разных по полярности компонентов (позитивных и негативных), возникающих после предъявления стимула. Характеристиками ВП являются: латентный период

(ЛП) — время от начала до максимума каждого из компонентов и амплитуда компонентов.

Метод используется при анализе процессов восприятия и для изучения когнитивных процессов. Он позволяет получить информацию без словесного отчета пациента, поэтому широко применяется при обследовании маленьких детей и тяжело больных пациентов. Этот метод возник в 50-х гг. прошедшего столетия, т. е. на 20 лет позже, чем метод ЭЭГ. Запись ВП производится посредством электродов, расположенных на поверхности головы. За счет использования высокочувствительных усилителей и цифровых устройств достигается выделение слабых сигналов ЦНС, в 5—100 раз меньше обычной спонтанной активности головного мозга, электромиограммы и других биоэлектрических сигналов за счет усреднения большого числа слабых ответов мозга.

**Магнитоэнцефалография (МЭГ)** — метод регистрации и анализа параметров магнитных полей организма человека и животных. Магнитные поля создаются слабыми электрическими токами, возникающими в результате активности нервных клеток. МЭГ дополняет метод ЭЭГ. Общность нейрофизиологических процессов, регистрируемых ЭЭГ и МЭГ, отражается в одинаковых характеристиках временного разрешения: оба метода позволяют наблюдать события в диапазоне сотен миллисекунд. МЭГ обладает более точным пространственным разрешением (порядка миллиметров), так как магнитная активность нейронов не зависит от электропроводящих свойств окружающих тканей (мозговых оболочек, спинномозговой жидкости, костей черепа и т. д.) и регистрируется неискаженной. Характер ЭЭГ на поверхности черепа может отличаться от электрокортикограммы соответствующей локализации за счет получения информации от дальних областей мозга.

**Электроокулография (ЭОГ)** основана на регистрации и анализе движений глаз при изменении разности потенциалов роговицы и сетчатки глаза. Используемый в комплексе с ЭЭГ, этот метод позволяет выделять артефакты в картине электрической активности мозга, вносимые движениями глаз.

**Электромиография (ЭМГ)** — метод регистрации и анализа суммарных колебаний потенциалов, возникающих в области нервно-мышечных окончаний и мышечных волокон при поступлении к ним импульсов от мотонейронов спинного и головного мозга. Позволяет регистрировать изменения тонуса мышц в ситуациях, не сопровождающихся внешне наблюдаемыми движениями, используется в комплексных исследованиях.

**Измерение локального мозгового кровотока** — этот метод, разработанный в 1950-х гг., основан на измерении скорости вымывания из тканей мозга изотопов (ксенона или криптона) или

атомов водорода. Скорость вымывания определяется интенсивностью кровотока. Регистрируют наличие метки. Используют два способа введения изотопа: через сонную артерию и через дыхательные пути. В первом случае регистрация проводится через 10 с, ее продолжительность — до 40—50 с. Недостаток этого способа заключается в том, что исследуется только одно полушарие, связанное с сонной артерией. Второй неинвазивный способ состоит во введении изотопа через дыхательные пути (вдыхание в течение 1 мин инертного газа ксенона-133, метка распространяется на оба полушария). Метод используется преимущественно в клинических целях для уточнения диагноза при опухолях, инсультах, травмах. Пространственное разрешение для изотопных датчиков составляет 2 см, для водородного — 250 мкм. Низкое временное разрешение (около 2 мин) не позволяет выявлять динамику процесса.

**Томографические методы** основаны на получении среза мозга искусственным путем. Общий принцип томографии был сформулирован в 1927 г. австрийским физиком Дж. Родоном. Он показал, что на основе реального множества изображений срезов мозга объекта можно создать (спрограммировать) изображение тех срезов, которые нельзя получить исходно. Операции, осуществляемые при томографии, получили название прямого и обратного преобразования Родона. Прямое преобразование основано на описании объекта посредством множества изображений срезов. Обратное преобразование связано с восстановлением всей внутренней структуры объекта по набору его проекций. Компьютерная томография позволяет визуализировать особенности строения мозга человека. Выделяют структурную и функциональную томографию.

**Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)** основана на изменении метаболических процессов. При обменных процессах нервные клетки используют определенные химические элементы, которые можно усилить радиоизотопами. Метод основан на использовании ультракороткоживущих позитрон излучающих изотопов, входящих в состав естественных метаболитов мозга, которые вводятся в организм внутривенно или через дыхательные пути (рис. 1.3). Замещение в молекуле какого-либо вещества атома углерода, азота, кислорода или фтора, соответственно его изотопом, не влияет на химические свойства вещества, но позволяет проследить его движение. В области повышенной активности образуется скопление изотопов, по которому можно судить об участии структур в психических процессах.

**Позитронная эмиссия** — исход позитронов из ядра, в котором нарушен баланс между позитроном и электроном. После свободного пробега (1—10 мм) позитрон взаимодействует со своей

античастицей — электроном. При их воссоединении (это явление получило название аннигиляция) выделяется 2 гамма-кванта, которые разлетаются в противоположные направления под углом  $180^\circ$ . Счетчики определяют число совпадений, затем рассчитывают плотность актов аннигиляции позитрона и электрона, строят срезы, а по ним создают трехмерные изображения.

ПЭТ позволяет наблюдать мозг объемно, включая локальные взаимодействия нейронов и нейронных популяций при выполнении экспериментальных задач за счет регистрации пространственного распределения и концентрации радиоактивно меченых веществ, участвующих в обменных процессах, синаптической передаче, нейрохимических реакциях. Временная разрешающая способность ПЭТ зависит от используемого изотопа и составляет порядок — десятков минут.

**Ядерная магнитная резонансная интроскопия (ЯМРИ)** — метод, основанный на получении изображения, отражающего рас-

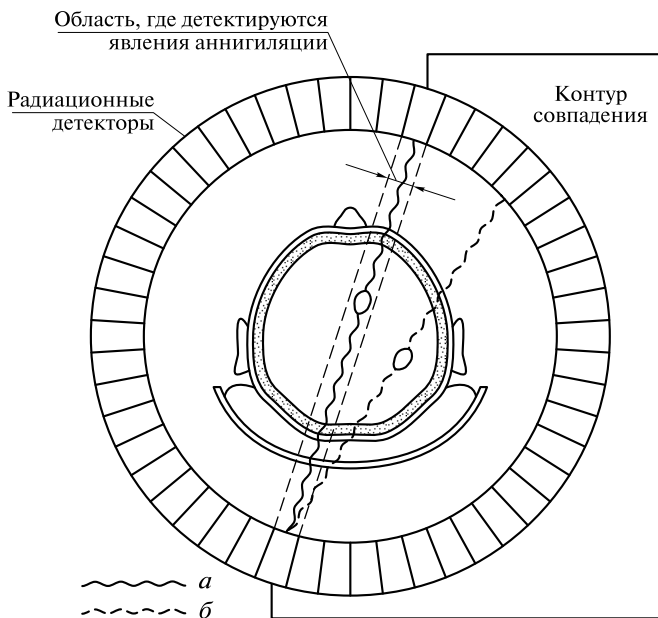


Рис. 1.3. Схематическое расположение в одном кольце детекторов гамма-излучения для исследования методом ПЭТ (Naatanen R., 1992). Для локализации источника активации в мозге используются контуры совпадения, создаваемые парами детекторов, одновременно фиксирующими появление фотонов. Отрицательное заключение выносится, когда возбуждается только один из детекторов пары:

*а* — заключение положительное; *б* — заключение отрицательное

пределение плотности ядер водорода (протонов) в мозговом веществе, и на регистрации их некоторых характеристик посредством мощных электромагнитов, расположенных вокруг тела человека. ЯМРИ позволяет получить информацию об анатомической и физико-химической организации изучаемых структур головного мозга. Пространственное разрешение метода — десятки микрон вне зависимости от глубины расположения исследуемой ткани. Достижение пика магнитного сигнала после стимула происходит через несколько секунд. Преимущество метода состоит в отсутствии повреждающего воздействия на ткань, для его реализации не требуется введения в организм изотопов.

**Магнитно-резонансная томография (МРТ)** использует парамагнитные свойства агентов, которые можно ввести в организм. Не обладая магнитными свойствами, такие агенты приобретают их, попав в магнитное поле. Используется парамагнитная субстанция гемоглобина. Метод основан на измерении пространственного распределения соотношения гемоглобина к деоксигемоглобину (гемоглобину, отдавшему свой кислород). Теряя кислород, гемоглобин приобретает парамагнитные свойства. При активации организма возрастает и метаболическая активность мозга, что вызывает увеличение объема и скорости мозгового кровотока. Дополнительный приток крови к участку мозга влечет за собой снижение в нем парамагнитного деоксигемоглобина. Существование локусов активации отражается в неравномерном распределении в мозге деоксигемоглобина, что обуславливает неоднородность магнитного поля, которая используется при создании карт локальных активаций.

Положительные стороны МРТ: он позволяет выделять активированные участки мозга без использования изотопов, временное разрешение у него выше, чем у ПЭТ.

**Транскраниальная магнитная стимуляция** — метод, предполагающий воздействие на мозг изменяющегося во времени магнитного поля. Он подразумевает помещение на скальп электромагнитной катушки, в которой ток большой мощности быстро включается и выключается за счет разрядов конденсаторов. В результате возникает меняющееся во времени магнитное поле продолжительностью от 100 до 200 мс. Обычно оно имеет величину около 2 Тл (в 40 тыс. раз больше магнитного поля Земли, или приблизительно равно интенсивности постоянного магнитного поля, применяемого в магнитно-резонансной томографии). Близость мозга к изменяющемуся во времени магнитному полю приводит к возникновению тока в нервной ткани.

Схематическое изображение возникновения магнитного и электрического полей, а также механизм возникновения нейронального ответа представлены на рис. 1.4. Переменный ток в

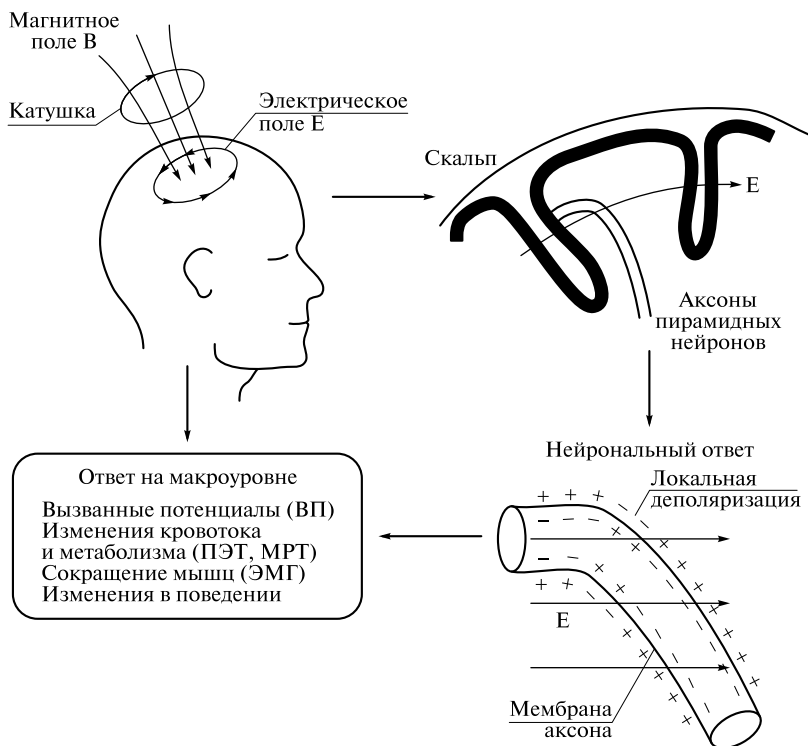


Рис. 1.4. Схематическое отображение принципов транскраниальной магнитной стимуляции (Timoniemi R.J., Ruohonen J., Karhu J., 1999)

катушке генерирует магнитное поле  $B$ , которое индуцирует электрическое поле  $E$ . Линии поля  $B$  проходят через катушку; линии электромагнитного поля  $E$  образуют замкнутые петли. В верхней правой части рисунка представлена схема моторной коры — прецентральная извилина (вид сбоку). Изображены аксоны двух пирамидных нейронов, а также типичная ориентация поля  $E$  внутри черепа. Электрическое поле воздействует на трансмембранный потенциал, что может приводить к локальной деполяризации мембраны и возбуждению нейрона.

### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что является предметом изучения психофизиологии?
2. С какими областями знаний связана психофизиология?
3. Назовите прикладные области психофизиологии.
4. Расскажите об исторических предпосылках возникновения психофизиологии как самостоятельной науки.

5. Каков вклад отечественной физиологической школы в создании нового научного направления — психофизиологии?
6. Назовите положения, которые легли в основу представления о биосоциальной сущности человека.
7. Перечислите основные методы психофизиологических исследований.
8. Дайте краткую характеристику методам регистрации электроэнцефалограммы и вызванных потенциалов.
9. Для решения каких задач используется метод электромиографии?
10. Охарактеризуйте методы позитронно-эмиссионной и магнитно-резонансной томографии, ядерной магнитной резонансной интроскопии.

## ЛИТЕРАТУРА

- Данилова Н. Н.* Психофизиология. — М., 2001.
- Илюхина В. А.* Психофизиология функциональных состояний и познавательной деятельности здорового и больного человека. — СПб., 2010.
- Ноздрачев А. Д., Баженов Ю. И., Баранникова И. А.* и др. Начала физиологии: учебник для вузов. — СПб., 2002.
- Психофизиология / под ред. Ю. И. Александрова. — СПб., 2007.
- Handbook of Psychophysiology / eds. J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, G. G. Bernston — Cambridge, 2000.
- Medvedev S. V., Nozdrachev A. D., Samoylov V. O.* Russian Psychophysiology. Essays — SPb., 2008.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Дельгадо Х.* Мозг и сознание. — М., 1971.
- Соколов Е. Н.* Восприятие и условный рефлекс. — М., 1958.
- Эдельман Дж., Маунткэсл В.* Разумный мозг. — М., 1981.
- Itoniemi R. J., Ruohonen J., Karhu J.* Transcranial Magnetic Stimulation — a New Tool for Functional Imaging of the Brain // Critical Reviews in Biomedical Engineering. — Helsinki, 1999. — Vol. 27.