

# **COGNITION, BRAIN AND CONSCIOUSNESS**

## **INTRODUCTION TO COGNITIVE NEUROSCIENCE**

Second Edition

**Bernard J. Baars  
Nicole M. Gage**



AMSTERDAM • BOSTON • HEIDELBERG • LONDON • NEW YORK • OXFORD  
PARIS • SAN DIEGO • SAN FRANCISCO • SINGAPORE • SYDNEY • TOKYO

Academic Press is an imprint of Elsevier



# Оглавление

<b>Предисловие</b> .....	<b>14</b>
<b>Глава 1. Психика и мозг</b> .....	<b>23</b>
1.0. Введение .....	23
2.0. Приглашаем в нейропсихологию .....	24
3.0. Некоторые исходные положения .....	25
3.1. Расстояния: семь порядков размерностей .....	25
3.2. Время: десять порядков размерностей .....	28
3.3. Умозаключения — выход за рамки эмпирических данных .....	30
3.4. Согласуемость данных .....	34
3.5. Главные ориентиры на изображениях мозга .....	35
4.0. Немного истории и продолжающаяся дискуссия .....	37
4.1. Психика и мозг .....	40
4.2. Биологическая природа когнитивной деятельности и эмоций .....	41
4.3. Нейронная доктрина Рамон-и-Кахала: рабочая гипотеза науки о мозге .....	44
4.4. Пьер-Поль Брока: локализация центра речи .....	47
4.5. Осознаваемые и неосознаваемые психические явления .....	54
5.0. Наука возвращается к представлениям о сознании .....	59
5.1. Современные методы исследования осознаваемых и неосознаваемых процессов в мозге .....	61
5.2. Историческое развитие не остановилось .....	62
6.0. Заключение .....	64
7.0. Задания и упражнения к главе 1 .....	66
7.1. Контрольные задания .....	66
7.2. Графические упражнения .....	67

## **Глава 2. Концептуальная структура когнитивной нейронауки . . . . 69**

1.0. Введение . . . . .	69
2.0. Классическое понятие оперативной памяти . . . . .	71
2.1. «Внутренние чувства» . . . . .	72
2.2. Выходные функции . . . . .	74
2.3. Один краткий миг . . . . .	74
2.4. Случай Клайва Уэринга с позиций функциональной схемы . . . . .	78
2.5. Роль мгновенной памяти . . . . .	79
3.0. Ограниченность функциональных способностей . . . . .	81
3.1. Границы выполнения двойных задач . . . . .	81
3.2. Некоторые функциональные способности мозга имеют широкие границы . . . . .	84
3.3. Почему функциональные способности могут быть столь ограниченными? . . . . .	85
3.4. Оценка оперативной памяти . . . . .	86
4.0. Внутренние и внешние чувства . . . . .	89
4.1. Глаз, ухо и голос психики . . . . .	90
4.2. Психические образы формируются в зрительных областях коры мозга . . . . .	92
4.3. Идентична ли внутренняя речь внешней речи? . . . . .	92
4.4. Только ли один вид оперативной памяти? . . . . .	93
5.0. Центральное управление . . . . .	93
5.1. Исполнительная реакция и автоматизм . . . . .	96
5.2. Управляемое и спонтанное внимание . . . . .	98
6.0. Действие . . . . .	100
7.0. Консолидация кратковременных событий в долговременную память . . . . .	104
7.1. Оперативная память — результат активации постоянной памяти? . . . . .	106
8.0. Заключение . . . . .	107
9.0. Задания и упражнения к главе 2 . . . . .	108
9.1. Контрольные задания . . . . .	108
9.2. Графические упражнения . . . . .	109

## **Глава 3. Нейроны и связи между ними . . . . . 111**

1.0. Введение . . . . .	111
1.1. Реальные и идеализированные нейроны . . . . .	113
1.2. Возбуждение и торможение . . . . .	115
1.3. Обработка информации нейронами . . . . .	117
2.0. Рабочие гипотезы . . . . .	118
2.1. Упрощенный случай: рецепторы, пути и контуры . . . . .	119

3.0. Массивы и карты . . . . .	124
3.1. Карты переходят в другие карты . . . . .	127
3.2. Массивы нейронов чаще всего имеют связи двух типов . . . . .	127
3.3. Сенсорные и моторные системы работают совместно . . . . .	127
3.4. Временная кодировка: рисунки спайков и ритмы мозга . . . . .	129
3.5. Точки выбора в потоках информации . . . . .	133
3.6. Обработка, обусловленная ожиданием . . . . .	135
4.0. Адаптация и обучение массивов нейронов . . . . .	138
4.1. Обучение по Хэббу: «Активирующиеся одновременно нейроны образуют соединения между собой» . . . . .	139
4.2. Дарвинистский подход в нервной системе: выживают клетки и синапсы, наиболее приспособленные к данной задаче . . . . .	143
4.3. Обработка символической информации и нейронные сети . . . . .	145
5.0. Координация работы нейрональных сетей . . . . .	146
5.1. Функциональная избыточность . . . . .	148
6.0. Заключение . . . . .	149
7.0. Задания и упражнения к главе 3 . . . . .	150
7.1. Контрольные задания . . . . .	150
7.2. Графические упражнения . . . . .	150
<b>Глава 4. Методы: визуализация живого мозга . . . . .</b>	<b>153</b>
1.0. Введение . . . . .	153
1.1. Регистрация работы мозга: более и менее прямые методы измерения . . . . .	155
1.2. Соотношение пространственного и временного разрешений методов . . . . .	155
2.0. Ряд полезных инструментов для измерения электрической и магнитной активности . . . . .	159
2.1. Регистрация одиночных нейронов . . . . .	159
2.2. Исследования на животных и человеке . . . . .	163
2.3. Электроэнцефалография (ЭЭГ) . . . . .	165
2.4. Магнитоэнцефалография . . . . .	173
2.5. Вмешательство в работу мозга . . . . .	174
3.0. фМРТ и ПЭТ: не прямое измерение нейронной активности . . . . .	180
3.1. Области интереса . . . . .	185
3.2. Мозг в состоянии покоя не молчит: внутренние процессы мозга . . . . .	188

3.3. Эмпирическое определение когнитивных функций: уникальный способ . . . . .	189
4.0. Новые способы определения взаимосвязи областей мозга: визуализация распределения тензора . . . . .	191
5.0. Сознательные события против бессознательных . . . . .	192
6.0. Корреляция и причинная связь . . . . .	193
6.1. Для чего необходимо множество методик при исследовании функций мозга . . . . .	195
6.2. Повреждения мозга и следствия этих повреждений . . . . .	196
7.0. Заключение . . . . .	198
8.0. Задания и упражнения к главе 4 . . . . .	198
8.1. Контрольные задания и графические упражнения . . . . .	198
<b>Глава 5. Мозг . . . . .</b>	<b>201</b>
1.0. Введение . . . . .	201
1.1. Нервная система . . . . .	202
1.2. География мозга . . . . .	203
2.0. Развитие мозга начинается с нижних отделов . . . . .	210
2.1. В строении мозга находят отражение эволюция и индивидуальное развитие . . . . .	210
2.2. Развитие мозга от основания до вершины . . . . .	210
3.0. От вопроса «где?» до вопроса «что?»: функциональная роль областей мозга . . . . .	217
3.1. Полушария головного мозга: разделение на левую–правую половины . . . . .	218
3.2. Исходящие и входящие сигналы: подразделение в направлении спереди назад . . . . .	222
3.3. Основные доли: видимые и скрытые участки . . . . .	226
3.4. Обширные взаимосвязи между корой и таламусом . . . . .	233
3.5. Подчиненные участки подкорковых слоев . . . . .	236
4.0. Заключение . . . . .	239
5.0. Задания и упражнения к главе 5 . . . . .	240
5.1. Контрольные задания . . . . .	240
5.2. Графические упражнения . . . . .	240
<b>Глава 6. Зрение . . . . .</b>	<b>243</b>
1.0. Введение . . . . .	244
1.1. Тайна опыта зрительных впечатлений . . . . .	244
1.2. Цель зрения: знание того, что где находится . . . . .	245

1.3. Знание об объекте: восприятие характерных черт, групп и объектов . . . . .	245
1.4. Знание того, где находятся объекты . . . . .	248
2.0. Функциональная организация зрительной системы . . . . .	248
2.1. Сетчатка . . . . .	248
2.2. Латеральное коленчатое тело . . . . .	252
2.3. Первичная, или стриарная, зрительная кора . . . . .	254
2.4. Экстрастриарные зрительные зоны — за пределами зоны V1 . . . . .	258
2.5. Поле МТ . . . . .	258
2.6. Вентральный и дорсальный пути: знания «что» и «где» . . . . .	258
2.7. Зоны, вовлеченные в распознавание объектов . . . . .	262
2.8. Латеральный затылочный комплекс . . . . .	262
2.9. Зона распознавания лиц . . . . .	264
2.10. Парагиппокампальная область восприятия пространства . . . . .	264
3.0. Теории зрительного осознания: где оно происходит? . . . . .	264
3.1. Иерархическая и интерактивная теории зрения . . . . .	268
4.0. Области мозга, необходимые для визуального восприятия: исследования повреждений . . . . .	273
4.1. Последствия повреждений первичных зрительных зон . . . . .	273
4.2. Поражения экстрастриарной зоны — повреждения вне зоны V1 . . . . .	276
4.3. Повреждение вентральных областей, воспринимающих предметы . . . . .	277
4.4. Повреждение дорсальных областей теменной доли . . . . .	282
5.0. Связь деятельности мозга и зрительного опыта. . . . .	283
5.1. Восприятие со многими устойчивыми состояниями . . . . .	284
5.2. Бинокулярная конкуренция: то, что вы видите, — это то, что стимулирует вас . . . . .	285
5.3. Зрительное обнаружение: видели ли вы это? . . . . .	288
5.4. Созидательное восприятие: видеть больше, чем доступно глазу... . . . .	289
5.5. Нервные корреляции с распознаванием объектов. . . . .	291
6.0. Управление зрительным осознанием. . . . .	292
6.1. Транскраниальная магнитная стимуляция . . . . .	293
6.2. Бессознательное восприятие . . . . .	296
7.0. Заключение. . . . .	299
8.0. Задания и упражнения к главе 6 . . . . .	300
<b>Глава 7. Слух и речь . . . . .</b>	<b>303</b>
1.0. Введение. . . . .	303
1.1. Модель обработки информации. . . . .	304

1.2. Основы звука и слухового восприятия . . . . .	307
2.0. Центральная слуховая система . . . . .	312
2.1. Пути передачи слуховой информации . . . . .	312
2.2. Слуховая кора . . . . .	315
3.0. Функциональное картирование обработки слуховой информации. . . . .	323
3.1. Первичная слуховая кора . . . . .	323
3.2. Роль височной области в декодировании слухового сигнала. . . . .	324
3.3. Коровые системы «что» и «где». . . . .	325
4.0. Восприятие речи . . . . .	336
4.1. История вопроса . . . . .	337
4.2. Ранние теории восприятия речи . . . . .	340
4.3. Функциональное картирование специфических речевых процессов . . . . .	342
4.4. Связь восприятия и формирования речи . . . . .	343
4.5. Повреждения систем восприятия речи . . . . .	344
4.6. Рабочая модель мозговых механизмов восприятия речи . . . . .	349
5.0. Восприятие музыки. . . . .	352
5.1. Этапы слуховой обработки музыки. . . . .	352
5.2. Отдельная система для музыкального восприятия . . . . .	353
6.0. Обучение и пластичность . . . . .	355
6.1. Пластичность, связанная с депривацией . . . . .	356
6.2. Пластичность, связанная с обучением . . . . .	356
6.3. Пластичность, связанная с профессиональными навыками. . . . .	358
7.0. Сознание и слуховые образы . . . . .	358
7.1. Слуховое сознание во время сна и седативного состояния . . . . .	359
7.2. Слуховое воображение . . . . .	360
8.0. Заключение. . . . .	361
9.0. Задания и упражнения к главе 7. . . . .	362
9.1. Контрольные задания. . . . .	362
9.2. Графические упражнения . . . . .	362
9.3. Литература . . . . .	363
<b>Глава 8. Сознание и внимание . . . . .</b>	<b>365</b>
1.0. Введение. . . . .	366
1.1. Бодрствующее состояние опосредовано сознанием . . . . .	370
1.2. Состояния бодрствования, сна и сновидений должны быть регулярны по времени . . . . .	371

1.3. Общие ритмы суточных состояний . . . . .	373
1.4. Состояние нахождения в сознании имеет типичную таламокортикальную активность. . . . .	378
1.5. Таламокортикальный центр: плотно взаимосвязанный и очень активный . . . . .	381
1.6. Карты и ритмы . . . . .	385
1.7. Двусторонние связи . . . . .	385
1.8. Как синхронизируются нейроны. . . . .	387
1.9. Синхронность для получения контроля. . . . .	390
2.0. Бодрствование . . . . .	394
2.1. Практическое мышление . . . . .	394
2.2. Ориентация по месту, времени и людям . . . . .	396
2.3. Бодрствование для обучения; сон делает возможным закрепление памяти . . . . .	398
2.4. Внимание и сознание в общем делают возможным обучение . . . . .	398
2.5. Потеря осознания предсказуемых событий. . . . .	401
2.6. Скрытое обучение также требует сознания . . . . .	404
2.7. Быстрые ритмы координируют задачи в состоянии бодрствования. . . . .	404
2.8. Гамма-активность играет множество ролей . . . . .	406
2.9. Синхронизация гамма-волн может соединять визуальные черты в осознаваемые образы . . . . .	409
2.10. Тета-ритмы играют множество ролей . . . . .	415
2.11. Альфа-ритмы . . . . .	417
3.0. Внимание улучшает восприятие, познавательную способность и обучение. . . . .	420
3.1. Фланговая задача Познера. . . . .	420
3.2. Модель внимания . . . . .	427
3.3. Опыты по вниманию и опыты сознания . . . . .	433
4.0. Сон фазы быстрых движений глаз . . . . .	435
4.1. Сны как состояние сознания . . . . .	437
4.2. Закрепление событий в памяти во время БДГ-сна. . . . .	438
5.0. Глубокий сон: подъемы и спады . . . . .	441
5.1. Некоторая умственная активность происходит даже во время медленноволнового сна . . . . .	442
5.2. Порог пробуждения изменяется на протяжении сна . . . . .	442
5.3. Повторное «проигрывание» эпизодов в памяти и консолидация . . . . .	443
6.0. Общее сопоставление . . . . .	447
6.1. Отражает ли сознание функцию глобального рабочего пространства в головном мозге? . . . . .	447



6.2. Передача сигналов повторным входом и степень интеграции осознаваемых явлений в головном мозге . . . . .	454
6.3. Требуется ли для сознания личное познание? . . . . .	457
6.4. Почему осознаваемые события подлежат регистрации? . . . . .	459
6.5. Факты по необычным состояниям . . . . .	460
7.0. Заключение. . . . .	471
8.0. Задания и упражнения к главе 8 . . . . .	473
<b>Глава 9. Обучение и память. . . . .</b>	<b>479</b>
1.0. Введение. . . . .	480
1.1. Общее представление о функции обучения и памяти . . . . .	483
1.2. Обучение и память на функциональной схеме работы мозга. . . . .	485
1.3. ИмPLICITная и EXPLICITная память. . . . .	488
2.0. Амнезия . . . . .	489
2.1. НМ: наиболее изученный пациент с амнезией . . . . .	491
2.2. Краткие сведения об амнезии . . . . .	491
2.3. Сохраняющиеся функции при амнезии: имPLICITная и процедурная память. . . . .	494
2.4. Сохраненное имPLICITное обучение . . . . .	496
3.0. Как формируются воспоминания. . . . .	500
3.1. Электрически вызванные автобиографические воспоминания . . . . .	501
3.2. Длительная потенциация и длительная депрессия: возбуждающие и тормозные следы памяти . . . . .	504
3.3. Консолидация: от временного хранения до постоянного . . . . .	507
3.4. Быстрая консолидация: синаптические механизмы, транскрипция генов и синтез белка. . . . .	508
3.5. Системная консолидация: взаимодействие между медиальными отделами височных долей и новой корой. . . . .	510
4.0. Разновидности памяти . . . . .	512
4.1. Эпизодическая и семантическая память: «припоминание» против «знания» . . . . .	512
4.2. Эпизодические воспоминания могут со временем превращаться в семантические . . . . .	515
4.3. Эпизодическая память и семантическая память часто комбинируются . . . . .	517
5.0. Медиальная височная кора в EXPLICITном научении и памяти . . . . .	518
5.1. Отвлечение внимания мешает обучению . . . . .	519
6.0. Префронтальная кора, сознание и рабочая память . . . . .	521
6.1. Работа с памятью: лобная доля целенаправленно работает с памятью . . . . .	525

---

6.2. Префронтальная кора в эксплицитном (осознанном) и имплицитном (неосознанном) обучении и памяти. . . . .	526
6.3. Различные типы рабочей памяти. . . . .	528
6.4. Префронтальная кора — хранение информации или управление процессом?. . . . .	530
6.5. Объединение префронтальных и медиальных височных областей для обеспечения процессов рабочей памяти . . . . .	531
7.0. Извлечение информации из памяти и метапознание. . . . .	533
7.1. Извлечение из памяти ложной информации . . . . .	534
7.2. Межполушарная латерализация при извлечении информации . . . . .	534
7.3. Тета-ритмы могут координировать извлечение из памяти . . . . .	536
8.0. Другие виды обучения . . . . .	537
9.0. Заключение. . . . .	539
10.0.Задания и упражнения к главе 9 . . . . .	540

# Предисловие

Стремление идти в ногу со временем при изучении когнитивной нейробиологии очень схоже со стремлением оседлать на серфинге Большую волну около пляжа Вайкики. От постоянного появления новых фактов в этой области становится захватывающе интересно и немного страшно. И все же мы продолжаем взбираться на наши умственные доски для серфинга, чтобы поймать набегаящую волну этого все усложняющегося научного знания. Данная книга создавалась с целью формирования общего представления о еще только зарождающейся науке. Особый стиль изложения основного материала делает ее доступной как для студентов, так и для всех интересующихся читателей любого уровня.

Второе издание книги претерпело ряд усовершенствований.

1. Добавлена новая глава *Гены и молекулы мышления* (гл. 16), которая знакомит читателя с современными разработками в области молекулярных основ сознания. Известно, что нейроны формируют связи с другими нейронами, экспрессируя белки под контролем генетического (и эпигенетического) аппарата клетки. Таким образом, знание молекулярного уровня необходимо для понимания таких функций, как обучение, речь, восприятие и других.
2. С учетом данных, полученных за последние десять лет, полностью пересмотрена глава о *Сознании и внимании* (гл. 8). Невероятный прорыв в данной области позволил совершить открытие новых методов регистрации деятельности мозга. Например, было показано, что мозговые ритмы несут информацию как о сознательных, так и о бессознательных процессах.
3. Была произведена большая ревизия гл. 12 *Цели, управляющий контроль и действия*, в которой с позиции современных данных о строении префронтальной коры проясняются многие загадки о значении лобных долей — «органов цивилизации», длительное время считавшихся непостижимыми.
4. Добавлены новые текстовые вставки *Перспективы когнитивной нейронауки*. Свои точки зрения на важные направления и открытия, сделанные недавно в рамках когнитивной нейронауки, представляют ведущие ученые со всего мира:
  - Нельсон Кован (Nelson Cowan, PhD), Университет Миссури
  - Давид Иглман (David Eagleman, PhD), Медицинский колледж Бэйлора
  - Джеральд Эдельман (Gerald Edelman, MD), Институт нейронаук
  - Пол Флетчер (Paul Fletcher, PhD), Кембриджский университет
  - Анжела Фридеричи (Angela Friederici, PhD), Институт человеческой когнитологии и науки о мозге общества Макса Планка

- Кристофер Фрис (Christopher Frith, PhD), Центр исследования мозга «Вэлкам Траст»
  - Кристоф Кох (Christof Koch, PhD), факультет биологии Калифорнийского технологического института
  - Стефан Л. Макник (Stephen L. Macknik, PhD), Нейрологический институт Барроу
  - Сюзана Мартинез-Конде (Susana Martinez-Conde, PhD), Нейрологический институт Барроу
  - Анирудх Пател (Aniruddh Patel, PhD), Институт нейронаук
  - Чаран Ранганах (Charan Ranganath, PhD), Университет Калифорнии, Дейвис
  - Майкл Ругг (Michael Rugg, PhD), Университет Калифорнии, Ирвин
  - Дженни Саффран (Jenny Saffran, PhD), Университет Висконсина, Мэдисон
  - Лари Сквاعر (Larry Squire, MD), Университет Калифорнии, Медицинская школа Сан Диего
5. Во второе издание включен словарь терминов. Так как освоение терминологии является одним из наиболее сложных этапов изучения когнитивной нейронауки, мы надеемся, что это дополнение будет хорошим вспомогательным средством для студентов и преподавателей.
6. В начало книги помещен новый мини-атлас человеческого мозга, знание строения которого служит первым шагом к пониманию когнитивных наук. Так как мозг невероятно сложен по своему топографическому устройству, в первом издании мы использовали иллюстрации из анатомии Грея и других источников издательства Elsevier/Academic Press. Для большей помощи новичкам при изучении «ландшафта мозга» во второе издание добавлен мини-атлас — компас и карта «территории».
7. И наконец, приложение по методам визуализации мозга было полностью обновлено экспертом в данной области, доктором Томасом Рамсой из Университета Копенгагена.

Как писали Кристофер Фрис, Михаэль Познер и другие, в последние несколько десятилетий мы наблюдаем заключение союза между когнитивной наукой и наукой о мозге, который строится на взаимовыгодных исходных преимуществах каждой из них. Когнитивные механизмы и механизмы восприятия, изучавшиеся на уровне поведения, в настоящее время могут наблюдаться непосредственно на уровне работы самого мозга благодаря использованию новейших методов визуализации мозговых процессов. Впервые в реальном времени мы можем наблюдать деятельность живого мозга, которая формировалась в процессе эволюции более сотни миллионов лет. Результаты этого исследования невероятно богаты и соединяют в себе новейшие данные психологии и биологии, медицины, биохимии и физики. В то же время наибольшее число научных разработок строится на базе хорошо устоявшихся психологических концепций и методик. В результате мы можем наблюдать, как психология и наука о мозге

удивительным образом дополняют друг друга. *Когнитивная нейронаука* становится обязательной составляющей образовательных программ по психологии, биологии, педагогике и медицине.

Сложно охватить науку о мышлении за один курс. Многие лекторы замечают, что большая часть учебного времени тратится на изучение строения самого мозга, и очень мало времени остается для освещения сложных интегративных процессов. Несмотря на то, что знание устройства мозга необходимо, фокусирование исключительно на анатомии может помешать достижению целей преподавания.

В данной книге к решению этой проблемы авторы подходят с нескольких сторон. Во-первых, текст в своей основе придерживается гибкой обучающей линии, которая включает стандартные разделы, такие как сенсорное восприятие в зрительной и слуховой системах, рабочая память, внимание и сознание, высшие нервные функции, язык и восприятие, когнитивная деятельность, эмоции, социальное познание и развитие. Во-вторых, знакомство с деятельностью мозга происходит постепенно, шаг за шагом, с поэтапным усложнением материала. Для облегчения восприятия информации в книге используется особая *функциональная основа*. Этот широко распространенный способ позволяет собрать все главные разделы в единую схему, которая углубляется и разрастается деталями по ходу изложения. Функциональную основу книги можно рассмотреть с разных сторон. Например, процесс хранения информации можно изучать исходя из понятий активной рабочей памяти, а восприятие, когнитивную и высшую нервную деятельность — на фоне постоянного сохранения в мозге текущей информации (гл. 2). Функциональная основа помогает разобраться в обоих случаях.

После прохождения бесплатной регистрации для преподавателей и студентов становится доступной информация на сайте <http://textbooks.elsevier.com>. Дополнительные материалы для старших наставников включают все рисунки книги и подписи к ним в формате PowerPoint, а также видеoinструкции и мультимедийные файлы. Студенты могут ознакомиться с краткими обзорами глав, тестами, рисунками и видео. Сайт будет постоянно обновляться и дополняться в зависимости от поступления новых данных, и авторы будут рады учесть ваши предложения и идеи по поводу его содержимого.

Материал глав предлагается изучать в любой последовательности, удобной для преподавания. Для студентов, продолжающих обучение, содержание глав 4 и 5 можно подать в кратком изложении. Для начальных курсов эти темы являются основными и могут быть дополнены информацией из приложения (авторы — Томас Рамсой с коллегами). Приложения также удобно использовать в качестве справочного материала.

В книге рассматриваются все возможные нарушения мозговой деятельности, начиная с описания случаев повреждения памяти у Генри Молайсона (Henry Gustav Molaison, НМ) и возникновения антероградной амнезии в результате вирусной инфекции у Клайва Веринга (гл. 2 и 9) и заканчивая слепым зрением, гемиагнозией, прозопагнозией и другими расстройствами зрительной систе-

мы. В гл. 11, посвященной высшим нервным функциям, описаны расстройства, вызванные чрезмерным или недостаточным центральным управлением. Так, в случае некоторых расстройств не наблюдаются нарушения двигательной системы и когнитивных функций: кажется, что пациенты просто не желают выполнять движение. Однако иногда они спонтанно начинают копировать поведение другого человека и не могут остановиться. Например, импульсивно поднимаются, если осматривающий их врач встает со стула. Подобные расстройства, связанные с чрезмерным или недостаточным центральным управлением, позволяют выявить основы высших нервных функций человека.

Ряд нарушений имеет психологические аналоги. Профессиональные музыканты, такие как Ван Клиберн (Van Cliburn), иногда не в состоянии подавить желание подпевать во время игры на инструменте, а высококвалифицированные специалисты могут потерять высший контроль над автоматическими действиями, особенно при наличии одновременной мыслительной нагрузки. Наоборот, классическим симптомом глубокой депрессии, например, является невозможность инициировать и выполнить движение. Области мозга, задействованные в такие «чисто психологические» недостатки, как правило, связаны с органическими нарушениями. Здесь мы наблюдаем еще один пример значительного упрощения информации, что позволяет читателям получить общую картину быстрее, чем разрозненные факты.

В научных исследованиях психологическая тематика обычно сводится к рассмотрению данных о работе мозга. Например, на сегодняшний день считается, что вербальное проявление классической рабочей памяти — возможность мысленно повторять последовательности чисел и наборы слов — является частью нормального проявления речевой функции. Однако открытие возможности активации областей мозга, ответственных за речевые функции, при мысленном повторении слов (Baddeley, 2003), доказывает, что «фонологическая петля» рабочей памяти, больше не является отдельной когнитивной функцией, а рассматривается в виде беззвучной активности речевой зоны коры. Похожие результаты (Kosslyn *et al.*, 2004) показали, что при создании мысленных зрительных образов участвует совокупность областей коры головного мозга, вовлеченных в нормальную зрительную перцепцию. Более удивителен тот факт, что внимание к зрительным стимулам очень тесно связано с контролем движений глаз. Спортсмены и музыканты используют сенсомоторные области коры головного мозга для осуществления мысленных тренировок. Таким образом, во «внутренние» и «внешние» процессы вовлечены перекрывающиеся области мозга, что значительно облегчает понимание вышеизложенных фактов.

В когнитивной нейробиологии далеко не всегда существует возможность упрощенно изложить факты. Авторы смогли организовать данный текст на основе повторения тем, благодаря чему материал стал легче для понимания и преподавания и позволяет нам исследовать широкий круг основных проблем, включающих эмоции, социальный разум и развитие.

Для углубления знаний студентов разработаны дополнительные материалы. Они представлены с помощью наглядных пособий, изображений и обучающих

схем, а также в виде презентаций формата PowerPoint и видеоклипов. Наилучшим образом проиллюстрировать ряд феноменов можно на примере экспериментов и с помощью видеоматериала. Например, можно показать пациента с синдромом окружения (псевдокома), который способен общаться с окружающим миром только при помощи движения глаз по виртуальной клавиатуре. Для сравнения можно продемонстрировать пациента, который выглядит аналогично, но находится в настоящей коме.

Для облегчения процесса обучения в конце каждой главы приводятся вопросы для повторения и графические упражнения. Мы особенно рекомендуем пользоваться такими упражнениями, так как самостоятельное создание сложных трехмерных моделей организации мозга способствует лучшему их пониманию.

В книге представлен ряд актуальных тем о постоянно меняющихся перспективах когнитивной нейронауки. Одной из них является взаимоотношение «разума», такого как мы его осознаем, и «мозга», такого как мы его наблюдаем, т. е. исторически сложившаяся проблематика о сознании и его мозговых коррелятах. Как недавно сказал Алан Бэдди (Alan Baddeley), «пожалуй, самым значительным изменением за последние двадцать лет в области психологии и когнитивной науки...можно назвать принятие того, что сознание является законной и разрешимой научной проблемой».

Новый взгляд на проблему сознания внес изменения в исследования процессов восприятия, памяти и внимания, которые можно наблюдать в пионерских работах Энделя Тульвинга (Endel Tulving), Дэниела Шахтера (Daniel Schachter), Джеральда Эдельмана (Gerald Edelman), Френсиса Крика (Francis Crick), Кристофа Коха (Christof Koch) и других. В то время как во многих других учебниках имеется только одна отдельная глава про сознание, мы считаем, что к этой широкой теме надо постоянно возвращаться по ходу всего учебника. Как было написано в юбилейной 125-й статье в журнале Science, проблема сознания считается в настоящее время одной из самых главных, неразрешенных проблем биологии. Несмотря на то что многое в этом вопросе еще необходимо понять, психологи уже давно изучают процессы сознания в контексте таких проблем, как «эксплицитное сознание» и «фокусное внимание». Эти понятия оцениваются исходя из точного поведенческого ответа и с самого начала развития психофизики, т. е. более двух сотен лет назад, сигнализируют о наличии когнитивных процессов в мозге. Таким образом, термин «сознание» может быть использован как ярлык, аналогичный «памяти» и «восприятию», с определенным числом подтем, таких как подсознательное восприятие, автобиографическая память и селективное внимание.

Произвольный контроль функций и деятельности тоже перемещается в исследованиях на передний план, но иногда под названиями «стратегический контроль» и «высшие психические функции». В мозге произвольные и непроизвольные функции могут быть четко разделены на основании данных анатомии и физиологии. Значительные различия возникают также при визуализации функций мозга и поведения. И наконец, изучение высших психических функ-

ций открывает новое понимание «личности» в повседневной жизни, что изучается социальной и личностной психологией.

Все эти разделы показывают поразительную взаимозависимость данных о поведении и работе мозга.

На сегодняшний день механизмы возникновения эмоций и социального поведения также находятся в развитии. «Зеркальные нейроны» связывают с возможностью воспринимать намерения других; бессознательные «лица угрозы» могут стимулировать миндалину; и противоположные проявления самоконтроля, вероятно, приводят к возникновению конкурирующих импульсов в префронтальной коре.

Когнитивная нейробиология расположена на передовом крае науки и представляет интерес для многих ученых. Наградой студентам за старания при ее изучении будет более глубокое понимание человеческой природы, которая никогда не была более понятной и убедительной, чем сейчас.

Авторы выражают огромную благодарность доктору Йоханесу Мензелу (Johannes Menzel), редактору издательства Elsevier, за предложенные решения и помощь в разработке структуры книги. Мы очень признательны Кларе Каруана (Clare Caruana), редактору по развитию отдела книг по биологическим наукам, Academic Press, Elsevier, за ее руководство и поддержку на протяжении работы над вторым изданием. Во время подготовки текста Йоханес и Клара занялись новыми и более сложными проектами, и мы приняли в наш коллектив Майка Хейли (Mica Haley), старшего рецензента издательства, и Мелиссу Тернер (Melissa Turner), редактора по развитию. Майк и Мелисса начали работу над вторым изданием и с легкостью провели нас через сложные стадии подготовки этого огромного текста. Мы ценим их бесконечную доброту, советы и поддержку, оказанные на всем протяжении этого трудного периода. Более того, данная работа не была бы закончена без использования обширных архивных ресурсов издательства.

Мы благодарны многим нашим сотрудникам, которые поделились своими знаниями и опытом. Среди них:

Даниэла Бальслев (Daniela Balslev)

Датский исследовательский центр магнитного резонанса, Госпиталь Видовре, Дания

Дмитрий Боугаков (Dmitri Bougakov)

Факультет неврологии, Медицинский университет Нью-Йорка, Нью-Йорк, Нью-Йорк, США

Джейсон М. Чейн (Jason M. Chein)

Факультет психологии, Темпл Университет, Филадельфия, Пенсильвания, США

Мелани Кун (Melanie Cohn)

Факультет психологии, университет Торонто, Онтарио, Канада

Элконон Голдберг (Elkhonon Goldberg)



Факультет неврологии, Медицинский университет Нью-Йорка, Нью-Йорк, Нью-Йорк, США

Марк Х. Джонсон (Mark H. Johnson)

Центр мозга и когнитивного развития, факультет психологии, Биркбек колледж, Лондон, Великобритания

Катарина МакГоверн (Katharine McGovern)

Калифорнийский институт интегративных исследований, Сан-Франциско, Калифорния, США

Морис Московичч (Morris Moscovitch)

Факультет психологии, университет Торонто, Торонто и Бейкрест-центр гериатрической помощи, исследовательский институт Ротмана, Северный Йорк, Онтарио, Канада

Олаф Паулсон (Olaf Paulson)

Датский исследовательский центр магнитного резонанса, Госпиталь Видовре, Дания

Джоэл Пирсон (Joel Pearson)

Факультет психологии, Университет Вандербилта, Нашвилль, Теннесси, США

Томас Рамсой (Thomas Ramsøy)

Датский исследовательский центр магнитного резонанса, Госпиталь Видовре, Дания

Дебора Талми (Deborah Talmi)

Факультет психологии, университет Торонто, Торонто, Онтарио, Канада

Франк Тонг (Frank Tong)

Факультет психологи, Университет Вандербилта, Нашвилль, Теннесси, США

Первый редактор выражает огромную благодарность доктору Джеральду Эдельману (Gerald Edelman) и его коллегам из Института Нейронауки в Сан-Диего, так как они являются уникальным источником вдохновения и примером для ученых во многих областях нейронауки. Автор очень признателен сотрудникам Фонда наук о разуме в г. Сан-Антонио штата Техас за поддержку первопроходческих исследований в области когнитивной нейронауки и сознания. Глава и исполнительный директор Фонда Джозеф Дайел (Joseph Dial) особенно активно участвует в работе по объединению поведенческих подходов и методик исследования мозга для изучения сознания (<http://www.mindscience.org>).

Обрести более глубокое понимание работы мозга нам помогли коллеги и друзья. Их слишком много, чтобы перечислять здесь всех, но мы хотим, чтобы они знали о нашей признательности. Стэн Франклин (Stan Franklin), Уолтер Фримен (Walter Freeman), Уильям П. Бэнкс (William P. Banks), Е. Р. Джон (E.R. John), Кристоф Кох (Christof Koch), Фрэнсис Крик (Francis Crick), Карл

Прайбрэм (Karl Pribram), Дэн Дэннет (Dan Dennett), Патриция Чёрчленд (Patricia Churchland), Патрик Уилкен (Patrick Wilken), Джереинт Рис (Geraint Rees), Крис Фрит (Chris Frith), Стэн Дехэйн (Stan Dehaene), Бьёрн Меркер (Bjorn Merker), Яаак Панксэпп (Jaak Panksepp), Сту Хаммерофф (Stu Hammeroff), Томас Рамсой (Thomas Ramsøy), Антти Ревонсуо (Antti Revonsuo), Анри Монтандон (Henry Montandon), Марри Шанахан (Murray Shanahan) и многие другие очень помогли нам при подготовке глав. Мы не всегда соглашались с их замечаниями, но всегда были благодарны за неугасающий интерес этих людей к работе и ценные замечания.

Нам очень повезло: эта книга многое потеряла бы без глубоких знаний наших замечательных соавторов и их желания поделиться ими со всеми. В содержании книги отражен вклад в работу каждого из них.

В более широком смысле данная книга обязана своим выходом всему сообществу преподавателей и ученых, которых мы цитировали по ходу изложения.

Первый редактор хочет выразить признательность своим близким за их терпение, проявленное во время нашей работы над этим всепоглощающим проектом. Его родители, ныне покойные, до сих пор являются для него источником вдохновения. Он также благодарит доктора Барбару Колтон (Barbara Colton) за отзывчивость и поддержку.

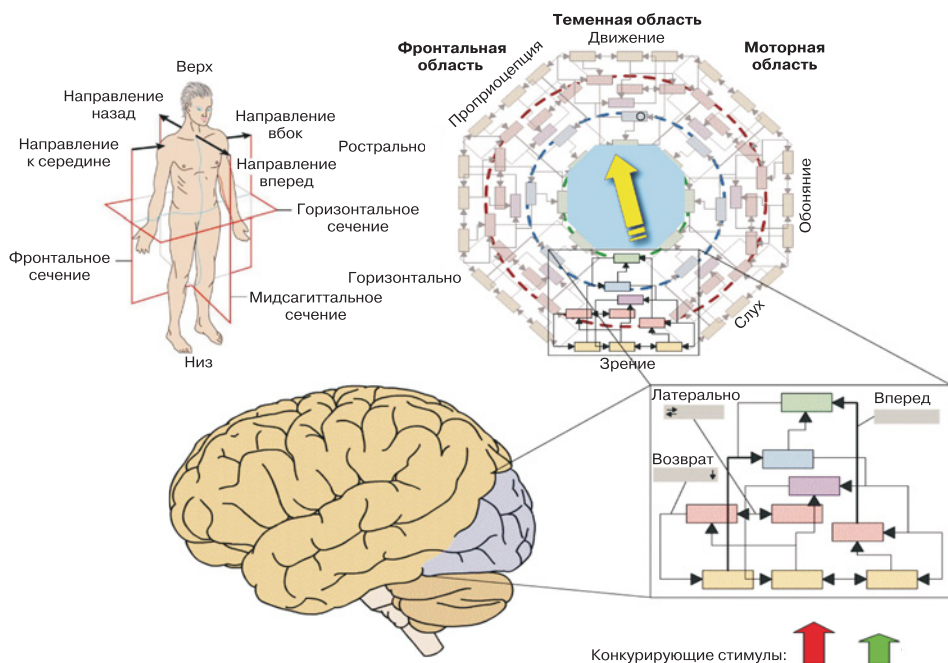
На последних этапах написания книги неизмеримо большой оказалась помощь Блейра Дэвиса (Blair Davis), а также Шона Фу (Shawn Fu), любезно предоставившего нам значительное число великолепных иллюстраций мозга.

Второй редактор выражает особую благодарность первому редактору за то, что он щедро делился своими представлениями и энтузиазмом по поводу этого проекта, сотрудничество и работа над которым начались несколько лет назад во время трехчасовой беседы в Чикаго и переросли потом в крепкую дружбу и полноценный проект. Она также признательна всем своим коллегам и друзьям, с которыми изучала процессы формирования речи в мозге. Их так много, что трудно перечислить, но она признательна им всем: Грегу Хикоку (Greg Hickok), Дэвиду Пёпплу (David Poeppel), Ларри Кахиллу (Larry Cahill), Норму Вайнбергеру (Norm Weinberger), Брине Сигал (Bruna Siegal), Анне Спэнс (Anne Spance) и Коурошу Сабери (Kourosh Saberi) — за замечательные беседы, продолжительные дискуссии и вдумчивые обсуждения в течение многих лет.

Второй редактор выражает глубокую признательность всем членам своей семьи за их постоянную поддержку во время работы над этим проектом. И наконец, она благодарит Кима за его понимание и любовь.

...мозг, и только мозг порождает у нас удовольствие, радость, смех и шутки, так же как печаль, страдание, горе и слезы. Посредством мозга мы думаем, видим, слышим и отличаем безобразное от прекрасного, плохое от хорошего, приятное от неприятного... когда мозг молчит, человек способен как следует размышлять.

Приписывается Гиппократу, V век до н.э.  
(цит. по: Kandel *et.al.*, 1991).



Наверху слева: тело человека и основные плоскости сечений. Внизу слева: обычный вид мозга с левой стороны. Левое полушарие «смотрит» влево. Голубая область в задней части мозга является затылочной долей. Диаграмма в нижней правой части рисунка иллюстрирует «иерархию нейронов», упрощенный способ демонстрации нейрональных связей в коре. А на верхней правой части рисунка вы можете рассмотреть «круговую иерархию». Желтая стрелка в центре круга обозначает наиболее распространенную точку зрения на роль перцептивного сознания в мозге. (Источник: Drake *et al.*, 2005.)

# Глава 1

## Психика и мозг

### Содержание

1.0. Введение . . . . .	23
2.0. Приглашаем в нейропсихологию . . . . .	24
3.0. Некоторые исходные положения . . . . .	25
3.1. Расстояния: семь порядков размерностей . . . . .	25
3.2. Время: десять порядков размерностей. . . . .	28
3.3. Умозаключения — выход за рамки эмпирических данных . . . . .	30
3.4. Согласуемость данных . . . . .	34
3.5. Главные ориентиры на изображениях мозга . . . . .	35
4.0. Немного истории и продолжающаяся дискуссия . . . . .	37
4.1. Психика и мозг . . . . .	40
4.2. Биологическая природа когнитивной деятельности и эмоций . . . . .	41
4.3. Нейронная доктрина Рамон-и-Кахала: рабочая гипотеза науки о мозге. . . . .	44
4.4. Пьер-Поль Брока: локализация центра речи . . . . .	47
4.5. Осознаваемые и неосознаваемые психические явления . . . . .	54
5.0. Наука возвращается к представлениям о сознании. . . . .	59
5.1. Современные методы исследования осознаваемых и неосознаваемых процессов в мозге . . . . .	61
5.2. Историческое развитие не остановилось. . . . .	62
6.0. Заключение . . . . .	64
7.0. Задания и упражнения к главе 1 . . . . .	66
7.1. Контрольные задания. . . . .	66
7.2. Графические упражнения . . . . .	67

### 1.0. Введение

Эта глава дает общие представления о когнитивной нейронауке, объединяющей психику и мозг. С точки зрения современных знаний о Вселенной, мозг — самая сложная структура, с десятками миллиардов нервных клеток, триллионами межнейронных связей. Мозг реагирует на поступление различных молекул (допустим, бокал вина) или на внешние стимулы (например, важная новость). Некоторые процессы в нервной системе протекают за тысячные доли секунды, тогда как другие продолжают в течение десятилетий. Несмотря на разнообразие рабочих ситуаций, о системе психика–мозг накопилось много несложных для восприятия базовых фактов, которые будут рассмотрены в этой книге.

## 2.0. Приглашаем в нейрпсихологию

Когда речь заходит о последней декаде развития когнитивной нейронауки, трудно избежать определений «впечатляющее», «революционное». Результаты, накопленные за столетие исследований поведения организмов и устройства мозга, получили убедительное подкрепление благодаря новым технологиям визуализации мозга, возможности прижизненных наблюдений в реальном времени. Разумеется, это не просто подтверждение уже известного. Регистрация деятельности живого мозга позволила получить новые факты, выдвинуть новые идеи, поставить новые вопросы. Многие ученые почувствовали, что через пропасть между исследованиями психики и мозга переброшен мост. Для проблем, которые издавна признавались запутанными, теперь удастся найти остроумные решения.

Одновременно с ощущением прогресса значительно расширились наши знания. Всего лишь десять лет назад специалисты в области поведения вряд ли усматривали связь между представлениями о когнитивной деятельности человека, выдающимися достижениями генетики, данными о молекулярном



**Рис. 1.1.** Рембрандт, «Урок анатомии доктора Тульпа». Эта историческая картина показывает переживания, связанные с первыми революционными сдвигами в научных представлениях о мозге и теле человека. Доктор Тульп (*справа*) демонстрирует, как мышцы предплечья управляют движениями кисти. Систематическое изучение анатомии человека путем посмертного препарирования тел стало началом тщательных эмпирических наблюдений, которые не потеряли свое значение до сих пор. (*Источник: Masquelet, 2005.*)

составе мозга или математическими моделями нейронных сетей. Сейчас эти направления составляют континуум целой области знания. В мозге выявлены вероятные корреляты таких явлений, как сознательный опыт, неосознаваемые процессы, мысленные образы, произвольное управление, которые раньше оставались обойденными, — интуиция, эмоции и даже «Я» (самость). Некоторые загадки оказались более трудными, чем можно было предполагать, например природа формирования постоянной памяти. Неразрывность психологического и нейробиологического подходов к исследованию восприятия, памяти и языка стала более очевидной, чем когда-либо прежде.

В некоторых случаях результаты изучения мозга помогают найти ключ к вопросам, над которыми психологи безуспешно трудились в течение десятилетий. В частности, шли споры вокруг проблемы «раннего» и «позднего» выбора при восприятии информации. Давая описание такого предмета, как кофейная чашка, наблюдатель может обратить внимание прежде всего на зрительные признаки «нижнего» уровня — цвет, форму, местоположение. Или же он выделит характеристики более высокого уровня: «предмет служит для потребления горячих напитков». Можно найти данные в пользу приоритета как первого, так и второго принципа выбора. К настоящему времени, после многолетних споров, нейробиологи показали, что в выборе воспринимаемых признаков участвуют нейроны практически *каждого* уровня зрительной системы. Отсюда ответ, обсуждаемый многими психологами: возможен как ранний, так и поздний выбор. В целом ряде подобных случаев мы обнаруживаем удивительную конвергенцию данных о деятельности мозга и о поведении.

### 3.0. Некоторые исходные положения

#### 3.1. Расстояния: семь порядков размерностей

Чтобы рассуждать о соотношении между психикой и мозгом, полезно узнать, с какими порядками размерностей здесь приходится иметь дело. Длина мозга от начала до конца составляет около одной седьмой метра. Для сравнения — шаг человека равен примерно одному метру. Если перейти к размерностям следующего порядка, т. е. 10 м, то это приблизительная длина классной комнаты. Сто метров — стандартная спринтерская дистанция, а 1000 метров (1 км) — длина обычной городской улицы. Когда мы дойдем до  $10^7$  м (10 000 км), это уже будет расстояние от восточного до западного побережья Северной Америки или от Парижа до линии экватора в Европе и Африке. Такое расстояние соответствует десяти миллионам шагов. Чтобы представить себе размерности структур мозга, нам придется следовать в обратном направлении — от 1 м до  $10^{-7}$  м (табл. 1.1). С точки зрения размеров структур и сложности организации, подобный диапазон поистине смущает.

Зрительно воспринимаемые действия человека измеряются расстояниями примерно от одного сантиметра и более. Передвижение пальца при нажатии на клавишу компьютера составляет не более нескольких сантиметров. Во время речи наш язык смещается на 1–2 см. Длина одного шага — примерно 1 м. Рост большинства людей не превышает двух метров, а протяженность самых длинных отростков нервных клеток в организме человека может составлять около 1 м.

Таблица 1.1

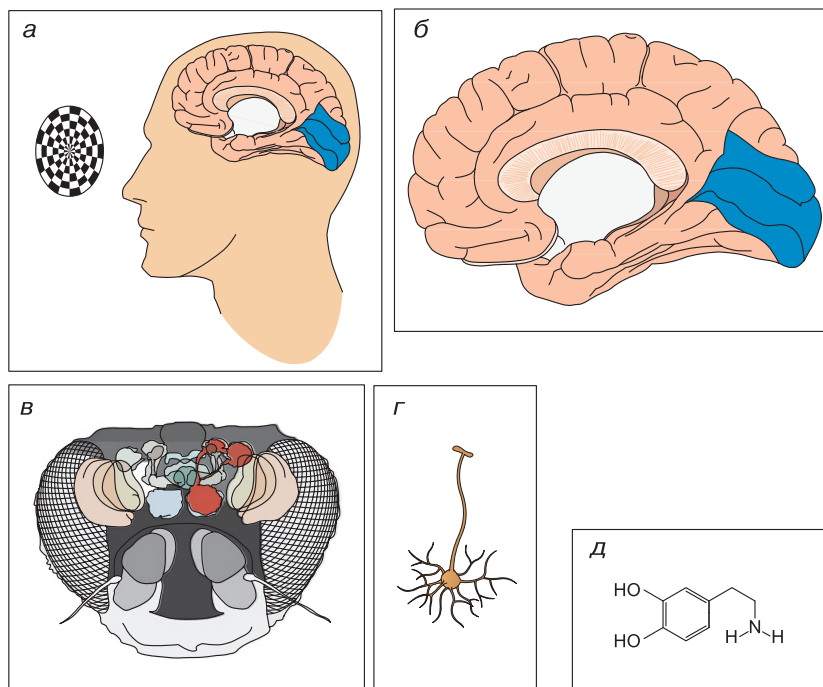
**Расстояния: от  $10^{-7}$  м до 1 м**

1. Алкоголь вызывает в мозге изменения; размер молекул этилового спирта составляет  $\sim 10^{-7}$  м (0,0000001) (рис. 1.2).
2. После приема таблетки транквилизатора изменяется концентрация химического нейромедиатора в синаптической щели некоторых синапсов мозга; ширина синаптической щели равна  $\sim 10^{-6}$  м (одной миллионной метра, т. е. одному микрону).
3. Тело нервной клетки примерно в 100 раз больше ( $\sim 10^{-4}$ ), чем ширина синаптической щели.
4. Учтем, что нейроны работают не поодиночке, а группами, размеры которых иногда в десятки раз больше, чем размеры одного нейрона. Диаметр небольших колонок нейронов в коре мозга составляет  $\sim 10^{-3}$  м (1 мм). Таким образом, мы подошли к размерности одна тысячная метра — подобные структуры мы еще можем различить невооруженным глазом.
5. Размеры карт мозга могут быть достаточно велики (например, карта зрительной системы). Первая зрительная область коры мозга, VI, сравнима по площади с кредитной карточкой, т. е.  $10^{-2}$  м<sup>2</sup>.
6. Зрительные области мозга работают не в изоляции друг от друга. Они входят в состав обширных нейронных сетей, которые активируются при постоянном динамическом взаимодействии. Размер активированной нейронной сети составляет  $\sim 10^{-1}$  см; такой участок можно различить невооруженным глазом благодаря методам прижизненных наблюдений. Современные методы позволяют наблюдать непрерывно изменяющуюся активность мозга, направляя луч лазера через оголенную поверхность головы крысы или других мелких млекопитающих. В активном участке мозга заметен усиленный ток крови в сосудах, так же как это происходит в коже человека во время быстрого бега.

**3.1.1. Молекулярный уровень: нейрохимические соединения**

Молекулы нейромедиаторов, имеющие различные размеры, проникают путем диффузии через синаптическую щель (ее ширина от 25 нм до 100 мкм) между нейронами (Iversen, 2004). В большинстве случаев влияние химических соединений на мозг обусловлено тем, что они могут усиливать или ослаблять межнейронные молекулярные коммуникации. В бесконечный перечень нейроактивных веществ входят никотин, алкоголь, кислород воздуха, токсичные газы (например, монооксид углерода), поступающая из печени глюкоза, сахара пищевых продуктов, шоколад, кофе, нейротоксины (например, свинец) и огромный список лекарственных средств (рис. 1.3). Роль таких молекул в повседневной жизни нельзя недооценивать.

Молекулярные посредники (мессенджеры) в мозге подразделяются на две большие группы. К первой группе относятся нейромодуляторы. Подобные соединения продуцируются мелкими скоплениями нейронов, находящихся в основании мозга. Аксоны этих нервных клеток образуют диффузные проекции большой протяженности, так что вещества, выделяемые из их окончаний, распространяются по обширным участкам переднего мозга. Благодаря такому «распылению» нейрохимических соединений осуществляется модуляция крупных отделов центральной нервной системы. Наряду с диффузным влиянием нейромодуляторы могут быть и посредниками местных эффектов в результате взаимодействия со специфическими молекулярными рецепторами. Например,



**Рис. 1.2.** Порядки пространственных размерностей. (а) Изображение мозга человека при интенсивной стимуляции зрительной коры (затылочной области мозга) путем вращения черно-белых фигур. (б) Изображение среза вдоль средней линии мозга. Черным обозначена область V1 (от англ. *vision*) — первый участок коры, куда приходит зрительный путь. Эта область по размерам примерно соответствует кредитной карточке. (в) Голова плодовой мушки. Мозг этого насекомого содержит ~350 000 нейронов. (г) Индивидуальный нейрон. Размеры нейронов различны, но все они очень малы. В мозге человека находятся десятки миллиардов нервных клеток. (д) Структура молекулы дофамина. Дофамин необходим для рабочей памяти, ощущения удовольствия, управления мышцами. Одним из последствий недостаточности дофамина является болезнь Паркинсона. На пути от (а) до (д) размеры компонентов мозга изменяются примерно на семь порядков (в  $10^7$  раз)

дофамин широко распространяется в мозге, однако его рецепторы типа D1/D2 в лобной коре обеспечивают местное влияние, связанное с оперативной памятью (Gibbs and D'Esposito, 2006). Таким образом, нейромодулятор дофамин может оказывать не только диффузное воздействие, но и местные эффекты, когда он поступает непосредственно к специфическим рецепторам в определенной области мозга.

Вторую группу составляют нейромедиаторы, обладающие более «адресным», местным действием. Среди них есть пептиды — небольшие субъединицы белковых молекул, секретируемые в синаптическую щель. К настоящему времени в мозге выявлено более 40 типов пептидов. Однако особенно хорошо известны два вещества непептидной природы — глутамат (возбуждающий нейромедиатор, характерный для коры мозга) и ГАМК (наиболее распространенный тормозный нейромедиатор).





**Рис. 1.3.** Низкомолекулярные вещества оказывают влияние на мозг. Маленькая молекула закиси азота ( $N_2O$ ) способна изменить специфические функции мозга. Поведение людей в такой ситуации оказалось большой неожиданностью для врачей в начале XIX века (приведенный здесь рисунок был сделан студентом-медиком в 1808 г.). Подобные факты продолжают удивлять и до сих пор. Оксид азота (NO), при вдыхании которого развивается токсический эффект, в чрезвычайно малых количествах присутствует в организме и является важным нейромедиатором. Препарат Виагра, применяемый в качестве стимулятора эректильной функции, улучшает опосредуемую NO передачу сигналов в стенках кровеносных сосудов пениса. (Источник: Adelman and Smith, 2004.)

Научные успехи определяются новыми техническими достижениями, в том числе расширением размерностей для наблюдения. В последнее время мы стали свидетелями череды открытий, связанных с новыми методами прижизненных исследований мозга. Благодаря тому что изображения объектов теперь возможно увеличивать примерно на семь порядков, для нейропсихологии открылись новые горизонты.

### 3.2. Время: десять порядков размерностей

Шкала времени для функций человеческого организма имеет громадный диапазон (табл. 1.2). Что касается поведения, то счет идет на десятые доли секунды (100 мс). Время самой быстрой (простой) реакции на стимул равно  $\sim 100$  мс, тогда как время, которое требуется, чтобы сенсорный стимул достиг сознания, обычно составляет уже несколько сотен миллисекунд. Это допустимо в той среде, где возник и развивался человеческий вид. Если же при встрече с голодным хищником ваша реакция продлится несколько секунд, вы обеспечите ему вкусную, богатую белком трапезу и потеряете шанс на биологическое воспроизведение. Однако, постаравшись отреагировать в течение 10 мс (т. е. за одну сотую долю секунды), вы бы заставили свой мозг работать с такой высокой скоростью, при которой он не успевает интегрировать зрительные и слуховые сигналы о приближении тигра. Следовательно, вы не смогли бы определить, с какой стороны появится хищник. Итак, реальная средняя скорость реакции — это 100 мс.

Таблица 1.2

**Время: десять порядков размерностей, от нескольких лет до миллисекунд**

1. Когда вы слышите высокий музыкальный тон, частота импульсов в слуховом нерве соответствует частоте звуковых волн, вызывающих вибрацию барабанной перепонки уха — до 1000 волн в секунду, или 1 волна в миллисекунду (напомним: 1 цикл в секунду = 1 Гц).
2. Частота импульсных нейронных разрядов может достигать 1000 Гц, хотя большинство нейронов коры мозга генерируют импульсы с частотой  $\sim 10$  в секунду.
3. Слуховой нерв — это пучок аксонов, каждый из которых дает разряд с частотой ниже 1000 импульсов в секунду, но в совокупности они могут обеспечивать скорость реакции в пределах миллисекунд. Некоторые сенсорные явления протекают с еще большей скоростью. На пределе своих возможностей наш мозг способен дифференцировать звуки, поступающие к одному и к другому уху с интервалом до нескольких *микросекунд* (то есть миллионных долей секунды). Это в 1000 раз быстрее, чем самая высокая частота разряда нейрона (см. гл. 7). Однако в контексте нашего изложения наиболее употребительными единицами измерения малых значений на шкале времени являются миллисекунды.
4. Для сравнения: если вы будете считать про себя от одного до десяти, это займет время порядка секунд или десятков секунд. Изучение этой главы потребует у вас один час или больше — более 3000 с (сожалею, но это так!).
5. Вернемся к шкале времени. Если во время кинофильма фонограмма задержится на доли секунды по отношению к видеоряду, вы заметите расхождение между звуками и мимикой актеров. Асинхронность между звуком и изображением появляется при разрыве между ними примерно на 100 мс, т. е. на одну десятую секунды. Это еще одна причина, чтобы выделить десятую долю секунды как особый порядок размерности.
6. Кроме того, 100 мс — это практически самая быстрая реакция на явление, ожидаемое в скором времени, например запуск автомобиля при смене сигнала светофора (время простой реакции). Десятой доле секунды соответствует время одной альфа- или тета-волны в мозге. (Диапазон частот альфа-волн составляет 8–12 Гц, тета-волн — 5–7 Гц.) К такому же порядку размерностей относится период времени, необходимый для сознательного восприятия сенсорного стимула.

В мозге протекают параллельно процессы разных временных и пространственных размерностей, подобно элементам симфонии — нотам, фразам, целым фрагментам. Слушая песню, вы улавливаете в каждый момент лишь несколько нот, но в процессе их восприятия складываются более крупные когнитивные структуры, так что вы воспринимаете мелодию. Во время показа фильма частота кадров должна составлять 24 изображения в секунду, т. е. примерно 40 мс на кинокадр — тогда движения будут слитными. При снижении частоты кадров ниже 24 Гц получаются прерывистые движения, как в ранних немых фильмах. Однако сюжет развивается в течение минут или часов. Разоблачение преступника в конце детективного фильма теряет смысл, если зритель не помнит начало преступления. Следовательно, для восприятия сюжета фильма необходима интеграция когнитивных процессов на протяжении многих минут, так что приходится каким-то образом сочетать разные шкалы времени. Каждый из этих процессов имеет свою структуру и диапазон размерностей времени. Мозг параллельно отслеживает процессы различной размерности.

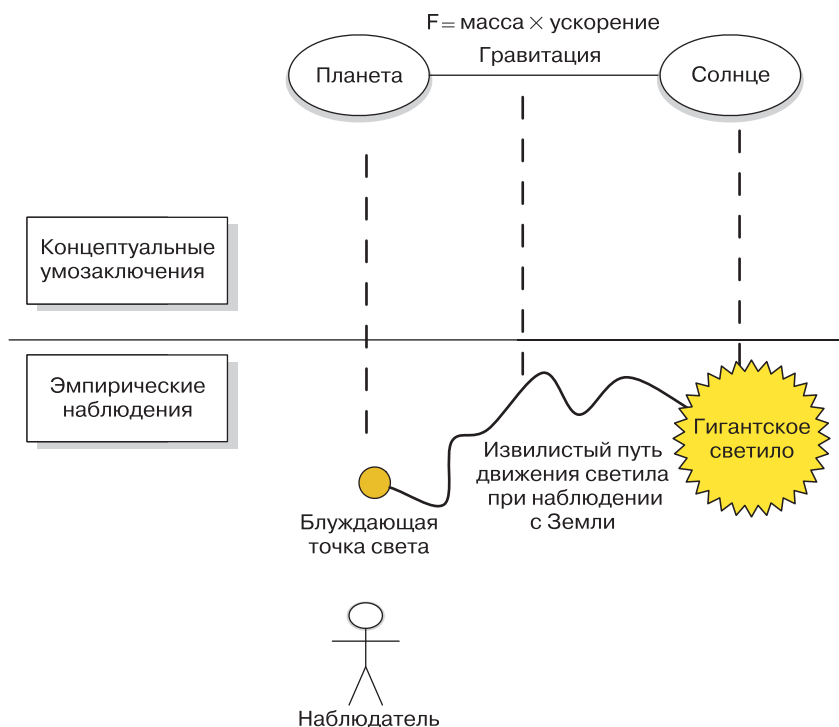
Что касается более длительных периодов времени, то для овладения сложными навыками (например, лыжным спортом или игрой на гитаре) могут потребоваться годы. Дети обучаются говорить за несколько лет, а у взрослых структура базовых характеристик личности консервативна и поддерживается десятилетиями. Такая продолжительность зависит от событий, протекающих в мозге в течение периодов порядка 100 мс. Итак, что касается времени, мы имеем дело примерно с десятью порядками размерностей, от одной тысячной доли секунды (т. е. одной миллисекунды) для разряда индивидуального нейрона до 100 000 с (дни) и десяти миллионов секунд (годы).

### 3.3. Умозаключения — выход за рамки эмпирических данных

Наука складывается как непрерывный ряд умозаключений, переход от эмпирических наблюдений к концепциям. Тысячи лет назад люди начали задумываться, что представляют собой небесные светила (солнце, луна, звезды); некоторые из них перемещались предсказуемо, другие — нет. Греки называли «странников» ночного неба *планетами*. Эти странствующие светила очаровывали и изумляли. Только в XVII в. люди стали понимать и предсказывать пути движения небесных светил. Решение загадки заключалось в осознании того, что планеты — это гигантские шарообразные объекты наподобие Земли, которые вращаются по орбите вокруг самого большого из них, Солнца. Споры и наблюдения продолжались сотни лет, прежде чем удалось прийти к такому выводу. Лишь исчисление бесконечно малых величин, разработанное Исааком Ньютоном, позволило свести споры к простому уравнению. А именно орбиты планет можно предсказывать исходя из того, что гравитационная сила притяжения пропорциональна массе планеты и ее ускорению. Обратим внимание: понятия «солнце», «планета», «сила», «гравитация» представляют собой *умозаключения*. Эти понятия далеко ушли от первых наблюдений за небесными светилами (рис. 1.4), однако именно с помощью таких концепций можно объяснить эмпирические факты.

Вся наука строится на тщательных наблюдениях и концептуальных умозаключениях. Схема объяснения, называемая «номологической сетью», отражает категориальные концепции и соотношения между ними. В итоге мы понимаем, в чем состоит природа явления. Кстати, научные выводы позволяют делать более точные прогнозы, а применение полученного знания иногда кардинально меняет жизнь. И все начинается с точных фактов и умозаключений, построенных на этой основе.

Эти базовые идеи имеют непосредственное отношение к когнитивной нейронауке. Когда мы говорим о когнитивных (познавательных) процессах — речи, научении, зрении — мы тоже используем *концептуальные умозаключения*, которые должны быть прочно связаны с надежными наблюдениями. Например, объем минимальной кратковременной памяти («мгновенной», «непосредственной», «сенсорной») — информация, которую мы в состоянии сразу мысленно повторить) равна примерно семи плюс/минус два, как указал Джордж Миллер в знаменитой статье «Магическое число семь плюс/минус два» (1956). Очевидно, это число применимо ко многим элементам: цвету, количеству предметов, коротким словам, музыкальным нотам, единицам оценочных шкал и т. д. Согласно более



**Рис. 1.4.** Как строятся умозаключения о светилах в ночном небе? Для наблюдателя, находящегося на Земле, планеты выглядят как источники света, которые перемещаются в ночном небе. После многих лет тщательных астрономических наблюдений Исаак Ньютон и другие ученые пришли к достаточно простым объяснениям путей движения планет. Переход от эмпирических наблюдений к концептуальным умозаключениям – решающий этап построения научного знания

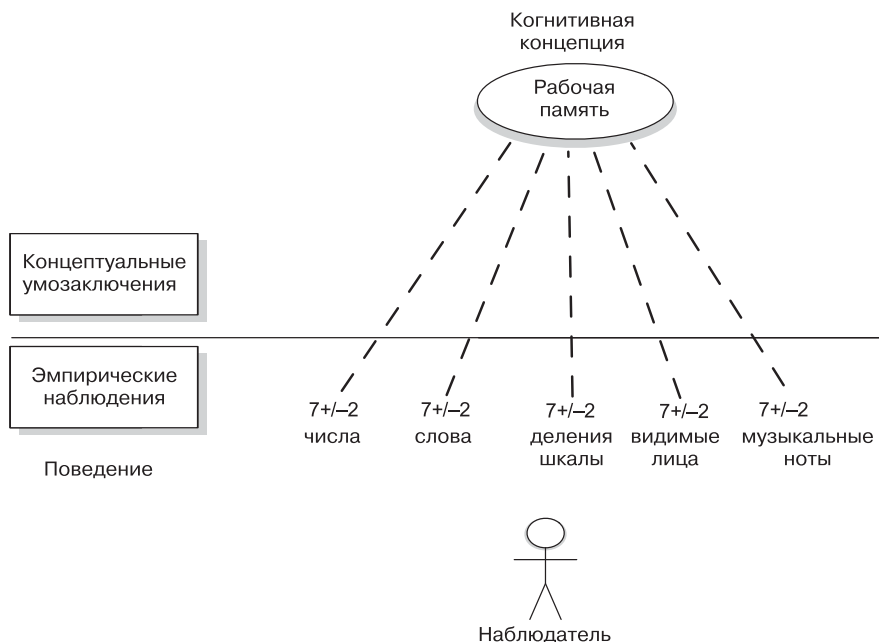
новым сведениям, действительный объем мгновенной памяти даже меньше семи, примерно четыре разных элемента (Cowan, 2001). Однако особенно важным является необычайное постоянство фактов. Попробуйте, например, перечислить десять различных продуктов из списка, составленного вами для посещения магазина; вы вспомните только примерно семь продуктов, а если одновременно вы еще заняты другими мыслями, названное вами число уменьшится до четырех. Это удивительно узкие границы, если учесть достаточно большие размеры мозга.

Существует лишь несколько основных условий для оценки объема оперативной памяти. Во-первых, каждый элемент информации должен быть предъявлен на очень короткий период (порядка нескольких секунд), иначе он перейдет в постоянную память. Во-вторых, элементы информации должны быть *непредсказуемыми* с позиций уже имеющегося знания. Если мы попросим человека запомнить упорядоченную последовательность чисел, например 0, 5, 10, 15, 20, 25..., ему будет достаточно запомнить правило формирования последовательности, и тогда покажется, что объем оперативной памяти безграничен. Такие понятия когнитивной науки, как «оперативная память», созданы в ходе

многолетних экспериментальных наблюдений, результаты которых были настолько убедительными, что их удалось обобщить в виде единой концепции (рис. 1.5).

Понятия, подобные концепции оперативной памяти, оказались полезными, однако вполне возможно, что в ближайшем будущем для тех же явлений будут найдены более подходящие объяснения. Все концептуальные умозаключения носят в известной степени предположительный характер. Представления Ньютона о силе тяжести господствовали в физике в течение трех веков, а затем Эйнштейн предложил иной взгляд на те же факты. Научные концепции — не метафизические догмы. Они могут быть пересмотрены в любой момент.

Когнитивная нейронаука тоже основывается на умозаключениях по результатам эмпирических наблюдений. При сканировании мозга получают изображения, похожие на физические объекты, которые можно видеть и трогать, поэтому мы полагаем, что именно такова реальность. Однако это лишь заманчивое заблуждение. Результаты электроэнцефалографии (ЭЭГ) представляют собой умозрительную оценку активности мозга, так же как и данные функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) и других исследований современными высокотехническими методами (блок 1.1). Даже при регистрации активности индивидуальных нейронов мы получаем крошечный участок разряда единственной клетки из десятков



**Рис. 1.5.** Когнитивные концепции основаны на систематических наблюдениях за поведением. Например, концепция «рабочей памяти» не возникла в готовом виде. Такого рода идеи созревают в результате многолетних исследований, когда умозаключение может стать объяснением многих фактов. Концепция рабочей памяти была предложена в 1974 г. после двух десятилетий изучения кратковременной памяти. Сейчас это представление расширилось и охватывает зрительное, вербальное и другие виды восприятия

### Блок 1.1. Прижизненные исследования мозга

Десять—двадцать лет назад сама мысль о возможности наблюдать работу живого мозга казалась невероятной. Для решения труднейшей задачи регистрации активности мозга были привлечены методы физики и молекулярной биологии. В идеале метод должен мониторировать десятки миллиардов нейронов, регистрируя активность каждой клетки тысячи раз в секунду. Кроме того, необходимо отслеживать непрерывное динамическое взаимодействие мелких и крупных групп нейронов, в котором участвуют триллионы межнейронных связей. По аналогии — идеальный спутник-шпион, который вращается по околоземной орбите, должен был бы видеть каждого человека и регистрировать динамику отношений между отдельными личностями и группами, от семей до целых наций.

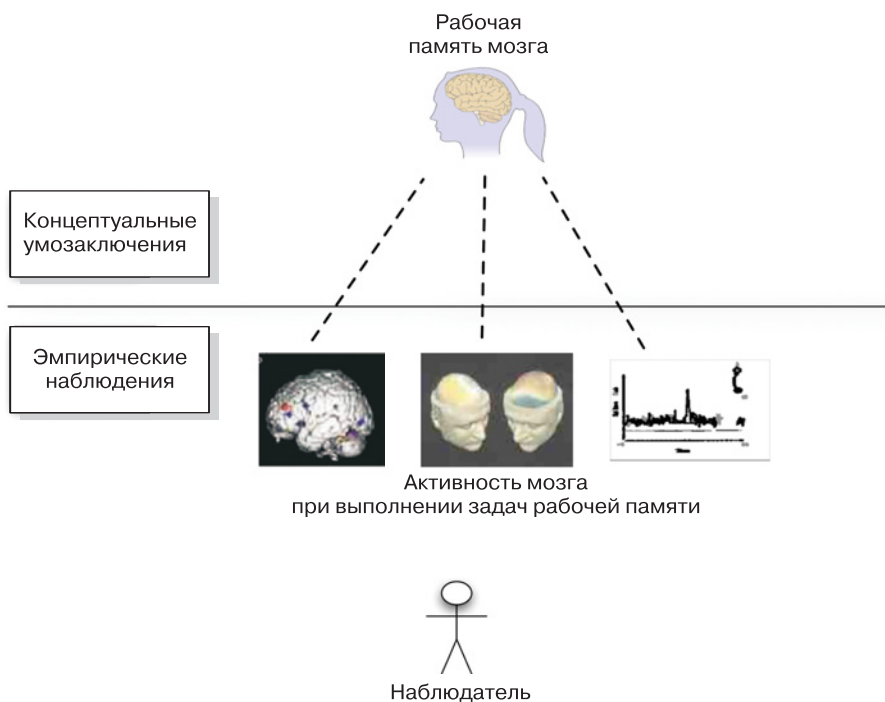
Такого идеального метода нет. Наши знания о мозге — это своего рода коллаж из множества фрагментов головоломки, собранных в правдоподобную целостную картину. Однако обдумывание совершенного метода наблюдения помогает понять, к каким параметрам нам следует стремиться.

Технология визуализации мозга обеспечила прорыв в когнитивной нейронауке благодаря добавлению новых фактов к результатам, полученным ранее методами когнитивной психологии, психофизики, поведенческого обусловливания, фундаментальной нейробиологии. До появления этой технологии наши знания основывались на результатах экспериментов на животных и отрывочных клинических наблюдениях за людьми с поражениями мозга. Однако наблюдения за больными с травмой мозга не позволяют получить систематических данных; даже простое описание повреждений мозга обычно основано на посмертном патологоанатомическом исследовании. После травмы в мозге часто развиваются компенсаторные изменения, со временем клетки погибают и происходит адаптация, так что данные аутопсии не всегда отражают характер повреждения на момент установления диагноза. Результаты экспериментов на животных подразумевают гомологию — межвидовое сходство, признаваемое далеко не всеми учеными. Ни один живой организм, кроме человека, не обладает речью, а также другими особенностями. Таким образом, деятельность мозга очень трудно изучать.

Многие проблемы были разрешены, когда появилась возможность прижизненной регистрации активности мозга человека, вначале с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ), затем рентгенографии, позднее посредством компьютерной томографии («послойной» рентгенографической регистрации, от греческого слова «томос» — слой). В настоящее время мы располагаем более чем десятком методов, которые быстро совершенствуются, обеспечивая повышение точности и расширение области применения. Наиболее активно используются ЭЭГ, позитронная эмиссионная томография (ПЭТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), функциональная МРТ (фМРТ) и магнитная энцефалография (МЭГ). Эти и другие новые методы исследования работающего мозга человека подробно описаны в гл. 4.

миллиардов других. Нейроны образуют десятки тысяч связей; есть сведения, что обработка информации может осуществляться уже на уровне входных клеточных отростков нейрона (дендритов) (Alle and Geiger, 2006). Таким образом, электрическая активность индивидуальных нейронов — это всего лишь очень маленький компонент сложнейшего динамического ансамбля перемещений молекул и электромагнитных потоков. Новые методы визуализации чрезвычайно полезны, но картина работы мозга, которая строится на их основе, тоже содержит умозаключения.

Однако нам все равно приходится прибегать к *некоторым* допущениям — таков процесс развития науки. Эти моменты важно учитывать и быть готовыми



**Рис. 1.6.** Оценка рабочей памяти мозга происходит путем умозаключений. Рабочая память изучается путем наблюдений за поведенческими реакциями, регистрации фМРТ, ЭЭГ, активности индивидуальных нейронов. Каждый из этих методов имеет достоинства и недостатки, но ни один из них не считается «решающим». В принципе показатели рабочей памяти при регистрации активности мозга достаточно хорошо совпадают с результатами оценки поведения. Когнитивная нейронаука строится на комплексных данных, но мы должны быть готовы к различным толкованиям существующих теорий

к их трансформации по мере необходимости. В когнитивной нейронауке мы выводим умозаключения по результатам наблюдений за поведенческими реакциями и активностью мозга (рис. 1.6). Мы не можем непосредственно *наблюдать* «внимание» или «оперативную память». Поэтому так важно оценивать природу фактов, на которых строятся наши умозаключения.

### 3.4. Согласуемость данных

Когда мифический первый пещерный житель первым указал на звезду в ночном небе, ему вряд ли поверили его соплеменники. Какие такие огни в небе? Все знали, что небо — обитель богов. Подобный скептицизм в порядке вещей. Когда Галилей впервые с помощью примитивного телескопа увидел спутники Юпитера, некоторые критики отказались смотреть через телескоп, поскольку считали, что истинную природу вещей можно увидеть только невооруженным глазом. Скептицизм по-прежнему является нормой, поэтому для верификации наблюдений в науке используется *согласуемость данных*. Основополагающие гипотезы когнитивной нейронауки сейчас проверяются вновь и вновь путем

регистрации активности индивидуальных нейронов, экспериментов на животных, ЭЭГ, фМРТ, МЭГ, оценок поведения в виде вербальных сообщений и времени реакции. Никакое единичное исследование не может служить достаточным обоснованием гипотезы. Любое важное утверждение требует поддержки многими фактами.

Часть обсуждения всегда касается природы оцениваемого показателя. Такой вопрос возникает применительно к любому новому методу. Сейчас очень популярен метод фМРТ. Однако, как мы увидим далее, продолжается дискуссия о том, что именно оценивают эти методы. То же самое можно сказать и о поведенческой оценке оперативной памяти, о регистрации активности индивидуальных нейронов, ЭЭГ и т. д.

### 3.5. Главные ориентиры на изображениях мозга

Как соотносятся активность мозга и когнитивные процессы? Чтобы пояснить результаты исследований, о которых пойдет речь, будут приведены функциональные изображения мозга. Однако представления о деятельности мозга всегда основываются на знаниях анатомии, поэтому сначала рассмотрим топографию мозга. На рис. 1.7 (внизу) показано левое полушарие, *вид сбоку*. Вверху — правое полушарие *на сагиттальном срезе* мозга по средней линии.

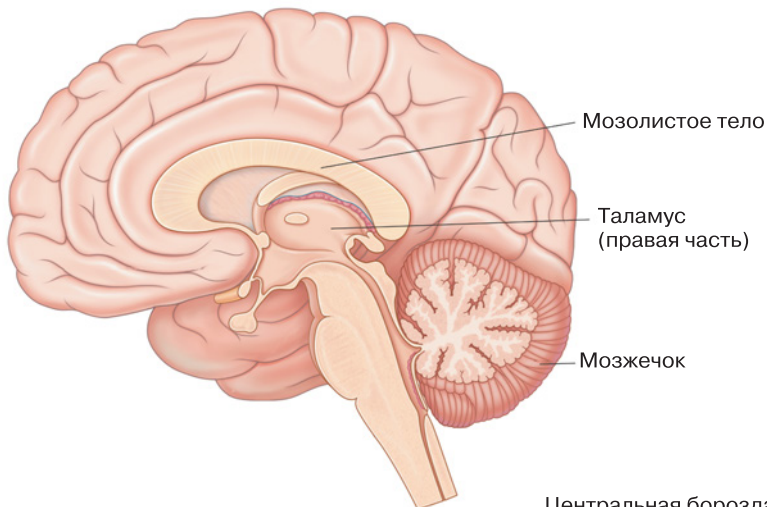
На изображениях мозга следует различать главные ориентиры. К особенно важным среди них относятся крупные складки коры больших полушарий — поверхностной структуры мозга. Самая большая складка, расположенная по средней линии между правым и левым полушариями, называется продольной щелью (*fissura longitudinalis*). Следующая большая складка проходит по боковой части мозга под углом к средней линии и называется латеральной бороздой (*sulcus lateralis*). Она отделяет височную долю от остальной части коры мозга. Поскольку височная доля всегда «указывает» в направлении глаза, по ней легче всего определить, в какую сторону обращен мозг. Когда вы смотрите на изображение мозга, сразу ищите височную долю.

Еще один важный ориентир — мозолистое тело (*corpus callosum*), плотный пучок нервных волокон в виде моста, соединяющего правое и левое полушария. На рис. 1.7 (вверху) мозолистое тело выглядит как изогнутая структура, которая начинается под лобной корой, поворачивает кверху, потом к затылку и заканчивается непосредственно перед мозжечком. На срезе мозолистое тело имеет для невооруженного глаза белый цвет, поскольку состоит из миелинизированных аксонов, т. е. нервных волокон, покрытых белой липидной миелиновой оболочкой. Мозолистое тело (т. е. «плотное», «твердое») получило свое название благодаря тому впечатлению, которое возникло у первых анатомов, обозначивших основные структуры мозга. Это образование было открыто на достаточно раннем этапе, потому что его легко обнаружить, осторожно раздвинув два полушария. На рис. 1.9 показан классический рисунок великого художника эпохи Возрождения Тициана, иллюстратора первой подробной книги по анатомии, которую написал Андреас Везалий.

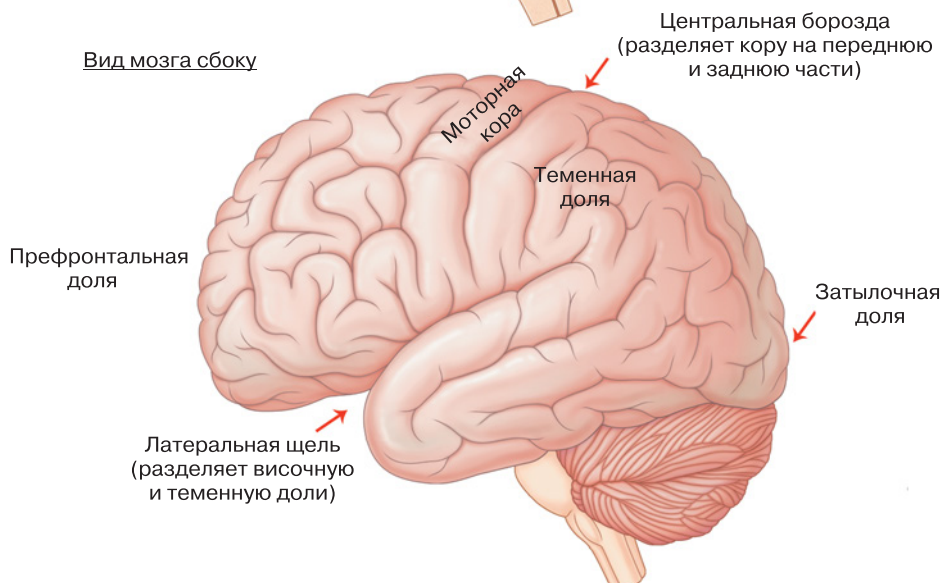
И наконец, последний ориентир — центральная борозда (*sulcus centralis*) между задней половиной мозга и лобной долей. Задняя область коры больших полушарий обеспечивает преимущественно сенсорные функции и содержит центры зрительной, пространственной, слуховой, соматической чувствитель-



Вид мозга на мидсагиттальном срезе



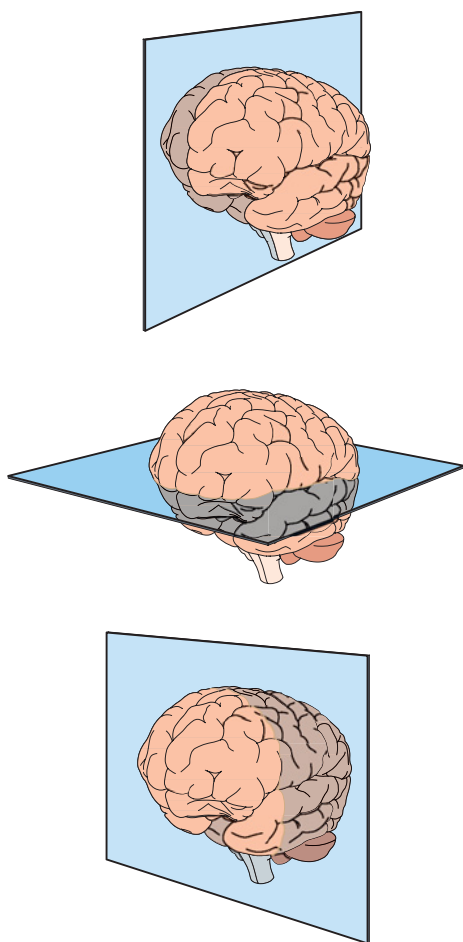
Вид мозга сбоку



**Рис. 1.7.** Вид мозга сбоку и на сагиттальном срезе. *Вверху:* сагиттальный срез по средней линии мозга, правое полушарие. *Внизу:* вид сбоку, левое полушарие. Слева — передняя часть мозга, справа — задняя. Показаны префронтальная, височная, теменная, затылочная доли и мозжечок. (Источник: Drake et al., 2005.)

ности, тогда как в лобной коре находятся двигательные и когнитивные центры. Центральная борозда служит четкой границей между входными и выходными областями коры.

Чтобы сориентироваться, нужно найти на изображении мозга прежде всего эти три главные складки.

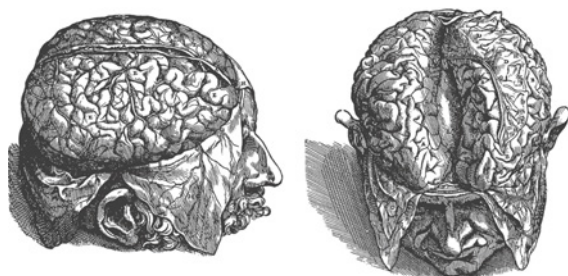


**Рис. 1.8.** Три основные плоскости срезов мозга. *Вверху:* сагиттальный срез мозга, т. е. срез по вертикальной плоскости от лобной доли кзади до конца мозга. Если такой срез проходит по средней линии мозга между двумя полушариями, он называется *срединным сагиттальным*. *Посередине:* горизонтальный срез мозга. *Внизу:* корональный срез (его плоскость проходит через края воображаемой короны). (Синонимы этих терминов будут приведены в гл. 5.)

Вещество коры распространяется вглубь каждого полушария мозга. Поскольку сложный трехмерный объект трудно воспринимать, воспользуйтесь рис. 1.8, на котором показаны три плоскости срезов. Главные доли мозга и другие важные отделы необходимо знать точно так же, как вы помните названия континентов на географической карте. На протяжении всей книги мы будем рассказывать об исследованиях структур мозга, соотнося эти данные с представлениями о когнитивной деятельности человека. Знание топографии мозга поможет интерпретировать результаты нейровизуализации.

#### **4.0. Немного истории и продолжающаяся дискуссия**

Идея о том, что мозг — источник наших переживаний, возникла очень давно; Гиппократ высказывался об этом примерно 2500 лет назад. Однако тщательные исследования мозга и накопление фактов начались только в эпоху Возрождения. В 1543 г. Андреас Везалий, анатом из Антверпена, впервые опубликовал подробный атлас организма человека, включая сюда мозг. До этого времени церковь и государство считали преступлением производить посмертное вскрытие.



**Рис. 1.9.** *Вверху:* Андреас Везалий демонстрирует препарат руки (предплечье и кисть). Бельгийский врач Везалий (1514–1564) совершил переворот в традиционном преподавании анатомии, производя посмертные вскрытия человеческих тел. На рисунке он изображен показывающим препарат кисти и предплечья. Для него такая демонстрация была особенно важна в связи с представлением о роли божественной руки в мирских делах. Везалий опроверг основанный на библейском сказании об Адаме и Еве миф о том, что у женщины на одно ребро меньше, чем у мужчины. Вскрытия человеческих тел в то время не производились, и точные зарисовки были редкостью. В 1543 г. Везалий опубликовал свою книгу о новых данных по анатомии под названием «О строении человеческого тела». В том же году появилась книга Коперника «Обращение небесных тел», которая по-новому представила Солнечную систему. Труды обоих ученых получили широкую известность, горячо обсуждались и явились вехами в истории науки. *Источник:* Masquelet, 1986. *Внизу:* чернильные зарисовки открытой поверхности мозга; авторство приписывается Тициану. Эти иллюстрации в классической книге Везалия по анатомии объединяют искусство и науку. Обратим внимание, что на правом рисунке два полушария раздвинуты и между ними видно мозолистое тело — образование, которое соединяет два полушария и состоит примерно из 100 млн нервных волокон. Первые анатомы характеризовали эту структуру как плотную, или мозолистую, ткань — отсюда латинское название *corpus callosum* (мозолистое тело). (*Источник:* Squire *et al.*, 2003.)

Спустя столетие знаменитая картина Рембрандта «Урок анатомии доктора Тульпа» показывает, с каким изумлением врачи рассматривают подробности строения человеческого тела (рис. 1.1). Примерно тогда же (1490–1510) Леонардо да Винчи сделал зарисовки черепа и тела человека. Людям эпохи Возрождения был свойствен интерес ко всем проявлениям человеческой природы; в общей атмосфере любознательности попытки понять устройство мозга становились более настойчивыми.

Современные исследования уходят своими корнями глубоко в историю. Наука о поведении возникла в XIX в. Однако начало подробного изучения мозга совпадает с истоками современной науки в эпоху Европейского Возрождения, с появлением трудов Галилея, Коперника, Ньютона и Декарта. В 1665 г. Ньютон проводит свои эксперименты с призмами, желая понять природу восприятия цвета. В 1600-е гг. Левенгук и другие ученые изобретают световой микроскоп, благодаря чему в XIX–XX в. Сантьяго Рамон-и-Кахал сделал свои открытия относительно свойств нервных клеток.

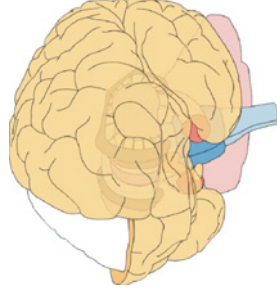
История науки показывает, что чем больше мы знаем, тем яснее нам видны закономерности полученных фактов. Такого рода обобщения будут представлены на протяжении всей книги.

Связь возникновения науки о мозге с эпохой Возрождения очевидна и в наше время. В основе терминов по анатомии мозга лежат понятия на латинском языке — международном языке науки. Мы до сих пор обозначаем доли (*lobes*) коры мозга (*cortex cerebri*) латинскими названиями: *lobus occipitalis*, *l. temporalis*, *l. parietalis*, *l. frontalis* (затылочная, височная, теменная, лобная доли соответственно). Поскольку ранние исследования проводились невооруженным глазом или с помощью простых увеличительных конструкций, большинство структур получали название исходя из первого зрительного впечатления. Отсюда возникли такие термины, как *thalamus* — «чертог», *amygdala* — «миндаль», *cortex* — «наружный слой» и т. д. В названиях практически всех структур мозга используются обыденные латинские слова. Мы будем упоминать происхождение каждого нового термина, поскольку это помогает усвоить понятия.

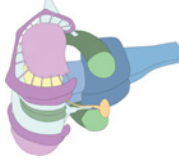
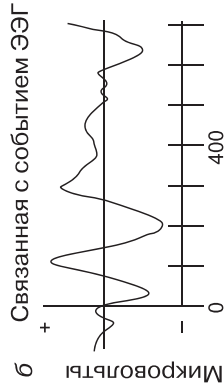
Мозг человека развивался, начиная с его зачатков у древних млекопитающих, на протяжении более чем 200 млн лет. Он устроен очень сложно, в том числе его части, которые видны невооруженным глазом. Многие поколения ученых внесли свой вклад в его изучение. Например, Рене Декарт (рис. 1.10), который теперь известен главным образом как математик и философ, вместе с тем был внимательным исследователем мозга. Одно из своих замечательных наблюдений он сделал, когда взял глаз быка, обнажил поверхность плотной белой оболочки (склеры), удалив ткань с внутренней стороны глазного яблока, и показал, что свет, проходящий через хрусталик глаза, проецируется на белую склеру, как на экран; приблизив глазное яблоко к освещенному объекту, можно было увидеть проекцию изображения. Многие люди удивлялись, что зрительный стимул проецировался на заднюю стенку глаза в перевернутом положении (верх и низ менялись местами). Декарт сумел доказать, что это объясняется оптическими свойствами хрусталика\*.

\* До сих пор многие люди не понимают, почему мы воспринимаем зрительные объекты не в перевернутом виде, т. е. не так, как изображение проецируется на сетчатку. Как бы вы ответили на этот вопрос?

а

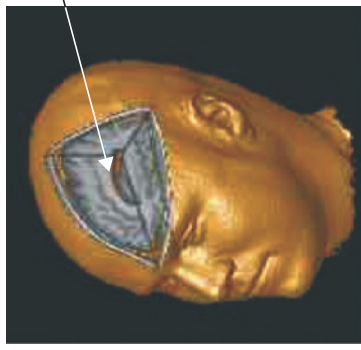


Кора и белое вещество

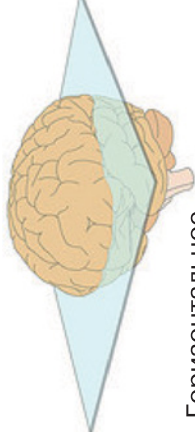


Ствол мозга  
и подкорковые структуры

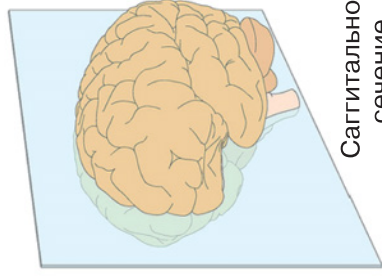
**РИСУНОК 1.** Первый подход к анатомии мозга. Всегда необходимо помнить, как располагается мозг в черепе. Это первый шаг к пониманию пространственного расположения коры, которая почти на 85% состоит из белого вещества, защищенных «магистралей», связывающих все главные области мозга друг с другом. *Внизу справа:* кора располагается сверху над ствол мозга и подкорковыми зонами, которые внизу соединяются со спинным мозгом. Связанная с событием ЭЭГ, зарегистрированная у молодой девушки (**а**), является напоминанием о том, что существует постоянный, меняющийся огромный поток сигналов в мозге, который можно зарегистрировать в поверхностной ЭЭГ



Мозолистое  
тело



Горизонтальное  
сечение

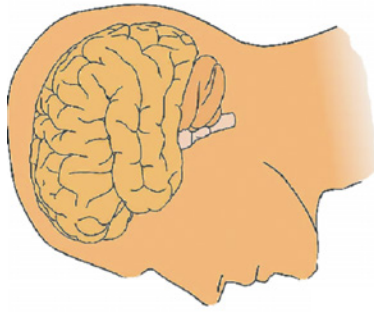


Сагитальное  
сечение

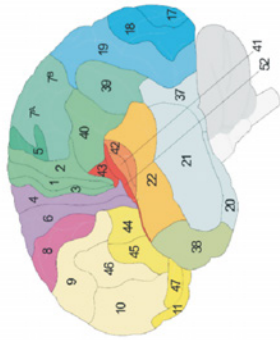


Коронарное  
сечение

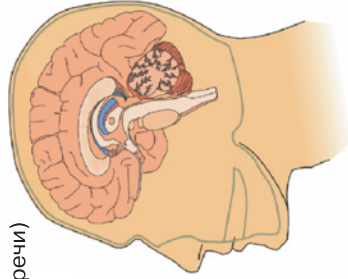
**РИСУНОК 2.** Используйте изображение головы человека (*наверху слева*) для правильной ориентации. Мы можем видеть мозолистое тело с левой стороны. Обратите внимание на три основные плоскости сечения мозга



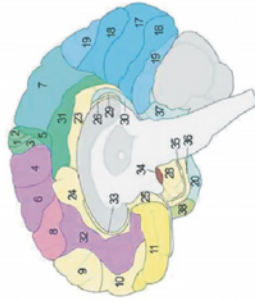
Вид сбоку слева



- Зрение
- Слух и зона Вернике (восприятие речи)
- Чувство тела и другие чувства
- Контроль моторики
- Исполнительная и зона Брока (производство речи)
- Обоняние



Медиальный вид



**РИСУНОК 3.** Специализация областей мозга, обширное покрытие мозга. Кора представляет собой плоский лист, многократно сложенный в верхней части черепа. Обратите внимание на раскрашенные области, отражающие основные функции мозга. Эти части коры обеспечивают определенные составные части сознательного опыта. Задние части отвечают на сенсорное восприятие, передняя половина — за моторную и «направленную в будущее» деятельность: сознание, рабочая память, планирование, принятие решений

Книга знакомит читателя:

- с современными методами визуализации мозга, позволяющими перейти на новый уровень наблюдения (в реальном времени) и изучения когнитивных механизмов и механизмов восприятия;
- с новейшими разработками в области молекулярных основ сознания;
- с результатами новых методов регистрации активности мозга, позволяющими утверждать, что мозговые ритмы несут информацию как о сознательных, так и о бессознательных процессах;
- с современными представлениями о строении префронтальной коры, на основании которых пересмотрена роль лобных долей, считавшихся непостижимыми.

Рассмотрены все возможные нарушения мозговой деятельности: от случаев повреждения памяти до возникновения слепого зрения, гемиагнозии, прозопагнозии и других расстройств зрительной системы.

Вы узнаете:

- почему люди иногда спонтанно начинают повторять движения за другим человеком и не могут остановиться;
- почему профессиональные музыканты иногда не в состоянии подавить желание петь во время игры на инструменте;
- как спортсмены и музыканты, используя сенсомоторные области коры головного мозга, осуществляют мысленные тренировки;
- почему ученые считают, что сознание сегодня является законной и разрешимой научной проблемой;
- как возникают эмоции и чем обусловлено наше социальное поведение.

Для студентов и специалистов по психологии, биологии, педагогике и медицине.

ISBN 978-5-00101-371-6



9 785001 013716



# **COGNITION, BRAIN AND CONSCIOUSNESS**

## **INTRODUCTION TO COGNITIVE NEUROSCIENCE**

Second Edition

**Bernard J. Baars  
Nicole M. Gage**



AMSTERDAM • BOSTON • HEIDELBERG • LONDON • NEW YORK • OXFORD  
PARIS • SAN DIEGO • SAN FRANCISCO • SINGAPORE • SYDNEY • TOKYO

Academic Press is an imprint of Elsevier



# Оглавление

<b>Глава 10. Мышление и способность решать задачи</b>	<b>11</b>
1.0. Рабочая память	15
1.1. Рабочая память перекрывается с вниманием, осознанными событиями и эпизодическими воспоминаниями	15
2.0. Эксплицитное решение задач	19
2.1. Исполнительный контроль при решении задач	22
3.0. Умственная нагрузка и корковая активность	27
4.0. Использование существующих знаний	30
4.1. Практика и тренировка могут изменить сетевое взаимодействие в мозге	31
4.2. Семантическая память	32
4.3. Абстрактные понятия, прототипы и нейронные сети	34
4.4. Знания формируются в виде нейронной сети	35
4.5. Умозрительные недостатки	37
4.6. Определение количества и числа	39
5.0. ИмPLICITное мышление	40
5.1. Чувство о наличии знания	41
6.0. Заключение	47
7.0. Задания и упражнения к главе 10	48
<b>Глава 11. Речь</b>	<b>51</b>
1.0. Введение	51
2.0. Природа языка	53
2.1. Биологические аспекты	56
2.2. Истоки языка	62
2.3. Речь против языка	67
3.0. Звуки устной речи	67
4.0. Планирование и формирование речи	71
5.0. Эволюционные аспекты производства и восприятия речи	74
6.0. Слова и их значения	76
6.1. Культурная сокровищница слов и идей	78
6.2. Узнавание синонимов	79
6.3. Современные данные о словах и их значении фрагментарны	80
7.0. Синтаксис, включение и синтагматизация	81

8.0. Просодия и мелодика речи . . . . .	82
9.0. Значимые утверждения . . . . .	84
10.0. Объединенные образы речи . . . . .	84
11.0. Заключение . . . . .	88
12.0. Задания и упражнения к главе 11. . . . .	88
<b>Глава 12. Цели, управляющий контроль и действие . . . . .</b>	<b>91</b>
1.0. Введение . . . . .	91
1.1. Множество сложных функций лобных долей . . . . .	92
1.2. От молчащих долей к органу цивилизации . . . . .	93
2.0. Филогенез и онтогенез . . . . .	93
2.1. Филогенез . . . . .	94
2.2. Онтогенез . . . . .	95
3.0. Обзор функций . . . . .	95
3.1. «Память будущего» . . . . .	96
3.2. Самовосприятие и управляющие функции . . . . .	96
4.0. Более детальное рассмотрение лобных долей. . . . .	97
4.1. Нейроанатомия и нейрофизиология лобных долей . . . . .	97
4.2. Как установить границы префронтальной коры . . . . .	97
4.3. Обширные проводящие пути лобных долей. . . . .	97
5.0. Более детальное рассмотрение функций лобных долей. . . . .	100
5.1. Функции регуляции. . . . .	100
5.2. Социальное взросление и нравственное развитие. . . . .	102
6.0. Нейровизуализация управляющего мозга . . . . .	104
6.1. Внимание и восприятие . . . . .	104
6.2. Рабочая память. . . . .	107
6.3. Управляющие функции и моторный контроль . . . . .	110
6.4. Принятие решения. . . . .	112
6.5. Усвоение правил . . . . .	114
7.0. Нарушения лобных долей . . . . .	115
7.1. Хрупкие лобные доли . . . . .	115
7.2. Синдромы повреждения лобных долей. . . . .	116
7.3. Повреждение лобных долей и асоциальное поведение. . . . .	119
7.4. Другие клинические повреждения, связанные с повреждением лобных долей . . . . .	120
8.0. Современный взгляд на организационные принципы лобных долей . . . . .	122
9.0. К единой теории управляющего контроля: заключение. . . . .	123
10.0. Задания и упражнения к главе 12 . . . . .	124
<b>Глава 13. Эмоции . . . . .</b>	<b>127</b>
1.0. Введение . . . . .	127
1.1. Трехлобный мозг . . . . .	128
1.2. Базовые эмоции и роль рефлексивного сознания. . . . .	130
2.0. Эмоциональные системы мозга по Панксеппу . . . . .	130
2.1. Переживание эмоций . . . . .	134

3.0. Система страха . . . . .	134
3.1. Сознательное и бессознательное восприятие страха: «нижний» и «верхний» пути по Леду . . . . .	138
3.2. Неосознаваемый страх . . . . .	139
3.3. Аффективное слепозрение . . . . .	142
3.4. Взаимодействие познавательных и эмоциональных функций при реакциях страха . . . . .	143
3.5. ИмPLICITное эмоциональное обучение и память . . . . .	144
3.6. Эмоциональная модуляция эксплицитной памяти. . . . .	144
3.7. Влияние эмоций на восприятие и внимание. . . . .	145
3.8. Эмоции и социальное поведение. . . . .	147
3.9. Торможение и регуляция эмоций. . . . .	147
4.0. Система положительного подкрепления: любить, хотеть, учиться. . . . .	151
4.1. Новое понимание «подкрепления»: от подкрепления к предсказанию подкрепления и далее — к ошибкам предсказания подкрепления . . . . .	152
4.2. Подкрепление — это больше чем обучение . . . . .	154
4.3. «Путь подкрепления» и наркотики . . . . .	157
4.4. Сигналы подкрепления влияют на внимание . . . . .	158
5.0. Заключение . . . . .	159
6.0. Задания и упражнения к главе 13 . . . . .	159
6.1. Контрольные задания . . . . .	159
6.2. Графические упражнения . . . . .	160
<b>Глава 14. Социальная когнитивная деятельность: восприятие ментального состояния других людей . . . . .</b>	<b>163</b>
1.0. Введение . . . . .	163
1.1. Термины, используемые в отношении социальной когнитивной деятельности . . . . .	164
1.2. Важность перспективы: первое, второе и третье лица . . . . .	165
1.3. Подходы к восприятию ментального состояния других людей . . . . .	165
2.0. Организационная основа для социальной когнитивной деятельности . . . . .	168
2.1. Намерение . . . . .	168
2.2. Распознавание глаз . . . . .	169
2.3. Разделенное внимание . . . . .	170
2.4. Теория разума наивысшего порядка . . . . .	170
3.0. Зеркальные нейроны и восприятие намерений . . . . .	171
3.1. От действий к намерениям . . . . .	171
3.2. Распознавание глаз и восприятие направления взгляда . . . . .	178
3.3. Разделенное внимание . . . . .	180
3.4. Способности высокого порядка из ТР. . . . .	182
3.5. Восприятие других как похожих и непохожих: Я-Оно в мозге . . . . .	187
3.6. Восприятие лиц . . . . .	190
4.0. Заключение . . . . .	192
5.0. Задания и упражнения к главе 14 . . . . .	193

5.1. Контрольные задания . . . . .	193
5.2. Графические упражнения . . . . .	193
<b>Глава 15. Развитие . . . . .</b>	<b>195</b>
1.0. Введение . . . . .	195
1.1. Новые технологии для исследования развивающегося мозга. . . . .	196
1.2. Тайна развития мозга: старые и новые вопросы . . . . .	197
2.0. Пренатальное развитие: от бластоцисты до младенца . . . . .	197
2.1. Эпигенез. . . . .	198
2.2. Анатомия развивающегося мозга . . . . .	199
2.3. Миграция нейронов. . . . .	204
2.4. Пересмотр роли врожденного и приобретенного . . . . .	207
2.5. Пренатальный слуховой опыт: восприятие голоса и музыки до рождения . . . . .	210
3.0. Развивающийся мозг: изменения длиною в жизнь . . . . .	211
3.1. Начало и завершение постнатального развития мозга . . . . .	211
3.2. Региональные особенности развития мозга . . . . .	213
4.0. Развитие мозга и сознания. . . . .	215
4.1. Первый год жизни: взрывной рост и развитие . . . . .	221
4.2. Детство и подростковый возраст: динамичное и поэтапное развитие . . . . .	234
5.0. Ранние повреждения мозга и пластичность развития . . . . .	252
6.0. Заключение . . . . .	256
7.0. Задания и упражнения к главе 15 . . . . .	256
7.1. Контрольные задания . . . . .	256
<b>Глава 16. Гены и молекулы мышления . . . . .</b>	<b>259</b>
1.0. Введение . . . . .	260
1.1. Основные малые молекулы клетки также используются для нейрональной сигнализации . . . . .	261
1.2. Живые организмы используют ферменты . . . . .	263
1.3. Одна и та же молекула может нести разные сигналы . . . . .	264
1.4. Гематоэнцефалический барьер защищает внутреннюю среду мозга. . . . .	264
1.5. Модельные организмы . . . . .	266
2.0. Гены в эволюции, онтогенезе и повседневной жизни. . . . .	268
2.1. Разные события с ДНК происходят в различные промежутки времени. . . . .	270
2.2. Развитие мозга: нейрогенез, затем синаптогенез. . . . .	271
2.3. Как человек получил такой большой мозг? . . . . .	274
3.0. Экспрессия и регуляция генов. . . . .	275
3.1. Обработка информации в клетке . . . . .	275
3.2. ДНК высших уровней регулирует остальную ДНК. . . . .	277
3.3. Ошибки при развитии мозга . . . . .	279
3.4. Гены, контролирующие развитие. . . . .	279
3.5. Программирование генов: за пределами центральной догмы . . . . .	281

3.6. Среда может перестраивать хроматин в ядре клетки . . . . .	282
3.7. Обучение как эпигенетический процесс . . . . .	283
4.0. Нейроны и глиальные клетки как обработчики сигналов . . . . .	283
4.1. Нейроны и синапсы в качестве переключателей . . . . .	284
4.2. Химическая саморегуляция . . . . .	285
4.3. Мембраны, ионные каналы и аксоновые спайки . . . . .	286
5.0. Синаптическая передача: от производства до расщипки . . . . .	290
5.1. «Большая двойка»: глутамат и ГАМК . . . . .	290
5.2. ГАМК: основной тормозный медиатор . . . . .	292
5.3. Нейроглия также может обрабатывать информацию . . . . .	294
5.4. Производство, высвобождение и удаление нейромедиаторов . . . . .	295
5.5. Высвобождение вещества в синапсе . . . . .	295
5.6. Синапсы и рецепторы в качестве контрольных точек . . . . .	298
5.7. Рецепторы распознают сигнальные молекулы . . . . .	298
5.8. Трансмиссиверзависимые ионные каналы . . . . .	302
5.9. Очистка синапса: дезактивация, диффузия и утилизация медиатора . . . . .	306
6.0. Нейромодуляторы . . . . .	308
7.0. Обучение . . . . .	310
7.1. Гиппокампальный комплекс . . . . .	312
7.2. Глутамат, ГАМК и долговременные депрессия и потенциация . . . . .	314
7.3. Глутаматные синапсы в качестве модели синаптического обучения . . . . .	315
7.4. Эпигенетические механизмы обучения . . . . .	322
7.5. Нейротропные факторы при обучении . . . . .	323
8.0. Заключение . . . . .	324
9.0. Задания и упражнения к главе 16 . . . . .	327
<b>Приложение. Методы для изучения живого мозга . . . . .</b>	<b>331</b>
1.0. Исторические предпосылки . . . . .	331
1.1. Корреляция мозга и разума . . . . .	331
1.2. Регистрация активности мозга . . . . .	333
2.0. Методы . . . . .	335
2.1. Электроэнцефалография . . . . .	335
2.2. Магнитоэнцефалография . . . . .	344
2.3. Позитронно-эмиссионная томография . . . . .	350
2.4. Магнитно-резонансная томография . . . . .	353
2.5. МРТ — метод будущего . . . . .	370
2.6. Оптическое картирование . . . . .	372
3.0. Мультимодальные методы визуализации мозга . . . . .	374
3.1. Одновременная визуализация разными методами . . . . .	374
3.2. Визуализация генетики . . . . .	376
4.0. Заключение . . . . .	379
<b>Литература . . . . .</b>	<b>381</b>
<b>Глоссарий . . . . .</b>	<b>433</b>

Привлечение произвольного внимания обычно ассоциируется с субъективным ощущением умственного усилия.

Л. Наккаш, С. Деан, Л. Коэн, М.-О. Абер,  
Э. Гишар-Гомес, Д. Галано и Ж.-К. Виллер (2004)



Высший уровень решения задач. Микронезийская навигация — пример чрезвычайно сложного для успешной реализации практического опыта. Если бы не этот навык, то жители островов Тихого океана не могли бы осуществлять навигацию на маленьких судах, путешествовать от острова к острову, проплывая сотни миль, как они делают в течение нескольких тысяч лет. Звездный компас (*вверху*) является изобретением океанийских мореплавателей, которые придерживались определенного направления плавания, измеряя угол восходящих и заходящих звезд в ночном небе относительно Полярной звезды. Высокий уровень знаний по навигации разрабатывался, сохранялся и передавался. Каное с балансирами — очень эффективный способ передвижения на длинные дистанции, но вряд ли безопасный.

# Глава 10

## Мышление и способность решать задачи

### Содержание

1.0. Рабочая память . . . . .	15
1.1. Рабочая память перекрывается с вниманием, осознанными событиями и эпизодическими воспоминаниями. . . . .	15
2.0. Эксплицитное решение задач . . . . .	19
2.1. Исполнительный контроль при решении задач. . . . .	22
3.0. Умственная нагрузка и корковая активность. . . . .	27
4.0. Использование существующих знаний . . . . .	30
4.1. Практика и тренировка могут изменить сетевое взаимодействие в мозге . . . . .	31
4.2. Семантическая память . . . . .	32
4.3. Абстрактные понятия, прототипы и нейронные сети. . . . .	34
4.4. Знания формируются в виде нейронной сети . . . . .	35
4.5. Умозрительные недостатки. . . . .	37
4.6. Определение количества и числа . . . . .	39
5.0. ИмPLICITное мышление. . . . .	40
5.1. Чувство о наличии знания. . . . .	41
6.0. Заключение . . . . .	47
7.0. Задания и упражнения к главе 10 . . . . .	48

У человека решение задач осуществляется двумя способами, эксплицитным и имPLICITным. Эти два варианта значительно различаются. Эксплицитное мышление содержит четкие, осознаваемые конечные и промежуточные цели и точно определенные шаги для того, чтобы прийти от начальной точки к решению. В качестве примера из повседневной жизни можно привести умственный арифметический счет. Эксплицитное мышление требует более значительного контроля со стороны высших отделов мозга, повышенной умственной нагрузки, более частого привлечения сознания и более широкого вовлечения корковых областей мозга.

В отличие от этого имPLICITное принятие решения может быть более привычным, так как мы обучаемся и усваиваем большое число навыков с начала жизни. Такие навыки по поиску и принятию решения благодаря практике становятся более искусными, имPLICITными (не осознаваемыми) и автоматическими. Примером может служить понимание этого написанного предложения или логическое завершение озвучиваемого предложения, когда мы уже можем сказать, какие слова должны быть в конце. ИмPLICITное принятие решения требует меньшего контроля со стороны исполнительных отделов по сравнению с эксплицитным вариантом, меньшего привлечения сознания, меньшей ум-



ственной нагрузки и меньшего вовлечения корковых областей. С другой стороны, данный вид решения задач в большей степени зависит от долговременной памяти и хороших практических навыков. Очень часто неявной целью обучения является перевод эксплицитного принятия решения в имплицитное.

В области мышления продолжается исторический спор между локальными и распределенными функциями мозга. С помощью методов визуализации мы обнаруживаем гораздо больше локальных областей и процессов, чем раньше. В связи с этим нам может показаться, что теория локализации функций мозга выигрывает этот спор, но этого (еще) не случилось. Несмотря на то что более маленькие и специфичные участки мозга могут быть исследованы, доказательства широкого распределения процессов до сих пор очевидны (см. гл. 9). В связи с этим некоторые теоретики разрабатывают модели, которые включают в себя локализационный и распределенный подходы к проектированию нейронных сетей.

## ПЕРСПЕКТИВЫ КОГНИТИВНОЙ НАУКИ

### Произвольное внимание и непосредственная память

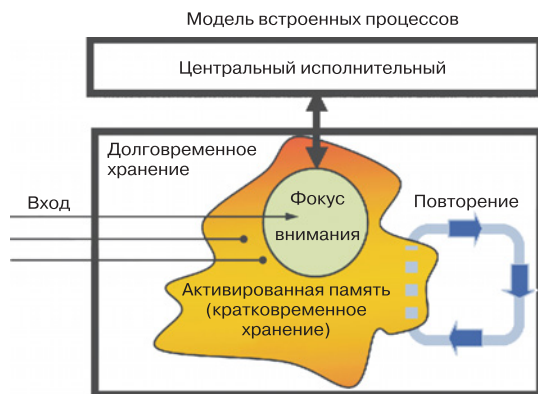


**Рис. 10.1.** Нельсон Кован (Nelson Cowan), кандидат наук, факультет психологических наук, Университет Миссури, Колумбия, США

Любая задача, которую мы пытаемся решить в нашей повседневной жизни, создает спрос на произвольное внимание — в чем мы отдаем себе отчет, — а также на объем непосредственной памяти. Также от нас требуется контролировать, на чем сфокусировать внимание. Нельсон Кован посвятил свою успешную карьеру изучению этих «ограниченных емкостных свойств» человеческого мозга вместе с их постоянными взаимодействиями с огромным хранилищем долговременной памяти (рис. 10.1 и 10.2). По словам Кована, «то, что служит главным емкостным ограничением рабочей памяти..., очень тесно связано с содержанием сознательной психической деятельности» (2008).

Произвольное внимание, согласно исследованиям Кована, еще более ограничено, чем ранее считалось психологами. При тщательном проведении экспериментов с исключением возможности мысленного повторения и группировки предметов объем произвольного внимания сокращается до четырех и менее объектов. Согласно же традиционным взглядам непосредственная память может сохранять «семь плюс или минус два» различных объекта, но это справедливо только при их мысленном повторении человеком. Если испытуемых просят произносить последовательность звуков «the... the... the» для предотвращения перечисления запоминаемых предметов, объем памяти сразу падает до четырех. Ограничение памяти четырьмя объектами ассоциируют с участием задней теменной коры в этом процессе, однако до сих пор продолжается спор о мозговой основе ограниченной емкости памяти.

«Магическое число четыре» является достаточно стабильным для объектов разного типа — чисел, коротких слов, простых звуков, зрительных объектов и т. д. Кован считает, что это применимо как для абстрактных понятий, так и для перцептивных событий, образов и внутренней речи. Для того чтобы мысленно сложить два числа, мы должны на несколько секунд, пока мы производим вычисление суммы, задержать их в памяти. Для понимания смысла длинного предложения человеку



**Рис. 10.2.** Когнитивный психолог Нельсон Кован предполагает, что непосредственная память может быть представлена как активированная часть долговременной. Например, мысленное повторение слов активирует существующий словарный запас в длительно хранимом знании языка. *Любопытно, что для сохранения в долговременной памяти новых ассоциаций между уже известными элементами необходима одновременная фокусировка на них внимания.* Очень важно воспринимать непосредственную память и концентрирование внимания, внутреннее повторение и другие компоненты «рабочей памяти» (РП) как постоянно существующие аспекты нормальной когнитивной деятельности. Таким образом, элементы РП могут быть частично заимствованы из ДВП, и внутренняя речь может запросто использовать мозговые возможности «внешней речи». (Источник: Nelson Cowan, из личной переписки.)

необходимо сохранить его первую часть в непосредственной памяти для того, чтобы постичь смысл второй части. Предшествующее предложение служит отличным примером этого явления. Однако существуют данные о кодировании каждого значимого куска длинного предложения в семантическую единицу, например фразы «Для понимания смысла длинного предложения»... Люди очень искусны в семантическом кодировании информации из-за постоянной тренировки при попытках понять сказанное при общении. Мы стараемся преобразовать слова в смысл так быстро, как мы это можем.

Проблема заключается в том, как наилучшим образом использовать ограниченные ресурсы, с которыми мы родились. Одним из подходов служит мысленное повторение последовательности чисел. С тренировкой предел нашей рабочей памяти повышается до традиционного «семь плюс или минус два объекта». Но в этом случае мы уже используем как произвольное внимание, так и емкость непосредственной памяти для внутренней речи и мысленного повтора.

Мы также можем снизить заполнение непосредственной памяти, написав заметку или выделяя предложение в книге. Но письменность является относительно недавним изобретением человека, не считая такие возможности, как аудио- или видео-записи. До возникновения письменности человечество все равно было способно к решению сложных задач, в чем мы убеждаемся на примерах культур, которые не используют письмо. Они опираются на свою долговременную память (ДВП), мнемоническую схему и тщательно выработанные знания об устройстве мира. Многие культуры используют такие речевые схемы, как стихотворные ритмы или аллитерации, мелодичный напев или стихотворный шаг. Именно поэтому маленькие дети легко выучивают алфавит посредством песни. Это является неплохим способом освоить и анатомию мозга.

Человек может решать задачи при помощи произвольного внимания и непосредственной памяти при условии использования их совместно с огромными библиотеками долговременной памяти. Каждое прочитанное вами слово задействует на короткое время немного ресурсов ограниченного произвольного внимания, но тот факт, что вы знаете около 100 000 слов и их значения, позволяет обрабатывать большие «блоки слов», а не просто бессмысленные всплески и бульканье звуков.

Часть ДВП, задействованной в текущих процессах, Кован называет активной памятью. Во время чтения данного параграфа ваша активная память содержит информацию о том, что вы освоили из этой главы, а также все аналогичные знания из других источников. Как у авторов, все наше стремление направлено на попытки связать научные факты со знанием, которое студенты могут напрямую использовать.

Кован указывает на существование как временного, так и емкостного предела. Из рис. 10.2 видно, что фокус внимания, в котором находятся осознаваемые в настоящий момент события, имеет емкостной предел. В противоположность этому, «активная память» (см. рис. 10.2) может иметь временной предел, т. е. исчезать со временем. Например, при сосредоточении внимания на чтении этого предложения вы можете заметить постепенное забывание его через несколько секунд.

Согласно предположениям Кована, данная система с ограниченными возможностями на самом деле может иметь оба из этих двух пределов, в зависимости от фокуса внимания. Если мы настраиваем узкий фокус внимания, то только один объект может быть сознательно воспринят, но при широком фокусе могут быть восприняты до четырех различных объектов. Как известно, такая схема работает для зрения. Зрительное внимание концентрируется или нет на различных деталях, и мы можем наблюдать, как в мозге активируются перекрывающиеся области коры при взаимодействии процессов контроля над зрительным вниманием и движением глаз (гл. 8). Таким образом, зрительное внимание и движения глаз могли совместно развиваться в процессе эволюции позвоночных животных. Схожий скрытый «потенциал увеличения внимания», возможно, эволюционировал вместе с изменением фокусировки в зависимости от интенсивности света. Эта гипотеза, по крайней мере, может быть проверена при помощи современных методов визуализации работы мозга (Cowan, 2008).

На некоторые вопросы до сих пор нет однозначного ответа. Например, Оберауэр и Биалкова (Oberauer, Bialkova, 2009) считают, что существует сознательный фокус внимания, нацеленный только на один объект, наряду с «внешней границей», в которой содержатся от трех до пяти объектов. Но данное несогласование в предельном числе воспринимаемых объектов не является существенным.

Узкое горлышко в потоке мысленной информации сильно влияет на процессы обучения и решения задач. Люди различаются между собой способностями направлять и удерживать фокус внимания, игнорировать отвлекающие события и продолжать выполнять сложное задание. Эти различия коррелируют с такими индивидуальными особенностями когнитивной деятельности, как общий уровень интеллекта, упорство и время, необходимое для возникновения реакции. Кроме того, они развиваются предсказуемым образом в течение жизни.

Халфорд, Кован и Эндрюс (Halford, Cowan and Andrews, 2007) выдвинули предположение о существовании особой связи между рабочей памятью и логическим мышлением, как в задаче «Рыцари и мошенники» (2007; [http://en.wikipedia.org/wiki/Knights\\_and\\_Knaves](http://en.wikipedia.org/wiki/Knights_and_Knaves)). Задача про рыцарей и мошенников может быть решена распределением элементов (А и Б) в группы (рыцари или мошенники).

Емкостной предел для рабочей памяти и мышления может быть соотнесен с числом связей в ячейках координатной сетки или взаимосвязей. Рабочая память ограничена приблизительно четырьмя активными объектами, тогда как образы при логическом мышлении лимитированы четырьмя взаимосвязанными переменными.

## Литература

1. Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in Brain Research*, 169, 323–338.
2. Halford, G.S., Cowan, N. and Andrews, G. (2007). Separating cognitive capacity from knowledge: A new hypothesis. *Trends in Cognitive Sciences*, 11 (6), 236–242.
3. Oberauer, K. and Bialkova, S. (2009). Accessing information in working memory: Can the focus of attention grasp two elements at the same time? *Journal of Experimental Psychology General*, 138 (1), 64–87.

## 1.0. Рабочая память

В широком смысле термин «рабочая память» (РП) означает память для принятия решений, речи и мышления (гл. 2). Рабочая память — это «набор умственных процессов по удержанию лимитированного объема информации во временно доступном состоянии для обеспечения когнитивной деятельности» (Cowan *et al.*, 2005). Рабочая память нам необходима при выполнении арифметических операций, для поддержания разговора и для решения задачи по поиску пути: каким образом отсюда я могу дойти до дома? Вы не можете понять смысла предложения, которое вы сейчас читаете, без существования набора слов, идей и синтаксиса в оперативной памяти.

Когда мы думаем над какой-нибудь задачей, мы постоянно пользуемся внутренней речью и зрительно-пространственными образами, тем самым направляя внимание на то, что в данный момент имеет первостепенное значение. Как было написано в гл. 8, внимание обеспечивает восприятие нами сенсорной информации, внутренней речи и формирование программы действия. И наконец, то, о чем мы думаем в настоящий момент, взаимодействует с тем, что мы уже знаем — с воспоминаниями, знаниями и навыками в долговременной памяти. Каждое движение глаз, которое вы совершаете, основано на длительно практикуемом навыке (см. гл. 9). Таким образом, все составные части схемы на рис. 10.3 вовлекаются в процессы мышления и решения задач.

Удивительным является то, что большая часть данной главы вовсе не о цветных участках схемы, а о ряде серых прямоугольников внизу рисунка. Цветные блоки отражают активные процессы, те, что требуют нейрональных залпов и интеграции ответов. Но они очень часто имеют сходные пути, как и предыдущие процессы, которые к этому моменту уже сформировали устойчивые связи нейронных сетей. Исследования с визуализацией мозговой активности могут не показывать такие устойчивые образования, так как они закодированы в силе взаимодействия между нейронами. Следовательно, методы, подобные фМРТ, могут представлять в меньшем количестве объем долговременно хранимых знаний.

### 1.1. Рабочая память перекрывается с вниманием, осознанными событиями и эпизодическими воспоминаниями

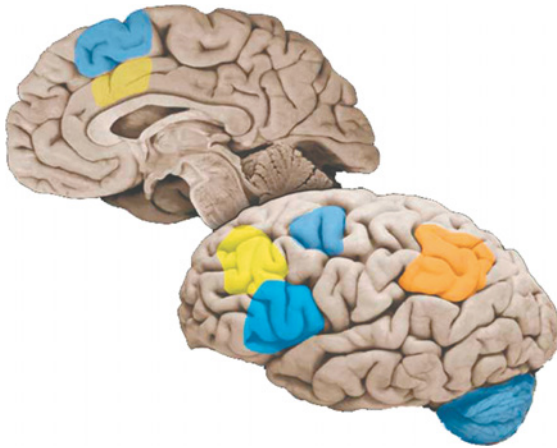
Эксперименты в основном нацелены на разделение рабочей памяти и схожих процессов. Например, в некоторых экспериментах на рабочую память на кошках или обезьянах регистрируют активность одиночных нейронов в префронтальной коре в задачах с отсроченным выбором по образцу. В этих экспериментах



**Рис. 10.3.** Функциональная схема процесса решения задачи. Рабочая память (РП) постоянно вовлечена в решение задач. Однако РП также помогает использовать сохраненную ранее информацию, такую как набор слов родного языка и их смысл, набор привычек и моторных навыков, а также значительного количества вариантов памяти, которые показаны в серых блоках внизу рисунка

животному предъявляют стимул, затем после исчезновения стимула следует период ожидания, по окончании которого оно должно указать запомненный стимул среди ряда других. Распространенные данные показывают, что нейроны продолжают разряжаться во время периода задержки, что интерпретируется исследователями как рабочая память, с помощью которой животное держит в уме предъявленный стимул, пока ждет возможности совершить требуемое действие (Goldman-Rakic, 1995, см. гл. 9). Селективное внимание выявляется на людях в случае наличия двух конкурирующих сенсорных входов. Сознательная когнитивная деятельность сравнивает сознательные (о которых испытуемые дают отчет) и бессознательные (без отчета) стимулы при помощи экспериментальных методик с несовпадением изображения на сетчатке (см. гл. 6 и 8). Изучение процессов извлечения эпизодической памяти может включать опрос испытуемых об их вчерашнем обеде. Используя условия для точного сравнения, мы обнаруживаем, что «загораются» разные участки мозга. Новые и достоверные знания часто получают при помощи описанных методик.

В то же время на рис. 10.4 и 10.5 показана обширная активация фронтальных и теменных областей коры головного мозга во время выполнения четырех задач на выявление процессов, которые обычно отделяют друг от друга: рабочей памяти, внимания, извлечения эпизодической памяти и осознанного восприятия. Пересечение областей огромное. Это не значит, что данные процессы имеют одинаковое теоретическое обоснование. Они могут быть разделены экспериментальными методами. Однако не следует забывать, что мозг продолжает работать независимо от того, какие эксперименты мы разрабатываем. В данной главе



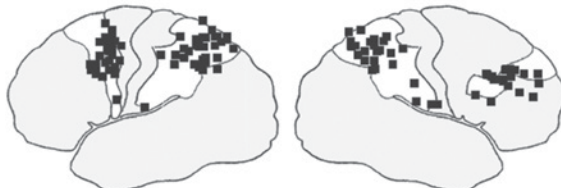
**Рис. 10.4.** Предположительные области, отвечающие за РП. Области мозга, обычно вовлеченные в процессы образования РП. (Источник: Schneider and Chein, 2003.)

Левое

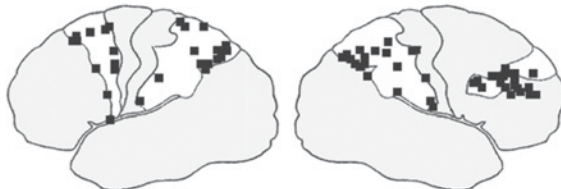
Правое



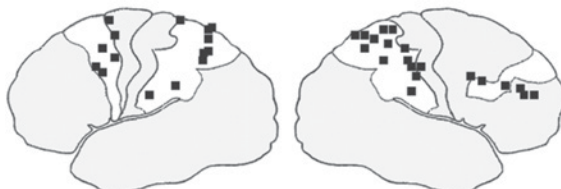
а Внимание



б Рабочая память



в Извлечение эпизодической памяти

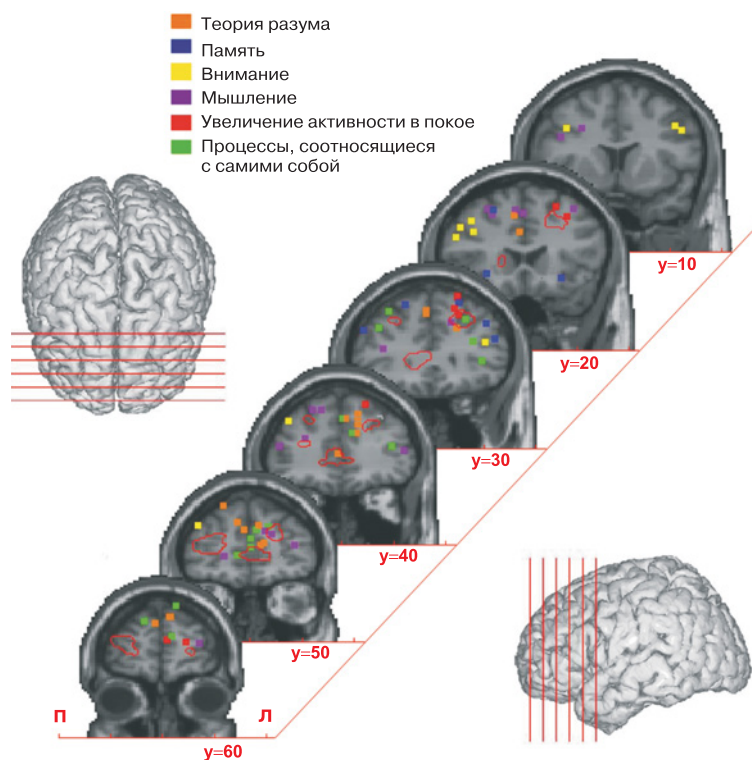


г Сознательное восприятие

**Рис. 10.5.** Перекрывающиеся области мозга, ответственные за РП, селективное внимание, извлечение автобиографических воспоминаний и сознательное восприятие. Этот рисунок схематически показывает обширную активацию фронтальных и теменных областей мозга во время четырех разных активностей мозга, которые обычно отделяют друг от друга: РП, внимание, извлечение эпизодической памяти и осознанное восприятие. Существует значительное перекрытие активных областей, и поэтому совершенно не очевидно, что данные процессы могут быть разделены. Внимание = выделение стимула, РП = отсроченный выбор, сознательное восприятие = сравнение видимого объекта с неосознаваемым, извлечение эпизодической памяти = осознание автобиографического события, извлеченного из памяти. В то время как эти четыре активности мозга отделяют друг от друга в экспериментах, они имеют множество перекрывающихся свойств. (Источник: Naghavi and Nyberg, 2005.)

мы будем использовать термин «рабочая память» при рассмотрении сознательной и бессознательной когнитивной деятельности, восприятия и долговременной памяти. Большинство активных сторон рабочей памяти требуют сознания и являются произвольными. Таким образом, было высказано предположение, что функции пассивной рабочей памяти могут находиться под контролем таких сознательных/произвольных процессов, как перцептивный вход, извлечение, повторение, планирование действия и ответные реакции (Baars и Franklin, 2003).

Пределы рабочей памяти создавали для человечества немало трудностей до изобретения и распространения письменности. Сегодня мы можем набросать заметки на листе бумаги или посмотреть информацию по Интернету. Но в период неолита никто не мог написать список продуктов перед началом охоты или сбором пищи. Вероятно, именно поэтому используемые языки содержат много приспособлений и приемов для упаковывания большого объема информации в небольшие блоки: предложения, слова, фразы, поговорки, имена нарицательные, имена собственные и местоимения, все из которых можно рассматривать как указатели и напоминания (рис. 10.6). Мы также концентрируем большой объем знаний в виде абстракций и классификационных схем (блок 10.1). Боль-



**Рис. 10.6.** Некоторые участки лобной коры, задействованные в высших мыслительных процессах. Лобные доли также необходимы для продвинутых навыков, простирающихся от возможности понимать намерения других людей до рассуждений, воображения и самопознания. Эти лобные процессы постоянно находятся во взаимодействии с процессами в задних и подкорковых областях мозга. (Источник: Wicker et al., 2003.)

шая часть нашего словарного запаса состоит из подобных ярлыков. Словарный запас естественных языков — сокровищница блоков значимой информации, собранных под влиянием культуры (см. гл. 11).

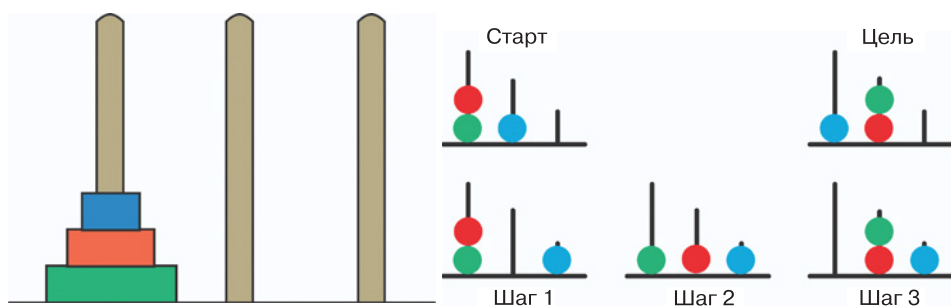
Каждый блок может указывать на достаточно большой объем знания. В данной книге слово «мозг» может служить связью между всем тем, что вам известно в когнитивной нейронауке. Обращаясь к знанию посредством коротких ярлыков, мы можем оптимизировать наши когнитивные ограничения.

## 2.0. Эксплицитное решение задач

Были описаны (Unterrainer, Owen, 2006) основные условия эксплицитного решения задач.

В начале объекту требуется создать мысленное представление о текущей ситуации и цели. Далее эти представления должны быть связаны путем определения, какие требуется совершить действия для изменения текущего положения в целевое. Таким образом, задача имеет три основные характеристики: 1) начальная стадия, или стадия, на которой объект определяет начальные условия; 2) стадия цели, или стадия решения, которую объект пытается достичь; 3) шаги, которые объект предпринимает для трансформации начального состояния в требуемое, которое изначально может быть неочевидным (Sternberg and Ben-Zeev, 2001).

Решение задачи можно представить как поиск пути через лабиринт *точек выбора* между возможными *промежуточными целями* к конечной цели. В стандартной головоломке под названием «ханойская башня» предьявляют задачу, как показано на рис. 10.7. Цель головоломки — перемещение трех колец в крайнее правое положение и расположение их в той же последовательности, как было вначале. Эти действия требуют составления промежуточных целей. Схему возможных вариантов называют *пространством задачи* (рис. 10.9). Некоторая последовательность действий ведет к правильному решению задачи, в



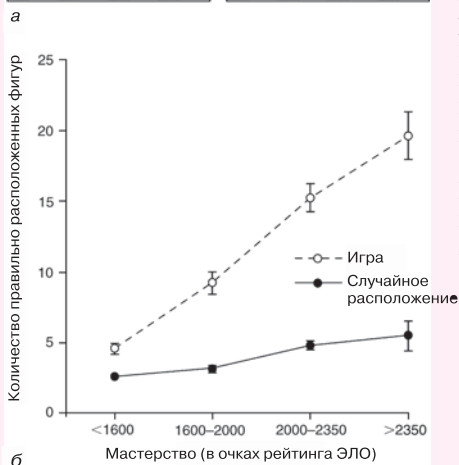
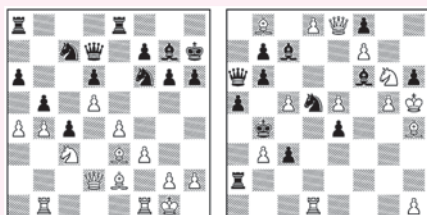
**Рис. 10.7.** Ханойская башня. Шеллис (Shallice, 1982) использовал головоломку под названием «башни Лондона» (или «ханойская башня») для диагностирования повреждений фронтальных отделов головного мозга. В задаче требуется перемещать кольца последовательно по одному до совпадения с финальной схемой. Уровень сложности этой загадки может изменяться, как показано в правой половине рисунка. Задачи с башнями стандартизировали для клинических испытаний, и в результате было проведено большое количество исследований. Наличие инструкции составлять план действий улучшает выполнение у людей с неповрежденными лобными областями коры головного мозга. (Источник: Miller and Wallis, из Squire *et al.*, 2003.)



## Блок 10.1. Каким образом профессиональные шахматисты используют известные игровые позиции

### Специальная память для шахматных позиций

Большая часть того, что известно о профессиональной компетенции, относится к работам Де Грота (De Groot, 1946), Чейза и Саймона (Chase, Simon, 1973). Выявление существования четких различий в выполнении задачи на память, включающей кратковременное предъявление шахматных позиций, взятых из турнирных игр, у игроков разного уровня стало одним из неопределимых вкладов, которые сделал Де Грот. Обычно игроки уровня мастера спорта и выше могут воспроизвести правильно все расположение фигур, тогда как более слабые шахматисты справляются гораздо хуже (рис. 10.8). Однако Чейз и Саймон не обнаружили различий в эффективности воспроизведения случайных позиций у трех групп испытуемых: мастеров спорта, у игроков класса А и новичков при использовании модели CHREST (Chunk Hierarchy and REtrieval STructures — иерархия блоков и структуры, ответственные за извлечение). Такое одинаково плохое выполнение задачи со случайным расположением фигур и великодушное воспроизведение позиций мастерами спорта и гроссмейстерами наглядно проиллюстрировали принцип, что знание является ключом к профессиональной компетенции. Данный пример, став классическим открытием, широко цитируется в учебниках по когнитивной психологии и статьях на тему профессионализма. Однако ранняя версия CHREST, полученная путем доработки и дополнения MAPP (Memory-Aided Pattern Recognizer — средство распознавания паттерна посредством памяти; Simon and Gilmarin, 1973), делала противоположные предположения относительно воспроизведения случайного расположения фигур. При моделировании игры в шахматы CHREST происходит обучение на базе партий мастеров спорта при



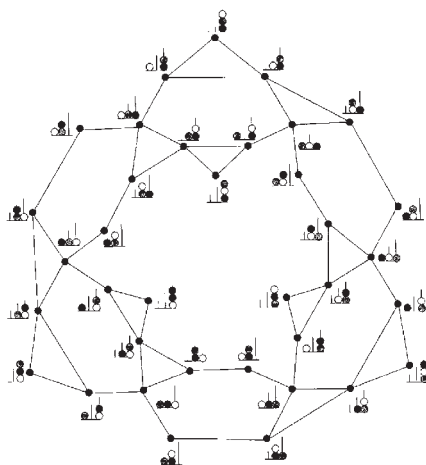
**Рис. 10.8.** (а) Варианты расположения шахматных фигур, которые обычно используют в исследованиях памяти шахматистов. Изображенное слева расположение фигур было взято из игровой партии мастеров, а справа — случайное расположение фигур, полученное путем их перемешивания. (б) Среднее число (усреднено по 13 опытам) фигур, размещенных правильно в соответствии с функцией координат (игра или случайность), и уровень мастерства. В среднем каждый раз предъявлялось изображение из 25 фигур, а время предъявления составляло  $\leq 10$  с. Планки погрешностей («усы») отображают стандартные ошибки среднего. (Источники: Gomet and Simon, 1966.)

идентификации контуров фигур в разных положениях. Как и было предположено, возможность модели запоминать игровые позиции улучшалась с увеличением числа и размера блоков. Однако у модели было зарегистрировано небольшое, но четкое увеличение числа правильного воспроизведения случайных позиций фигур. Различия в воспроизведении являются результатом легко объяснимого механизма: чисто случайно обширная дифференцированная сеть с большей вероятностью будет содержать тот же паттерн локализации фигур, что и в случае произвольного их расположения. Методичный обзор экспериментов, в которых шахматистов просили воспроизвести расположение случайно расставленных фигур (Gobet, Simon, 1966), содержал 12 исследований, в которых мастера спорта показали превосходство, и только одну работу (Chase, Simon, 1973), в которой профессионалы показали результаты хуже, чем новички. Несмотря на то что в большинстве исследований различия в точности воспроизведения не были достоверными из-за недостатка статистических данных, этот эффект отчетливо проявлялся при суммировании результатов всех работ (рис. 10.8 (б)). Тот факт, что создание блоков перцептивной информации создает преимущество для профессиональных шахматистов даже при воспроизведении случайного расположения фигур, доказывает большую правоту теорий, основанных на выдающихся знаниях или схемах (De Groot, 1946). Более подробно см. другой обзор (Gobet, 1998).

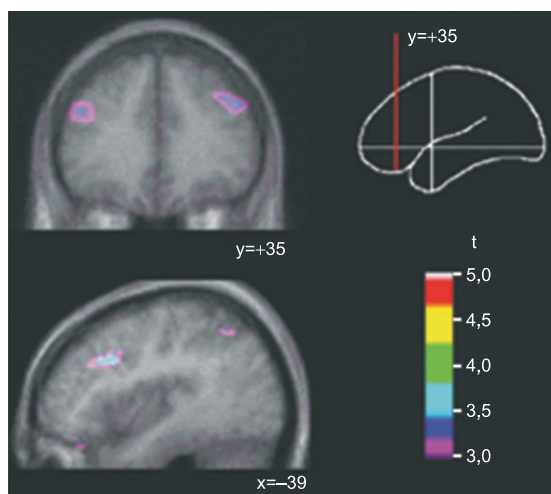
### Литература

1. De Groot, A.D. (1946). *Het Denken van den Schaker*. Noord Hollandsche.
2. Chase W.G. and Simon, H.A. (1973) Skill in chess. *American Scientist*, 61, 393–403.
3. Simon, H.A. and Gilmarin, K.J. (1973). A stimulation of memory for chess positions. *Cognition Psychology*, 5, 29–46.
4. Gobet, F. and Simon, H.A. (1966). Recall of rapidly presented random chess positions is a function of skill. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3, 159–163.
5. Gobet, F. (1998). Expert memory: a comparison of four theories. *Cognition*, 66, 115–152.

то время как другая — нет. На рис. 10.10 показаны области мозга, в частности дорсолатеральная префронтальная кора (ДЛ-ПФК), активные во время решения головоломки о ханойской башне.



**Рис. 10.9.** Пространство задачи. Пространство задачи для ханойской башни показывает все возможные расклады, точки выбора и пути решения



**Рис. 10.10.** Дорсолатеральная префронтальная кора при решении задачи с башнями. Такие задачи вызывают увеличение мозговой активности в центре ДЛ-ПФК, являющейся ключевой областью для высших контрольных функций. (Источник: Unterrainer and Owen, 2006.)

Решение задачи с башнями скорее можно отнести к головоломкам, чем к реальным жизненным проблемам. Действительными задачами для людей могут служить, например, поиск пути из одного места в другое через сложную по рельефу и опасную территорию, поиск пищи и убежища, стремление защитить детей и соплеменников от опасностей, желание сохранить взаимоотношения или стремление преуспеть в конкурентной борьбе. Жизненные трудности очень редко можно четко описать, и ставки могут быть очень высоки. Несмотря на это, даже решение простых задач может продемонстрировать важные особенности реальных целей. Такие понятия, как промежуточные и конечные цели, точки выбора в пространстве задачи, издержки и выгоды, выявляются во многих случаях. В то время как составление полного пространства задачи в реальной жизни очень редко удается, одной из удачных стратегий ее решения может быть выделение в большой задаче промежуточных целей, которые можно описать точно и полно.

## 2.1. Исполнительный контроль при решении задач

Клише о том, что «генералы склонны вести прошлую войну», можно приложить к решению многих задач. В науке, например, существует тенденция, даже среди выдающихся ученых, концентрироваться только на одном основном подходе, который, однако, не всегда работает. Знаменитым примером этого является Альберт Эйнштейн, у которого сформировалось стойкое неприятие квантовой теории, несмотря на то что она смогла объяснить непонятые ранее феномены. Своими философскими воззрениями Эйнштейн отрицал идею того, что физика может быть более статистической, нежели детерминистической, и более 30 лет пытался найти альтернативу квантовой теории. В истории науки можно найти сотни подобных примеров. По всей видимости, «заикленность» является достаточно распространенной трудностью в решении задач у человека.

Книга знакомит читателя:

- с современными методами визуализации мозга, позволяющими перейти на новый уровень наблюдения (в реальном времени) и изучения когнитивных механизмов и механизмов восприятия;
- с новейшими разработками в области молекулярных основ сознания;
- с результатами новых методов регистрации активности мозга, позволяющими утверждать, что мозговые ритмы несут информацию как о сознательных, так и о бессознательных процессах;
- с современными представлениями о строении префронтальной коры, на основании которых пересмотрена роль лобных долей, считавшихся непостижимыми.

Рассмотрены все возможные нарушения мозговой деятельности: от случаев повреждения памяти до возникновения слепого зрения, гемиагнозии, прозопагнозии и других расстройств зрительной системы.

Вы узнаете:

- почему люди иногда спонтанно начинают повторять движения за другим человеком и не могут остановиться;
- почему профессиональные музыканты иногда не в состоянии подавить желание петь во время игры на инструменте;
- как спортсмены и музыканты, используя сенсомоторные области коры головного мозга, осуществляют мысленные тренировки;
- почему ученые считают, что сознание сегодня является законной и разрешимой научной проблемой;
- как возникают эмоции и чем обусловлено наше социальное поведение.

Для студентов и специалистов по психологии, биологии, педагогике и медицине.

ISBN 978-5-00101-372-3



9 785001 013723