

**Т.Х. Богодвид, Д.И. Силантьева,  
Х.Л. Гайнутдинов**

**ФОРМИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЬНЫХ  
НАВЫКОВ И НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТЬ**

*Учебное пособие*

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ, СПОРТА И ТУРИЗМА  
2022

УДК 612.833.81+591.51

ББК 28.073

Б 74

*Печатается по рекомендации Учебно-методической комиссии  
Института фундаментальной медицины и биологии КФУ,  
протокол № 7 от 29 июня 2022 г.*

**Рецензенты:**

Профессор кафедры охраны здоровья человека КФУ

**засл. деятель науки РФ и РТ,**

**д.б.н., профессор Ситдинов Фарит Габдулхакович**

Заведующий кафедрой медико-биологических дисциплин ПГУФСиТ

**к.б.н., доцент Зверев Алексей Анатольевич**

**Богодвид Т.Х.**

**Б 74 Формирование двигательных навыков и  
нейропластичность** / Богодвид Т.Х., Силантьева Д.И., Гайнутдинов  
Х.Л. / – Казань: Казанский университет, 2022. – Учебное пособие. – 68  
с.

Учебное пособие предназначено для помощи в освоении курса лекций и семинарских занятий по роли физических упражнений и тренировок в обучении и роли нейропластичности в формировании двигательных навыков. В пособии рассматриваются механизмы становления конкретных адаптивных стратегий поведения животных в процессах приспособления к условиям окружающего мира, анализируется роль внимания в формировании памяти. Дана классификация форм обучения, рассмотрены когнитивные формы обучения и экспериментальные исследования поведения. Проведен анализ различных видов памяти, включая кратковременную и долговременную память. Рассмотрены изменения памяти в ходе физического развития, особенно в детстве. Показана возможность восстановления моторной памяти конечностей за счет процесса реконсолидации. Рассмотрены этапы и механизмы формирования двигательной памяти. Показана важная роль рабочей памяти в спорте и влияние физических нагрузок на память.

**УДК 612.833.81+591.51**

**ББК 28.073**

**© Богодвид Т.Х., Силантьева Д.И., Гайнутдинов Х.Л., 2022.**

**© Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2022.**

**© Поволжский государственный университет  
физической культуры, спорта и туризма, 2022.**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b><i>Введение</i></b>	<b>4</b>
<b><i>Тема 1.</i></b> Поведение, память и пластичность	<b>6</b>
<b><i>Тема 2.</i></b> Влияние окружения на память. Виды памяти	<b>17</b>
<b><i>Тема 3.</i></b> Процесс консолидации следов памяти	<b>26</b>
<b><i>Тема 4.</i></b> Временные фазы памяти.	
Кратковременная и долговременная память	<b>30</b>
<b><i>Тема 5.</i></b> Память и физическое развитие	<b>36</b>
<b><i>Тема 6.</i></b> Реконсолидация следов памяти	<b>40</b>
<b><i>Тема 7.</i></b> Реконсолидация моторной памяти конечностей	<b>43</b>
<b><i>Тема 8.</i></b> Двигательная память	<b>45</b>
<b><i>Тема 9.</i></b> Этапы формирования двигательного навыка и двигательной памяти	<b>47</b>
<b><i>Тема 10.</i></b> Роль рабочей памяти в формировании двигательных навыков	<b>52</b>
<b><i>Тема 11.</i></b> Пластичность мозга и моторное обучение	<b>56</b>
<b><i>Тема 12.</i></b> Влияние физических нагрузок на память	<b>63</b>
<b>РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>67</b>

## Введение

Повышение уровня работоспособности спортсменов во время тренировок и соревнований является желаемой целью в спорте. Количественная оценка успеха в тренировках обычно сопровождается диагностикой результатов, включая оценку поведенческих и физиологических параметров, имеющих отношение к спорту. Несмотря на то, что оптимальная обработка мозгом является ключевым фактором для повышения двигательной активности и обучения навыкам, нейродиагностика обычно не применяется в диагностике производительности спортсменов. Лучшее понимание такой взаимосвязи между мозгом и поведением во время выполнения специфичных для вида спорта движений может помочь направлять тренировочные процессы и оптимизировать результаты тренировок. Исследования показывают, что человеческий мозг постоянно претерпевает структурную реорганизацию и функциональные изменения в ответ на стимуляцию или обучение.

Уже более двух десятилетий проводятся обширные исследования нейронной пластичности, основанной на опыте, с целью изучения эффективного применения пластичности мозга для когнитивного и моторного развития. С точки зрения развития предположение о пластичности мозга на протяжении всей жизни было распространено и на пожилых людей с точки зрения преимуществ когнитивных тренировок и физиотерапии. Спортсменам обычно требуется много усилий и напряженных последовательных тренировок в течение многих лет. Почти во всех видах спорта диагностика производительности является жизненно важным компонентом для спортсменов для количественной оценки индивидуальных уровней производительности, оценки успеха тренировок и определения режимов тренировок. Стандартная процедура такой диагностики включает в себя комбинацию поведенческих задач, связанных со спортом, и выбранных

физиологических параметров. Существуют нейробиологические доказательства того, что оптимальная обработка мозгом является ключевым фактором для улучшения двигательной активности или обучения навыкам. Однако обычно диагностика производительности у спортсменов обычно не рассматривает нейродиагностические инструменты для оценки такой взаимосвязи между мозгом и поведением. Лучшее понимание такой взаимосвязи может помочь оптимизировать производительность и / или способности к обучению у спортсменов.

## *Тема 1*

### **Поведение, память и пластичность.**

Одна из наиболее интригующих комплексных функций мозга – это его способность хранить информацию, полученную в опыте, и вспоминать большую его часть. Без этой возможности многие когнитивные функции человека невозможны. **Поведение** включает все те процессы, при помощи которых животное ощущает внешний мир, внутреннее состояние своего тела, а также реагирует на ощущаемые им изменения. Многие из этих процессов происходят “внутри” нервной системы, и их нельзя наблюдать непосредственно. Однако пребывание животных в любом состоянии в равной степени является поведением. Функциями поведения являются, например, питание, соперничество, ухаживание и т.д.

Сравнительное и экспериментальное исследование стоимости выживания является непрямым методом получения данных, свидетельствующих о действии естественного отбора. Рассмотрим, например, поведение чаек. Они гнездятся на земле, где могут подвергаться нападению различных хищников. Из них вороны, ежи, другие чайки, лисы, человек опасны только для яиц и птенцов. Сапсан нападает только на взрослых чаек. Отсюда форма поведения чаек зависит от вида нападения. Если от сапсана они улетали, то при нападении других хищников они улетали от гнезда, но начинали воздушные атаки на хищника. В случае нападения ворон, чаек или ежей они сами нападали, если те близко подходили к гнезду. Формой разного поведения, связанного с размножением, является гнездование. Чайки, гнездящиеся в середине колонии, получают несомненное преимущество по сравнению с теми, которые селятся с краю или отдельно. Такое поведение объясняется большим успехом первых, которые оставляют большее потомство и, таким образом, данную форму поведения. Разные **поведенческие стратегии** возможны,

например, при спаривании у стрекоз. Одни самцы перехватывают самок при полете к месту спаривания, а другая часть самцов ждет самок у основного места спаривания, и, в дальнейшем, пытается вытолкнуть конкурентного самца из тандема.

Термин «поведение» используется в разных смыслах. Его употребляют для описания различных по сложности форм поведения, – от координированных движений конечности до сложения сонетов. Очевидно, что эти формы поведения несравнимы, и никто не выберет один и тот же объект для изучения обоих процессов. Однако, разработка такой всеобъемлющей иерархии поведения, которая была бы применима ко всему животному миру, связана с большими трудностями. Кроме видимых компонентов, психическая жизнь человека включает также осознаваемые, но ненаблюдаемые компоненты (мысли, ощущения, планирование). Пытаясь строго определить слово «поведение» некоторые авторы утверждают, что оно должно относиться только к мышлению и другим сложным психическим функциям и его не следует употреблять для описания видимых действий. Однако большое количество исследователей и преподавателей считают, что термин «поведение» включает также двигательную активность, приобретение двигательных навыков, т.е. те элементы, которые составляют двигательную память.

Различают пищевое, оборонительное и репродуктивное поведения. Эти формы поведения имеют различное предназначение. Пищевое и питьевое поведение обеспечивают основу жизни животных, создают материальные предпосылки существования живых организмов. Оборонительное поведение служит животным для того, чтобы самим не стать пищей для других животных. Можно выделить активные формы оборонительного поведения и пассивные формы. Ясно, что они должны коррелировать с анатомическими признаками (свойствами) животных. Эти формы поведения необходимы для

выживания особи. Наконец, необходимо выделить репродуктивное поведение, которое необходимо для выживания вида, хотя сулить многие опасности для особи. Здесь критерием сохранения этой формы поведения служит то, что такие особи дают потомство и передают данное свойство следующим поколениям.

**Обучением** называется процесс получения нервной системой новой информации, а память является механизмом сохранения и/или вспоминания этой информации. Патологическое забывание или амнезия дает специфические знания о памяти, амнезия связана с неспособностью учиться получению новой информации. Именно обучение обеспечивает **приспособление** индивида к изменяющейся окружающей обстановке, к переменам во внешней и внутренней среде. На сегодняшний день установлено, что процессы формирования **памяти** и их хранения являются исключительно динамичными. Поэтому определение природы и временной эволюции биологических изменений, которые сопровождают кодирование (раскодирование), хранение и напоминание являются ключевыми в понимании формирования памяти. Напоминание индуцирует **пластичность**, которая приводит к реконсолидации оригинальной существующей памяти, когда нужны критические молекулярные события, необходимые для стабилизации памяти или ее угасания.

Под пластическими перестройками понимаются «любые изменения эффективности или направленности связей между нервными клетками, которые по длительности превышают обычные синаптические и импульсные процессы». **Пластичность** – основная и наиболее специфическая характеристика нервных клеток. Пластические изменения приводят к длительным модификациям клеточной и синаптической функций, которые позволяют объяснить простые видоизменения поведенческих реакций. Гипотеза о нейронной пластичности была предложена для того, чтобы



примиришь представление о детерминированности нервной системы с хорошо известным фактом изменчивости поведения, и она хорошо предсказывает способность нейронов и особенно их синапсов изменять свои функциональные свойства в результате повторной активации.

Наиболее полно пластичность проявляется при ассоциативном и неассоциативном обучении. Первое общее предположение, лежащее в основе исследования обучения заключалось в том, что ассоциативные изменения – это свойства сложных сетей. Хебб предположил, что ассоциация может формироваться при совпадении запуска потенциалов действия на пресинаптическом и постсинаптическом нейронах (пре-, пост совпадение). Другой механизм был предложен на основе исследований на моллюске *Aplysia*, где ассоциация формировалась при совпадении потенциала действия (ПД) в пресинаптическом нейроне с ПД в модуляторном нейроне (пре- модуляторное совпадение). Этот ассоциативный механизм получил название пре- модулирующего или облегчения, зависящего от активности.

Поведение человека и животных развивается, обогащается и видоизменяется благодаря индивидуальному опыту, учету прошлого, способности к обучению. Именно обучение обеспечивает приспособление индивида к изменяющейся окружающей обстановке, к переменам во внешней и внутренней среде. Прежде всего, выделяют ассоциативные и неассоциативные формы обучения. **Неассоциативные формы обучения** – это привыкание, сенситизация, гетеросинаптическое облегчение, посттетаническая потенциация. К **ассоциативному обучению** относят классический и инструментальный условные рефлексы. К обучению обычно не относят изменения реакций, связанные с сенсорной адаптацией, утомлением, т.е. с процессами в рецепторном или двигательном аппарате, а

также функциональные перестройки, непосредственно обусловленные созреванием морфологических структур и систем организма.

Отдельное направление развития науки о поведении - это изучение феноменологии поведения и физиологических основ обучения, т.е. речь идет об изменении животным своего поведения в процессе накопления опыта. Обучение вызывает изменения в поведении, часто довольно продолжительные, поэтому рассмотрим эту форму поведения более подробно. Одним из определений является, что обучение – это процесс, состоящий в появлении адаптивных изменений индивидуального поведения в результате приобретения опыта. Это определение подчеркивает два важных признака обучения. С одной стороны, это - появление адаптивных изменений, и, с другой стороны, демонстрация того, что обучение является процессом.

Многие вопросы, связанные с решением вопросов об обучении легче решать с испытуемыми-людьми, т.к. их можно расспросить, они могут рассказать о процессе обучения. Это сталкивает нас с проблемой механизмов обучения. Вопросы, связанные с количественной характеристикой поведения и анализом механизмов, были успешно решены в рамках экспериментальных исследований обучения.

К ассоциативным формам пластичности относятся классический условный рефлекс Павлова и инструментальный рефлекс Торндайка. Занимаясь изучением пищевых рефлексов, *И.П.Павлов* обратил внимание на появление слюноотделения не только на пищевое раздражение, но и на сопутствующие пище натуральные раздражения, такие как ее вид и запах, а также на, казалось бы, совершенно индифферентные внешние воздействия. Вид человека, приносящего пищу, звонок, свет и другие на первый взгляд не относящиеся к кормлению условные раздражения, при сочетании с эффективным безусловным раздражением - пищей, после нескольких

повторений приобретали способность вызывать не свойственную им ранее реакцию - условный слюноотделительный рефлекс. Несмотря на большое разнообразие форм условно-рефлекторных реакций, существование различных классификаций, на особенности условно-рефлекторных реакций у разных видов животных, их принципиальное единство не вызывает сомнений. *И.П. Павловым* и его учениками было установлено, что условные реакции вырабатываются на основе использования обычного аппарата безусловных рефлексов. Показано, что сочетание двух раздражений представляет собой ассоциацию совпадающих во времени воздействий, в результате которой происходят перестройки в центральной нервной системе, сопровождающиеся появлением нового, временного эффекта на структурно не связанное с ним внешнее раздражение. При этом раздражение должно иметь биологически важное значение для организма.

Классические условные реакции подразделяют по двум независимым критериям:

1) по характеру ответа на условный стимул - условный рефлекс представляет собой либо новую реакцию (классический условный рефлекс), либо видоизменение уже существующей реакции на условный стимул (это так называемый альфа-условный рефлекс);

2) по ассоциативной специфичности сочетания условного и безусловного стимулов, требуемой для выработки условного рефлекса.

При ассоциативной выработке условного рефлекса, его образование зависит от точного сочетания условных и безусловных стимулов. Если многократные изолированные предъявления безусловного стимула или случайные сочетания условного и безусловного стимулов приводят к появлению условного рефлекса, неотличимого от реакции, вырабатываемой при стандартной процедуре сочетания стимулов, то это означает, что

произошла неассоциативная выработка условного рефлекса. Таким образом, возможны 4 типа результатов: ассоциативная классическая выработка условного рефлекса, ассоциативная выработка альфа- условного рефлекса, неассоциативная классическая выработка псевдоусловного рефлекса и неассоциативная выработка альфа-рефлекса (сенситизация).

Э.А. Асратян (1983) предложил несколько критериев отличия истинных условных рефлексов от родственных им явлений. В число критериев входит хроничность или длительность сохранения рефлекса, способность самостоятельно восстанавливаться после активного угашения, специфичность к условному раздражителю, возможность сформировать дифференцировку раздражителей, а также специфичность к сочетанному предъявлению либо индифферентного и биологически важного, либо двух биологически существенных раздражителей. Оригинальная модель ассоциативного обучения у животных была разработана *Торндайком* в 1898 году. Голодная кошка, помещенная в клетку, могла добраться до пищи, расположенной вне клетки, и получить пищевое вознаграждение, только оттянув соответствующую задвижку. После некоторых сеансов проб и ошибок животное научалось довольно быстро выходить из проблемной клетки и получать пищу. Сокращение времени пребывания в клетке служило мерой обучения. На основании подобных экспериментов были сформулированы законы обучения: закон упражнений и закон эффекта. Согласно первому закону изменчивая связь между ситуацией и реакцией организма усиливается при повторении и ослабляется при неповторении эксперимента. В соответствии с законом эффекта изменчивая связь между ситуацией и реакцией организма со временем усиливается, если вызывает удовлетворение животного, или ослабляется, если вызывает неприятное для животного состояние; в обоих случаях происходит достижение определенного результата.

Дальнейшее развитие физиологического анализа двигательного обучения связано с работами *Конорского* и *Миллера*, в которых животное в ответ на условное раздражение для того, чтобы получить подкрепление, должно было совершить определенные движения. Подкреплением обычно служило пищевое вознаграждение, или избавление от болевого раздражения. В результате выделен особый класс инструментальных условных рефлексов, которые подразделили на четыре вида: обучение через поощрение, обучение через упущение, обучение через избегание и обучение через наказание.

В отличие от классического условного рефлекса, в котором единственным для его выработки является сочетание во времени двух стимулов, при инструментальном условном рефлексе взаимоотношения между условным стимулом, условным ответом и безусловным стимулом более сложные, практически одинаковое условное движение может быть выработано при использовании совершенно различных безусловных раздражений. Выполняя инструментальный ответ, животное активно изменяет вероятность появления подкрепления, при классическом условном рефлексе ответ не оказывает никакого влияния на предъявление подкрепления. При инструментальном условном рефлексе животное обучается тому, что ранее неэффективное условное раздражение становится эффективным. Но помимо этого животное приобретает и новое движение, которое не является ни результатом облегчения альфа-рефлекса, вызываемого условным раздражением, ни реакцией на подкрепляющее воздействие.

Не надо думать, что условные рефлексы присущи только животным. Были проведены эксперименты, демонстрирующие, что эта форма обучения наблюдается и у человека. В 1937 году *Мензис* показал, как абсолютно бессознательная реакция может быть превращена в условную реакцию на зуммер. Такой реакцией было сужение сосудов в ответ на перемещение

конечностей в холодную атмосферу, при которой сосуды отодвигаются от поверхности кожи и она белеет. Был проведен эксперимент, во время которого его участники сразу же погружали руки в ведро с холодной водой после включения зуммера. Через некоторое время сужение сосудов происходило после сигнала зуммера даже в том случае, когда руки испытуемых не опускались в воду, т.е. рефлекс стал условным.

Экспериментальные психологи, анализируя типы обучения у животных, выделяют: реакции привыкания, условные реакции, реакции различения, выработку пространственной ориентировки, инструментальные условные рефлексы и дрессировку, «разумные» реакции научения. Тогда обучение у человека будет включать процесс обусловливания, перцептивные, сенсомоторное, моторное, вербальное и «разумное» или когнитивные формы научения. На сегодняшний день показано, что существуют и другие формы обучения, отличные от условных рефлексов, такие как импринтинг, латентное научение, викарное научение и т.п. Широко распространенное явление – это условные рефлексы, формирующиеся после одного единственного сочетания.

Очень интересным фактом является **обучение с одной попытки**, встречающееся даже у примитивных животных. Речь идет о встрече с очень сильными стимулами, в основном опасными для жизни, травмирующими. Событие может произойти только один раз, но это обучение становится чрезвычайно устойчивым к затуханию. Прежде всего, такой вид обучения относится к различным формам пищевых отравлений. Обучение с одной попытки представляет собой чрезвычайно важную с точки зрения выживания характеристику для всех животных и ясно, что оно сформировалось на самых ранних этапах эволюции. Эта форма обучения может также служить основой целого ряда фобий, которые обусловлены однократным испугом.

**Когнитивное обучение** объединяет высшие формы обучения, свойственные в большей степени взрослым животным с высокоразвитой нервной системой и основанные на ее свойстве формировать целостный образ окружающей среды. Существует большой набор более сложных форм обучения, которые относят к когнитивным формам. Это относится, в том числе и к следующим парадигмам научения: латентному научению, сенсорному предобусловливанию, импринтингу, викарному научению.

**Латентное научение** – это обучение без видимого вознаграждения, наблюдаемое, например, тогда, когда животное знакомится с окружающей средой путем ее обследования. Крысы, имевшие возможность изучать лабиринт в течение нескольких дней без вознаграждения, позже, в опытах с пищевым подкреплением, быстрее проходят нужный путь и делают меньше ошибок, чем контрольные животные, которые раньше не знакомились с лабиринтом. Крыса должна изучить весь лабиринт путем разведки без подкрепления; вознаграждение просто побуждает животное учиться быстрее. Латентное научение весьма распространено в природе и явно выражено в разведочном поведении животных, имеющих свой «дом».

**Викарное научение** – это обучение через наблюдение, через показ. Нужно подчеркнуть, что хотя обучение не передается генетически, но викарное научение – это способ передачи навыков и опыта, накопленных предыдущими поколениями молодым особям, потомству. Например, воспитание тигрицей своих детенышей. Важную роль этот способ передачи знаний играет у людей при передаче умений и хитростей ремесел, включая практические занятия у студентов.

**Импринтинг** обычно наблюдается у птиц, которые начинают передвигаться почти сразу после вылупления из яйца – это своего рода «привязанности», реакция следования за любым крупным движущимся предметом (в норме – матерью), который птенец видит сразу после своего

появления на свет. Импринтинг иллюстрирует тесную связь между развитием и определенными типами приобретенного поведения, указывая на то, что два процесса, возможно, имеют какие-то общие черты. Но важным отличием импринтинга от обычного обучения является то, что эта форма обучения может происходить только на определенной стадии развития животного и является необратимым. Импринтинг возникает быстро, но только в течение критического раннего периода развития; будучи однажды приобретен, он обычно не исчезает. Импринтинг больше всего изучен на примере реакции следования у птиц. Исследователи нашли, что тут могут быть особые предпочтения. Например, часто слишком интенсивные движения могут вызвать реакцию бегства, а не приближения. Также могут быть световые предпочтения. Показано также, что при необходимости преодолевать определенные барьеры, в некоторых случаях импринтинг закрепляется значительно прочнее. Явление импринтинга позволяет решать очень существенный вопрос для адаптации животных, перенося генетически наследуемый признак в конкретные условия проживания популяции.

Одной из форм высшей нервной деятельности является элементарная рассудочная деятельность. Наиболее характерное свойство **элементарной рассудочной деятельности животных** – это их способность улавливать простейшие эмпирические законы, связывающие предметы и явления окружающей среды, и возможность оперировать этими законами при построении программ поведения в новых ситуациях. Эта форма адаптивного поведения может осуществляться при первой встрече организма с необычайной ситуацией, создавшейся в среде его обитания. При этом согласно представлениям *Л.В.Крушинского*, степень развития элементарной рассудочной деятельности животных на всех ступенях филогенеза детерминирована уровнем развития мозга.



## *Тема 2*

### **Влияние окружения на память. Виды памяти.**

Многие жизненные психологические проблемы, казалось бы, связанные с памятью, на самом деле зависят не от памяти как таковой, а от возможности обеспечить длительное и устойчивое внимание человека к запоминаемому или припоминаемому материалу. Если удастся обратить внимание человека на что-либо, сосредоточить его внимание на этом, то соответствующий материал лучше запоминается и, следовательно, дольше сохраняется в памяти. Этот факт можно проиллюстрировать с помощью следующего опыта. Если предложить человеку закрыть глаза и неожиданно предложить ответить, например, на вопрос о том, какого цвета, формы и какими другими особенностями обладает предмет, который он не раз видел, мимо которого неоднократно проходил, но который не вызывал к себе повышенного внимания, то человек с трудом может ответить на поставленный вопрос, несмотря на то, что видел этот предмет множество раз. Многие люди ошибаются, когда их просят сказать, какой цифрой, римской или арабской, изображена на циферблате их механических ручных часов цифра 6. Нередко оказывается, что ее на часах нет вообще, а человек, десятки и даже сотни раз смотревший на свои часы, не обращал внимание на этот факт и, следовательно, не запомнил его. Процедура введения информации в кратковременную память и представляет собой акт обращения на нее внимания.

Одним из возможных механизмов кратковременного запоминания является временное кодирование, т. е. отражение запоминаемого материала в виде определенных, последовательно расположенных символов в слуховой или зрительной системе человека. Например, когда мы запоминаем нечто такое, что можно обозначить словом, то мы этим словом, как правило, пользуемся, мысленно произнося его про себя несколько раз, причем делаем

это или осознанно, продуманно, или неосознанно, механически. Если требуется зрительно запомнить какую-либо картину, то, внимательно посмотрев на нее, мы обычно закрываем глаза или отвлекаем внимание от разглядывания для того, чтобы сосредоточить его на запоминании. При этом мы обязательно стараемся мысленно воспроизвести увиденное, представить его зрительно или выразить его смысл словами. Часто для того, чтобы нечто действительно запомнилось, мы стараемся по ассоциации с ним вызвать у себя определенную реакцию. Порождение такой реакции следует рассматривать как особый психофизиологический механизм, способствующий активизации и интегрированию процессов, служащих средством запоминания и воспроизведения.

Тот факт, что при введении информации в долговременную память она, как правило, перекодируется в акустическую (языковую) форму, доказывается следующим экспериментом. Если испытуемым зрительно предъявить значительное количество слов, заведомо превышающих по своему числу объем кратковременной памяти, и затем проанализировать ошибки, которые они допускают при ее воспроизведении, то окажется, что нередко правильные буквы в словах замещаются теми ошибочными буквами, которые близки к ним по звучанию, а не по написанию. Это, очевидно, характерно только для людей, владеющих вербальной символикой, т. е. звуковой речью. Люди, глухие от рождения, не нуждаются в том, чтобы преобразовать видимые слова в слышимые. В случаях болезненных нарушений долговременная и кратковременная память могут существовать и функционировать как относительно независимые. К примеру, при таком болезненном нарушении памяти, которое именуется ретроградной амнезией, страдает в основном память на недавно произошедшие события, но обычно сохраняются воспоминания о тех событиях, которые имели место в далеком прошлом. При другом виде заболевания, также связанном с нарушениями памяти, – антероградной амнезии — сохранной остаётся и кратковременная,

и долговременная память. Однако при этом страдает способность ввода новой информации в долговременную память.

**Память** — одно из свойств нервной системы, заключающееся в способности какое-то время сохранять информацию о событиях внешнего мира и реакциях организма на эти события, а также многократно воспроизводить и изменять эту информацию. Память – самая долговечная из наших способностей. В старости люди помнят события детства. Случайно обороненное слово может навеять воспоминание о давно минувших событиях, воскресить давно забытые черты лица, пейзаж. Память определяет нашу индивидуальность и заставляет нас действовать тем или иным образом наравне, а может быть и в большей степени, чем любая другая отдельно взятая особенность нашей личности. По словам *Стивена Роуза*, наше настоящее является продолжением прошлого, оно вырастает из прошлого и формируется им благодаря памяти. Именно память спасает прошлое от забвения, не дает ему стать таким же непостижимым, как будущее. Иными словами, память придает направленность ходу времени.

Существует несколько оснований для классификации видов человеческой памяти. Одно из них – деление памяти по времени сохранения материала, другое – по преобладающему в процессах запоминания, сохранения и воспроизведения материала анализатору. В первом случае выделяют мгновенную, кратковременную, оперативную, долговременную и генетическую память. Во втором случае говорят о двигательной, зрительной, слуховой, обонятельной, осязательной, эмоциональной и других видах памяти. Рассмотрим и дадим краткое определение основным из названных видов памяти.

**Мгновенная (сенсорная), или иконическая, память** связана с удержанием точной и полной картины только что воспринятого органами чувств, без какой бы то ни было переработки полученной информации.

Мгновенная память представляет собой полное остаточное впечатление, которое возникает от непосредственного восприятия стимулов. Она является непосредственным отражением информации органами чувств. Емкость этого регистра очень большая, она включает разные модальности (зрительная, тактильная, слуховая, вербальная и т.д.). Ее длительность от 0,1 до 0,5 с. Это – память-образ.

**Кратковременная память** представляет собой способ хранения информации в мозгу в течение короткого промежутка времени. Длительность удержания мнемических следов здесь не превышает нескольких десятков секунд, в среднем около 20с (без повторения). В кратковременной памяти сохраняется не полный, а лишь обобщенный образ воспринятого, его наиболее существенные элементы. Эта память работает без предварительной сознательной установки на запоминание, но зато с установкой на последующее воспроизведение материала. Кратковременную память характеризует такой показатель, как объем. Он в среднем равен от 7 до 9 единиц информации и определяется по числу единиц информации, которое человек в состоянии точно воспроизвести после несколько десятков секунд однократного предъявления ему этой информации. Кратковременная память связана с так называемым актуальным сознанием человека. Из мгновенной памяти в нее попадает только та информация, которая сознается, соотносится с актуальными интересами и потребностями человека, привлекает к себе его повышенное внимание. Специфическая часть процедурной кратковременной памяти называется рабочей памятью, которая представляет возможность удержания информации в мозге достаточно долго, чтобы произвести некоторые действия.

**Рабочей (оперативной)** называют память, рассчитанную на хранение информации в течение определенного, заранее заданного срока, в диапазоне от нескольких секунд до нескольких дней. Срок хранения сведений этой

памяти определяется задачей, вставшей перед человеком, и рассчитан только на решение данной задачи. После этого информация может исчезать из оперативной памяти. Этот вид памяти по длительности хранения информации и своим свойствам занимает промежуточное положение между кратковременной и долговременной. **Оперативная** (рабочая) память связана с хранением информации, необходимой для решения конкретной задачи, в течение времени, которое требуется для ее решения. Но она отличается от кратковременной памяти, поскольку к оперативной памяти относятся только те следы, которые были воспроизведены. Кроме того, в ее состав входит часть информации из долговременной памяти, которая используется для характеристики текущей информации. Оперативная память обеспечивает срочную активацию и кратковременное хранение символической информации, а также возможность манипулирования ею. Такими примерами могут служить операция переноса при вычислении в уме, планирование шахматных ходов и вообще любых разговоров с предстоящими партнерами. Информация из оперативной памяти может стать долговременной, если позднее будет прочно зафиксирована. Использование языка существенно влияет на память. Тестирование памяти показывает, что словесное описание событий может предопределить ответ испытуемого, потому что словесная память сохраняется значительно прочнее, чем другие формы памяти. Исследования демонстрируют не только важную роль языка, но также показывают, что **память является активным процессом**. Наша память всегда приспосабливается к полученной информации, пытается ее осмыслить. Т.е., состояние энграммы предопределяется готовностью нашего мозга к считыванию. Активность энграммы обнаруживается в возбуждении нейронов, отвечающих за формирование данного следа памяти. Для воспроизведения доступен только активный след, большинство же следов памяти находится в неактивном состоянии. С этой точки зрения кратковременная память – это активная память.

**Долговременная память** – это **память**, способная хранить информацию в течение практически неограниченного срока. Информация, попавшая в хранилища долговременной памяти, может воспроизводиться человеком сколько угодно раз без утраты. Более того, многократное и систематическое воспроизведение данной информации только упрочивает ее следы в долговременной памяти. Последняя предполагает способность человека в любой нужный момент припомнить то, что когда-то было им запомнено. При пользовании долговременной памятью для припоминания нередко требуется мышление и усилия воли, поэтому ее функционирование на практике обычно связано с двумя этими процессами.

**Генетическую память** можно определить как такую, в которой информация хранится в генотипе, передается и воспроизводится по наследству. Основным биологическим механизмом запоминания информации в такой памяти являются, по-видимому, мутации и связанные с ними изменения генных структур. Генетическая память у человека – единственная, на которую мы не можем оказывать влияние через обучение и воспитание.

Понятие о кратковременной и долговременной памяти или концепция временной организации памяти является общим для большинства теорий памяти. По мнению одних исследователей, в кратковременной памяти след удерживается от нескольких секунд до нескольких часов, а в долговременной – от нескольких часов до нескольких дней, после чего переходит в постоянное хранение. Согласно современным представлениям, формирование следа памяти осуществляется в несколько последовательных этапов, составляющих процесс ее **консолидации** – перехода из кратковременной формы в долговременную. Считается, что по окончании этого процесса след памяти становится стабильным и не поддается стиранию.

Другое деление основано на сенсорных системах или по характеру психической активности, преобладающей в деятельности.

**Зрительная память** связана с сохранением и воспроизведением зрительных образов. Она чрезвычайно важна для людей любых профессий, особенно для инженеров и художников. Хорошей зрительной памятью нередко обладают люди с эйдетическим восприятием, способные в течение достаточно продолжительного времени «видеть» воспринятую картину в своем воображении после того, как она перестала воздействовать на органы чувств. В связи с этим данный вид памяти предполагает развитую у человека способность к воображению. На ней основан, в частности, процесс запоминания и воспроизведения материала: то, что человек зрительно может себе представить, он, как правило, легче запоминает и воспроизводит.

**Слуховая память** — это хорошее запоминание и точное воспроизведение разнообразных звуков, например музыкальных, речевых. Она необходима филологам, людям, изучающим иностранные языки, акустикам, музыкантам.

Особую разновидность **речевой памяти** составляет словесно-логическая, которая тесным образом связана со словом, мыслью и логикой. Данный вид памяти характеризуется тем, что человек, обладающий ею, быстро и точно может запомнить смысл событий, логику рассуждений или какого-либо доказательства, смысл читаемого текста и т. п. Этот смысл он может передать собственными словами, причем достаточно точно. Этим типом памяти обладают ученые, опытные лекторы, преподаватели вузов и учителя школ.

**Двигательная память** представляет собой запоминание и сохранение, а при необходимости и воспроизведение с достаточной точностью многообразных сложных движений. Она участвует в формировании

двигательных, в частности трудовых и спортивных, умений и навыков. Совершенствование ручных движений человека напрямую связано с этим видом памяти. Эта форма является основной для процедурной памяти.

**Эмоциональная память** — это память на переживания. Она участвует в работе всех видов памяти, но особенно проявляется в человеческих отношениях. На эмоциональной памяти непосредственно основана прочность запоминания материала: то, что у человека вызывает эмоциональные переживания, запоминается им без особого труда и на более длительный срок.

Осязательная, обонятельная, вкусовая и другие виды памяти особой роли в жизни человека не играют, и их возможности по сравнению со зрительной, слуховой, двигательной и эмоциональной памятью ограничены. Их роль в основном сводится к удовлетворению биологических потребностей или потребностей, связанных с безопасностью и самосохранением организма.

По характеру участия воли в процессах запоминания и воспроизведения материала память делят на произвольную и произвольную. В первом случае имеют в виду такое запоминание и воспроизведение, которое происходит автоматически и без особых усилий со стороны человека, без постановки им перед собой специальной мнемической задачи (на запоминание, узнавание, сохранение или воспроизведение). Во втором случае такая задача обязательно присутствует, а сам процесс запоминания или воспроизведения требует волевых усилий.

Непроизвольное запоминание не обязательно является более слабым, чем произвольное, во многих случаях жизни оно превосходит его. Установлено, например, что лучше непроизвольно запоминается материал, который является объектом внимания и сознания, выступает в качестве цели,



а не средства осуществления деятельности. Непроизвольно лучше запоминается также материал, с которым связана интересная и сложная умственная работа и который для человека имеет большое значение. Показано, что в том случае, когда с запоминаемым материалом проводится значительная работа по его осмыслению, преобразованию, классификации, установлению в нем определенных внутренних (структура) и внешних (ассоциации) связей, произвольно он может запоминаться лучше, чем произвольно. Это особенно характерно для детей дошкольного и младшего школьного возраста.

### Тема 3

#### Процесс консолидации следов памяти.

**Память** – самая долговечная из наших способностей. В старости люди помнят события детства. Случайно обороненное слово может навеять воспоминание о давно минувших событиях, воскресить давно забытые черты лица, пейзаж. Память определяет нашу индивидуальность и заставляет нас действовать тем или иным образом наравне, а может быть и в большей степени, чем любая другая отдельно взятая особенность нашей личности. По словам *Стивена Роуза*, наше настоящее является продолжением прошлого, оно вырастает из прошлого и формируется им благодаря памяти. Именно память спасает прошлое от забвения, не дает ему стать таким же непостижимым, как будущее. Иными словами, память придает направленность ходу времени.

Для каждого из нас **память уникальна**. Память позволяет нам осознавать нашу индивидуальность, а также личности других людей. Мы должны помнить, что следы памяти – это живые процессы, которые трансформируются и наполняются новым содержанием всякий раз, когда мы их оживляем. Большая часть истории человечества протекала до появления современных технологий, даже до появления письменности. В первобытных сообществах память о жизни отдельных людей, истории семей и племен передавалась в устной форме. То, что не удерживалось в индивидуальной памяти или не передавалось в процессе устного сообщения, навсегда забывалось. Воспоминания людей, внутренние следы их опыта должны были быть самыми хрупкими сокровищами. В таких бесписьменных культурах память подлежала постоянному упражнению, а воспоминания – сохранению и обновлению. Такими людьми были старейшины и барды. С появлением письменности этот процесс резко изменился, появилась возможность передачи более подробных и достоверных характеристик прошедших

событий, но с другой появилась возможность более простых подделок истории, каковыми, например, являются подделки и подчистки летописей. Новые современные технические средства меняют природу запоминания еще более резко. Сначала это были магнитофоны и видеомагнитофоны, а сегодня – это новейшие компьютерные технологии. Характерной особенностью этих новейших средств является изменение природы памяти, т.к. они придают ей линейный, фиксированный характер, в противоположность образной памяти, проявляющейся в устной форме.

Когда мы говорим о механизмах памяти, то мы говорим о процессах, через которые должен пройти любой человек, чтобы запомнить нужную информацию, а впоследствии ее воспроизвести. Основными процессами памяти являются: запоминание, сохранение, воспроизведение и забывание.

**Запоминание** – запечатление в сознании человека полученной информации, которая является необходимым условием обогащения опыта человека новыми знаниями, нормами поведения. Запоминание может быть произвольным, запланированным, а также непроизвольным, протекать независимо от воли человека.

**Сохранение** – удерживание в памяти полученных знаний в течение относительно длительного времени. При этом следы памяти не исчезают, а фиксируются в мозге, даже после исчезновения возбудителей, их вызвавших.

**Воспроизведение** – активизация закрепленного ранее содержания. Этот этап вспоминания или воспроизведения лежит в основе познавательных процессов. Благодаря этой фазе информация извлекается из библиотеки памяти.

**Забывание** – процесс, противоположный сохранению. Процесс забывания всегда интересовал исследователей. Было выяснено, что наибольший объем информации забывается в первый день после

запоминания. Забывание может нести как негативную, так и позитивную функцию. Например, память о событиях, связанных с мучительными чувствами.

**След памяти**, сформированный в процессе обучения, называется **энграммой**. Описание энграммы может быть выполнено как минимум по трем параметрам: динамике развития процессов, приводящих к становлению следа; параметру состояния энграммы, характеризующему ее готовность к воспроизведению; по устройству энграммы, характеризующему механизмы, которые лежат в основе ее создания. Утрата энграммы вследствие ее повреждения называется **амнезией** (отсутствие памяти). Выделяют антероградную (неспособность сформировать энграмму после воздействия) и ретроградную (утрата памяти на определенные события в период, предшествующий воздействию).

Наиболее общепринятая гипотеза предполагает, что формирование энграммы осуществляется в два этапа. Сначала наблюдается **кратковременная фаза**, которая характеризуется неустойчивым состоянием и длится примерно в течение часа. Именно на этом этапе след памяти очень уязвим для действия различных амнезирующих веществ и воздействий. Второй этап – это переход следа памяти в устойчивое состояние, которое не меняется в течение продолжительного времени (сутки и более) – **долговременная память**. Фиксация энграммы осуществляется в процессе **консолидации**. В зарубежной литературе этот этап часто именуют промежуточной памятью.

Одна из ключевых проблем нейронаук – проблема памяти, то есть приобретения, хранения и последующего воспроизведения нового опыта. Согласно современным представлениям, формирование следа памяти осуществляется в несколько последовательных этапов, составляющих процесс ее **консолидации** – перехода из кратковременной формы в

долговременную. Считается, что по окончании этого процесса след памяти становится стабильным и не поддается стиранию.

Основные положения теории консолидации следующие:

- Фиксацию следа памяти обеспечивает процесс консолидации.
- След памяти тем устойчивее, чем больший интервал времени проходит от момента завершения обучения до момента предъявления амнестического агента.
- След памяти можно разрушить, если он еще не консолидировался или консолидировался частично.
- Прерывание процесса консолидации приводит к физическому уничтожению энграммы.
- Разрушенный след памяти не восстанавливается, так как действие амнестических агентов необратимо.

Понятие консолидации объединяет два феномена, существующих на разных уровнях. Системная модель рассматривает консолидацию как процесс переноса информации из медиальных височных долей в неокортекс, что занимает недели и месяцы после обучения. Консолидация памяти на молекулярном уровне является процессом, происходящим в одних и тех же нервных клетках. Этот процесс зависит от экспрессии генов, синтеза белков *de novo* и завершается через несколько часов после обучения.

## Тема 4

### Временные фазы памяти.

#### Кратковременная и долговременная память.

Понятие о кратковременной и долговременной памяти или концепция временной организации памяти является общим для большинства теорий памяти. Поэтому важным является определение критериев принадлежности энграммы к той или иной стадии ее развития. *Д.Хэбб* выделил **два хранилища памяти: кратковременное и долговременное**. По мнению одних исследователей, в кратковременной памяти след удерживается от нескольких секунд до нескольких часов, а в долговременной – от нескольких часов до нескольких дней, после чего переходит в постоянное хранение. Согласно другим представлениям, в кратковременной памяти след находится несколько секунд, а в долговременной – от нескольких секунд до нескольких лет. На самом деле эти различия, скорее всего, отражают тип памяти, который был исследован – процедурная или декларативная память.

Основные характеристики кратковременной памяти следующие:

- Кратковременная память необходима для перехода следа в долговременную память.
- Содержимое кратковременной памяти быстро угасает (оно может быть разрушено различными амнестическими воздействиями).
- Объем кратковременной памяти ограничен, в отличие от долговременной памяти, которая практически постоянна, а объем ее бесконечен.

Основные характеристики долговременной памяти следующие:

- След памяти, прошедший консолидацию и попавший на хранение в долговременную память, не подвергается разрушающему действию амнестических агентов.
- Энграмма в долговременной памяти, в отличие от кратковременной, устойчива, время ее хранения не ограничено, так же как и сохраняемый объем информации.

Объем кратковременной памяти индивидуален. Он характеризует природную память человека и обнаруживает тенденцию к сохранению в течение всей жизни. Им в первую очередь определяется механическая память, ее возможности. С особенностями кратковременной памяти, обусловленными ограниченностью ее объема, связано такое свойство, как замещение. Оно проявляется в том, что при переполнении индивидуально ограниченного объема кратковременной памяти человека вновь поступающая информация частично вытесняет память, хранящуюся там, и последняя безвозвратно исчезает, забывается, не попадает в долговременное хранилище. Это, в частности, происходит тогда, когда человеку приходится иметь дело с такой информацией, которую он не в состоянии полностью запомнить и которая ему предъявляется непрерывно и последовательно.

К настоящему времени сложилось общее представление о том, что процессы обучения и памяти включают два класса событий – различного рода нейромедиаторные и нейромодуляторные эффекты и процессы биосинтеза нуклеиновых кислот и белков. Вскоре после открытия антибиотиков была обнаружена их способность подавлять рост и размножение бактерий, блокируя синтез белков и РНК. К наиболее апробированным ингибиторам синтеза РНК в клетках высших организмов относится актиномицин Д. Этот ингибитор, как показали эксперименты, не влияет на кратковременную память, но может эффективно нарушать память долговременную, что свидетельствовало о необходимости метаболизма для

закрепления временной связи. Однако оказалось, что применение актиномицина Д пригодно не для всех тканей данного животного и у разных животных он дает разное ингибирование биосинтеза. Наибольшее подавление долговременной памяти было получено при обучении золотых рыбок – одной из удобнейших моделей для изучения процессов запоминания. В хорошем соответствии с этими наблюдениями находится и действие одного из наиболее эффективных ингибиторов синтеза белка на следующей стадии – трансляции – циклогексимида и его аналога ацетоксициклогексимида. Он переносится и крысами, и золотыми рыбками в дозах, обеспечивающих подавление синтеза белка более чем на 90% и 80% соответственно, что оказывается достаточным для глубокого нарушения формирования долговременной памяти. С другой стороны применение антибиотиков анизомицина и спарсомицина, необратимо ингибирующих синтез белка на 97 % в течение 30 часов, не сказывалось на мембранном потенциале и генерации потенциалов действия в идентифицированных нейронах R2, R15, L7 у моллюска аплизии. Сохранялась при этом и спонтанная активность. Не менялись также и некоторые другие кратковременные функции у нейронов беспозвоночных, например, посттетаническое облегчение в клетке R15 после 30 сек тетанизации.

Введение достаточных доз таких антибиотиков в мозг вызывает почти полное прекращение синтеза в нем РНК или белков на протяжении нескольких часов. Это делает принципиально возможным постановку экспериментов двух типов. Первый тип экспериментов включает введение меченых радиоактивных предшественников белков или РНК и проведение затем сеанса обучения с целью понять существует ли синтез РНК или определенных белков в результате обучения. Второй тип экспериментов заключается в применении инъекций антибиотика, блокирующего синтез РНК или белков и проверке результатов обучения на этом фоне. Это, с одной стороны, пурамицин, блокирующий синтез РНК, а с другой стороны, -



циклогексимид, блокирующий синтез белка на 80-90%, и анизомицин, блокирующий синтез белка на 95-99%. Поэтому утверждается, что для формирования долговременной памяти необходим белковый синтез. Это утверждение доказывается экспериментами, показывающими, что при блокаде синтеза белков формирования долговременной памяти не происходит.

Консолидация памяти приводит к постепенной стабилизации долговременной памяти при переходе ее из кратковременной формы в долговременную. Вновь полученная информация какое-то время существует в лабильном состоянии. Однако, со временем, она становится стабильной, не чувствительной к разрушающим агентам, например к электрошоку, блокаторам синтеза белка. Этап консолидации долговременной памяти нуждается в экспрессии генов и синтезе новых белков. Давно возникал вопрос, каким образом новая информация взаимодействует со старой памятью, как она в нее включается. Несмотря на имеющуюся тенденцию рассматривать память как точное описание прошлых событий, научный анализ предполагает, что воспоминания не являются фиксированными объектами, а представляют собой динамический процесс обновления памяти

Основным свойством, как прокариот, так и эукариот является их способность осуществлять дифференциальную регуляцию **экспрессии генов**. Осуществляя контроль за тем, каким генам экспрессироваться, а каким нет, и также регулируя уровень экспрессии различных генов, клетки приспособливают свой фенотип к определенным условиям внутренней и внешней среды. Различия в экспрессии генов определяют различие специализации клеток организма. Особенно велики эти различия для клеток мозга, в которых экспрессируются десятки тысяч уникальных для мозга генов. Считается, что метаболическая гетерогенность нейронов, обусловленная генетически и зависящая от условий индивидуального

развития (т.е. являющаяся результатом взаимодействия фило- и онтогенетической памяти) лежит в основе разнообразия функциональной специализации нейронов и определяет специфику их участия в обеспечении поведения.

Широкий круг исследований как на моллюсках и дрозофиле, так и на позвоночных развернулся вокруг этих, так называемых, «немедленных ранних генов», экспрессирующихся за короткое время и играющих значительную роль в запуске дифференцировки и пролиферации. Было обнаружено две фазы активации синтеза белков и первая фаза активации соответствует индукции специфических регуляторных генов из класса «непосредственно ранних генов». Консолидация включает морфологические изменения нейронов, такие, например, как изменение размера синапсов, изменение их числа. Начальным звеном каскада молекулярно-биологических процессов, обуславливающих морфологические модификации нейронов как в процессе морфогенеза (ранний онтогенез), так и при консолидации памяти, формируемой у взрослых индивидов, является экспрессия «ранних» генов. Рядом авторов показано усиление их экспрессии при обучении, а также необходимость их экспрессии для формирования долговременных следов памяти. Активация «ранних» генов довольно кратковременный процесс (занимает около 2 часов), сменяемый второй волной экспрессии - «**поздних**» генов; в составе второй волны активируются морфорегуляторные молекулы, имеющие непосредственное отношение к морфологическим модификациям нейрона.

В настоящее время связь экспрессии «ранних» генов с процессами обучения, которая отмечалась уже давно, становится все более очевидной. Исследования последних лет показали, что экспрессия раннего гена *c-fos* сопровождает самые разнообразные формы обучения и играет критическую роль в формировании памяти. В исследованиях, проведенных под

руководством профессора *К.В.Анохина*, были получены данные, указывающие на то, что экспрессия «ранних» генов лежит в основе формирования специализаций нейронов в отношении вновь формируемых инструментальных поведенческих актов. Ими были получены данные, свидетельствующие о том, что при выраженной оборонительной мотивации в условиях неизбежного электрокожного раздражения у мышей наблюдается усиленная экспрессия гена *c-fos* в гиппокампе и коре головного мозга. В то же время экспрессия данного гена угасает по мере приобретения оборонительного навыка.

## *Тема 5*

### **Память и физическое развитие.**

Несмотря на явные тенденции организма к изменению с возрастом мы часто представляем мозг как некоторое постоянство во времени. Однако имеющиеся доказательства свидетельствуют, что это не так. Начиная с момента рождения, средний вес мозга постепенно увеличивается, а затем уменьшается. Общее количество синапсов в коре головного мозга к старости уменьшается, хотя число нейронов изменяется незначительно, что предполагает, что именно синаптические контакты лежат в основе функций мозга. Кроме того, тестирование показывает определенные нарушения памяти, возникающие с возрастом, например, появление болезни Альцгеймера, болезни Паркинсона и др.

Память с возрастом претерпевает определенные изменения, причем это касается как процессов запоминания, так и вспоминания. Многолетние наблюдения показывают, что в раннем детстве процесс запоминания протекает значительно быстрее, чем в зрелом возрасте, а образовавшиеся следы отличаются большей прочностью – сохраняются значительно дольше. Быстрое приобретение в детском возрасте навыков точного овладения родным языком – хорошее тому подтверждение. Кроме того, для детского возраста характерно продолжительное сохранение ярких образов, что у взрослых встречается реже. Но запоминание в детском возрасте имеет и свои недостатки. Обладая прочной памятью, маленькие дети не в состоянии запомнить по указанию то или иное содержание, избирательно задерживать одни и отбрасывать другие образы, запечатлеваемые в памяти. Также очень слабо развита в этом возрасте способность к логическому запоминанию. Способность кодирования поступающей информации и использования специальных методов запоминания развивается значительно позже – в школьном возрасте.

Первые два года жизни ребенка часто называют сенсомоторным периодом познавательного развития. По сути, ребенок тратит эти первые два года жизни на то, чтобы научиться пользоваться своим телом: как с помощью руки хватать различные предметы, координировать работу мышц, что необходимо для ползания и ходьбы, как преодолевать силу тяжести, как оценивать относительные размеры предметов, расположенных ближе и дальше, как связать физическую причину (например, потряхивание рукой) с ее следствием (звук погремушки). Люди и предметы не существуют для ребенка сами по себе, независимо от тех сенсомоторных действий, которые ребенок может выполнить по отношению к ним. Так продолжается приблизительно до двухлетнего возраста. И это хорошо совпадает с представлениями о процедурной памяти. С другой стороны, именно поэтому в этом возрасте еще нет элементов декларативной памяти. Они появляются, когда ребенок начинает приходить к определенным логическим заключениям.

Одна из наиболее удивительных особенностей человеческой памяти заключается в том, что есть тип амнезии, которой страдают все: практически никто не может вспомнить, что с ним происходит в первые три-пять лет, хотя этот период очень богат опытом. Это явление было названо **амнезией детства**. Поначалу можно подумать, что в этом нет ничего необычного, поскольку память на события со временем стирается, ведь между ранним детством и взрослой жизнью прошло очень много времени. Но амнезию детства нельзя свести к обычному забыванию. Большинство 30-летних людей могут много вспомнить о своих годах в школе, но редко кто из 18-летних сможет что-нибудь сказать о своей жизни в трехлетнем возрасте, хотя временной интервал и там и там примерно одинаков. Память на ранние события детства чаще всего связана с рассказами старших – родителей, старших братьев и сестер, родных. Амнезия детства распространяется практически на все события детства. Одной из главных причин является то,

что у взрослых воспоминания выстроены по категориям и схемам, по логическим обобщениям, а маленькие дети не обобщают свои переживания и не связывают их со схожими событиями. Кроме того, важную роль начинают играть когнитивные факторы – речь, мышление.

На уроках **физической культуры** проявляются все виды памяти: при показе физических упражнений ведущая роль принадлежит зрительной памяти; при объяснении (описании, рассказе) - слуховая и словесно-логическая; при выполнении физических упражнений - двигательная, тактильная, вестибулярная. Особую роль при занятиях физической культурой играют двигательная, тактильная и вестибулярная память, связанные с запоминанием, сохранением и воспроизведением сигналов, поступающих в кору головного мозга с проприорецепторов, с рецепторов кожи и вестибулярного аппарата. Эти виды памяти используются человеком при разучивании физических упражнений и исполнении их. Известно, что разные движения (их параметры) заучиваются с различной степенью прочности. Труднее заучиваются ощущения, возникающие в результате мышечных усилий, необходимых для выполнения тех или иных действий, легче - пространственные параметры действий, еще легче - временные параметры движений.

Было проведено исследование, в котором измеряли продуктивность применения детьми кислорода в период бега по беговой дорожке, после чего обследовали мозг всех участников при помощи магнитно-резонансной томографии - МРТ. Было показано, что дети, которые физически развиты, используют кислород более эффективно, чем их сверстники, которые менее развиты физически. В ходе данных исследований выявлено что дети, которые физически развиты немного выше большинства своих сверстников, с тестами на память справлялись гораздо лучше. Таким образом, физически-подвижные и активные игры не только благоприятствуют физическому

развитию детей, но и улучшают память. Предполагается, что физические упражнения способствуют росту стимуляции нервных окончаний, тем самым, предотвращая ослабление памяти и способствуя хорошему процессу запоминания.

Было показано, что дети с избыточным весом в возрасте 7-11 лет лучше проходили тест на сообразительность, если перед этим немного побегали, поиграли в подвижные игры. Участники этого эксперимента были разбиты на три группы. Первая группа занималась физкультурой в течение 13 недель по 40 минут ежедневно, вторая – по 20 минут, а третья, контрольная, отдыхала. Оказалось, чтобы улучшить работу мозга, не нужно подвергать себя изнуряющим нагрузкам. Достаточно 20-минутной ходьбы в быстром темпе непосредственно перед тестированием, и показатель активности мозга увеличивается на 5%.

Другие исследования показали, каким образом различные упражнения влияют на развитие и способности ребёнка. Например, если хочется, чтобы ребёнок сосредоточился хотя бы на час, лучше всего предложить ему пробежать пару кругов, а прогулка быстрым шагом помогает сосредоточиться на задании гиперактивным детям с дефицитом внимания. Двухминутная ходьба, бег и танцы оказывают моментальный положительный эффект на детское внимание и исполнительные функции. Упражнения, которые нацелены на развитие каких-либо определённых навыков (к примеру, координация движений), ухудшают внимание. Игры со сложной координацией движений (баскетбол, волейбол) помогают детям лучше сдавать тесты, требующие сосредоточенности. Большое количество правил и специальных упражнений может быть слишком трудным для детей, особенно перед тестами или в ситуациях, которые требуют сосредоточенности, однако, эти упражнения положительно влияют на развитие концентрации в перспективе.

## *Тема 6*

### **Реконсолидация следов памяти.**

Память можно определить как процесс, состоящий в запоминании, хранении и воспроизведении приобретенного опыта. Согласно современным представлениям, формирование следа памяти осуществляется в несколько последовательных этапов, составляющих процесс ее консолидации – то есть, перехода из кратковременной формы в долговременную.

В рамках молекулярно-генетического подхода одним из вопросов, ставящих под сомнение теорию консолидации памяти, является вопрос о реорганизации уже приобретенного опыта. Одним из характерных свойств долговременной памяти является ее чувствительность к блокаде белкового синтеза. Это проявляется в том, что она неустойчива сразу после получения новой информации, но становится стабильной со временем. Этот феномен известен как консолидация памяти. Известно, что долговременная память связана с длительными модификациями синаптической эффективности, что опосредуется реконструкцией существующих синапсов и добавлением новых синаптических контактов. Так как эта структурная реорганизация нуждается в новых белках и экспрессии генов, то это объясняет, почему долговременная память восприимчива к торможению синтеза белка и РНК сразу после обучения. Кроме периода чувствительности к блокаторам синтеза белка сразу после обучения, было убедительно показано, что напоминание (**обращение к памяти, реактивация памяти**) также связано с появлением периода чувствительности к блокаторам синтеза белка. *Nader с соавторами* показали, что локальное введение ингибитора биосинтеза белка анизомицина в базолатеральную мозжечковую миндалину при реактивации памяти путем напоминания разрушала память, либо способность к воспроизведению. Эти результаты и другие данные позволяют предположить, что после реактивации долговременная память или



способность к воспроизведению памяти, становятся чувствительными к ингибиторам белкового синтеза после начального обучения. Было выдвинуто предположение, что при действии напоминания память реактивируется, в процессе чего запускается каскад молекулярных событий, аналогичный протекающему при изначальном формировании памяти.

В последние годы было обнаружено, что долговременную память можно стереть или изменить при применении определенных воздействий. Поскольку эти воздействия должны применяться одновременно с блокадой белкового синтеза, явление было названо реконсолидацией. **Реконсолидация** – процесс зависимой от белкового синтеза реорганизации памяти после её извлечения каким-либо из компонентов ситуации обучения.

Представление о реконсолидационных модификациях не вступают в противоречие с имеющимся в настоящее время материалом об изменениях белкового метаболизма при научении. В рамках молекулярно-генетического подхода одним из вопросов, ставящих под сомнение теорию консолидации памяти, является вопрос о реорганизации уже приобретенного опыта. Было обнаружено, что сочетание амнестического агента с напоминанием (коротким предъявление одного из компонентов ситуации обучения) может нарушать память после истечения сроков ее консолидации. Еще *F. Bartlett* предлагал полностью отбросить взгляды, в соответствии с которыми «воспроизведение из памяти» рассматривается как «повторное возбуждение неизменных «следов». В настоящее время обнаружены молекулярно-биологические закономерности реконсолидации памяти, лежащие в основе ее модификации после повторной актуализации. При формировании нового материала памяти необходим процесс синтеза белков, лежащий в основе процессов ее консолидации. Активация памяти, как и ее формирование, требует синтеза белка для реконсолидационных процессов. В связи с этим в

последнее время предлагается связывать белок-зависимые консолидационные процессы не с «новой», а шире - с «активной» памятью.

Кроме периода чувствительности к блокаторам синтеза белка сразу после обучения, было убедительно показано, что напоминание (обращение к памяти, реактивация памяти) также связано с появлением периода чувствительности к блокаторам синтеза белка. Исследования показывают, что память является активным процессом. Наша память всегда приспособливается к полученной информации, пытается ее осмыслить. Т.е., состояние энграммы предопределяется готовностью нашего мозга к считыванию. Активность энграммы обнаруживается в возбуждении нейронов, отвечающих за формирование данного следа памяти. Для воспроизведения доступен только активный след, большинство же следов памяти находится в неактивном состоянии. Реконсолидация не отменяет модификаций, обусловивших формирование долговременной памяти.

В последние годы было обнаружено, что долговременную память можно стереть или изменить при применении определенных воздействий. Поскольку эти воздействия должны применяться одновременно с блокадой белкового синтеза, явление было названо реконсолидацией. Реконсолидация – процесс зависимой от белкового синтеза реорганизации памяти после её извлечения каким-либо из компонентов ситуации обучения. Было показано, что существуют критические периоды консолидации памяти, которые были найдены при применении различных процедур (протоколов) проведения экспериментов. Реактивация памяти показана и у беспозвоночных животных, которая интерпретируется как реактивация, которая похожа на аналогичную у позвоночных. консолидированная память возвращается в лабильное состояние, которое требует белкового синтеза *de novo*. Такие находки не могут быть предсказаны традиционной теорией консолидации.

## *Тема 7*

### **Реконсолидация моторной памяти конечностей.**

Память можно определить как процесс, состоящий в запоминании, хранении и воспроизведении приобретенного опыта. Согласно современным представлениям, формирование следа памяти осуществляется в несколько последовательных этапов, составляющих процесс ее консолидации – то есть, перехода из кратковременной формы в долговременную.

Так как консолидированные воспоминания становятся временно неустойчивыми после реактивации памяти, что позволяет обновлять их путем повторного объединения, было проведено исследование приобретения (восстановления) моторных навыков у людей применением метода реконсолидации. Этими авторами сначала было найдено, что эффекты постреактивационной тренировки зависят от типа практики. Поэтому встал вопрос, может ли постреактивационная тренировка двигательных навыков одной конечности повысить производительность противоположной конечности. Описываемое исследование было направлено на изучение того, улучшит ли тренировка после реактивации (выполнение задания с изометрической силой сжатия) в двух разных условиях тренировки с использованием левой конечности двигательные навыки правой конечности за счет восстановления. Двигательные навыки были измерены у 38 здоровых молодых людей с правой рукой в течение трех сеансов: S1 (предварительная тренировка правой руки), S2 (восстановление памяти и тренировка левой руки через 6 ч после S1) и S3 (тренировка правой руки через 24 ч после S1). Участники были распределены в одну из трех групп в соответствии с заданием, выполняемым во время S2: неподготовленные элементы управления (без обучения), тренировка левой руки (условия постоянной силы), или тренировка левой руки (условия переменной силы). Тренировка левой руки после восстановления памяти во время S2 значительно улучшила

двигательные навыки правой руки. Примечательно, что постоянные условия тренировок значительно повысили производительность по сравнению с контрольной группой. Эти результаты свидетельствуют о том, что тренировка после реактивации в одной конечности эффективно укрепляет двигательные навыки в противоположной конечности, и результаты зависят от стратегии тренировки, которая имеет важные последствия для двигательной реабилитации.

## *Тема 8*

### **Двигательная память.**

Любая деятельность в жизни человека, в том числе и спортивная, закрепляется во всех видах его памяти. При занятиях физическими упражнениями и спортом большое значение имеет **двигательная память**, которая проявляется в запоминании и воспроизведении движений и их систем. Она лежит в основе формирования двигательных навыков и привычек. Двигательная память запоминается зрительно, двигателью, тактильно, вестибулярно, мысленно и даже эмоционально. За счет различных модальностей восприятия и возникновения определенных образов в памяти фиксируется интегральный образ физического упражнения, который в дальнейшем становится эталоном для управления движениями при выполнении двигательных действий.

Без памяти на движения мы должны были бы каждый раз учиться осуществлять соответствующие действия. Обычно признаком хорошей двигательной памяти является физическая ловкость человека, сноровка в труде. Встречаются люди с ярко выраженным преобладанием двигательной памяти над другими. К примеру, профессии некоторых людей (танцоров, акробатов, гимнастов) находятся в прямой зависимости от хорошей двигательной памяти, которая позволяет им с детальной точностью повторить, какие-либо движения или даже целый танец.

Как и все остальные виды памяти, двигательная зависит от многих факторов и склонна к забыванию. Однако процесс забывания движений протекает медленно, и при повторении память быстро восстанавливается. Также двигательная память способна существовать в автономном режиме. Например, научившись ходить, есть столовыми приборами и совершать многие другие действия, человек осуществляет их, уже не задумываясь.

У детей двигательная память возникает на первом месяце жизни и сначала она выражается только в двигательных условных рефлексах. В дальнейшем запоминание и воспроизведение движений начинают принимать сознательный характер, тесно связываясь с процессами мышления. Двигательная память может развиваться в течение всей жизни, кроме того, она зависит от генетической предрасположенности и рода деятельности человека. Например, у спортсменов и людей, занимающихся физическим трудом, эта память развита лучше, чем у других. Двигательная память, как и любая другая, тренируется с помощью специальных упражнений.

## *Тема 9*

### **Этапы формирования двигательного навыка и двигательной памяти.**

Во время обучения двигательным действиям вырабатываются двигательные умения, то есть человек может выполнять движение, осознанно контролируя его. Когда тренировка освоенного двигательного умения продолжается, то оно формируется в двигательный навык. Например, при обучении езде на велосипеде, человек сначала сознательно контролирует движения ног, рук, туловища, головы — произвольно удерживает на них внимание. При многократном повторении движения автоматизируются и формируется навык их выполнения — велосипедист может ехать, не думая о том, как работать ногами, руками, куда поворачивать голову и т.п. Образованный двигательный навык способствует реализации конкретного двигательного действия. Например, если человек уже едет на велосипеде, не задумываясь, то, чтобы попробовать прокатиться на одном колесе или без рук, нужно снова осознанно произвольно контролировать свои действия. Таким образом, двигательный навык — это сформированная в результате обучения и многократного повторения способность к осуществлению движения с определенными параметрами (скоростью, точностью, интенсивностью) без сознательного контроля за ним. В спорте двигательные навыки связаны с наиболее эффективным способом решения двигательной задачи и могут исполняться автоматически. Так как в стрессовых условиях во время соревнования спортсмен не всегда может успевать осознанно контролировать выполнение всех своих движений.

Любые навыки не врожденные, а вырабатываются при включении в различные виды деятельности. Сначала человек смотрит, как выполняется такое движение, потом пробует его выполнить, корректирует ошибки и снова пробует. При повторении движений, составляющих упражнение, образуется двигательный (динамический) стереотип — устойчивая

последовательность условных и безусловных рефлексов, сопровождаемая вегетативными реакциями. Динамический стереотип представляет собой физиологическую основу двигательного навыка, позволяет автоматически очень быстро выполнять то или иное движение. Формирование двигательного стереотипа в циклических видах спорта происходит быстрее и проще, чем в ситуационных видах. При этом сформированный стереотип тормозит выработку похожего стереотипа. Поэтому нужно ответственно относиться к обучению навыкам молодых спортсменов, так как переучить их при наличии ошибок будет непросто. Двигательные навыки могут совершенствоваться на протяжении всей спортивной карьеры. На базе ранее освоенных двигательных действий формируются новые, более сложные. Например, фигурист, научившись делать одинарный прыжок, затем осваивает двойной, тройной и т.д.

С возрастом, перенесенными болезнями, эмоциональной усталостью и другими причинами может наблюдаться снижение функциональных возможностей организма, в этом случае выполнение навыка ухудшается. Если по каким-то причинам навык долго не воспроизводится, то наступает его деавтоматизация — ослабление и полная его утрата. Прежде всего деавтоматизируются сложнокоординационные навыки. Некоторые двигательные навыки (плавание, катание на велосипеде или на коньках) полностью не исчезают даже при длительных перерывах.

Процесс обучения двигательному навыку включает в себя несколько этапов:

- 1) побуждение к действию (связано с мотивацией спортсмена и другими психологическими характеристиками);
- 2) формирование общего плана действия, когда человек создает в сознании определенный образец нужного действия. В этом процессе принимают участие механизмы восприятия, внимания, памяти.



- 3) формирование общей схемы движения, когда оно выполняется под контролем сознания;
- 4) совершенствование движения: спортсмен отбирает наиболее эффективные действия, отказывается от лишних, сокращает число ошибок. Внешний контроль выполнения движения уступает место внутреннему контролю с помощью вестибулярного аппарата и проприоцептивной чувствительности;
- 5) стабилизация и автоматизация: движение выполняется оптимальным образом, быстро, без контроля сознания. Также как и сам навык, контроль за его исполнением, происходят автоматически.

В последние два десятилетия появилось много исследований, открывающих нам понимание в том какие структуры мозга человека ответственны за запоминание, хранение и воспроизведение информации в процессе двигательной памяти. Благодаря развитию таких подходов как неинвазивная стимуляция мозга человека или оптогенетические методы, используемые на животных, были получены новые данные о вовлечении специфичных нейронных цепей как на уровне корковых, так и подкорковых структур головного мозга в различные стадии воспроизведения двигательной памяти.

Согласно литературным данным процессы обучения моторным навыкам можно разделить на два этапа: быстрый и медленный. **Быстрый этап** характеризуется быстрым запоминанием движений в результате небольшого количества повторений, дальнейшее усовершенствование и запоминание осуществляется в процессе медленного этапа путем многократного повторения тренировочных сессий. На основе экспериментальных данных полученных на человеке с использованием позитронно-эмиссионной (PET) томографии и функциональной магнитно-

резонансной томографии было показано, что формирование двигательных навыков в быстрой стадии обучения вызывает модуляцию активности нейронов **префронтальной коры, первичной моторной коры, полосатого тела базальных ганглиев и мозжечка**. Для интерпретации данных результатов в начале 21 века были предложены несколько моделей взаимодействия нейронов коры, базальных ганглиев, мозжечка и таламуса. Общее для предложенных моделей является то, что во время обучения параллельно активируются связи двух путей взаимодействия нейронных структур, один отвечает за пространственную ориентацию движения, а другой – за выполнение последовательности определенных движений. В обучении пространственной ориентации движений принимает участие путь, связывающий префронтальную кору с полосатым телом и мозжечком, в то время как в обучении правильной последовательности движений принимает участие путь, связывающий первичную сенсо-моторную область коры (постцентральная извилина) с полосатым телом и мозжечком. Интересным представляются данные, подтверждающие участие дорзолатеральной части префронтальной коры. Прежде чем движение или двигательный навык будет выполнен, необходимо «загрузить» информацию о последовательности движений, о времени и порядке выполнения каждой отдельной части последовательности, а также силе выполняемых движений в рабочую память. В процессе выполнения данного навыка информация о последующих движениях и порядке их следования будет передаваться из рабочей памяти в структуры, ответственные за инициацию самих движений, то есть моторные области коры. В настоящее время существует несколько теоретических моделей, объясняющих как выполняется те или иные последовательности движений, но наибольшие экспериментальные подтверждения свидетельствуют в пользу того, что основным процессором, рассчитывающим план движений, является префронтальная кора, причем

активация префронтальной коры происходит только для инициации уже выученных двигательных навыков.

Поведенческие изменения, происходящие в результате более позднего **медленного этапа** менее заметны, чем быстрое обучение движением предыдущего этапа. Тем не менее, при исследовании активности мозговых структур в процессе медленного этапа обучения, который длился несколько недель, было обнаружено увеличение активности нейронов в **первичной моторной коре**, в **дополнительной моторной коре** и **сенсомоторной области коры**, а также в **скорлупе базальных ганглиев**, одновременно наблюдается снижение активности нейронов коры мозжечка. Позднее было показано, что в процесс позднего этапа обучения вовлекаются нейроны сенсомоторного пути полосатого тела, таким образом, рядом ученых было предположено, что именно данные нейроны являются субстратом для сохранения привычных или автоматических движений.

На данный момент существует множество данных относительно конкретных изменений, происходящих в структурах мозга, задействованных в образовании двигательной памяти. Большой интерес в этой области получили исследования структурных изменений синаптической карты пирамидальных нейронов моторной коры в результате двигательной тренировки. В экспериментах на мышах было найдено относительно быстрое формирование дендритных шипиков пирамидальных нейронов коры, происходившее в течение часа после двигательной тренировки. В то же время было показано, что формирование двигательных навыков сопровождается изменениям в топографии моторной коры крыс.

## *Тема 10*

### **Роль рабочей памяти в формировании двигательных навыков.**

Память - жизненно важный психический процесс, она уберегает нас от повторения ошибок и позволяет накапливать полученные навыки. Значение памяти в спортивной карьере трудно переоценить. **Память спортсмена** в его спортивной деятельности - это психический процесс накопления знаний, умений и навыков ведения спортивной борьбы в экстремальных условиях соревнований. Память подвергается значительным воздействиям. Проявить устойчивость памяти в экстремальных условиях - значит, сохранить и реализовать с наибольшим эффектом весь тот объем знаний, умений и навыков, которыми спортсмен овладел в процессе длительных занятий спортом.

При сравнительной оценке кратковременной памяти у спортсменов высшей квалификации по стрельбе из лука в разные периоды их деятельности, было показано, что у большинства спортсменов оценки памяти оказались наивысшими в период ответственных соревнований, а не во время отдыха или в период обычных тренировок. Это свидетельствует о том, что с повышением степени экстремальности условий деятельности у спортсменов улучшаются показатели кратковременной памяти. Причиной соответствующего повышения устойчивости памяти в экстремальных условиях деятельности, возможно, является наличие оптимального уровня эмоционального напряжения, играющего большую роль в эффективности деятельности.

Вопрос о том, почему одни спортсмены сильно нервничают перед стартом, а другие демонстрируют удивительное хладнокровие, не дают покоя многим спортсменам, тренерам, болельщикам уже многие десятилетия. Есть предположение, что ответ заключается в использовании

рабочей памяти. **Рабочая память** - это тип памяти, который позволяет нам сохранять в уме информацию, пока мы с ней работаем. Рабочая память также позволяет комбинировать информацию, полученную от органов восприятия, с долговременной и кратковременной памятью. Это «быстрая» память, извлечение информации из которой происходит гораздо быстрее, чем из обычной долговременной памяти. Рабочую память можно сравнить с оперативной памятью компьютера, или скорее даже с регистрами центрального микропроцессора.

Роль рабочей памяти в спорте стала главной темой многих научных исследований. Оказывается, в спорте она может быть как подспорьем, так и помехой. Поэтому особенно важно уметь управлять рабочей памятью, включая и выключая ее по мере необходимости. В спортивных играх большую часть времени нужно, чтобы действия были быстрыми и интуитивными, для чего желательно отключить рабочую память. Но при этом нужно быть готовым в любой момент обратиться к рабочей памяти, чтобы проанализировать ситуацию на поле и продумать следующее движение или удар.

Рабочая память активно задействуется в самых разных видах спорта и спортивных играх. В следующем эксперименте принимали участие как профессиональные игроки в американский футбол, так и любители. Ими было пройдено целый ряд когнитивных тестов, включая задания на проверку эффективности рабочей памяти. Выяснилось, что спортсмены-профессионалы показали лучшие результаты, чем любители, а наивысшие результаты показали игроки большой лиги. Авторы исследования выдвинули предположение, что высокий уровень развития рабочей памяти игроков, показавших лучшие результаты, обусловлен постоянными тренировками этого навыка на игровом поле. Во время игры им нужно быстро оценить ситуацию с помощью рабочей памяти, сравнить ее с уже имеющимся

опытом, проанализировать возможные варианты действий и выбрать наиболее подходящий. Чтобы научиться эффективно использовать рабочую память в игре и избежать затормаживающего влияния, нужно на достаточно высоком уровне овладеть основными навыками, движениями и ударами, характерными для данного вида спорта. Только в этом случае возможно выполнять их автоматически, не задействовав рабочую память. Нагрузка на нее значительно снизится, и можно будет обратиться к ней в любой момент. Рабочая память может сильно мешать при занятиях спортом, когда человек только начинает овладевать новым для него видом спорта или новой техникой: от большого количества инструкций и указаний в рабочей памяти происходит перегрузка, которая приводит к «зависанию». Чем больше информации он старается удержать в сознании, тем выше вероятность того, что один из отделов головного мозга отключится в самый ответственный момент. Чтобы вам стало понятнее, как рабочая память может мешать при занятиях спортом, вспомните начальные этапы овладения новым для вас видом спорта или новой техникой. Рассмотрим пример. Перед первым спуском с самой простенькой горки, как и советовал инструктор, лыжница проверила готовность: «Бедро? На месте! Руки? На месте! Колени? На месте! Лыжи? На месте!» Через пятнадцать секунд она благополучно упала. От большого количества инструкций и указаний в рабочей памяти произошла перегрузка, которая привела к «зависанию» в тех отделах мозга, которые отвечают за координацию движений и удержание равновесия.

*Р. Мастерс* проводил эксперимент, направленный на изучение влияния рабочей памяти на спортивные результаты. Участники были разделены на две группы. Первая получила подробные инструкции по выполнению удара (в гольфе), в основе которых лежали наработки лучших тренеров. Участникам нужно было задействовать рабочую память для овладения новым моторным навыком и воплотить полученные инструкции на практике. Вторая группа не получала во время тренировки никаких указаний, кроме

того, им дали отвлекающее задание: услышав звук метронома, назвать любую букву. Все участники эксперимента должны были тренироваться пять дней подряд, выполняя по сто ударов за тренировку. В последний день занятий, чтобы создать стрессовую ситуацию, было объявлено, что они могут заработать большие деньги, если покажут хорошие результаты, а также что качество ударов будет оценивать профессиональный гольфист. Несмотря на общее волнение, худшие результаты показала только группа участников, которая училась выполнять удар с помощью рабочей памяти. Результаты второй группы никак не ухудшились, поскольку их рабочая память не была задействована в процессе тренировок и смогла помочь им в стрессовой ситуации.

## *Тема 11*

### **Пластичность мозга и моторное обучение.**

Когнитивное и моторное развитие играет важную роль в зрелости человеческого мозга и широком спектре повседневных функций. Чтобы лучше понять тесное взаимодействие между когнитивными и моторными навыками на протяжении всей жизни, особый интерес представляет выявление биологических и экологических факторов человеческого развития. За последние несколько десятилетий исследователи приложили значительные усилия и добились прогресса в понимании мозговых механизмов функциональных изменений и структурных реорганизаций у людей на разных стадиях развития. Когнитивное и двигательное развитие на протяжении всей жизни тесно связано друг с другом. По сути, пластичность мозга, созревание нервной системы и когнитивное развитие играют важную роль в когнитивном и моторном обучении.

Нейронная пластичность (также известная как нейропластичность, пластичность мозга, кортикальная пластичность, кортикальное повторное отображение) - это неотъемлемая характеристика или способность к обучению навыкам на протяжении всей жизни. В частности, нейронная пластичность относится к способности центральной нервной системы (ЦНС) изменять свои существующие корковые структуры (анатомию, организацию) и функции (физиологические механизмы или процессы) в ответ на опыт, обучение, тренировку или травму. При описании нейронных структур и функций кортикальные сенсорные организации обычно изображаются как отображения, в которых конкретные сенсорные входные данные проецируются на заданные участки коры для формирования сенсорных нейронных представлений. Когда индивид приобретает новые навыки или информацию, вновь полученный опыт изменяет нейронные карты, сети, пути или схемы, состоящие из бесчисленных нейронов и синапсов.



Большое количество исследований показало, что тренировка и приобретение двигательных навыков могут вызвать пластичность мозга. Эти изменения включают в себя оптимизацию схемы работы локальных областей мозга, а также подключение к глобальной сети мозга. Используя неинвазивные методы нейровизуализации, такие как функциональная магнитно-резонансная томография (ФМРТ) и диффузионно-тензорная томография (ДТТ), можно обнаружить структурную и функциональную пластичность мозга после длительного обучения и приобретения двигательных навыков. Понимание нейронных механизмов, лежащих в основе этой пластичности, может послужить основой для определения типов практики или тренировок, которые наиболее полезны для повышения производительности. Таким образом, изучение пластических изменений, связанных с приобретением навыков и экспертных знаний в человеческом мозге, является одной из наиболее актуальных областей современных нейробиологических исследований.

Нейронная пластичность, зависящая от обучения, - это процесс развития на протяжении всей жизни, в котором, по-видимому, существуют связанные с возрастом критические периоды или временные окна для значительной реорганизации коры головного мозга. В критические периоды ранней жизни среди конкурирующих сенсорных входов данного опыта формируется и консолидируется нейронная репрезентация наиболее важного аспекта (например, гиппокамп помогает формированию долговременных воспоминаний). Напротив, переживания могут вызывать меньше изменений в некритические периоды развития мозга. Маленькие дети могут получить больше пользы от овладения навыками в чувствительные к возрасту периоды, чем их старшие сверстники. Развивающийся мозг может обладать большим потенциалом для обучения или быть более гибким в приобретении навыков, чем развитый мозг. Обучение или лечение детей с определенными нарушениями развития в чувствительные периоды может максимизировать

преимущества нейронной пластичности и обучения навыкам, что важно для их реабилитации.

Моторное обучение концептуализируется как процесс преднамеренной или целенаправленной практики, который приводит к долговременной стабилизации производительности и адаптации. Моторное обучение и переобучение - это деятельность на протяжении всей жизни, непосредственно связанная с пластичностью мозга, связанной с опытом. Недавние исследования показали, что двигательным навыкам можно научиться как в режиме on-line, так и в автономном режиме. Онлайн-обучение (также известное как приобретение в рамках сессии, зависящее от практики) происходит, когда учащийся практикует данный навык или набор навыков. По завершении практики, связанной с конкретной задачей, учащийся продолжает приобретать или стабилизировать данный навык или набор навыков. В частности, моторное обучение будет более выраженным после оптимального интервала после тренировки, в течение которого учащийся спит или дремлет. Этот способ моторного обучения относится к автономному обучению (также известному как независимое от практики повышение производительности между сессиями). Для такого режима обучения требуется ночной сон или дневная дремота. В литературе по моторному поведению утверждается, что приобретение двигательных навыков состоит из этих двух тесно связанных механизмов обучения. Как практика, так и сон способствуют усвоению двигательных навыков.

Моторное обучение происходит, когда учащийся неоднократно и активно занимается физической или умственной практикой данного навыка или набора навыков. Исследователи онлайн-обучения в первую очередь изучают, как учащиеся разного возраста или уровня квалификации в различных условиях обучения приобретают различные двигательные или когнитивные навыки во время практики. Если обучение происходит в

режиме онлайн, улучшение навыков можно наблюдать на этапе практики и может быть зафиксировано в тестах на немедленное или отсроченное удержание или перевод. За последние несколько десятилетий были получены существенные доказательства того, что онлайн-обучение приносит пользу детям и молодым взрослым. Несмотря на когнитивно-моторный дефицит, учащиеся старшего возраста способны использовать обратную связь по навыкам (например, знание результатов (KR), обратная связь о результатах двигательного навыка) для моторного обучения в той же степени, что и младшие взрослые. Однако было недавно показано, что учащиеся старшего возраста с когнитивно-моторным дефицитом продемонстрировали ограниченное обучение в режиме онлайн, что нашло отражение в небольшом улучшении времени движения (MT, разница во времени между началом и завершением действия) и небольшом снижении временной ошибки (т.е., временной разрыв между целью время и MT). В тестах на удержание пожилые люди с неповрежденными когнитивными и моторными функциями превзошли тех, у кого были относительно худшие результаты в тесте на координацию глаз и рук (постукивание пальцами), Мини-экзамене на психическое состояние (MMSE) и тесте на следование (TMT-A и B). Когнитивные, нервные и моторные недостатки у пожилых людей могут объяснить их скомпрометированное моторное обучение в режиме онлайн.

Необходимо ответить на два важных вопроса: каковы нейронные изменения, связанные с моторным обучением? Как нейронная пластичность способствует моторному обучению? С биологической точки зрения, обучение навыкам или переобучение связано с нейронной пластичностью для выживания и развития вида. Моторное обучение приводит к нейроповеденческим изменениям, заставляя нервную систему переходить от сознательного контроля (центрального, управляемого командами, сверху вниз) к бессознательному (периферийному, основанному на обратной связи, кнопочному) режиму управления; в ходе этого процесса формируются

нейронные представления навыка. Гибкий или изменчивый характер кортикальной реорганизации является основой обучения навыкам. Физические упражнения приводят к изменениям в структурах и функциях мозга. Исследование на животных показало, что физические упражнения или моторное обучение могут увеличить толщину моторной коры. Повышенная плотность кровеносных сосудов и развитие синапсов в мозжечке наблюдались после физических упражнений. Физические упражнения способствуют формированию памяти и увеличивают количество нейронов и синапсов (зубчатая извилина) как у молодых, так и у старых мышей. Преднамеренное обучение или изменение окружающей среды усиливает реорганизацию коры головного мозга и функции, которые способствуют формированию памяти у крыс, путем изменения экспрессии генов и концентрации нейротрофического фактора мозга BDNF. Преимущества физических и умственных тренировок в значительной степени опосредованы усилением передачи сигналов BDNF; принимая во внимание, что увеличение связности височных долей после аэробных тренировок связано с BDNF, инсулиноподобным фактором роста типа 1 (IGF-1) и фактором роста эндотелия сосудов (VEGF).

Помимо количественной оценки функции и структуры мозга у спортсменов, остается вопрос, является ли нейропластичность у спортсменов вызванной тренировками или эпифеноменом генетической предрасположенности. Для решения этого вопроса за последнее десятилетие было проведено несколько долговременных тренировочных мероприятий. С помощью МРТ было показано, что не только обучение моторным навыкам в течение нескольких недель, но и краткосрочные тренировки могут привести к специфическим структурным и функциональным адаптациям мозга. Интересно, что индивидуальный успех в тренировках, по-видимому, связан с нейропластичностью в моторных областях мозга. Например, участники с самым высоким успехом в обучении в задаче балансировки всего тела, где

те, кто показал самые сильные структурные адаптации мозга. Что еще более интересно, индивидуальный успех тренировок, по-видимому, предсказуем индивидуальной структурой мозга до обучения двигательным навыкам.

Выявление нейропластичности, вызванной тренировкой, является необходимым условием для целенаправленной нейромодуляции для улучшения двигательных характеристик и / или спортивных навыков. Здесь неинвазивные методы стимуляции мозга, такие как транскраниальная стимуляция постоянным током (tDCS), способны модулировать нейронную обработку в определенных областях мозга и тем самым влиять на моторное поведение. В то время как точные механизмы, лежащие в основе индуцированных tDCS эффектов на корковом и поведенческом уровнях, остаются неуловимыми, накапливаются доказательства того, что tDCS индуцирует полярно-зависимую модуляцию мембранного потенциала покоя. Более конкретно, было показано, что анодная tDCS увеличивает мембранный потенциал покоя, в то время как катодная tDCS уменьшает его. Эта модуляция может впоследствии привести либо к увеличению, либо к снижению возбудимости нейронов, что может продлить период стимуляции на несколько минут или даже часов.

Например, было показано, что один сеанс tDCS повышает двигательную производительность или обучение навыкам. Индуцированное tDCS повышение производительности было описано не только для простых двигательных задач, таких как постукивание и задач на время реакции, но и для сложных задач всего телатаких как балансировка. Более того, дальнейшие исследования показали, что tDCS способен повышать выносливость во время езды на велосипеде и бега, а также для ногмышечная сила. Было показано, что один сеанс анодной tDCS временно увеличил максимальную силу зажима ноги на ок. 15% у нормальных добровольцев. Представьте важность такого улучшения производительности с помощью

tDCS в соревновательных видах спорта, где даже незначительное изменение производительности решает вопрос о победе или поражении.

Можно предположить, что нейродиагностические инструменты, такие как МРТ, ЭЭГ или fNIRS, должны быть внедрены в диагностику производительности в спорте. Поскольку оптимальная обработка данных в мозге является ключевым фактором для эффективного двигательного контроля и производительности, характеристика адаптационных изменений мозга в результате систематических тренировок может открыть новые перспективы для повышения успеха тренировок у спортсменов. Поэтому желательной целью будущей нейродиагностики является выявление сетей мозга, которые способствуют улучшению производительности в целом, и, помимо этого, сетей мозга, которые особенно ответственны за выполнение конкретных спортивных дисциплин. Кроме того, нейродиагностика может помочь выявить молодых спортсменов с потенциалом стать элитными спортсменами. Кроме того, нейромодуляция может быть альтернативным способом оптимизации результатов тренировок путем селективной модуляции областей мозга, связанных с производительностью. Однако сначала необходимо показать, что tDCS у спортсменов вообще способен улучшать обучение моторным навыкам и / или двигательную работоспособность, и если да, то это имеет отношение к производительности и полезно в конкретных спортивных дисциплинах. Наконец, разработка и применение нейромодуляции в спорте должны сопровождаться постоянным обсуждением рамочных условий, таких как этические аспекты, риски и внедрение в полевых условиях.

## Тема 12

### Влияние физических нагрузок на память.

Догадки о влиянии конкретных типов упражнений на мозг появились уже довольно давно. В опытах на грызунах выяснилось, что у мышей, которые активно крутили колесо, формировались новые нейроны в гиппокампе — области мозга, отвечающей за память. Упражнения заставляли нейроны гиппокампа выкачивать особый белок — мозговой нейротрофический фактор (BDNF), способствующий образованию новых нейронов. У подопытных мышей в ходе эксперимента улучшилась память, что позволяло им проще ориентироваться в лабиринте. Значительное улучшение функционирования памяти у подопытных мышей происходило благодаря экспрессии протеина катепсина В в мышечных тканях и поступлению этого белка в область головного мозга животных. При этом на первом этапе культуры клеток мышечной ткани подвергались определенным воздействиям *in vitro* для того, чтобы имитировать в них изменения, подобные тем, которые происходят при регулярных физических нагрузках. Анализ получаемых культур показал значительное увеличение в них катепсина В. На следующем этапе следили за изменением состава крови мышей, которые ежедневно в течение нескольких недель определенное время бегали в колесе. Образцы крови «тренированных» грызунов содержали высокий уровень вышеуказанного протеина. Для того, чтобы оценить способность животных к обучению и запоминанию, были проведены следующие тесты. Мышей, регулярно занятых «бегом в колесе», помещали в специальный водный лабиринт, где они должны были найти и добраться вплавь до площадок, которые находились под поверхностью воды и не были заметны сверху. Такие задачи животные должны были решать несколько дней подряд, чтобы можно было определить их способность обучаться и помнить, полученную информацию. Результаты тестирования

показали, что физические упражнения стимулировали экспрессию катепсина В, чего не наблюдалось при отсутствии регулярной двигательной нагрузки. Аналогичные по существу эксперименты проводились и с обезьянами, которые также показали у подопытных животных улучшение памяти при регулярных физических нагрузках. Этому сопутствовало повышение концентрации протеина катепсина В, поступающего с кровотоком от работающих мышечных тканей в головной мозг животных.

Вскоре подобное исследование было перенесено на человека. У пожилых людей, которые выполняли аэробные упражнения три раза в неделю в течение года, улучшилась память. В их крови был более высокий уровень белка BDNF, а в области гиппокампа наблюдалось более активное образование новых нейронов. Был сделан вывод о том, что бег и аэробная активность помогают бороться со старческим слабоумием и являются профилактикой болезни Альцгеймера.

Не менее интересное исследование было проведено *Т. Лю-Амброс*, в нем участвовало 86 женщин с умеренными когнитивными нарушениями. Одна группа испытуемых дважды в неделю в течение часа занималась силовыми тренировками, в то время как вторая группа гуляла быстрым шагом, контрольная группа занималась только стретчингом. Через полгода тренировок у группы, которые занимались силовыми тренировками и быстрой ходьбой, наблюдалось улучшение пространственной памяти. В группе, которая занималась силовыми тренировками, наблюдались значительные улучшения исполнительных функций, кроме того, она показала лучшие результаты в тестах на ассоциативную память. Люди, выполнявшие аэробные упражнения, значительно улучшили свою вербальную память, способность запоминать и находить нужные слова. В контрольной группе не было показано никаких улучшений в развитии памяти и исполнительных функций. Таким образом, исследование показало,



что силовые тренировки помогают улучшить качество жизни пожилых людей с умеренными когнитивными нарушениями.

Выполнение физических упражнений влияет на запоминание программ управления сокращением мышц. В такой программе необходимо учитывать непрерывно изменяющиеся пространственно-временные отношения между различными нервными центрами, управляющими движениями. Это обуславливается тем, что физические упражнения характеризуются неодновременным включением и выключением участвующих в деятельности мышц и разной степенью вовлечения в нее двигательных единиц. Всегда считалось, что одна из лучших тренировок памяти – это чтение книг, однако, было показано, что регулярные тренировки в спортивном зале улучшают как физическое, так и умственное (психическое) здоровье. В течение девяти лет И. Эрикссон обследовала 220 детей, учащихся 1-3-х классов, часть из которых занимались физкультурой два раза в неделю, а остальные тренировались ежедневно. Как и ожидалось, ученики из второй группы показали более высокий уровень физической подготовки, чем их ровесники, однако оказалось, что они лучше, чем их сверстники, читали и решали сложные математические задачи. В более поздних исследованиях, проведенных *М. Нилссоном* и *Г. Кюхом*, была показана прямая зависимость: познавательных способностей мозга от состояния сердечно-сосудистой системы. Они обследовали 1,2 миллиона 18-летних юношей, готовящихся к службе в армии, у которых с помощью тестов проверяли физическое и умственное развитие, а также оценивали способности к решению логических задач.

В исследовании *У. Бозерса* участвовало 109 человек со слабоумием, которые были разделены на три группы. Одна группа 30 минут гуляла быстрым шагом четыре раза в неделю. Комбинированная группа совершала получасовые пешие прогулки дважды в неделю и еще два раза в неделю

приходила на силовые тренировки. У контрольной группы тренировок не было. Через девять недель было проведено комплексное тестирование, которое позволяло измерить способность участников эксперимента решать проблемы, ингибирование и скорость обработки данных. Было выявлено, что комбинированная группа показала лучшие результаты по сравнению с аэробной и контрольной группами, в связи с чем был сделан вывод, что для улучшения когнитивного здоровья пожилым людям недостаточно просто выходить на прогулку, им желательно добавить в своё расписание немного силовых тренировок.

*E. V. van Dongen* с соавторами проводили эксперимент, от участников которого требовалось запомнить расположение 90 объектов на виртуальной карте. Выяснилось, что лучше всего с заданием справлялись те, которые после знакомства с задачей не оставались смотреть расслабляющее видео, а более получаса крутили педали на велотренажёре. То есть, физическая нагрузка после предъявления нового материала способствовала лучшему его запоминанию.

## РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Каменская, М.А. Основы нейробиологии / М.А.Каменская, А.А. Каменский. — М.: Дрофа, 2014. — 365 с.
2. Шульговский, В.В. Физиология высшей нервной деятельности с основами нейробиологии / В.В. Шульговский. — М.: АСАДЕМА, 2008. — 528 с.
3. Хэйес, Н. Введение в психологию / Н.Хэйес, С.Оррелл. — М.: ЭКСМО, 2003. — 688 с.
4. МакФарленд, Д. Поведение животных. / Д. МакФарленд. — М.: Мир, 1988. — 520 с.
5. Шеперд, Г. Нейробиология. В 2-х томах / Г. Шеперд. — М.: Мир, 1987. — 454 с.
6. Роуз, С. Устройство памяти. От молекул к сознанию / С. Роуз. — М.: Мир, 1995. — 384 с.
7. Менинг, О. Поведение животных / О. Менинг. — М.: Мир, 1982. — 159 с.
8. Столяренко, А.М. Физиология высшей нервной деятельности для психологов и педагогов: Учебник для студентов вузов, обучающихся по гуманитарно-социальным специальностям / А.М. Столяренко — М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2015. — 463 с.:
9. Жуков, Д.А. Стой, кто ведет? Биология поведения человека и других зверей. В 2 т. Т. 2 / Д.А. Жуков.— М.: Альпина нон-фикшн, 2016. — 368 с.
10. Самко, Ю.Н. Физиология : учеб. пособие / Ю.Н. Самко. — М.: ИНФРА-М, 2019. — 144 с.

11. Марютина, Т.М. Психофизиология: общая, возрастная, дифференциальная, клиническая: учебник / Т.М. Марютина.— М. : ИНФРА-М, 2019. — 436 с.

12. Cai, L. Brain plasticity and motor practice in cognitive aging / L.Cai, J.S.J.Chan, J.H.Yan, K.Peng. *Frontiers in Aging Neuroscience*. — 2014. — V. 6. — Article 31. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00031>

13. Seidel-Marzi, O. Neurodiagnostics in sports: investigating the athlete's brain to augment performance and sport-specific skills / O.Seidel-Marzi, P.Ragert. *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2020. — V. 14. — Article 133. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00133>

14. Pi, Y-L. Motor skill learning induces brain network plasticity: A diffusion-tensor imaging study / Y.-L. Pi, X.-H. Wu, F.-J. Wang, K. Liu, Y. Wu, H. Zhu, J. Zhang. *PLoS ONE*. — 2019. — V. 14, № 2: e0210015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210015>

15. Bosch, B.M. Effect of acute physical exercise on motor sequence memory / B.M.Bosch, A.Bringard, M.G.Logrieco, E.Lauer, N. Imobersteg, A. Thomas, G. Ferretti, S. Schwartz, K. Iglot. *Scientific Reports*. — 2020. — V. 10. — Article 15322. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72108-1>