

УДК 616.83/.85:616.89

https://doi.org/10.33619/2414-2948/59/07

АНАТОМО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОЗГА В СОСТОЯНИИ БОДРСТВОВАНИЯ И СНА

©**Волобуев А. Н.**, д-р техн. наук, Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия, volobuev47@yandex.ru

©**Пятин В. Ф.**, ORCID: 0000-0001-8777-3097, Scopus Author ID: 6507227084, SPIN-код: 3058-9038, д-р мед. наук, Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия, Pyatin_vf@list.ru

©**Романчук Н. П.**, ORCID: 0000-0003-3522-6803, SPIN-код: 2469-9414, Самарский
государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия, Romanchuknp@mail.ru

©**Булгакова С. В.**, ORCID: 0000-0003-0027-1786, SPIN-код: 9908-6292, д-р мед. наук,
Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия, osteoporosis63@gmail.com

©**Романов Д. В.**, SPIN-код: 2764-9214, канд. мед. наук, Самарский государственный
медицинский университет, г. Самара, Россия, romanovdit@mail.ru

ANATOMICAL-PHYSIOLOGICAL AND BIOPHYSICAL PRINCIPLES OF BRAIN FUNCTIONING IN WAKING AND SLEEP

©**Volobuev A.**, Dr. habil., Samara State Medical University,
Samara, Russia, volobuev47@yandex.ru

©**Pyatin V.**, ORCID: 0000-0001-8777-3097, Scopus Author ID: 6507227084, SPIN-code: 3058-9038, Dr. habil., Samara State Medical University, Samara, Russia, Pyatin_vf@list.ru

©**Romanchuk N.**, ORCID: 0000-0003-3522-6803, SPIN-code: 2469-9414, Samara State Medical
University, Samara, Russia, Romanchuknp@mail.ru

©**Bulgakova S.**, ORCID: 0000-0003-0027-1786, SPIN-code: 9908-6292, Dr. habil., Samara State
Medical University, Samara, Russia, osteoporosis63@gmail.com

©**Romanov D.**, SPIN-code: 2764-9214, M.D., Samara State Medical University, Samara, Russia,
romanovdit@mail.ru

Аннотация. Анализ некоторых особенностей работы мозга при условии представления новой коры в виде совокупности циклических нейронных цепей — ячеек памяти, позволил понять многие эффекты в работе мозга. В частности исследована суть когнитивной, творческой деятельности, возможных патологических состояний памяти: болезни Альцгеймера и т. д. Рассмотрение некоторых других структур мозга: гиппокампа, энторинальной коры позволило понять феномен сна, его режимов, сути сновидений, функциональных возможностей мозга во время сна и т. д. Проведено математическое моделирование ритмов электроэнцефалограммы в процессе фаз медленного сна. Показана связь частоты ритмов медленного сна с расстоянием между соседними циклическими нейронными цепями.

Abstract. The analysis of some features of a brain work under condition of representation of a neocortex as set of cyclic neural circuits — cells of memory, has allowed understand many effects of a brain work. In particular the essence of a cognitive, creative activity, possible pathological conditions of memory: Alzheimer's disease, etc. is investigated. Consideration of some other structures of a brain: hippocampus, entorhinal cortex has allowed understand a phenomenon of

dream, its modes, essence of dreams, functionalities of a brain during dream, etc. Mathematical modelling of the electroencephalogram rhythms carried out during phases of slow dream. Interrelation of the rhythm's frequency of slow dream with distance between the next cyclic neural circuits is shown.

Ключевые слова: циклическая нейронная цепь, гиппокамп, энторинальная кора, сон, тормозящие импульсы.

Keywords: cyclic neural circuit, hippocampus, entorhinal cortex, dream, braking impulses.

Введение

Генетические и эпигенетические факторы обеспечивающие долголетие и сверхдолголетие, требуют от человека разумного нового взаимодействия с природой и обществом, и ответственности за будущие здоровые поколения. В исследованиях П. И. Романчука показано, что увеличение средней продолжительности жизни человека и нейроэндокринные изменения при физиологическом и патологическом старении, с одной стороны, эпигенетические факторы и электромагнитная информационная нагрузка / перегрузка, с другой стороны, внесли существенный вклад в циркадианную природу нейросетевого взаимодействия головного мозга человека с искусственным интеллектом. Функциональные продукты питания, здоровая биомикробиота, здоровый образ жизни и управляемое защитное воздействия окружающей среды, искусственный интеллект и электромагнитная информационная нагрузка/перегрузка — ответственные за работу иммунной системы и ее способности своевременного иммунного ответа на пандемические атаки [1]. Мультимодальные инструменты, биочипирование, нейронные и мозговые чипы, технологии секвенирования следующего (нового) поколения создают биомаркеры для управления структурой здоровой биомикробиоты и функционального питания, в зависимости от целевых показателей [1].

Метаболизм мозга представляет собой хрупкий баланс между питательным веществом/кислородом, обеспечиваемым кровью, и нейрональной/глиальной потребностью, для обеспечения достаточного гомеостатического функционирования и обработки информации.

Во время эмбрионального и раннего постнатального развития происходит массивный нейрогенез, процесс, который продолжается с ограниченной скоростью во взрослом возрасте в двух нейрогенных областях, одна в боковом желудочке, а другая в зубчатой извилине гиппокампа. Метаболический спрос не соответствует предложению, что может происходить резко в случае гипоксии или ишемии или более тонко в случае нервно-психических или нейродегенеративных расстройств, обе эти нейрогенные патологии могут реагировать либо благоприятным образом, чтобы регенерировать поврежденную или потерянную ткань, либо пагубным образом, создавая aberrantные синаптические связи.

В многочисленных работах А. Н. Волобуева и П. И. Романчука исследованы механизмы и модели сложной взаимосвязи, существующей между церебральной сосудистой системой и нейрогенезом, через развитие и в патологических состояниях, таких как артериальная гипертония, сахарный диабет и болезнь Альцгеймера [2–4].

Многофункциональный сон — эпигенетический дар человеку с большим интеллектом, новыми квантовыми идеями (каждый материальный объект имеет квантовые состояния и параллельные миры) и будущими изобретениями (открытиями). Циркадианная система *Homo*

sapiens и структурно-функциональные часы организма человека, синхронизированы генетически и эпигенетически. Жизнедеятельность *H. sapiens* — это волнообразные циклические колебания различной интенсивной процессов циркадианного стресса. Многоосцилляторная система, включает в себя эволюционные структурно-функциональные центральные и периферические водители ритма, первичные и вторичные пейсмекеры. Три самых мощных современных водителей ритма для человека, первый — свет. Второй по мощности водитель ритма — питание. Третий, эпигенетический, в т. ч. социальные факторы, прежде всего, социальный статус и самоактуализация личности [4].

Новая эпигенетика *H. sapiens* управляет взаимодействием эпигенетических механизмов старения и долголетия с биологией, биофизикой, физиологией и факторами окружающей среды в регуляции транскрипции. Старение — это структурно-функциональная перестройка (перепрограммирование) и постепенное снижение физиологических функций организма, которые приводят к возрастной потере профессиональной пригодности, болезням, и к смерти. Понимание причин здорового старения составляет одно из самых проблемных междисциплинарных направлений [2].

Продолжительность жизни человека в значительной степени определяется эпигенетически. Эпигенетическая информация — обратима, наши исследования дают возможность терапевтического вмешательства при здоровом старении, и связанных с возрастом заболеваниях [2].

Разработки П. И. Романчука позволяют управлять острым и хроническим стрессом, снижают аллостатическую перегрузку, повышают нейропластичность мозга, включают гибридные и комбинированные инструменты и методики нейрореабилитации и психонейроиммунореабилитации [3]. В исследовании установлены основные современные инструменты и методики эпигенетической защиты здорового старения и долголетия человека разумного [3].

Висцеральный и когнитивный мозг

Головной мозг человека представляет сложную анатомическую структуру, предназначенную для управления органами и тканями организма, восприятия, запоминания и анализа внешней информации, когнитивной, творческой работы. Головной Мозг, это тот орган, который делает нас личностью, с помощью которого мы осознаем себя в мире.

Заболевания головного мозга разнообразны и обычно полностью изменяют жизнь человека. Среди этих заболеваний выделяются болезнь Альцгеймера — нарушение памяти, психические заболевания, ведущие к изменению поведенческой структуры человека и др.

Центральной частью анатомии головного мозга является его новая кора [5–7].

Новая кора головного мозга работает под управлением лимбической системы мозга, важной составляющей которой является круг Пейпеца (гиппокамп, свод, мамиллярные тела, передние ядра таламуса, поясная извилина, парагиппокампальная извилина, гиппокамп).

К сожалению, в настоящее время характер работы мозга исследован далеко не полностью. Однако, некоторые принципы его работы установлены вполне достоверно.

С анатомической точки зрения кора головного мозга представляет довольно однородную структуру, состоящую из отдельных, но взаимосвязанных циклических нейронных цепей (ЦНЦ) или «neuronal loops» [8]. ЦНЦ — это ячейки памяти головного мозга, в которых хранится вся информация, полученная человеком с момента формирования головного мозга. Возникновение в мозге человека некоторого понятия происходит за счет

возбуждения определенных ЦНЦ. В совокупности ЦНЦ являются хранителями информации, т. е. памяти.

Другой важной структурой головного мозга, на которую мы обратим внимание, является круг Пейпеца и его главная часть гиппокамп. В гиппокампе и, вероятно, также в других структурах круга Пейпеца хранится информация об адресах всех ЦНЦ и информация о том свободна ли та или иная ЦНЦ или уже занята информацией. В целом эта информация невелика, поэтому гиппокамп по объему небольшой. Но важность гиппокампа значительна, т. к. появление новой информации в коре головного мозга, например, при обучении, происходит только через гиппокамп. Гиппокамп и в целом круг Пейпеца информационно связывает кору головного мозга с внешней средой.

В настоящее время, используя идею, что в гиппокампе кодируется информация для сохранения в других отделах головного мозга, играющих роль долговременной памяти, пытаются моделировать гиппокамп [9]. К сожалению, метод кодирования пока не удалось найти.

Головной мозг может существовать и функционировать в двух режимах: бодрствования и сна. Рассмотрим последовательно эти два режима, их характерные особенности и чем они отличаются друг от друга.

Функционирование коры головного мозга в состоянии бодрствования

При возбуждении определенной ЦНЦ, т. е. возникновении в ней потока импульсов, человек вспоминает то или иное понятие. Это возбуждение обеспечивается гиппокампом, находящимся в височных долях головного мозга, в котором хранится адресация всех ЦНЦ. Сигналы от внешних или внутренних сенсоров поступают через ассоциативные нейроны на определенный адрес в гиппокампе (или в целом круга Пейпеца), т. е. на некоторый нейрон, возбуждая его. По аксону этого нейрона сигнал передается сначала в ассоциированный с нейроном гиппокампа нейрон энторинальной коры, а затем в ЦНЦ, связанную с данным адресом [10–11]. Энторинальная кора служит основным интерфейсом между новой корой (neocortex) и гиппокампом. Мы рассматриваем новую кору, в которой сосредоточены высшие свойства человеческой личности, прежде всего, способность к творчеству. При возбуждении ЦНЦ человек вспоминает определенное понятие. Напрямую в ЦНЦ новой коры головного мозга информация из внешней среды поступить не может. В гиппокампе также хранится информация о наличии свободных и занятых ячеек памяти, т. е. ЦНЦ коры головного мозга.

Связь между гиппокампом и ЦНЦ головного мозга может блокироваться или активироваться за счет тормозящих или активирующих сигналов, поступающих на нейроны энторинальной коры.

Например, построение фразы, даже мысленное, приводит к возникновению потока нервных импульсов по тем ЦНЦ, которые обеспечивают хранение в памяти необходимых для построения фразы слов. Вследствие наличия ЦНЦ весь мозг представляет собой единую нейронную структуру, способную запоминать различные понятия.

Рассмотрим функционирование памяти человека более детально. Допустим, в рассуждениях участвует предмет «тарелка». Прежде всего, в коре головного мозга активизируются ЦНЦ, в которых находится зрительный образ этого предмета и ЦНЦ, в которых запомнено его назначение. Эти ЦНЦ эволюционно относительно старые, т. к. зрительный образ и назначение тарелки может иметься и у домашних животных, например, кошек и собак. Но у человека должны присутствовать ЦНЦ, в которых храниться, например, название предмета. Это эволюционно более поздние области коры головного мозга,

отсутствующие у животных. ЦНЦ относительно, но, по-видимому, не очень жестко, специализированы. Например, ЦНЦ, в которых храниться зрительный образ, находятся в затылочной доле коры больших полушарий головного мозга. Все ЦНЦ в коре головного мозга функционально связаны, т. к. в процессе рассуждений может появиться необходимость вспомнить цвет тарелки, ее размер, рисунок на тарелке, материал, из которого она сделана, необходимость оценить площадь тарелки, т. е. вспомнить математическую формулу площади круга и многое другое.

Поэтому можно предположить, что в процессе рассуждений захватывается вся кора больших полушарий головного мозга. Но этот захват происходит не фронтально, а в виде множества центров возбуждения.

Об этом свидетельствуют также данные электроэнцефалографии (ЭЭГ). Если человек начинает решать какую-то задачу, то α -ритм сменяется на β -ритм на всей поверхности головы.

В отличие от ЭКГ, для ЭЭГ невозможно предложить универсальный эквивалентный электрический генератор (типа токового диполя). Запоминаемые понятия и образы в коре головного мозга распределяются по ЦНЦ достаточно индивидуально, в зависимости от судьбы индивидуума и наличия на момент запоминания того или иного понятия свободных от информации ЦНЦ. Вспоминание одинаковых понятий у различных людей, а, следовательно, и возбуждение ЦНЦ, происходит в разных участках коры. Поэтому β -ритмы человека по форме очень индивидуальны.

Связи между ЦНЦ коры больших полушарий, возникающие в процессе мыслительной деятельности, можно подразделить на следовые [5], т. е. детерминированные и случайные или стохастические. Прежде всего, мозг использует детерминированные связи, возникающие в виде облегченных путей проведения возбуждения между нейронами, вследствие наличия предыдущего опыта (обучения).

Однако очень важны стохастические связи. Они возникают в виде случайных контактов различных ЦНЦ, часто находящихся далеко друг от друга. Обычно эти контакты бессмысленны, но иногда они могут привести к какому-либо озарению, открытию. По-видимому, в этом суть того, что человек называет интуицией, особенно в творческой деятельности. Именно стохастические связи ЦНЦ обеспечивают научно-технический прогресс человечества, что предопределяет их особую важность.

Есть люди способные перемножать в уме пятизначные числа. В этом процессе задействованы только детерминированные связи между ЦНЦ. Нет никаких сведений, что эти люди совершили какое-либо открытие, т. к. у них, по-видимому, очень слаба или почти отсутствует способность к стохастическим связям ЦНЦ, т. е. к творческой работе. Фактически это человек – компьютер. В этой связи интересно сравнить работу компьютера и головного мозга. В их функционировании есть много общего [5]. Головной мозг, также как и компьютер, получает информацию, запоминает ее, обрабатывает и использует для дальнейших целей, в частности, для своего функционирования.

Однако, между компьютером и мозгом имеется, по меньшей мере, два существенных различия.

Первое различие количественное. Объем памяти головного мозга неизмеримо больше объема памяти использующихся в настоящее время запоминающих устройств компьютера. Информация в ЦНЦ полушарий головного мозга поступает и запоминается в непрерывном режиме в течение всего периода бодрствования человека, т. е. десятилетия. Ни один

компьютер так работать не может. Кроме того, человек рождается уже с частично имеющейся в мозгу информацией, необходимой для первоначальной жизнедеятельности.

Второе различие качественное. Компьютер работает только по принципу детерминированных связей между ячейками памяти и центральным процессором, в котором осуществляется обработка информации. Стохастические связи в компьютере отсутствуют. Более того, возникновение случайной связи, например, обращение не к тому файлу, на который указывает курсор на дисплее, идентифицируется как сбой в работе компьютера, требующий переустановки операционной системы. Для мозга это абсолютно нормальный, очень важный стохастический режим работы. Поэтому компьютер не способен к творческой деятельности. В этом главное препятствие в создании полноценного искусственного интеллекта.

Функционирование коры головного мозга в состоянии сна

Рассмотрим, как изменяется функционирование коры головного мозга в состоянии сна. В чем же главное отличие функционирования головного мозга во время сна и во время бодрствования? По нашему мнению, во время бодрствования новая кора головного мозга работает под контролем гиппокампа или в целом структур круга Пейпеца. Во время сна функциональная связь между ними нарушается, новая кора головного мозга работает самостоятельно. Нарушение связи гиппокампа и новой коры головного мозга происходит за счет тормозящих сигналов, поступающих на тормозной вход нейронов энторинальной коры, функционально связывающей эти две структуры. Возникновение тормозящих сигналов в норме, по-видимому, обусловлено накоплением продуктов метаболизма в крови, в частности аденозина, уровень которых непрерывно возрастает в процессе бодрствования. Человек начинает чувствовать сонливость. Возможно также искусственное прерывание сигналов по нейронам энторинальной коры за счет лекарственных препаратов.

Кора головного мозга представляет собой трехмерный синцитий из взаимосвязанных циклических нейронных цепей — ячеек памяти. Синцитий — это тесное соединение множества однотипных клеточных структур в единый орган.

Будем выделять два вида сна: медленный сон и быстрый или парадоксальный сон. Фазы медленного сна занимают основную часть времени сна. Во время медленного сна на электрокардиограмме наблюдаются относительно низкочастотные (относительно α -ритма) колебания, т. н. θ - и δ -ритмы частотой 4–7 Гц.

Мы предполагаем, что в процессе медленного сна, также как и при бодрствовании во время α -ритма, наблюдается самопроизвольное периодическое низкочастотное возбуждение ЦНЦ. В отличие от бодрствования, это возбуждение менее осознанное, менее контролируемое, но в процессе медленного сна могут возникать сновидения. Сновидения отражают информацию, заключенную в возбуждаемых ЦНЦ. Так как у мозга во время медленного сна нет цели обработки и использования этой информации, сновидения достаточно туманные, мутные. Если человек пробуждается во время медленного сна, он обычно не помнит эту информацию, т. к. работа мозга не направлена на анализ и использование этой информации. В процессе медленного сна мозг человека отдыхает — спит.

Совсем иная ситуация складывается в процессе быстрого сна. В это время мозг имеет цель при возбуждении ЦНЦ. Обычно это та же цель, которую мозг преследовал в процессе бодрствования. Поэтому во время быстрого сна человек способен достигнуть целей, которых он не достиг во время бодрствования, например, совершить открытие. В это время на электрокардиограмме наблюдается β -ритм. При пробуждении во время быстрого сна человек

хорошо помнит свои сновидения, которые отражают информацию, заключенную в возбуждаемых ЦНЦ. Так как эта информация хорошо структурирована и целенаправленна, то сны хорошо помнятся. В целом нельзя сказать, что в это время мозг отдыхает — спит, он функционирует почти полноценно. Но это функционирование не осознанное. Энторинальная кора блокирует информацию из внешней среды в новую кору. Под осознанной работой мозга мы понимаем функционирование ЦНЦ в коре головного мозга во время бодрствования под контролем гиппокампа или в целом структур круга Пейпеца через энторинальную кору.

Возникает вопрос, можно ли учить иностранный язык во время сна? По-видимому, на этот вопрос надо дать отрицательный ответ. Дело в том, что во время медленного и быстрого снов мозг огражден от внешнего влияния функциональным разрывом связи между новой корой и гиппокампом за счет энторинальной коры. Т. е. мозг работает неосознанно и внешняя информация в него поступать не может, т. к. отсутствует информация о наличии в коре головного мозга свободных ячеек памяти. Она хранится в гиппокампе. Поэтому до сих пор не удалось создать методику обучения иностранному языку во время сна.

Некоторые аспекты моделирования коры головного мозга во время медленного сна

Трехмерная структура коры довольно сложна для анализа, поэтому, прежде рассмотрим одномерную систему ячеек памяти т. н. «одномерный мозг». В этой системе ячейки памяти — циклические нейронные цепи — соединены между собой линейным образом и располагаются вдоль прямой линии — оси Z (Рисунок 1).

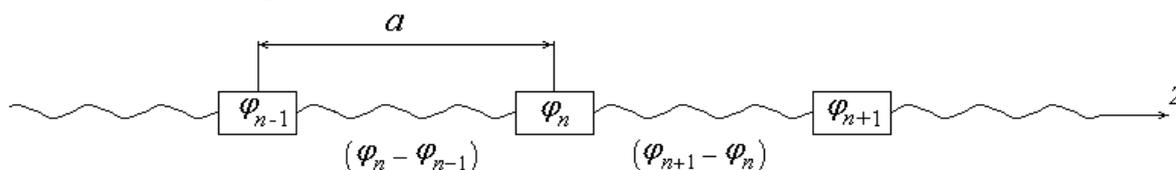


Рисунок 1. Последовательные ЦНЦ в коре головного мозга.

Рассмотрим три ячейки памяти (ЦНЦ), расположенные последовательно.

Ток в ячейку n поступает из ячейки $n+1$ и уходит в ячейку $n-1$. Ток из ячейки $n+1$ в ячейку n текущий под действием разности потенциалов $\varphi_{n+1} - \varphi_n$, равен $I_{ar} = \frac{\varphi_{n+1} - \varphi_n}{X_L}$, а ток из ячейки n в ячейку $n-1$ текущий под действием разности потенциалов $\varphi_n - \varphi_{n-1}$, равен $I_{dep} = \frac{\varphi_n - \varphi_{n-1}}{X_L}$. Под током мы понимаем поток электрических импульсов по аксонам нейронов. Предполагается, что токи носят реактивный (в основном индуктивный) характер, X_L — индуктивное сопротивление токового канала между ячейками памяти.

Можно было бы учесть и другие составляющие токового канала между ЦНЦ: емкостную и активную. Но в этом случае моделирование последовательности ЦНЦ значительно усложняется не принося никакой новой информации.

Предполагаем, что в ячейке n изменяется ток смещения $I_n = C \frac{\partial \varphi_n}{\partial t}$, где C — электрическая емкость ячейки. Скорость изменения тока смещения в ячейке n определяется разностью приходящих и уходящих токов.

$$\frac{\partial I_n}{\partial t} \sim I_{ar} - I_{dep}. \quad (1)$$

Подставляя значения токов в (1) находим:

$$C \frac{\partial \varphi_n}{\partial t} = \beta \frac{(\varphi_{n+1} - \varphi_n) - (\varphi_n - \varphi_{n-1})}{X_L}, \quad (2)$$

где β — коэффициент пропорциональности.

Перейдем в (2) от дискретного к непрерывному приближению. Разложим величины в ряд:

$$\varphi_{n+1} = \varphi(Z + a, t) = \varphi(Z, t) + a \frac{\partial \varphi(Z, t)}{\partial Z} + \frac{1}{2} a^2 \frac{\partial^2 \varphi(Z, t)}{\partial Z^2} + \dots, \quad (3)$$

$$\varphi_{n-1} = \varphi(Z - a, t) = \varphi(Z, t) - a \frac{\partial \varphi(Z, t)}{\partial Z} + \frac{1}{2} a^2 \frac{\partial^2 \varphi(Z, t)}{\partial Z^2} + \dots \quad (4)$$

где a – расстояние между ячейками памяти.

Следовательно:

$$(\varphi_{n+1} - \varphi_n) = a \frac{\partial \varphi(Z, t)}{\partial Z} + \frac{1}{2} a^2 \frac{\partial^2 \varphi(Z, t)}{\partial Z^2} + \dots, \quad (5)$$

$$(\varphi_n - \varphi_{n-1}) = a \frac{\partial \varphi(Z, t)}{\partial Z} - \frac{1}{2} a^2 \frac{\partial^2 \varphi(Z, t)}{\partial Z^2} + \dots, \quad (6)$$

Подставив (5) и (6) в (2), найдем:

$$C \frac{\partial^2 \varphi(Z, t)}{\partial t^2} = \beta \frac{a^2}{X_L} \frac{\partial^2 \varphi(Z, t)}{\partial Z^2}, \quad (7)$$

где обозначено $\varphi_n = \varphi(Z, t)$.

Уравнение 7 представляет собой линейное волновое уравнение:

$$\frac{\partial^2 \varphi(Z, t)}{\partial t^2} = V^2 \frac{\partial^2 \varphi(Z, t)}{\partial Z^2}, \quad (8)$$

где скорость волны $V = \sqrt{\beta \frac{a^2}{CX_L}} = \gamma a \omega$. При этом учтено $X_L = \omega_0 L$, ω_0 — циклическая частота тока между ячейками памяти, $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ — циклическая частота волны, безразмерная постоянная $\gamma = \sqrt{\frac{\beta}{\omega_0}}$.

Волновое число $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{V} = \frac{1}{\gamma a}$. Если $\gamma = \frac{1}{2\pi}$, то длина волны равна расстоянию между ячейками памяти $\lambda = a$.

Уравнение (8) можно рассматривать как математическую модель медленных θ - и δ -волн, распространяющихся по коре головного мозга в процессе медленного сна. Решением уравнения (8) является любая периодическая функция $\varphi = \varphi_0 f(kZ - \omega t)$, где φ_0 — амплитуда колебаний потенциала.

Нейрогенез и нейропластичность на протяжении всей жизнедеятельности

Нейрогенез и нейропластичность у человека сохраняется на протяжении всей его жизнедеятельности.

Исследованы, следующие функции сна:

1. Компенсаторно-восстановительная.
2. Информационная — переработка информации (БДГ — фаза), отбрасывание ненужной информации, перевод нужной информации в долговременную память.
3. Психодинамическая — связана со сновидениями в БДГ-фазе — «небывалая комбинация бывалых впечатлений» (И. Сеченов).
4. Антистрессорная — связана с дельта-сном. Его доля увеличена при стрессовых ситуациях.
5. Сон восстанавливает иммунитет путем активизации Т-лимфоцитов, борющимися с простудными и вирусными заболеваниями.

Сон — активное физиологическое состояние, которое характеризуется потерей активных психических связей субъекта с окружающим его миром

Активный физиологический процесс сна:

- рефлекторные реакции во время сна снижены, порог раздражения рефлексов возрастает, а латентный период удлиняется,
- сознание выключается, снижается мышечный тонус и все виды чувствительности,
- сон сопровождается рядом характерных изменений вегетативных показателей (дыхание урывается, обмен веществ и температура тела, частота сердечных сокращений, артериальное давление и диурез снижаются) и биоэлектрической активности мозга,
- мозговой кровоток повышается в ряде глубинных структур головного мозга почти вдвое, что указывает на повышение метаболизма.

У стареющих людей отмечается убывающий нейрогенез и вызванный физическими упражнениями ангиогенез, с результирующим объемным снижением в нейрогенной области зубчатой извилины гиппокампа (dentate gyrus (DG)). Пожилые люди имеют меньший ангиогенез и нейропластичность и меньший спокойный пул предшественников в передне-среднем ДГ, без изменений в заднем ДГ (Рисунок 2).

Здоровые пожилые люди без когнитивных нарушений, нервно-психических заболеваний или лечения демонстрируют сохраненный нейрогенез. Возможно, что продолжающийся нейрогенез гиппокампа поддерживает когнитивную функцию человека на протяжении всей его жизни, и это снижение может быть связано с нарушением когнитивно-эмоциональной устойчивости [12].

Нейрогенез — это многоступенчатый процесс образования новых нервных клеток в зрелой центральной нервной системе (ЦНС), являющийся ее адаптивной функцией.

Пролиферация — активный процесс самовозобновления, возможность увеличения пула стволовых клеток.

Дифференцировка — преобразование в нейрон с конкретной функцией, размером, метаболизмом. По сути, «профориентация» будущих нервных клеток.

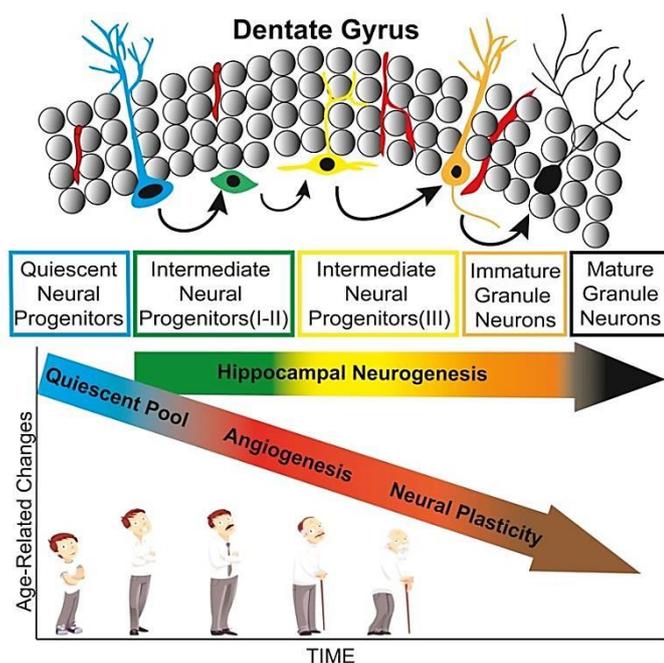


Рисунок 2. Нейрогенез гиппокампа человека сохраняется на протяжении всего старения [12].

Выживание — отбор вновь образовавшихся нейронов, после чего происходит их миграция и интеграция в нейронную сеть. Отбор нервных клеток представляет из себя апоптоз (запрограммированная гибель) части образовавшихся нейронов. Оставшиеся клетки мигрируют в соответствующую область мозга и встраиваются в нейронную сеть (Рисунок 3).

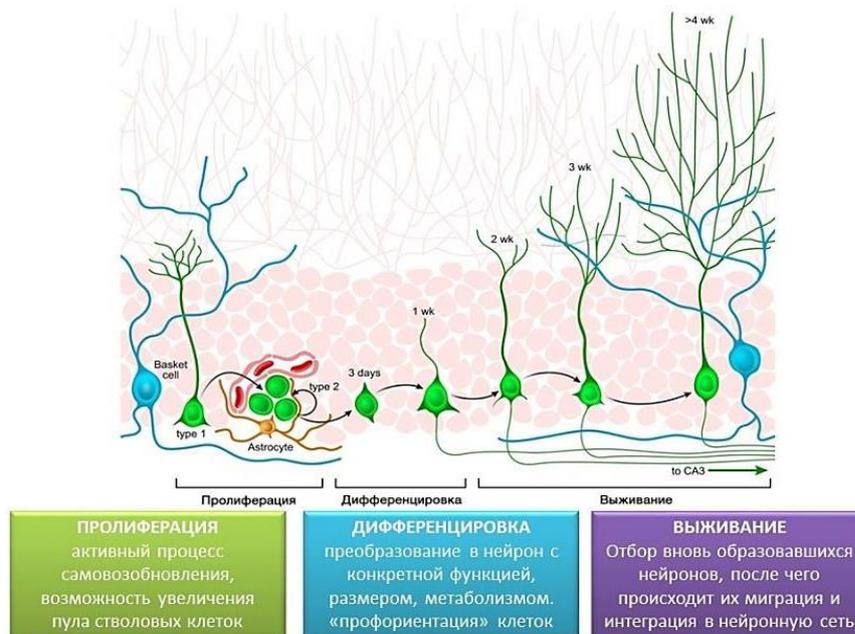


Рисунок 3. Нейрогенез: пролиферация, дифференцировка, выживание.

С экологическими факторами регуляции процессов нейрогенеза связана концепция «обогащенной среды». Сам термин «обогащенная среда» включает в себя благоприятную среду обитания, а именно наличие достаточного количества пищи, комфортно устроенное пространство и возможность для свободной поисковой активности (Рисунок 4).



Рисунок 4. Концепция «обогащенной среды»: регуляция процессов нейрогенеза в зрелом мозге.

Нейрогенез выполняет важную адаптационную функцию в ЦНС, которая заключается в образовании новых синаптических связей (с участием новых нервных клеток), ремоделировании (перестройке) существующих нейронных сетей в зависимости от воздействия внешних факторов (обучение, физическая активность, стресс и т. д.), «реконструкции» утраченных синаптических связей (под воздействием внешних и внутренних факторов). Все перечисленные адаптационные изменения оказывают прямое влияние на эмоциональную реакцию, процессы обучения и памяти. Нейрогенез помогает нервной системе сохранять «пластичность», изменяться и перестраиваться под новые условия и задачи (Рисунок 5).



Рисунок 5. Нейрогенез: внешние воздействия и внутренние факторы.

Современная нейрофизиология депрессии — это дефицит нейротрансмиттеров (нейромедиаторов): серотонина, дофамина и норадреналина (Рисунок 6). Дефицит всех моноаминов в комплексе говорит о подавленном настроении, психомоторной дисфункции и нарушении сна.

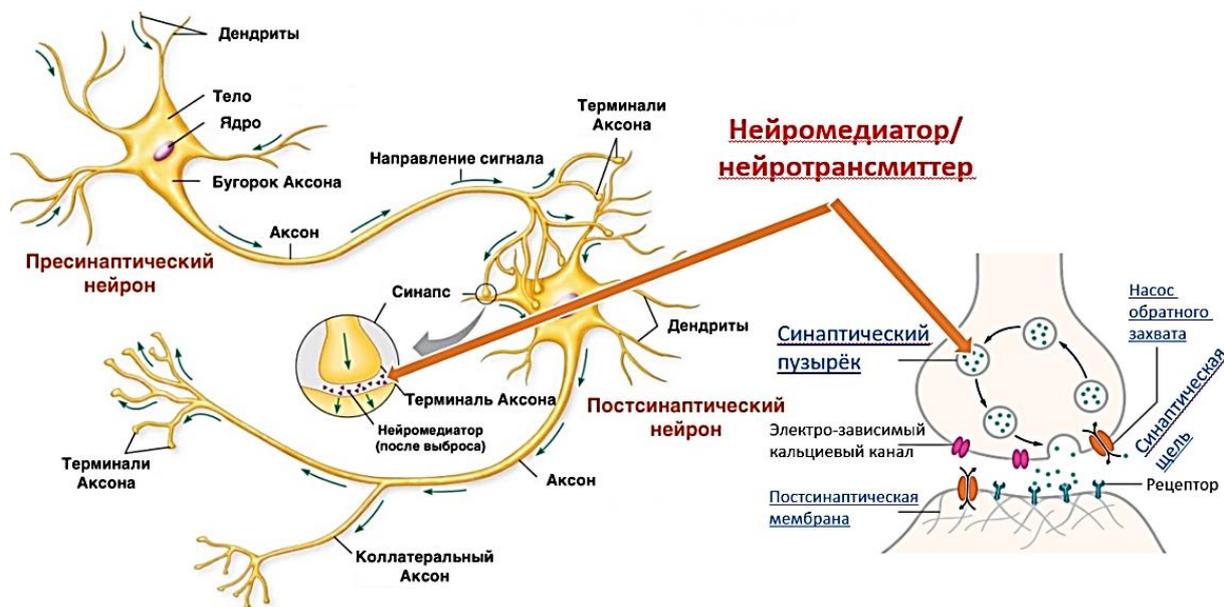


Рисунок 6. Нарушение работы циклической нейронной цепи (нейрофизиология стресса и депрессии).

Биологическая память — это фундаментальное свойство живой матери приобретать, сохранять и воспроизводить информацию (Рисунок 7).

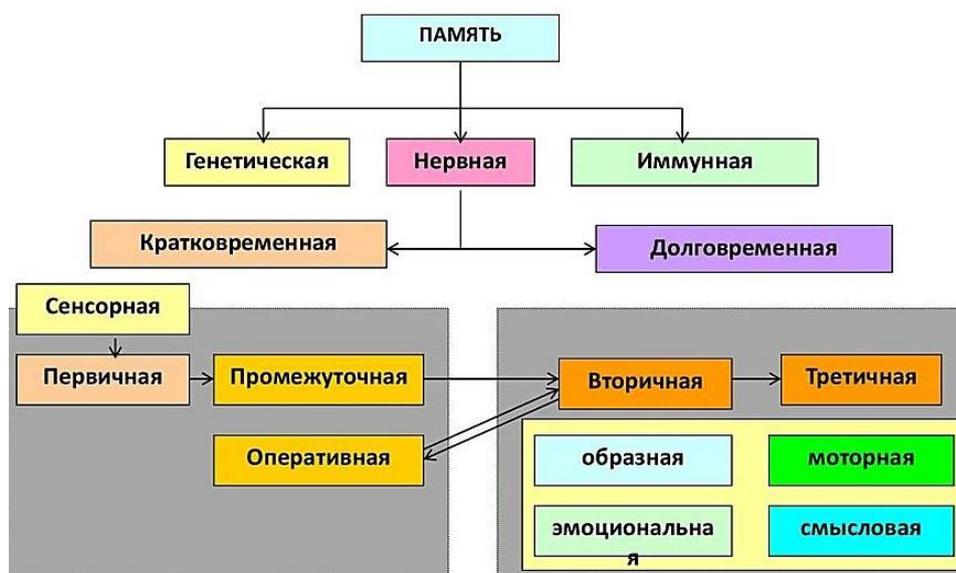


Рисунок 7. Классификация видов памяти.

Нервная память — совокупность процессов фиксации, хранения и извлечения информации, получаемой организмом в течение жизни.

Память, как результат обучения, заключается в комплексе структурно-функциональных изменений в ЦНС, называемых памятьными следами или энграммами, которые сохраняются в течение некоторого времени (секунды-года).

Нейрогенез — это процесс с высокими метаболическими потребностями. С возрастом происходят изменения в церебральной сосудистой системе. Артерии становятся более жесткими. Общее увеличение цереброваскулярного сопротивления, уменьшает способность мозга набирать увеличенное васкулярное снабжение (вазодилататорный резерв). Количество микрососудов головного мозга также уменьшается с возрастом. Снижение нейрогенеза взаимосвязано с уменьшенным сосудистым снабжением. Снижение вазодилататорного резерва нарушает нейроваскулярное соединение, приводя к снижению когнитивных способностей, что, вероятно, связано с нейрогенезом [13].

Схематическое представление различных компонентов нейроваскулярного блока, включая возбуждающие нейроны (фиолетовый цвет), интернейроны (розовый цвет), микроглии (светло-голубой цвет), астроциты (голубой цвет), перициты (зеленый цвет), сосудистый эндотелий (желтый цвет) и сосудистая гладкая мышца (красный цвет).

На Рисунке 8, показано, как различные клеточные компоненты нейроваскулярного блока могут быть затронуты старением и возрастной сосудистой патологией.

Старение также связано с повышенной проницаемостью ГЭБ. Повышенная проницаемость ГЭБ непосредственно приводит к снижению нейрогенеза у взрослых. Повышенное нейровоспаление также приводит к изменениям в активации микроглии, которая, в свою очередь, может регулировать контурную интеграцию нейронов взрослого человека. Возрастные изменения в межнейронных сигналах, которые, как известно, играют решающую роль в цепной интеграции нейронов взрослого человека, также важны для вазодилатации в ответ на нейрональную активность [13].

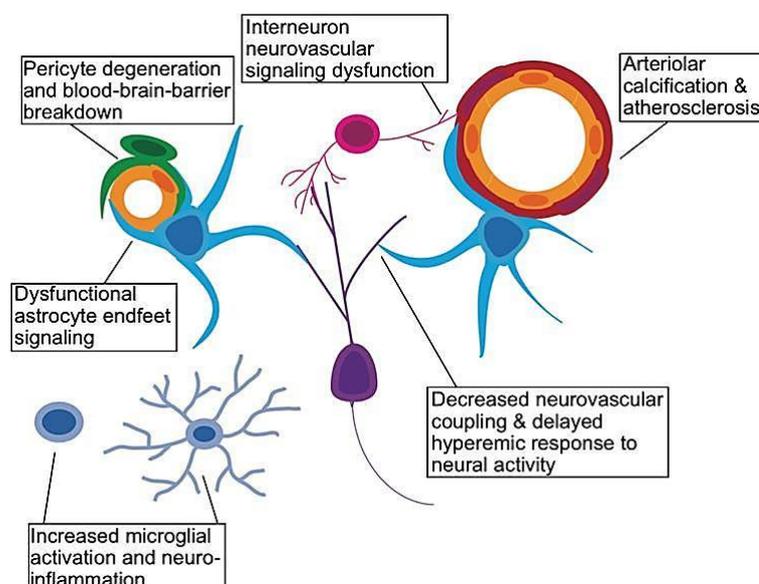


Рисунок 8. Влияние старения на нервно-сосудистое звено [13].

Циркадианный стресс вызывает дисрегуляцию «программного обеспечения» мозга *H. sapiens*, с последующим нарушением работы «когнитивного» и «висцерального» мозга. Циркадные ритмы организма запрограммированы системой циркадных генов. Циркадные часы и циркадная система — являются биофизическим и биохимическим регулятор иммунной защиты. Циркадная система синхронизации представляет собой эволюционный программный продукт «биокомпьютера» для выживания и подготовки организма к ожидаемым циклическим вызовам, различной эпигенетической направленности. Понимание временной связи между стрессорами и стрессовыми реакциями имеет решающее значение для понимания молекулярных основ физиологии и патогенеза заболевания. Хронический стресс и циркадианное рассогласование запускают каскад сбоев в функционировании нейрофизиологических, нейроэндокринных и психонейроиммунных механизмов. Эпигенетическая нагрузка и аллостатическая перегрузка снижает как общую работоспособность организма, так и его физическую, профессиональную и когнитивную составляющие. Циркадианный стресс оказывает патологическое влияние на человека, во все его возрастные периоды жизнедеятельности [14].

Концентрация мелатонина в желудочно-кишечных тканях превосходит его уровень в крови в 10–100 раз, а в желудочно-кишечном тракте, по крайней мере, в 400 раз больше мелатонина, чем в шишковидной железе. Организм человека представляет собой симбиотическое сообщество многочисленных эукариотических, прокариотических клеток, вирусов и архебактерий. Общее число соматических и зародышевых клеток достигает 1 трлн, а микробных клеток — свыше 100 трлн. В системно-интегративной деятельности головного мозга человека насчитывается огромное количество — примерно 10 млрд связанных между собой и постоянно взаимодействующих клеток.

Результаты исследования [15] позволяют восстановить функционирование циркадианной системы человека, нормализовать уровень и концентрацию мелатонина в организме, осуществлять регуляцию процессов сна и бодрствования, управлять нейропластичностью, проводить профилактику когнитивных нарушений, активировать собственные циркадианные ритмы и их синхронизацию с окружающей средой, через

использование мультимодальной схемы повышения циркадного уровня гормона мелатонина в крови человека: циркадианные очки, функциональное питание и физическая активность.

Функциональные продукты питания различные по составу, оказывают системное воздействие как на гуморальные и гормональные циркадианные колебания, так и на персонифицированное состояние здоровья, и его полиморбидность [16]. Включение в комбинированную схему лечения и профилактики заболеваний — функционального продукта питания обусловлено его сбалансированностью по содержанию микро- и макроэлементов, витаминов и минералов, клетчатки и др., необходимых мужскому и женскому организму человека как для профилактики гормональных нарушений в репродуктивной системе, так и для диетического, профилактического и функционального питания при диссомнии, десинхронозе [17].

В исследованиях Н. П. Романчук [15–18] показано, что оптимизация нейробиологических и хрономедицинских процессов, возможна при циркадианной выработке мелатонина и обеспечении его длительной концентрации в организме человека. Установлено, что системно–локальное и индивидуальное сочетанное (медикаментозное и немедикаментозное) вмешательство в циркадианную ось «микробиота–кишечник–мозг» с помощью ежедневного употребления функциональных продуктов питания, положительно влияет на когнитивное и психическое здоровье человека. Висцеральный и когнитивный мозг регулируя уровни мелатонина изменяют флору кишечника и улучшают антимикробные действия. Функциональное и сбалансированное питание обеспечивают циркадианное функционирование нейрооси «мозг–кишечник» с одновременным питанием «мозга» и «микробиоты». Новая концепция, рассматривающая микрофлору кишечника как ключевой регулятор поведения и функционирования головного мозга, представляет собой смену парадигмы в нейронауке и клинической гериатрии [18–19].

Внедрение результатов исследования Н. П. Романчук, позволяет восстановить функционирование циркадианной системы человека, нормализовать уровень и концентрацию мелатонина в организме, осуществлять регуляцию процессов сна и бодрствования, управлять нейропластичностью, проводить профилактику когнитивных нарушений, активировать собственные циркадианные ритмы и их синхронизацию с окружающей средой, через использование мультимодальной схемы повышения циркадианного уровня гормона мелатонина в крови человека: циркадианные очки, функциональное питание и физическая активность [15–16].

Понимание управления эпигенетической регуляцией является ключевым для объяснения и модификации процесса старения и активного долголетия как организма человека в целом, так и головного мозга в частности.

Продолжающимися перспективными современными фундаментальными и прикладными исследованиями, являются математическое, биологическое, биофизическое, нейрофизиологическое, генетическое и эпигенетическое моделирование функционирования «когнитивного» и «висцерального» мозга, его мультидисциплинарное и мультимодальное взаимодействие в триаде «мозг–глаза–сосуды», а так же использование нейроинтерфейсов и искусственного интеллекта для открытия механизмов сна и сновидений, и их клинического применения в нейрореабилитации и профилактике старения мозга и сохранения когнитивных функций, в различные возрастные периоды жизнедеятельности [20].

Таким образом, наше здоровье на 90% зависит от сна. Сон улучшает иммунитет. Известно, что сон регулируется тремя основными факторами: циркадными ритмами, гомеостазом сон–бодрствование и когнитивно-поведенческими влияниями. Во сне

вырабатывается 70% суточного мелатонина. Сон — это молодость кожи. Сон — это реабилитация и восстановление гормонального (полового) потенциала.

Сон является важнейшим биологическим процессом и уже давно признается в качестве важнейшего фактора, определяющего здоровье и работоспособность человека. Хотя не все функции сна полностью изучены, известно, что он восстанавливает энергию, способствует заживлению, взаимодействует с иммунной системой и влияет как на функцию мозга, так и на поведение.

Во время сна наш ум (разум) не только продолжает работать, но и действует таким образом, что мы неизбежно втягиваемся в различные виртуальные сценарии. Обработка содержания сновидений, которая состоит из вариаций сценариев, встречающихся в повседневной жизни, в которых мы взаимодействуем с физическим и социальным миром, неизбежно влияет на наши когнитивные способности и последующую оценку содержания реального мира, по мере развития новых технологий в области когнитивной нейробиологии.

Психические и физические нарушения, связанные с одной ночью плохого сна, могут перевешивать те, которые вызваны эквивалентным отсутствием физических упражнений или пищи.

Перспективы оцифровки сна будут использоваться в профилактике заболеваний и для рекомендаций по образу жизни. Объективный повсеместный мониторинг циклов сон-бодрствование в сочетании с мультимодальными входными данными, отражающими профиль физической активности человека, питание, частоту сердечных сокращений в течение всего дня и генетическую информацию, позволит получать персонализированную обратную связь для управления здоровьем, благополучием и достаточным когнитивным потенциалом.

Сон XXI века нуждается в «разумном помощнике» для управления фильтром: селекция информации, распределения полезной ее части по ячейкам памяти, усовершенствование сохраненной информации в ячейках памяти, а также стирание бесполезной ее составляющей.

Сон XXI века решает революционную научно-техническую задачу фильтра для мозга *H. sapiens*. Нейрореабилитация сна — это использование нейроинтерфейсов и искусственного интеллекта в управлении нейрофизиологическими, нейроэндокринными и нейроиммунными механизмами сна и сновидений.

Сон — это видео воспроизведение сценария из ячеек памяти. Мозг устает, когда не работает. Мозг нуждается в искусственном интеллекте, для умного и/или разумного фильтра поступающей информации в ячейки памяти.

Мозг *H. sapiens* анализирует сон и обрабатывает содержания сновидений, которые состоят из вариаций сценариев, встречающихся в повседневной жизни, в которых мы взаимодействуем с физическим и социальным миром, неизбежно влияет на наши когнитивные способности и последующую оценку содержания реального мира.

Когнитивная память никогда не является точной копией оригинала — это непрерывный акт творения. Сновидения жизненно важны для того, чтобы помочь нашему мозгу обрабатывать эмоции и кодировать новые знания.

Искусственный интеллект, нейросети, виртуальная и дополненная реальность управляют сном и сновидениями.

Синаптическая нейропластичность мозга более активна в циклические периоды сна и сновидений, и является ночной терапией и нейрореабилитацией.

Когнитивная нейробиология и когнитивная психология управляют паттернами мозговой деятельности и соответствующим содержанием сновидений, что позволяет точно предсказывать информацию из субъективных переживаний.

Во время сна когнитивный мозг просматривает и анализирует наш опыт, чтобы проиндексировать его и передать на долгосрочное хранение.

Сновидения — это механизм репетиции угрозы и более общий механизм виртуальной репетиции, которая играет важную роль в развитии когнитивных способностей человека.

Заключение

Проведенный анализ некоторых особенностей работы мозга при условии представления новой коры в виде совокупности циклических нейронных цепей — ячеек памяти, позволяет отразить многие эффекты в работе мозга. В частности возникает хорошее понимание сути когнитивной, творческой деятельности, возможных патологических состояний памяти — болезни Альцгеймера и т. д. Например, возникновение деменции альцгеймеровского типа первоначально начинается с дегенерации структур энторинальной коры [11], далее распространяясь на всю новую кору. Показано, что мозг во время бодрствования работает в двух режимах: детерминированном, который аналогичен функционированию компьютера и стохастическом, обеспечивающем когнитивную, творческую работу мозга. Сложность моделирования стохастической работы мозга не позволяет на данном этапе создать полноценный искусственный интеллект.

При рассмотрении дополнительных структур мозга: гиппокампа, энторинальной коры возникает понимание феномена сна, его режимов, сути сновидений, функциональных возможностей мозга во время сна и т. д. Сон возникает при поступлении на тормозные входы энторинальной коры тормозящих импульсов. Возникновение таких импульсов происходит благодаря накоплению продуктов метаболизма в крови во время бодрствования. Происходит функциональный разрыв связи гиппокампа и новой коры, что изолирует новую кору во время сна от внешних воздействий. Сновидения являются результатом самовозбуждения циклических нейронных цепей во время сна. При быстром или парадоксальном сне сновидения особенно яркие, запоминающиеся, т. к. новая кора функционирует практически полноценно, но без связи с внешней средой.

Проведено математическое моделирование ритмов электроэнцефалограммы в процессе фаз медленного сна. Показана связь частоты ритмов медленного сна с расстоянием между соседними ЦНЦ.

Сон — это нейрореабилитация «когнитивного и висцерального» мозга. Во время сна, через нейросети «синаптического гомеостаза» происходит кодирование и запоминание информации. Одну, из главных ролей при этом играют важные воспоминания закодированной информации с явлениями сновидений, в том числе цветного зрения.

Сон, в фазы «медленного сна» (это глубокий сон без сновидения, когда в мозгу происходит консолидация памяти) и «быстрого сна» (в этой фазе, мозг избавляется от ненужной информации).

Исследования Н. П. Романчук [19], позволяют подойти к осознанному управлению сном и запрограммированным качественно повторяющимся сновидениям, с использованием квантового ресурса. Разум — это персонализация мозга. Нейрофизиология и нейробиология — мультидисциплинарно синхронизированы с медициной, генетикой, молекулярной биологией, различными физическими, оптическими, математическими методами и инструментами, с нейроинтерфейсами и искусственным интеллектом. Нейропластичность —

это внутреннее свойство и перепрограммирование мозга на протяжении всей его жизнедеятельности. «Нейроинтерфейсный камень» самооценки *Homo sapiens* для самоактуализации и самореализации личности — это, самооткрытие, саморазвитие, самообладание, самореализация.

Хронический стресс и циркадианное рассогласование запускают каскад сбоев в функционировании нейрофизиологических, нейроэндокринных и психонейроиммунных механизмов. Циркадная система синхронизации представляет собой эволюционный программный продукт мозг *H. sapiens*, который необходим, для выживания и подготовки организма к ожидаемым циклическим вызовам, различной эпигенетической направленности. Циркадианный стресс оказывает патологическое влияние на человека, во все его возрастные периоды жизнедеятельности [1].

Хронотерапевтические и психохронобиологические стратегии защиты от воздействия циркадианного стресса на различные группы и категории населения, позволяют заблокировать переход когнитивных нарушений в когнитивные расстройства. Современные технологии искусственного интеллекта способны на многое, в том числе прогнозировать когнитивные нарушения и когнитивные расстройства, с помощью комбинированной и гибридной нейровизуализации, секвенирования нового поколения и др., с целью начала своевременной и эффективной реабилитации мозга *H. sapiens* [1].

Депрессия — это разрушительный синдром, с аллостатической перегрузкой и транзиторной дисрегуляцией функций неврологического, метаболического и иммунологического статуса, а также перепрограммированием в гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси. Депрессия вызывает патологические изменения в секреции и моторике пищеварительной системы, а сбой в работе двунаправленных кишечно-мозговых связей модифицируют микробиоту кишечника. Хроническая депрессия дестабилизирует работу «когнитивного и висцерального мозга» [19].

Сохранение когнитивных способностей мозга возможно только при его непрерывной тренировке творческо-мыслительной работой. Активное и когнитивное долголетие человека может быть достигнуто путем исследования биофизики генома, нутригеномики, нутригенетики, ревитализации, циркадианного функционирования нейрооси «мозг–кишечник» с одновременным питанием «мозга» и «микробиоты» с помощью ежедневного полифункционального диетического комплекса функциональных продуктов питания. Современная нутригенетика и нутригеномика персонифицировали генетический контроль в нутрицитологии. Разработаны комбинированные и/или дополнительные методы, которые активируют процессы нейрогенеза в головном мозге и его нейропластичность [21].

Всего в головном мозге примерно 10^{11} (сто миллиардов) нейронов. В коре больших полушарий $0,14 \times 10^{11}$ нейронов. ЦНЦ состоит из 2–3 нейронов. Поэтому в головном мозге может быть до 5×10^9 ЦНЦ. Образованный человек может оперировать (помнить) примерно 10^5 понятий (слов). Для каждого понятия, по-видимому, необходимо до 10 ЦНЦ: само понятие, его запись, принципы связи с другими понятиями и т. д. Поэтому, для работы с понятиями нужно примерно 10^6 ЦНЦ. Если человек знает два языка, то необходимо еще 10^6 – 10^7 ЦНЦ. Нужно не только помнить слова другого языка, но и отождествить слова в двух языках [21].

Оставшиеся ЦНЦ, фактически те же 5×10^9 служат для запоминания других фактов, необходимых для жизнедеятельности: партнеров, окружающей среды, стандартных наборов поведения, рабочих навыков и т. д. Мозг имеет практически неограниченные ресурсы памяти. Эти ресурсы памяти используются далеко не полностью. Синаптическая

нейропластичность и современная эпигенетическая защита, гарантируют долговременное запоминание и включение в новообразованную сеть участков с совершенно не использованными, новообразованными контактами между клетками. Чем больше новых синаптических контактов участвует в сети первичной (кратковременной) памяти, тем больше у этой сети шансов сохраниться надолго.

Продолжающиеся перспективные исследования: «Кто познает тайну сна, познает тайну мозга» — так считал великий французский нейрофизиолог, один из основоположников современного учения о сне (сомнологии) Мишель Жуве.

В 1935 г., И. П. Павлов высказал следующую мысль: «Ясное дело, что наша дневная работа представляет сумму раздражений, которая обуславливает известную сумму истощения, и тогда эта сумма истощения, дошедшая до конца, и вызывает автоматически, внутренним гуморальным путем, тормозное состояние, сопровождаемое сном». Эту формулировку можно назвать пророческой — она звучит вполне актуально и в наши дни.

Новые исследования показывают, что глубокий сон связан как с кровотоком, так и с оттоком ликвора из мозга. Это, удивительное открытие.

Сон необходим как для познания, так и для поддержания здоровой функции мозга. Медленные волны нейронной активности способствуют консолидации памяти, в то время как спинномозговая жидкость (ликвор) очищает мозг от метаболических отходов [22]. Связаны ли эти два процесса, неизвестно. Разгадка, в современной нейровизуализация для измерения физиологической и нейронной динамики в человеческом мозге. Исследован [22], когерентный паттерн осциллирующей электрофизиологической, гемодинамической и ликворной динамики, возникающий во время сна без быстрого движения глаз. Нейронные медленные волны сопровождаются гемодинамическими колебаниями, которые, в свою очередь, связаны с потоком ликвора. Эти результаты демонстрируют, что спящий мозг демонстрирует волны потока CSF в макроскопическом масштабе, и эта динамика CSF взаимосвязана с нейронными и гемодинамическими ритмами. Во время сна без быстрого движения глаз низкочастотные колебания в нейронной активности поддерживают консолидацию памяти и нейронные вычисления [22].

Выводы

Современные помощники *H. sapiens*: искусственный интеллект, мозговые нейрочипы, экогаджеты — позволяют контролировать главную (стратегическую, перспективную) информацию для достижения целей, через управления сном.

Сновидения (преимущественно, кошмары и др.) — это мультимедийное видео воспроизведение жизненной ситуации, а главное — лекарство для мозга *H. sapiens*.

Утренний сон, это информационный период работы головного мозга с «библиотекой памяти» (винчестером мозга): «очищение ячеек памяти, от не нужной информации», «перезапись информации», накопление новой «полезной» информации.

Список литературы:

1. Романчук Н. П. Здоровая микробиота и натуральное функциональное питание: гуморальный и клеточный иммунитет // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №9. С. 127-166. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/58/14>

2. Романчук П. И., Волобуев А. Н. Современные инструменты и методики эпигенетической защиты здорового старения и долголетия *Homo sapiens* // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №1. С. 43-70. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/50/06>

3. Романчук П. И. Возраст и микробиота: эпигенетическая и диетическая защита, эндотелиальная и сосудистая реабилитация, новая управляемая здоровая биомикробиота // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №2. С. 67-110. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/07>
4. Волобуев А. Н., Романчук П. И. Генетика и эпигенетика сна и сновидений // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №7. С. 176-217. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/56>.
5. Hall J. E., Hall M. E. Guyton and Hall textbook of medical physiology e-Book. Elsevier Health Sciences, 2020.
6. Камкин А., Каменский А. Фундаментальная и клиническая физиология. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 1072 с.
7. Хьюбел Д., Стивенс Ч., Кэндел Э. и др. Мозг / пер. с англ. М.: Мир, 1987. 280 с.
8. Carola R., Harley J. P., Nobac C. R. Human Anatomy and Physiology. New York-London-Paris: McGraw-Hill Publishing Company, 1990. 926 p.
9. Sandler R. A., Dong Song, Hampson R. E. et al. Hippocampal closed-loop modeling and implications for seizure simulation design // Journal of Neural Engineering. 2015. V. 12. №5. P. 056016.
10. Zhang S.-J., Ye J., Couey J. J., Witter M., Moser E. I., Moser M.-B. Functional connectivity of the entorhinal-hippocampal space circuit // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2014. V. 369. №1635. 20120516. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0516>
11. Nordengen K. Hjernen er stjernen: dit eneste nerstattelige organ. Oslo: Kagge Forlag, 2018.
12. Boldrini M., Fulmore C. A., Tartt A. N., Simeon L. R., Pavlova I., Poposka V., Rosoklija G. B., Stankov A., Arango V., Dwork A. J., Hen R., Mann J. J. Human Hippocampal Neurogenesis Persists throughout Aging // Cell Stem Cell. 2018. V. 22. №4-5. P. 589-599.e5. <https://doi.org/10.1016/j.stem.2018.03.015>.
13. Kirschen G. W., Kéry R., Ge Sh. The Hippocampal Neuro-Glio-Vascular Network: Metabolic Vulnerability and Potential Neurogenic Regeneration in Disease // Brain Plasticity. 2018. V. 3. №2. P. 129-144. <https://doi.org/10.3233%2FBPL-170055>
14. Пятин В. Ф., Романчук Н. П., Булгакова С. В., Романов Д. В., Сиротко И. И., Давыдкин И. Л., Волобуев А. Н. Циркадианный стресс *Homo sapiens*: новые нейрофизиологические, нейроэндокринные и психонейроиммунные механизмы // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №6. С. 115-135. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/55/16>
15. Романчук Н. П., Пятин В. Ф. Мелатонин: нейрофизиологические и нейроэндокринные аспекты. Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 7. С. 71-85. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/08>.
16. Пятин В. Ф., Романчук Н. П., Романчук П. И., и др. Способ нормализации циркадианных ритмов человека. Патент РФ на изобретение №2533965.
17. Романчук Н. П. Способ производства зернового компонента для пищевого продукта быстрого приготовления и способ производства функционального пищевого продукта быстрого приготовления. Патент РФ на изобретение №2423873.
18. Романчук Н. П., Романчук П. И., Малышев В. К. Продукт диетического, профилактического и функционального питания при хронической ишемии головного мозга. Патент РФ на изобретение №2489038.

19. Романчук Н. П., Пятин В. Ф., Волобуев А. Н., Булгакова С. В., Тренева Е. В., Романов Д. В. Мозг, депрессия, эпигенетика: новые данные // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №5. С. 163-183. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/54/21>
20. Пятин В. Ф., Романчук Н. П., Романчук П. И., Волобуев А. Н. Мозг, глаза, свет: биоэлектромагнетизм света и нейрореабилитация когнитивных нарушений // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №12. С. 129-155. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/49/14>
21. Волобуев А. Н., Романчук П. И., Романчук Н. П., Давыдкин И. Л., Булгакова С. В. Нарушение памяти при болезни Альцгеймера // ВРАЧ. 2019. Т. 30. №6. С.10-13. <https://doi.org/10.29296/25877305-2019-06-02>
22. Fultz N. E., Bonmassar G., Setsompop K., Stickgold R. A., Rosen B. R., Polimeni J. R., Lewis L. D. (2019) Coupled electrophysiological, hemodynamic, and cerebrospinal fluid oscillations in human sleep // Science. V. 366. №6465. P. 628-631. <https://doi.org/10.1126/science.aax5440>

References:

1. Romanchuk, N. (2020). Healthy Microbiota and Natural Functional Nutrition: Humoral and Cellular Immunity. *Bulletin of Science and Practice*, 6(9), 127-166. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/58/14>
2. Romanchuk, P., & Volobuev, A. (2020). Modern Tools and Methods of Epigenetic Protection of Healthy Aging and Longevity of the *Homo sapiens*. *Bulletin of Science and Practice*, 6(1), 43-70. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/50/06>
3. Romanchuk, P. (2020). Age and Microbiota: Epigenetic and Dietary Protection, Endothelial and Vascular Rehabilitation, the New Operated Healthy Biomicrobiota. *Bulletin of Science and Practice*, 6(2), 67-110. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/07>
4. Volobuev, A., & Romanchuk, P. (2020). Genetics and Epigenetics of Sleep and Dreams. *Bulletin of Science and Practice*, 6(7), 176-217. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/56>
5. Hall, J. E., & Hall, M. E. (2020). Guyton and Hall textbook of medical physiology e-Book. Elsevier Health Sciences.
6. Kamkin, A., & Kamenskii, A. (2004). Fundamental and clinical physiology. Moscow, Publishing Center Academy, 1072.
7. Hubel D., Stevens C., Kandel E., & al. (September 1979). The Brain. *Scientific American*, 280.
8. Carola, R., Harley, J. P., Nobac, C. R. (1990). Human Anatomy and Physiology. New York, London, Paris, McGraw-Hill Publishing Company, 926.
9. Sandler, R. A., Dong Song, Hampson, R. E., & al. (2015). Hippocampal closed-loop modeling and implications for seizure simulation design. *Journal of Neural Engineering*, 12(5), 056016.
10. Zhang, S.-J., Ye, J., Couey, J. J., Witter, M., Moser, E. I., & Moser, M.-B. (2014). Functional connectivity of the entorhinal-hippocampal space circuit. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1635), 20120516. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0516>
11. Nordengen, K. (2018). Hjernen er stjernen: dit eneste nerstattelige organ. Oslo, Kagge Forlag, 100.
12. Boldrini, M., Fulmore, C. A., Tartt, A. N., Simeon, L. R., Pavlova, I., Poposka, V., Rosoklija, G. B., Stankov, A., Arango, V., Dwork, A. J., Hen, R., & Mann, J. J. (2018) Human

Hippocampal Neurogenesis Persists throughout Aging. *Cell Stem Cell.*, 22(4-5), 589-599.e5. <https://doi.org/10.1016/j.stem.2018.03.015>.

13. Kirschen, G. W., Kéry, R., & Ge, Sh. (2018). The Hippocampal Neuro-Glio-Vascular Network: Metabolic Vulnerability and Potential Neurogenic Regeneration in Disease. *Brain Plasticity*, 3(2), 129-144. <https://doi.org/10.3233%2FBPL-170055>

14. Pyatin, V., Romanchuk, N., Bulgakova, S., Romanov, D., Sirotko, I., Davydkin, I., & Volobuev, A. (2020). Circadian Stress of *Homo sapiens*: New Neurophysiological, Neuroendocrine and Psychoneuroimmune Mechanisms. *Bulletin of Science and Practice*, 6(6), 115-135. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/55/16>

15. Romanchuk, N., & Pyatin, V. (2019). Melatonin: Neurophysiological and Neuroendocrine Aspects. *Bulletin of Science and Practice*, 5(7), 71-85. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/08>

16. Pyatin, V. F., Romanchuk, N. P., & Romanchuk, P. I., Sposob normalizatsii tsirkadiannykh ritmov cheloveka. Patent RF na izobretenie no. 2533965. (in Russian).

17. Romanchuk, N. P. Sposob proizvodstva zernovogo komponenta dlya pishchevogo produkta bystrogo prigotovleniya i sposob proizvodstva funktsional'nogo pishchevogo produkta bystrogo prigotovleniya. Patent RF na izobretenie no. 2423873. (in Russian).

18. Romanchuk N. P. Romanchuk P. I., Malyshev V. K. Product diet, preventive and functional nutrition for chronic cerebral ischemia. Patent no. 2489038. (in Russian).

19. Romanchuk, N., Pyatin, V., Volobuev, A., Bulgakova, S., Treneva, E., & Romanov, D. (2020). Brain, Depression, Epigenetics: New Data. *Bulletin of Science and Practice*, 6(5), 163-183. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/54/21>

20. Pyatin, V., Romanchuk, N., Romanchuk, P., & Volobuev, A. (2019). Brain, Eyes, Light: Biological Electrical Magnetism of Light and Neurorehabilitation of Cognitive Impairment. *Bulletin of Science and Practice*, 5(12), 129-155. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/49/14>

21. Volobuev, A. N., Romanchuk, P. I., Romanchuk, N. P., Davydkin, I. L., & Bulgakova, S. V. (2019). Memory impairment in Alzheimer's disease. *Vrach*, 30(6), 10-13. <https://doi.org/10.29296/25877305-2019-06-02>

22. Fultz, N. E., Bonmassar, G., Setsompop, K., Stickgold, R. A., Rosen, B. R., Polimeni, J. R., & Lewis L. D. (2019) Coupled electrophysiological, hemodynamic, and cerebrospinal fluid oscillations in human sleep. *Science*, 366(6465), 628-631. <https://doi.org/10.1126/science.aax5440>

Работа поступила
в редакцию 15.09.2020 г.

Принята к публикации
19.09.2020 г.

Ссылка для цитирования:

Волобуев А. Н., Пятин В. Ф., Романчук Н. П., Булгакова С. В., Романов Д. В. Анатомо-физиологические и биофизические принципы функционирования мозга в состоянии бодрствования и сна // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №10. С. 73-94. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/59/07>

Cite as (APA):

Volobuev, A., Pyatin, V., Romanchuk, N., Bulgakova, S., & Romanov, D. (2020). Anatomical-Physiological and Biophysical Principles of Brain Functioning in Waking and Sleep. *Bulletin of Science and Practice*, 6(10), 73-94. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/59/07>