

УДК 616.83/.85:616.89

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/49/14>

## МОЗГ, ГЛАЗА, СВЕТ: БИОЭЛЕКТРОМАГНИТИЗМ СВЕТА И НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИЯ КОГНИТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ

©**Пятин В. Ф.**, ORCID: 0000-0001-8777-3097, Scopus ID: 6507227084, SPIN-код: 3058-9038,  
д-р мед. наук, Самарский государственный медицинский университет,  
г. Самара, Россия, [Pyatin\\_vf@list.ru](mailto: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](mailto:Romanchuknp@mail.ru)

©**Романчук П. И.**, ORCID: 0000-0002-0603-1014, SPIN-код: 2546-9211, акад. РАМТН,  
Гериатрический центр, г. Самара, Россия, [Romanchukpi@yandex.ru](mailto:Romanchukpi@yandex.ru)

©**Волобуев А. Н.**, д-р техн. наук, Самарский государственный медицинский университет,  
г. Самара, Россия, [volobuev47@yandex.ru](mailto:volobuev47@yandex.ru)

## BRAIN, EYES, LIGHT: BIOLOGICAL ELECTRICAL MAGNETISM OF LIGHT AND NEUROREHABILITATION OF COGNITIVE IMPAIRMENT

©**Pyatin V.**, ORCID: 0000-0001-8777-3097, Scopus ID: 6507227084, SPIN-code: 3058-9038,  
Dr. habil., Samara State Medical University, Samara, Russia, [Pyatin\\_vf@list.ru](mailto:Pyatin_vf@list.ru)

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

©**Romanchuk P.**, ORCID: 0000-0002-0603-1014, SPIN-code: 2546-9211,  
Academician RAMTN, Geriatric Center, Samara, Russia, [Romanchukpi@yandex.ru](mailto:Romanchukpi@yandex.ru)

©**Volobuev A.**, Dr. habil., Samara State Medical University, Samara, Russia,  
[volobuev47@yandex.ru](mailto:volobuev47@yandex.ru)

*Аннотация.* Биоэлектромагнетизм света и нейронные сети мозга — это, адаптация и оптимизация условий внешнего и внутреннего освещения (тип, характер, длительность) для улучшения работы когнитивного мозга. Мозг *Homo sapiens* работает в 24-часовой биоэлектромагнитной среде. Свет является самым сильным синхронизирующим сигналом для циркадной системы, и поэтому сохраняет большинство биологических и психологических ритмов внутренне синхронизированными, что важно для оптимальной работы мозга *H. sapiens*. Циркадные нарушения сна–бодрствования и хроническое циркадное рассогласование, часто наблюдаемые при психиатрических и нейродегенеративных заболеваниях, могут быть эффективными в нейрореабилитации когнитивных нарушений. Благоприятное влияние на циркадианную синхронизацию, качества сна, настроение и когнитивные показатели зависят от времени, интенсивности и спектрального состава светового воздействия. Мультидисциплинарное и мультимодальное взаимодействие в триаде «мозг–глаза–сосуды» позволяет выявить ранние биомаркеры как общего ускоренного и патологического старения, так и своевременно диагностировать нейродегенерацию, и провести эффективную нейрореабилитацию когнитивных нарушений. Контроль и лечение сосудистых факторов риска и эндокринных нарушений позволяет снизить распространенность длительной нетрудоспособности среди пожилого населения. Комбинированные и гибридные методы нейровизуализации в содружестве с технологиями искусственного интеллекта, позволяют понять и диагностировать неврологические расстройства и найти новые методы нейрореабилитации и медико–социального

сопровождения, которые приведут к улучшению психического здоровья. Для восстановления циркадианной нейропластичности мозга предлагается мультимодальная схема: циркадианские очки, функциональное питание и физическая активность. Разработан и внедрен комбинированный и гибридный кластер в диагностике, лечении, профилактике и реабилитации когнитивных нарушений и когнитивных расстройств.

*Abstract.* Biological electrical magnetism of light and neural networks of the brain is the adaptation and optimization of external and internal lighting conditions (type, nature, duration) to improve the cognitive brain. Homo sapiens brain operates in a 24-hour biological electrical magnetic environment. Light is the strongest synchronizing signal for the circadian system, and therefore keeps most biological and psychological rhythms internally synchronized, which is important for the optimal functioning of *H. sapiens* brain. Circadian Sleep–Wake disorders and chronic circadian misalignment, often seen in psychiatric and neurodegenerative diseases, may be effective in neurorehabilitation of cognitive impairment. Beneficial effects on circadian synchronization, sleep quality, mood and cognitive performance-depend on the time, intensity and spectral composition of light exposure. Multidisciplinary and multimodal interaction in the triad ‘brain–eyes–vessels’ allows to identify early biomarkers of both General accelerated and pathological aging, and timely diagnose neurodegeneration, and conduct effective neurorehabilitation of cognitive disorders. Control and treatment of vascular risk factors and endocrine disorders can reduce the prevalence of long-term disability among the elderly population. Combined and hybrid methods of neuroimaging in conjunction with artificial intelligence technologies, allow to understand and diagnose neurological disorders and find new methods of neurorehabilitation and medical and social support that will lead to improved mental health. To restore circadian neuroplasticity of the brain, a multimodal scheme is proposed: circadian glasses, functional nutrition and physical activity. A combined and hybrid cluster in the diagnosis, treatment, prevention and rehabilitation of cognitive disorders and cognitive disorders has been developed and implemented.

*Ключевые слова:* биоэлектромагнетизм света, интерфейс мозг-компьютер, искусственный интеллект, мелатонин, нейровизуализация, нейрореабилитация, нейросеть мозг-микробиота, физическая активность, функциональное питание, хрономедицина, циркадианские очки, циркадианная пластичность мозга.

*Keywords:* biological electrical magnetism of light, brain-computer interface, artificial intelligence, melatonin, neuroimaging, neurorehabilitation, brain-microbiota neural network, neuroendocrinology, physical activity, functional nutrition, chronomedicine, circadian glasses, circadian plasticity of the brain.

### *Введение*

Конструкция «когнитивного резерва» представляет собой набор переменных, включая интеллект, образование и умственную стимуляцию, которая предположительно позволяет мозгу адаптироваться к основным патологиям, поддерживая когнитивную функцию, несмотря на лежащие в основе нейронные изменения. Мозг *Homo sapiens* также указывает на устойчивость к нейропатологическим повреждениям и может быть определен как способность оптимизировать или максимизировать производительность за счет эффективного набора нейронных сетей и/или альтернативных когнитивных стратегий.

Познание в детском возрасте, уровень образования и занятия для взрослых - все это независимо друг от друга способствует формированию когнитивного резерва [1].

Нейротехнологии-2024, нейротехнологии-2030 и нейротехнологии-2045 — это генетическая и эпигенетическая программа Brain Homo Sapiens, гериатрическая гибридная The Secret долгосрочная нейрореабилитация, нейротехнологии Brain-computer interface. Разработан и внедрен комбинированный и гибридный кластер в диагностике, лечении, профилактике и реабилитации когнитивных нарушений и когнитивных расстройств [1].

Исследование «Ранняя диагностика когнитивных нарушений» посвящено актуальной задаче современной медицины — раннему распознаванию когнитивных нарушений. Рассматриваются подходы к диагностике, обсуждаются вопросы патогенеза и систематики когнитивных нарушений, психометрические и патопсихологические методики оценки когнитивных расстройств, подходы к комплексному психофармакологическому лечению и профилактике когнитивных расстройств [2]. Результаты ориентируют врача на использование мультидисциплинарного подхода к пониманию проблемы нейродегенераций и формированию научно-обоснованных алгоритмов ведения таких пациентов [2].

Мозг *H. sapiens* работает в 24-часовой биоэлектромагнитной среде. Циркадный кардиостимулятор, супрахиазматические ядра в гипоталамусе, вовлекается в 24-часовой день по пути от сетчатки и синхронизирует наши внутренние биологические ритмы. Ритмические изменения в освещении окружающей среды влияют на такие формы поведения, как отдых во время сна и активность во время бодрствования, а также биологические процессы. Наличие искусственного освещения существенно изменило освещенность окружающей среды, особенно в вечерние и ночные часы. Увеличен риск развития циркадных нарушений ритма сна-бодрствования, которые часто вызваны рассогласованием эндогенных циркадных ритмов и внешних светотеневых циклов. Исследовано, что, свет можно также использовать как эффективный и неинвазивный терапевтический метод, без побочных эффектов, для того чтобы улучшить сон, настроение и общее благополучие [3].

Воздействие яркого света, как правило, прерывисто в нашей повседневной жизни. В работе The Acute Effects of Intermittent Light Exposure in the Evening on Alertness and Subsequent Sleep Architecture сравнили эффекты трех условий освещения: прерывистый яркий свет (30-минутный импульс обогащенного синим светом яркого света (~1000 люкс, ~6000 К), чередующийся с 30-минутным тусклым нормальным светом (~5 люкс, ~3600 К) три раза); непрерывный яркий свет; и непрерывный тусклый свет на субъективную и объективную бдительность и последующую структуру сна [4].

Каждая световая экспозиция проводилась в течение трех часов перед сном. Пятнадцать здоровых добровольцев (20±3,4 лет; семь мужчин) должны были находиться в лаборатории сна в течение четырех отдельных ночей (одна для адаптации, а другие для светового воздействия) с периодом между ночами не менее одной недели. Результаты показали, что при сравнении с тусклым светом, как прерывистый свет, так и непрерывный яркий свет значительно увеличивали субъективную бдительность и снижали эффективность сна и общее время сна [4]. Прерывистый свет значительно повышал объективную бдительность по сравнению с тусклым светом во второй половине периода светового воздействия. Результаты свидетельствуют, что прерывистый свет был столь же эффективен, как и непрерывный яркий свет, в своем остром воздействии на повышение субъективной и объективной бдительности и в негативном влиянии на последующий сон.

Установлено что, воздействие голубого света в течение дня важно для того чтобы подавить секретирование мелатонина [5]. В то время как воздействие синего цвета важно для поддержания здоровья организма, бодрости и когнитивных функций в течение дня,

хроническое воздействие низкоинтенсивного синего света непосредственно перед сном может иметь серьезные последствия для качества сна, циркадной фазы и продолжительности цикла. Это неизбежно повышает потребность в решениях для улучшения самочувствия, бдительности и когнитивных функций в современном обществе, где воздействие синих светоизлучающих устройств постоянно увеличивается.

Существует монотонная ассоциация между подавлением мелатонина и циркадным сбросом фазы, вызванным воздействием света. В исследовании *Functional decoupling of melatonin suppression and circadian phase resetting in humans* проверили связь между подавлением мелатонина и восстановлением фазы у человека [6]. Шестнадцать молодых здоровых участников получили ночное яркое световое ( $\approx 9500$  ЛК) воздействие непрерывных или прерывистых паттернов, а также различной продолжительности от 12 мин до 6,5 ч. прерывистые паттерны воздействия показали значительные фазовые сдвиги с непропорционально меньшим подавлением мелатонина. Каждый яркий световой стимул в картине прерывистого воздействия вызывал сходную степень подавления мелатонина, но, по-видимому, не вызывал равной величины сдвига фаз. Эти результаты показывают, что фазовые сдвиги и подавление мелатонина функционально независимы, так что одно не может использоваться в качестве косвенной меры другого.

Исследователи, установили что, наиболее эффективными методами лечения нарушенных циркадианных ритмов, являются введение мелатонина и светотерапия [7–8]. Также рекомендуются поведенческие вмешательства. Четырехдневный период оценки ритма сна-бодрствования позволяет проводить точную диагностику, адекватный выбор хронобиологических вмешательств и планировать адекватные суточные сроки их применения. Этот тип оценки является довольно простым, недорогим и дает ценные указания, как скорректировать терапевтический подход к циркадной фазе конкретного пациента. Циркадный ритм расстройства сна-бодрствования представляют собой группу расстройств, при которых сроки сна и бодрствования значительно отличаются от ожиданий пациента или социально приемлемого времени.

*Patients with endogenous circadian rhythm sleep-wake disorders (CRSWD) are often misdiagnosed and treated for insomnia or hypersomnia.* Каждый пациент, сообщающий о нарушениях сна-бодрствования, должен быть опрошен о качестве сна и его времени в свободные дни (например, выходные, праздничные дни). Выявленные нарушения CRSWD устанавливаются с помощью дневников сна/журналов и ОКТ-ангиографии. Лечение выбора для CRSWD — это хронотерапия, которая включает применение мелатонина, светотерапию и поведенческие вмешательства. Нарушения сна, связанные со сменной работой и изменением часовых поясов, являются растущей проблемой для здоровья. Мероприятия по борьбе с этими расстройствами должны быть в первую очередь направлены на профилактику [8].

Ученые используют нейронные сети для объединения данных компьютерного зрения и электроэнцефалографии. Нейронные сети допускают естественное сочетание различных признаков без необходимости специальных знаний предметной области. Модули нейронной сети являются универсальными и, таким образом, не требуют какого-либо ручного проектирования функций. Brain-computer interface (BCI) — это метод связи, использующий электрическую активность мозга для управления машиной для выполнения задач. Устройства ЭЭГ могут записывать данные с высоким временным разрешением со всех электродов одновременно, создавая матрицы данных, которые представляют текущую мозговую активность. Кроме того, ЭЭГ является мобильным и более доступным, чем другие методы нейровизуализации, и, таким образом, является общим выбором для реальных приложений BCI [9]. Нейронные сети — это нелинейная архитектура для извлечения и классификации



признаков, которая может изучать очень сложные паттерны. Глубокие, многослойные нейронные сети достигли прорывных результатов в различных задачах. Последние достижения в области машинного обучения привели к появлению возможностей автоматического распознавания в реальном мире в различных областях, таких как изображения, речь и текст [10].

### Сенсорные пути: зрительный анализатор

Сетчатка по своему строению и происхождению представляет собой нервный центр, в котором происходят первичная обработка зрительных сигналов, преобразование их в нервные импульсы, передающиеся в головной мозг. Сигналы в сетчатке передаются через цепочку из трех основных типов клеток, которые различаются по строению и функциональным свойствам: 1) фоторецепторы (палочки и колбочки); 2) биполярные клетки; 3) ганглиозные клетки. Взаимодействие между ними обеспечивается горизонтальными и амакриновыми клетками (Рисунок 1).

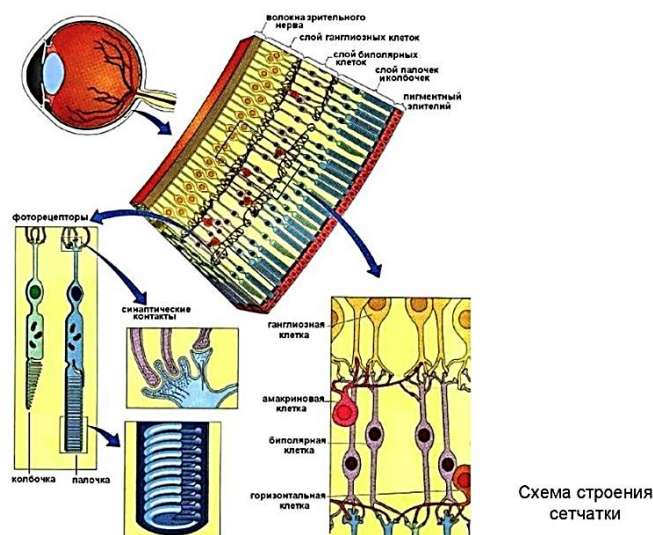


Рисунок 1. Схема строения сетчатки [12].

Горизонтальные клетки осуществляют связь на уровне переключений от фоторецепторов к биполярным, амакриновые клетки — на уровне переключений от биполярных к ганглиозным клеткам. Фоторецепторы (колбочки и палочки) составляют самый внутренний слой сетчатки. В следующем клеточном слое находятся тела горизонтальных и биполярных клеток. Терминалы аксонов биполярных клеток образуют синаптические контакты с дендритами ганглиозных клеток и отростками амакриновых клеток. Отростки амакриновых клеток, в свою очередь, контактируют с телами и дендритами ганглиозных клеток, а также с другими амакриновыми клетками. Внешний слой сетчатки образован телами ганглиозных клеток и волокнами, которые в последующем образуют зрительный нерв (Рисунок 2).

В зрительной системе человека можно выделить следующие уровни обработки сигналов. На периферии находится сетчатка. В ходе развития нервной системы сетчатка закладывается на самых ранних этапах развития (так называемые «глазные пузыри»). Поэтому есть все основания считать сетчатку «частью мозга, вынесенного на периферию». Следующий уровень обработки зрительной информации находится в таламусе — это наружное коленчатое тело. Аксоны нейронов наружного коленчатого тела проецируются в кору затылочного полюса больших полушарий (поля 17, 18, 19). Высший этап обработки зрительных сигналов происходит в ассоциативных полях коры больших полушарий.

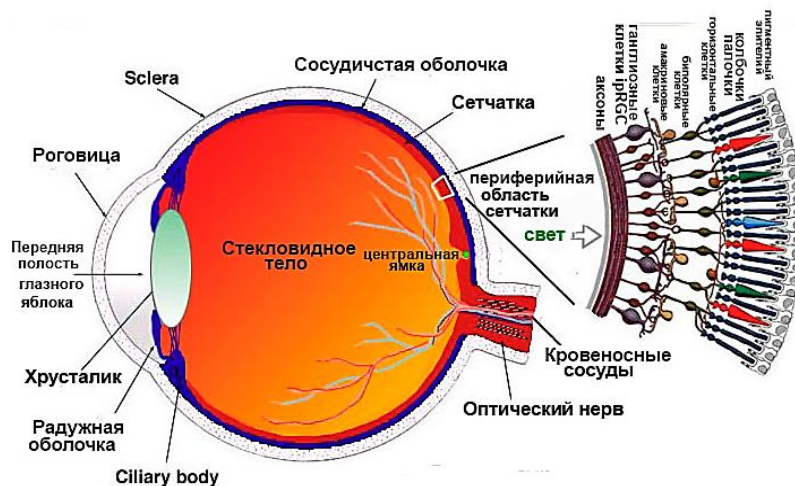


Рисунок 2. Сема строения глаза [12].

*Зрительный анализатор — аналогово-цифровой преобразователь головного мозга*

Преобразование информации в сетчатке глаза осуществляется как самим фоторецептором, так и разветвленной сетью нейронов. Кодирование аналогового сигнала на выходе из фоторецептора в цифровой код, является, по-видимому, одной из основных функций нейронной сети сетчатки. Нейроны сетчатки выполняют строго определенные функции: сравнение аналоговых сигналов, генерация тактовой частоты, цифро–аналоговое преобразование, счет импульсов. В тоже время горизонтальные нейроны сетчатки осуществляют и другие важные функции, например, контрастирование зрительного образа. Горизонтальные нейроны вовлечены в работу аналого–цифрового преобразователя сетчатки глаза [11].

Зрительный анализатор — это сложная система оптических и глазодвигательных центров и их связей, обеспечивающих восприятие, анализ и интеграцию зрительных раздражений. Зрительный анализатор состоит из периферического отдела, включающего фоторецепторный аппарат сетчатки глаза, зрительного нерва и зрительного тракта, а также центральный (мозговой) отдел, объединяющий подкорковые и стволовые центры, а также зрительную область коры полушарий. Зрительный анализатор представляет собой часть целостной функциональной системы, связанной со многими другими образованиями головного мозга, отвечающими за нерегулярные формы передачи зрительной и других видов информации, являющихся краеугольным камнем зрительного распознавания, или гнозиса, а также сохранение и поддержание местоположения на основе зрения. Зрительный анализатор играет огромную роль в жизни большинства животных и человека, обеспечивая восприятие информации о различных объектах и свойствах окружающей среды — освещенности, форме, размере, цвете, направлении своего движения, о расстоянии до предмета и соотношениях его пространства с другими объектами. Зрение — это сложный процесс, формирующийся как для подсчета импульсов от воздействия света на фоторецепторы сетчатки глаза, так и в результате проприоцептивных раздражений его двигательного аппарата — мышц глазного яблока, радужки, аккомодационной (цилиарной) мышцы. В центральные отделы зрительного анализатора характерно слоистое расположение нейронов, сходное с воспринимающей поверхностью сетчатки глаза. Число нервных элементов и их взаимосвязей прогрессивно возрастает от периферии к центральным отделам зрительного анализатора. Принцип прогрессирующей дивергенции зрительных импульсов сочетается с принципом конвергенции зрительного возбуждения от нейронов сетчатки обоих глаз (бинокулярное взаимодействие) на одни и те же нейронные комплексы — прежде всего в корковом отделе.

За зрительным анализатором также характерна ретинотопическая проекция, когда определенные точки сетчатки проецируются на соответствующие отделы различных уровней зрительного анализатора. В поле 17 осуществляется пространственная непрерывность этих проекций; менее точный характер проекций имеет место и в экстрастриарных зрительных полях (18 и 19). Светооптический отдел зрительного анализатора — сложная многоканальная система, каждый из каналов разреза должен иметь свои функциональные особенности. Восприятие относительно простых свойств зрительных сигналов осуществляется с помощью рецептивных зон, организованных в системы вертикально расположенных комплексов (колонок) кортикальных нейронов 17 поля. Более сложные комплексы зрительных сигналов воспринимаются рецептивными полями 18 и 19 (Рисунок 3, Рисунок 4а, 4в).

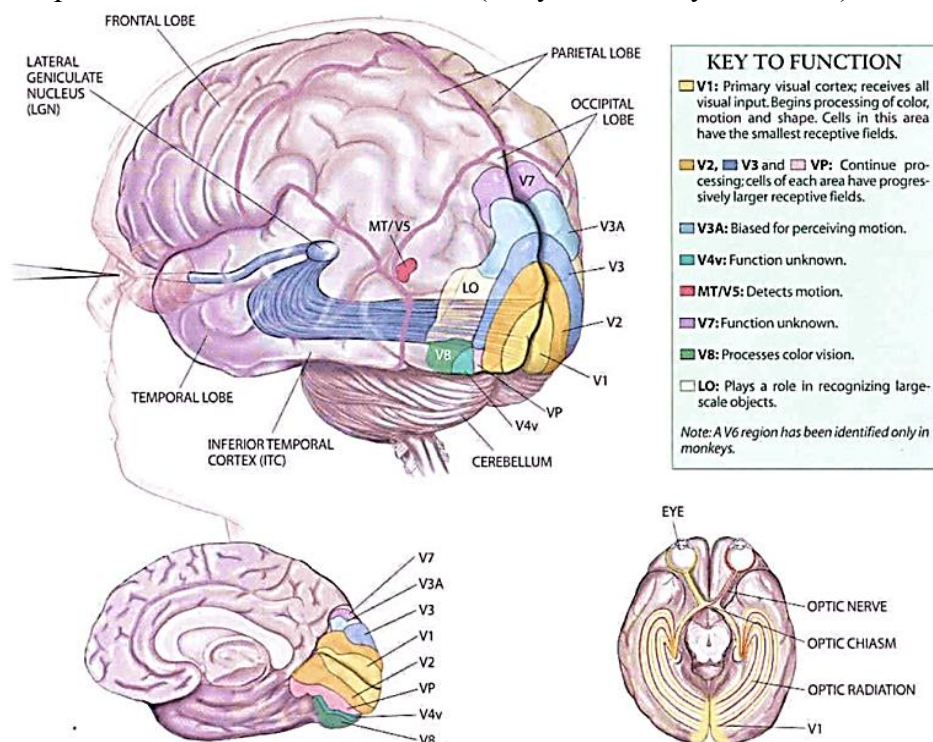


Рисунок 3. Зрительные пути — зрительная кора головного мозга [12].

Головной мозг содержит 1012 (миллион миллионов) клеток и нейрон получает информацию от сотен или тысяч других клеток и в свою очередь передает информацию сотням или тысячам нейронов. Общее число соединений в мозгу, составляя приблизительно 10<sup>14</sup>–10<sup>15</sup>.

Мозг *H. sapiens* и окружающий мир, первичное событие состоит в фокусировке света на сетчатке каждого глаза. Сетчатка содержит 125 миллионов рецепторов, называемых палочками и колбочками; это нервные клетки, специализированные таким образом, чтобы генерировать электрические сигналы при попадании на них света. Задача остальной части сетчатки и самого мозга — использовать эти сигналы, чтобы извлечь биологически полезную информацию. Результатом будет зрительная сцена в том виде, как мы ее воспринимаем, со всей сложностью форм, глубины, движения, цвета и текстуры. Мы хотим узнать, каким образом мозг решает эту сложнейшую задачу.

Глаз, коленчатое тело и кора, например, формируются независимо друг от друга; по мере их созревания растущие из них аксоны должны делать выбор из множества альтернатив. Волокно зрительного нерва должно прорасти через сетчатку к слепому пятну, затем пройти в составе зрительного нерва к хиазме и принять здесь решение о том, следует ли переходить на противоположную сторону; затем оно должно проследовать к наружному коленчатому телу



выбранной стороны, подойти к нужному слою (или к области, которая позднее превратится в нужный слой), а затем в точности к нужной части этого слоя так, что полученная в результате топография станет надлежащим образом упорядоченной; и наконец, оно должно разветвиться, причем веточки должны подойти к надлежащим частям клетки колленчатого тела — к ее телу или к дендриту.

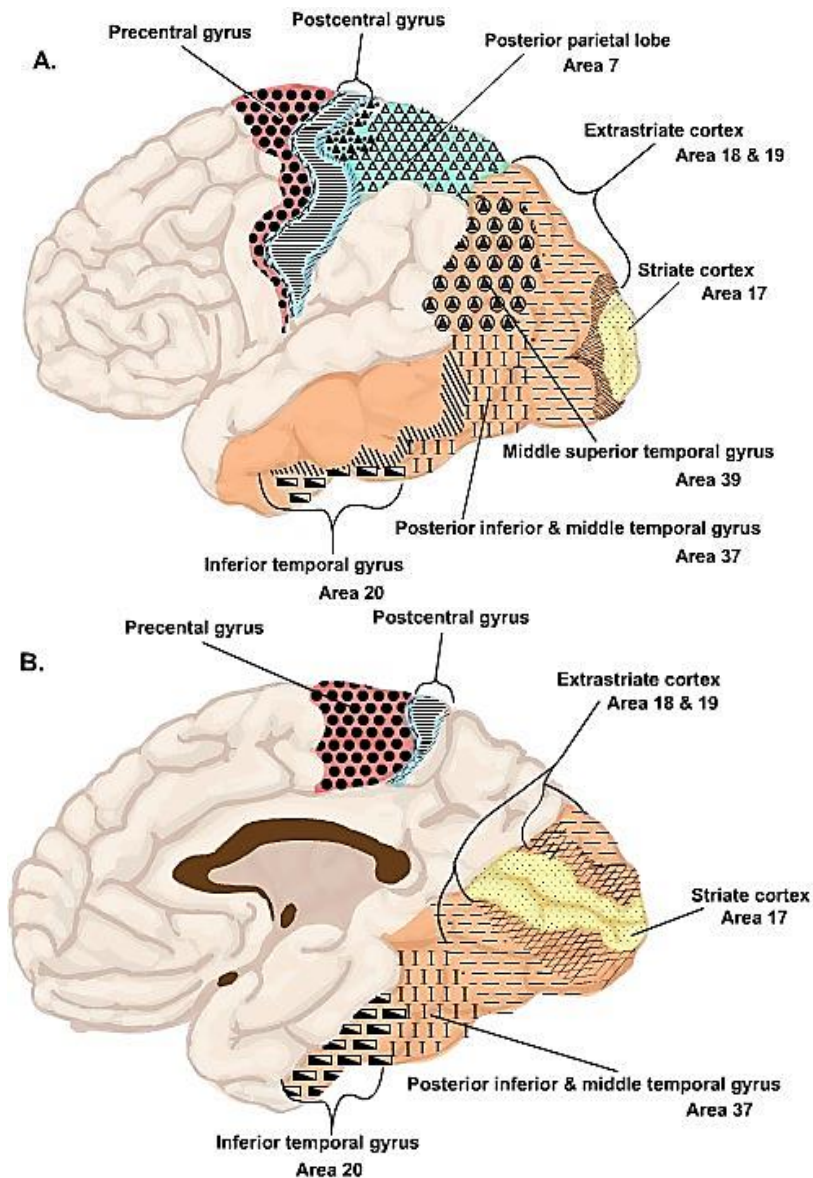


Рисунок 4. Анализ зрительных сигналов в зрительной коре [12].

Мозг *H. sapiens* получает более 75% всей информации об окружающем мире с помощью зрения (Рисунок 5). Он обеспечивает восприятие света, его цветовой гаммы и ощущение пространства. Благодаря тому, что орган зрения является парным и подвижным, зрительные образы воспринимаются объемно, т. е. не только по площади, но и по глубине. Свет, попадая на сетчатку, инициирует каскад химических и электрических событий, которые в конечном итоге вызывают нервные импульсы, которые направляются в различные зрительные центры головного мозга через волокна зрительного нерва. Нервные сигналы от палочек и колбочек подвергаются обработке другими нейронами, выход которых принимает форму потенциалов действия в ганглиозных клетках сетчатки, аксоны которых образуют зрительный нерв, посредством зрительного восприятия до ретинального кодирования и



обработки характеристик света. Взаимосвязь между тканью головного мозга и тканью глаза является областью интенсивного интереса для офтальмологов, неврологов и гериатров. Мозг играет решающую роль в восприятии визуальной информации, которую собирает глаз *H. sapiens*, для формирования ее в аналитическую картину. Исследования показывают, что болезни и состояния головного мозга могут также влиять на глаза, потому что зрительный нерв и сетчатка на самом деле являются мозговой тканью, которая простирается за пределы головного мозга. Болезнь Альцгеймера и деменция, которые вызваны повреждением клеток головного мозга, оказывают влияние на сетчатку [10].

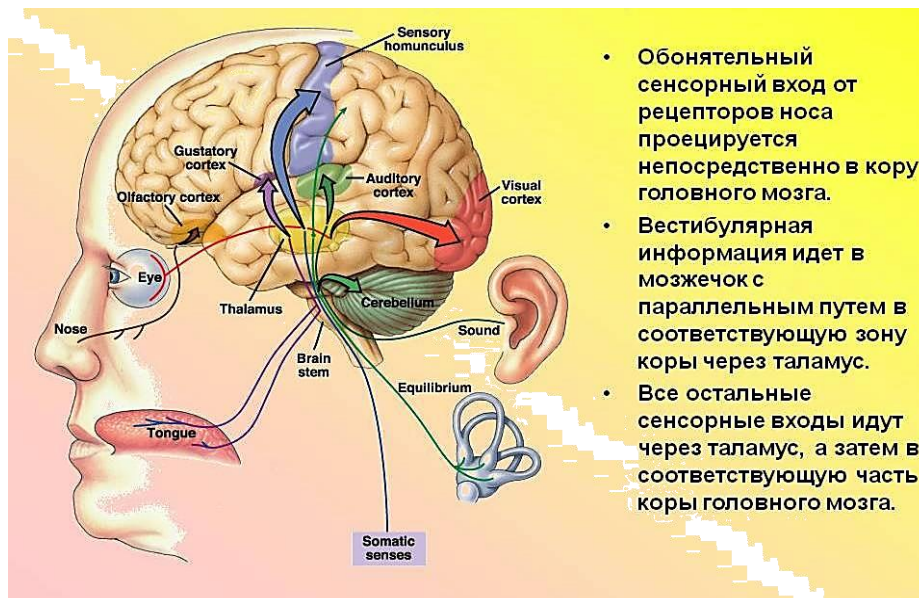


Рисунок 5. Сенсорные пути [12].

Стриарная кора — всего только первая из более чем дюжины отдельных зрительных зон, в каждой из которых представлено все поле зрения [13]. Вместе эти зоны образуют подобие лоскутного одеяла, которое покрывает затылочную кору и простирается вперед на заднюю височную и заднюю теменную кору (Рисунок 6).

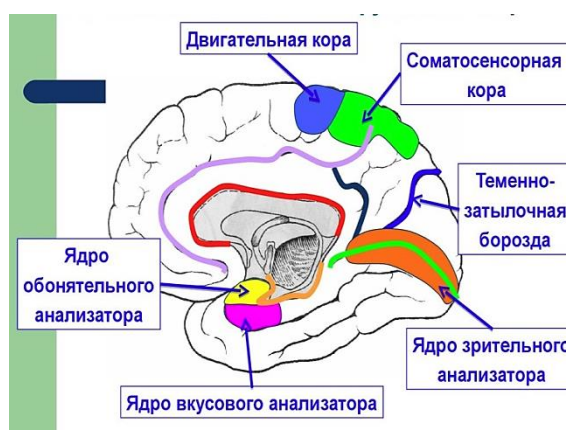


Рисунок 6. Локализация основных функций в коре [12].

Начиная со стриарной коры, каждая зона снабжает информацией две или несколько вышележащих (в смысле иерархии) зон, а связи между ними топографически организованы так, что любая данная зона, подобно стриарной коре, содержит упорядоченное отображение

поля зрения. Восходящие связи предположительно передают зрительную информацию из одной области в другую для дальнейшей обработки. Наша задача состоит в том, чтобы для каждой из этих зон выяснить, каким образом здесь обрабатывается информация, — та же задача, с которой мы сталкивались ранее, интересуясь, что делает стриарная кора с информацией, получаемой от коленчатого тела [13–15].

Окружающий свет синхронизирует основные биологические часы млекопитающих в супрахиазматических ядрах, а также многие периферические часы в тканях и клетках с солнечными 24-часовыми сутками [16].

Свет является самым сильным синхронизирующим агентом (*zeitgeber*) для циркадной системы, и поэтому сохраняет большинство биологических и психологических ритмов внутренне синхронизированными, что важно для оптимальной функции. Циркадные нарушения сна–бодрствования и хроническое циркадное рассогласование, часто наблюдаемые при психиатрических и нейродегенеративных заболеваниях, могут лечиться с помощью световой терапии. Благоприятное влияние на циркадианную синхронизацию, качество сна, настроение и когнитивные показатели зависит от времени, интенсивности и спектрального состава светового воздействия. Адаптация и оптимизация условий внутреннего освещения может быть подходом к улучшению самочувствия, бдительности и когнитивных показателей и, в долгосрочной перспективе, созданию преимуществ для здоровья.

Видимый свет синхронизирует биологические часы человека в супрахиазматических ядрах гипоталамуса с солнечным 24-часовым циклом. Синий цвет, являются самым сильным синхронизирующим агентом для циркадной системы, которая поддерживает большинство биологических и психологических ритмов внутренне синхронизированными. Циркадный ритм важен для оптимального функционирования организмов и циркадных нарушений сна–бодрствования или хронического рассогласования часто может привести к психиатрическим и нейродегенеративным заболеваниям. Благоприятное влияние на циркадианную синхронизацию, качество сна, настроение и когнитивные показатели зависит не только от спектрального состава света, но и от времени экспозиции и ее интенсивности. Подвержение к голубому свету в течение дня важно для того чтобы подавить секретируемое мелатонина. В то время как воздействие синего цвета важно для поддержания здоровья организма, бодрости и когнитивных функций в течение дня, хроническое воздействие низкоинтенсивного синего света непосредственно перед сном может иметь серьезные последствия для качества сна, циркадной фазы и продолжительности цикла. Это неизбежно повышает потребность в решениях для улучшения самочувствия, бдительности и когнитивных функций в современном обществе, где воздействие синих светоизлучающих устройств постоянно увеличивается [5].

В исследованиях Н. П. Романчук, В. Ф. Пятина [17–18], проводят комбинированное лечебно-профилактическое воздействие, направленное на повышение уровня циркулирования мелатонина в крови организма человека [19]. При этом, в 18-00 ч в течение 15 мин проводят занятие на тренажере Power Plate в течение 15 мин в 18-00 ч. Тренинг проводят в режиме: частота колебания виброплатформы — 30 Гц, длительность одного упражнения 30 с, амплитуда смещения платформы 2 мм, сила тяжести 1,83 G, импульсное ускорение 18,00 м/с<sup>2</sup>. Затем в 18 ч 30 мин употребляют продукт питания «Самарский здоровяк» от 60 г/сут до 90 г/сут, который назначают по составу в зависимости от заболевания человека. С 19-00 ч до 20-00 ч носят очки, выполненные с функцией излучения светового потока в области линз с длиной волны от 480±5нм до 490±10нм. Лечебно–профилактические сеансы проводят один раз в день с 18-00 ч до 20-00 ч. Длительность курса

— 1 месяц, 3 раза в год в осенний, зимний и весенний периоды. Способ позволяет более эффективно нормализовать циркадианные ритмы человека, что достигается за счет комплексного воздействия на гуморальные и гормональные циркадианные колебания человека, функциональными продуктами питания, физической нагрузкой и регулированием светового дня. Уменьшение амплитуды и периода продолжительности циркадианных ритмов, увеличение вариабельности колебаний физиологических процессов в течение одного суточного цикла способствуют дестабилизации ежедневных ритмичных колебаний. Нарушение циркадианных ритмов приводит к изменению суточного профиля физической активности, нарушению ночного сна, повышенной дневной сонливости и изменению других физиологических функций.

Внедрение результатов исследования Н. П. Романчук, позволяет восстановить функционирование циркадианной системы человека, нормализовать уровень и концентрацию мелатонина в организме [19], 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 [18, 20-23].

Рассмотрены способы сохранения эффективной нейропластичности, с помощью использования принципов своевременной профилактики хронической ишемии головного мозга человека, влияния циркадианной биофизики и хрономедицины, применения новых аспектов метабономики и сбалансированного функционального питания, с целью клинического применения комбинированных активных методов повышения качества функционирования головного мозга человека [24]. Современная многоуровневая и полифункциональная информационная и электромагнитная «перегрузка» приводит к перестройке нейронной сети. Эта перестройка не должна искажать результатов предыдущего воздействия (возбуждения, обучения и т. д.), т. е. не должна затрагивать образованных нейрональных компартов вторичных нейронных сетей.

*Циркадианная биоэлектромагнитная среда:  
нейрореабилитация и функционирование мозга *H. sapiens**

С позиции доказательной медицины знание генетической предрасположенности к развитию тех или иных функциональных нарушений и заболеваний позволяет в персонализированной медицине провести эффективные био- и ревитализационные мероприятия [25–26] [http://lib.samsmu.ru/virtual\\_exposition/1226](http://lib.samsmu.ru/virtual_exposition/1226).

Взаимосвязь данных мониторинга биологического возраста человека с биологической средой (нерациональное питание, и дисбаланс питательных компонентов, потребление алкоголя и некачественной питьевой воды, нерегулярный сон и нарушение циркадных биоритмов, различные инфекции, длительный гормональный дисбаланс, токсикомания, сигаретный дым, выхлопные газы, загрязнение атмосферы), а также с психологической (климат в семье, на работе, наличие/отсутствие друзей и т. д.) и с электромагнитной (компьютер, мобильный телефон, СВЧ-печь, телевизор и другая бытовая техника, проходящая рядом с домом высоковольтная линия электропередачи и т. д.) позволяют с помощью программ «Активное долголетие» и «Генетика и эпигенетика» управлять здоровым старением мозга *H. sapiens* [26]. В связи с этим оценка продолжительности жизни человека на основе медико-социального и биофизико-математического подхода во взаимосвязи с генетической, математической и биофизической оценками (биопоказатели и биомаркеры)

влияния фактора случайного мутагенеза как на геном человека в процессе жизнедеятельности, так и на популяцию в целом, позволяет прогнозировать уровень отклонения частоты аллеля от нормы, который свидетельствует о медико-демографической стабильности в регионе [26].

Старение человеческого мозга — это сложное, многомерное явление. Для правильного решения не только медицинских, но и социальных, психологических и правовых вопросов, связанных с этим явлением, необходимо знать и учитывать многочисленные аспекты здорового, ускоренного и патологического старения (Рисунок 7). В ближайшие десятилетия необходимо будет найти решения по управлению прогрессирующим старением населения с тем, чтобы увеличить число лиц, достигающих успешного здорового старения [27].

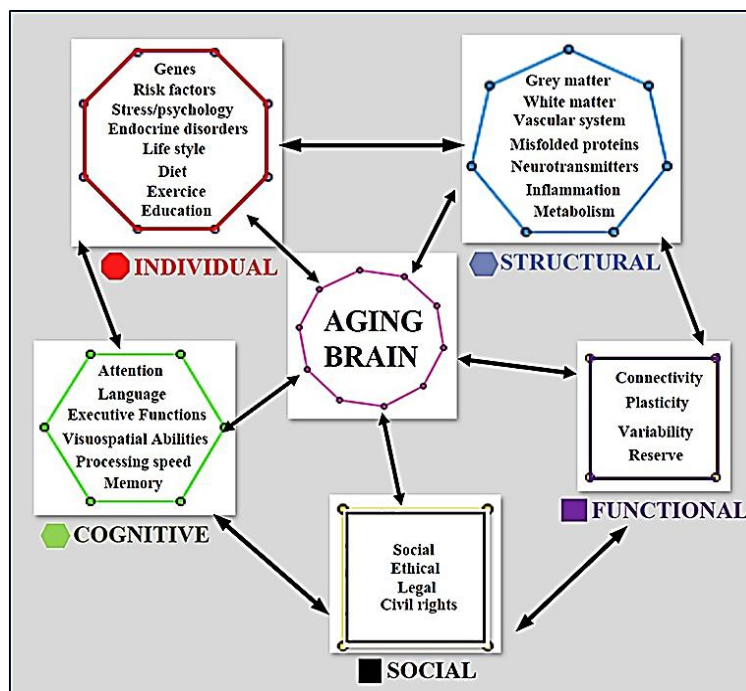


Рисунок 7. Многомерная геометрическая модель когнитивного старения головного мозга. Каждая геометрическая фигура содержит набор факторов, влияющих на многомерное явление старения. Число сторон каждой геометрической фигуры соответствует числу факторов, содержащихся в ней, например, шестиугольник содержит 6 основных факторов познания. Двухнаправленные стрелки указывают на влияние факторов друг на друга и на явление старения [27].

Будущая реализация парадигм системной биологии и системной нейрофизиологии, основанных на комплексном анализе больших и глубоких гетерогенных источников данных, будет иметь решающее значение для достижения более глубокого понимания патофизиологии болезни Альцгеймера, с использованием современных технологий интерфейс «мозг–компьютер» и «искусственный интеллект», для того чтобы увеличить информацию которую можно извлечь от доклинических и клинических показателей. Интеграция различных источников информации позволит исследователям получить новую целостную картину патофизиологического процесса заболевания, которая будет охватывать от молекулярных изменений до когнитивных проявлений [28–29].

В дополнение нейropsихологическим тестам, комбинированным и гибридным технологиям нейровизуализации, сочетанному использованию современных технологий интерфейс «мозг–компьютер» и «искусственный интеллект» позволит более качественному исследованию молекулярных и клеточных событий, которые управляют развитием болезни Альцгеймера, прежде чем проявятся когнитивные симптомы [28–29].



Таким образом, болезнь Альцгеймера и искусственный интеллект, медицина и цифровое здравоохранение — это современный комбинированный и гибридный информационный кластер в диагностике, лечении, профилактике и реабилитации когнитивных нарушений и когнитивных расстройств, для расширения ресурсов мозга *H. sapiens*. Искусственный интеллект — инструмент объемной оценки жизни пациента, семейного анамнеза, физикального обследования, батареи нейропсихологических тестов, лабораторных показателей (биомаркеров), нейрофизиологических исследований, нейровизуализации, секвенирования нового поколения и др. Искусственный интеллект — стратегический путь повышения качества и продолжительности жизни больных с болезнью Альцгеймера [28, 30-35].

Для восстановления циркадианной нейропластичности мозга предлагается мультимодальная схема: циркадианные очки, функциональное питание и физическая активность. Разработан и внедрен комбинированный и гибридный кластер в диагностике, лечении, профилактике и реабилитации когнитивных нарушений и когнитивных расстройств (Рисунок 8) [1].



Рисунок 8. Нейрореабилитация когнитивных нарушений и когнитивных расстройств [1].

Биоэлектромагнитизм света и нейронные сети мозга — это, адаптация и оптимизация условий внешнего и внутреннего освещения (тип, характер, длительность) для улучшения работы когнитивного мозга. Мозг *H. sapiens* работает в 24-часовой биоэлектромагнитной среде. Свет является самым сильным синхронизирующим сигналом для циркадной системы, и поэтому сохраняет большинство биологических и психологических ритмов внутренне синхронизированными, что важно для оптимальной работы мозга *H. sapiens*. Циркадные нарушения сна-бодрствования и хроническое циркадное рассогласование, часто наблюдаемые при психиатрических и нейродегенеративных заболеваниях, могут быть эффективными в нейрореабилитации когнитивных нарушений.

Комбинированный и гибридный кластер в диагностике, лечении, профилактике и реабилитации когнитивных нарушений и когнитивных расстройств, включает в себя [1]:

1. Искусственный интеллект, медицину и цифровое здравоохранение.
2. Искусственный интеллект — инструмент объемной оценки жизни пациента, семейного анамнеза, физикального обследования, батареи нейропсихологических тестов, лабораторных показателей (биомаркеров), биофизических показателей (биомаркеров)

сосудистого старения сердечно-сосудистой системы, нейрофизиологических исследований, нейровизуализации, секвенирования нового поколения и др.

3. Генетику (геномные исследования, секвенирование РНК и ДНК нового поколения) и эпигенетику (эпигеном и старение, фенотипические исследования и др.).

4. Нейропсихологическое тестирование (МОСА, MMSE, Mini-Cog, FAB, TMT, GDS и др.).

5. Комбинированную и гибридную нейровизуализацию с секвенированием нового поколения.

6. Метаболомику, метагеномику, микробиота — сбалансированное, функциональное и безопасное питание.

7. Искусственный интеллект и искусственные нейронные сети.

8. Биочипирование, нейронные и мозговые чипы.

9. Комбинированную и гибридную реабилитацию.

10. Персонализированное управление биовозрастом.

11. Медико-социальное и экономическое сопровождение при болезни Альцгеймера с помощью бытовых роботов и медицинских биороботов.

12. Человека: с его информационной «перегрузкой» (интернет, сотовая связь, и др.) и электромагнитной совместимостью: природа, быт, циркадианные гаджеты и «экогаджеты».

Контроль и лечение сосудистых факторов риска и эндокринных нарушений позволяет снизить распространенность длительной нетрудоспособности среди пожилого населения. Комбинированные и гибридные методы нейровизуализации в содружестве с технологиями искусственного интеллекта, позволяют понять и диагностировать неврологические расстройства и найти новые методы нейрореабилитации и медико-социального сопровождения, которые приведут к улучшению психического здоровья [1].

Оптимизация нейробиологических и хрономедицинских процессов, возможна при циркадианной выработке мелатонина и обеспечении его длительной концентрации в организме человека [9, 27].

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.

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 [19].

Разработанный и внедренный продукт питания относится уже к функциональным пищевым продуктам на основе зерновых, так как содержит пищевые волокна, витамины; минеральные вещества, полиненасыщенные жирные кислоты, пробиотики, пребиотики [18].

Настоящее изобретение направлено на достижение технического результата, заключающегося в повышении профилактического воздействия на организм человека за счет введения жизненно важных пищевых веществ в функциональный пищевой продукт для подавления свободнорадикальной активности, инвазивной детоксикации организма человека,

оптимизации нейрогенной регуляции сосудистого тонуса при артериальной гипертензии и восстановления репродуктивных функций у лиц мужского и женского пола путем оптимизации качественной структуры компонентов продукта [18].

В рамках изобретений рассматривается новый состав функционального пищевого продукта (ФПП) в виде продукта быстрого приготовления для диетического и профилактического питания. Поэтому далее изобретение рассматривается на примере ФПП [18, 22]. Питание ФПП является методом подавления свободнорадикальной активности, инвазивной детоксикации организма человека, оптимизации нейрогенной регуляции сосудистого тонуса при АГ, восстановления репродуктивных функций у лиц мужского и женского пола. Постоянное применение ФПП состава с большим содержанием антиоксидантов, витаминов и микроэлементов, особенно цинка и селена, является надежным средством в восстановлении мужского и женского здоровья. Целесообразно включение ФПП в виде макробиотического продукта в системный комплекс лечебно-профилактических мероприятий диетического, лечебного и профилактического питания в условиях амбулаторного, стационарного и санаторно-курортного лечения.

Благотворное влияние на циркадианную синхронизацию, качества сна, настроение и когнитивные показатели — зависят от времени, интенсивности и спектрального состава светового воздействия. Мультидисциплинарное и мультимодальное взаимодействие в триаде «мозг-глаза-сосуды» позволяет выявить ранние биомаркеры как общего ускоренного и патологического старения, так и своевременно диагностировать нейродегенерацию, и провести эффективную нейрореабилитацию когнитивных нарушений [1, 19, 21, 24].

Разработан и внедрен способ оценки возрастных изменений сердечно-сосудистой системы организма человека, заключающийся в определении биофизических и биохимических показателей организма человека, при котором дополнительно проводят ЭКГ и ЭхоКГ сердца, и по отклонениям указанных показателей и показаний измерений ЭКГ и ЭхоКГ сердца судят о структурно-функциональных и метаболических изменениях в локальных кровеносных сосудах, региональных сосудистых бассейнах, отличающийся тем, что осуществляют одновременное измерение системного артериального давления на левом и правом плече, левой и правой лодыжке для определения значений лодыжечноплечевого индекса в левой и правой половине туловища и скорости распространения пульсовой волны в левой и правой половинах туловища, а возрастные изменения сердечно-сосудистой системы организма человека оценивают по величине лодыжечноплечевого индекса и указанным показателям измерений в момент регистрации этого импульса, а также по показателям состояния центральной и периферической гемодинамики, изменению геометрии сердца, работе сердечно-сосудистой системы, темпу возрастных изменений и их взаимосвязи [36–37].

В исследовании установлено, что сердечно-лодыжечный сосудистый индекс (CAVI — Cardio-Ankle Vascular Index) позволяет оценивать жесткость артериальной стенки, обусловленную ее морфологическими изменениями и, в меньшей степени, сосудистым тонусом, не зависит от уровня артериального давления в момент исследования и отражает истинную жесткость сосудистой стенки [38]. В течение 2 месяцев, на обоих визитах пациентам (через 24 недели) проводилась объемная сфигмоплетизмография на аппарате VaSera-1000 (FukudaDenshi, Япония) в прецизионном режиме. Анализировали следующие параметры: артериальное систолическое и диастолическое давление (САД и ДАД соответственно) на правой (RB), левой (LB) верхней конечности и на правой (RA), левой (LA) нижней конечности; скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) между предплечьем и правой лодыжкой (R-PWV, м/с) и предплечьем и левой лодыжкой (L-PWV,

м/с); индекс аугментации (AI) — отношение амплитуды волны, возникающей при сложении первичной и отраженной волн, к амплитуде первичной волны, возникающих при систоле левого желудочка; лодыжечно-плечевой индекс (R/L-ABI) справа/слева; сердечно-лодыжечный сосудистый индекс (CAVI — Cardio-Ankle Vascular Index). Именно CAVI позволяет оценивать жесткость артериальной стенки, обусловленную ее морфологическими изменениями и, в меньшей степени, сосудистым тонусом, не зависит от уровня артериального давления в момент исследования и отражает истинную жесткость сосудистой стенки. Все показатели рассчитывались автоматически. Методика измерения показателей соответствует рекомендациям, отраженным в инструкции к аппарату VaSera-1000.

Исследовали влияния антикоагулянтной терапии на параметры артериальной жесткости и эндотелиальной дисфункции (ЭД) у больных с фибрилляцией предсердий (ФП), перенесших кардиоэмболический инсульт (КЭИ) [39]. В исследование было включено 93 больных с ФП, перенесших КЭИ. Пациенты разделены на две группы: основную группу, в которой все больные (n=48) получали антикоагулянты, и группу сравнения (n=45), в которой антикоагулянты были назначены, но пациенты их не принимали. Длительность наблюдения составила  $180,5 \pm 5,5$  дня. За это время пациенты дважды посетили врача: первый визит — исходно, второй визит — через 24 нед. Всем пациентам выполняли объемную сфигмографию. Определяли уровень глюкозы, креатинина, общего холестерина, липопротеинов высокой плотности, триглицеридов. Оценивали маркеры, отражающие функцию эндотелия: уровень фактора Виллебранда, плазминогена, антитромбина III, ингибитора тканевого активатора плазминогена 1. Полученные результаты свидетельствуют, что все пациенты основной группы и группы сравнения имели высокий индекс коморбидности выраженной соматической патологии. У пациентов обеих групп выявлено изменение всех морфометрических и функциональных параметров сердца. Отмечено, что через 6 мес наблюдения у пациентов, принимающих антикоагулянты, показатели, отражающие артериальную жесткость, имели статистически значимую положительную динамику. У больных основной группы отмечена значимая корреляция уровня артериального давления с индексом аугментации. Через 6 мес наблюдения у больных основной группы установлена сильная корреляционная связь между сердечно-лодыжечным сосудистым индексом и всеми показателями ЭД. Через 24 нед в обеих группах зарегистрировано 12 (12,9%) летальных исходов: 3 (6,25%) в основной группе и 8 (17,8%) в группе сравнения. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что показатели артериальной жесткости и функции эндотелия у пациентов с ФП, перенесших КЭИ, имеют тенденцию к улучшению на фоне антикоагулянтной терапии [39].

Использовать современные технологии (ОКТ-ангиографию, и др.) для раннего выявления болезни Альцгеймера, прежде чем симптомы потери памяти будут очевидны. Окта-диагностика использует световые волны, которые показывают кровоток в каждом слое сетчатки. Потеря (повреждения) кровеносных сосудов сетчатки отражает изменения в состоянии здоровья головного мозга [40].

Глаз обладает оптикой и имеет много нервных и сосудистых сходств с мозгом, что обеспечивает прямое окно в церебральную патологию. Эти уникальные характеристики позволяют считать структурно-функциональные биомаркеры глаза информативными для ранней диагностики болезни Альцгеймера и являются современным потенциалом для широкого внедрения. Разработка окулярных биомаркеров может иметь далеко идущие последствия в открытии методов лечения, которые могут улучшить качество жизни пациентов. Новые технологии, такие как ОКТ-ангиография — обеспечивают раннюю



диагностику окулярных биомаркеров при различных нейродегенеративных заболеваниях [41].

Исследования показали, что когнитивные нарушения не ограничиваются головным мозгом, но также влияют на сетчатку. Исследовали корреляцию между сосудистой сложностью сетчатки и нейродегенеративными изменениями у пациентов с когнитивными нарушениями с использованием мультимодального подхода. Установлены мультимодальные ретинальные маркеры, которые могут быть чувствительны к снижению когнитивных нарушений, и добавляет к доказательствам, что существует статистическая тенденция, указывающая на корреляцию между нейрональной дисфункцией сетчатки и изменениями микроциркуляции, предполагая, что геометрические сосудистые и функциональные параметры сетчатки могут быть связаны с физиологическими изменениями в сетчатке из-за когнитивных нарушений [42].

Трудность в выявлении когнитивных нарушений на ранних стадиях представляет собой ограничение на начало диагностики когнитивного снижения. К сожалению, нет никакого успешного лечения, как только ранние когнитивные нарушения или деменция становятся клинически очевидными [43]. Это исследование иллюстрирует, что существуют мультимодальные ретинальные маркеры, которые могут быть чувствительны к снижению когнитивных нарушений, и добавляет к доказательствам, что существует статистическая тенденция, указывающая на корреляцию между нейрональной дисфункцией сетчатки и изменениями микроциркуляции. Эта тенденция предполагает, что геометрические сосудистые и функциональные параметры сетчатки могут быть связаны с физиологическими изменениями в сетчатке вследствие когнитивного снижения. Анализ комбинированных структурно-функциональных параметров, а не отдельных биомаркеров, может служить полезным клиническим маркером когнитивного снижения, который также может обеспечить повышенную чувствительность и специфичность для дифференциальной диагностики когнитивных нарушений. Это исследование также поддерживает использование мультимодального диагностического биомаркерного подхода к когнитивным нарушениям, основанного на взаимосвязи структуры и функции сетчатки, который также имеет преимущество в виде недорогостоящей реализации в условиях сообщества для выявления специфической для когнитивного снижения патологии в сетчатке, что может позволить раннюю диагностику и мониторинг прогрессирования заболевания [43]. При условии, что клиническая корреляция между глазными и мозговыми показателями может быть подтверждена, скрининг глаз у людей, которые считаются подверженными риску когнитивных нарушений, может помочь в разработке альтернативного не дорогостоящего подхода к ранней диагностике, а также потенциально служить для мониторинга эффективности новых методов лечения.

Использование инновационных методик движения глаз при болезни Альцгеймера на разных заданиях отличаются от движений глаз субъектов контроля. Используя технологию отслеживания движения глаз и вычислительный анализ при различных задачах и экспериментах, дает прогресс в использовании оптических технологий для ранней диагностики когнитивных нарушений и нейрореабилитации [44].

Исследовано, что заболевание малых сосудов головного мозга вовлечено в патогенез болезни Альцгеймера и других когнитивных нарушений. Кроме того, эти нейродегенеративные нарушения связаны с ранней нейроваскулярной дисфункцией, что приводит к нарушению регуляции кровотока и вносит свой вклад в патогенез заболевания [45].

Следует отметить, что сосудистые изменения сетчатки могут присутствовать в глазах пациентов с болезнью Альцгеймера. Тем не менее, все эти описания были сделаны с использованием фотографий глазного дна. Однако внедрение новых методов визуализации произвело революцию в области визуализации сетчатки. Эти методы позволяют проводить топографические качественные исследования и количественные измерения сосудов на различных глубинных уровнях сетчатки [46].

В последних исследованиях изучены микроциркуляторные сети сетчатки в норме и патологических состояниях с использованием динамического сосудистого анализатора (DVA) и приборов оптической когерентной томографии (ОСТА) [47].

Зрительная сеть состоит из сетчатки, подкорковых структур и корковых областей головного мозга с множественными взаимодействиями между собой. На Рисунке 9 показаны некоторые из наиболее важных областей мозга и их предполагаемые функции [48]. Структуры и некоторые из их основные функции представлены в Таблице.

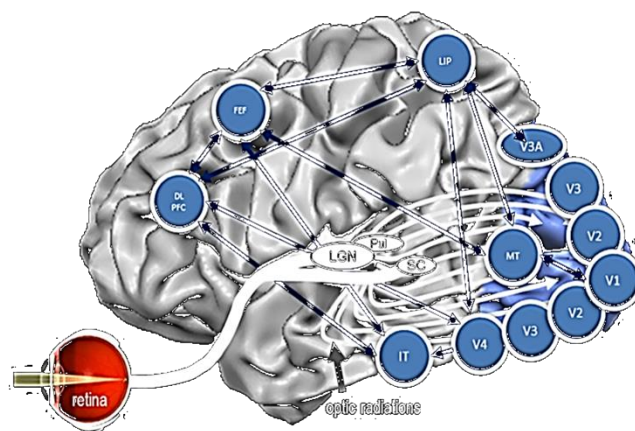


Рисунок 9. Сеть мозга для управления зрением [48].

Таблица.

МОЗГОВЫЕ СТРУКТУРЫ ЗРЕНИЯ [48]

Состав	Обозначение	Функция
Сетчатка	Ret	фототрансдукция, первичная обработка
Зрительный нерв включен	ON	передача сигнала в мозг
Боковой коленный	LGN	связывает разные функциональные каналы
Супрахиазматическое ядро	SCN	контроль циркадного ритма
Пульвинарное ядро	Pul	оркеструет нейронную обработку коры
верхний колликул	SC	сенсомоторная интеграция, ориентация
первичная зрительная кора	V1	анализ особенностей (пикселей и краев)
область V2	V2	бинокулярность
площадь V3 / V3A	V3/V3A	глобальное движение
область V4	V4	обработка цвета
нижняя височная кора	IT	идентификация объекта (например, лица)
средняя височная кора	MT (or V5)	восприятие движения и интеграция
боковая внутрипариетальная кора	LIP	движения глаз (саккады)
лобное поле глаза	FEF	визуальное внимание и произвольные движения глаз
дорсальная латеральная префронтальная кора	DLPFC	исполнительные функции и планирование

*Примечание:* показано, как различные визуальные области участвуют в различных функциях и подфункциях, обслуживающих сенсорные, когнитивные и исполнительные функции, связанные с визуально вызванным поведением

Данные в Таблице иллюстрируют, как различные визуальные области участвуют в различных функциях и подфункциях, обслуживающих сенсорные, когнитивные и исполнительные функции, участвующие в визуально вызванном поведении. Нейронные сети головного мозга могут «усиливать» остаточное зрение за счет изменения нейропластичности локальной и глобальной функциональной связности путем активации, модуляции и усиления остаточных зрительных сигналов. Активация остаточного зрения может быть достигнута с помощью различных средств, таких как, обучение восстановлению зрения, неинвазивная стимуляция мозга или препараты для улучшения кровотока. Модулирование функциональных сетей головного мозга и улучшение сосудистой регуляции могут предложить новые возможности для восстановления или восстановления низкого зрения за счет увеличения размера поля зрения, остроты зрения и общего функционального зрения [48].

Зрение следует рассматривать как результат множественных взаимодействий в рамках триады «мозг–глаза–сосуды». Некоторые заболевания глаз также могут рассматриваться как скрытые заболевания головного мозга. Хотя мозг является частью проблемы, он также может быть частью решения. Таким образом, нейробиология предлагает новые идеи для лучшего понимания потери зрения, а модуляция функции мозга и сосудов является перспективным источником новых возможностей для активации остаточного зрения для достижения восстановления и восстановления для улучшения качества жизни пациентов.

Однако глаза и мозг не должны изучаться и лечиться изолированно, а эффективное лечение требует комбинированного офтальмологического и неврологического подхода. В частности, необходимо лучше понять трехстороннее взаимное взаимодействие обоих органов с сердечно–сосудистой системой. Только оценивая многочисленные взаимодействия внутри триады мозг–глаза–сосуды, мы можем полностью понять и адекватно модулировать как физиологическое, так и психологическое состояние наших пациентов, чтобы добиться восстановления зрения и восстановления нейропластичности.

Хотя многие прямые причины потери зрения хорошо известны (например, глазные заболевания, травмы, генетические предрасположенности и т. д.), необходимо рассматривать косвенные факторы, связанные с триадой мозг–глаза–сосуды и как они влияют на восстановление зрения: изменения сосудистой системы и влияние на нее гормона стресса, мозговые механизмы нейропластичности, давление спинномозговой жидкости, эмоциональный стресс и др.

На системном уровне мозг, выделяя гормоны стресса, воздействует на сосудистый тонус, особенно в зрительном нерве и вокруг него, и тем самым нарушает сосудистую ауторегуляцию и перфузию всего организма, включая его самого и глаза.

Более глубокое знание многих взаимодействий между глазом, мозгом и сердечно–сосудистой системой являются ключевыми для лучшего понимания того, как лечить снижение зрения.

Изучение этих взаимодействий в триаде мозг–глаза–сосуды, не только лучше объяснит различные патологические состояния, но и может пролить больше света на необъяснимые явления в клинической практике (такие как колебания и/или восстановление зрительных полей).

Центральная роль сердечно–сосудистой системы заключается в поддержании адекватной капиллярной перфузии, пространственно–временной неоднородности капиллярной перфузии в некоторых органах. Установлена, пространственная и временная неоднородность перфузии капилляров может быть более преобладающей в сетчатке, чем в других органах [49]. Это связано с тем, что сетчатка является одной из самых высоких

метаболических потребностей нервной ткани, но она имеет ограниченное кровоснабжение из-за оптических требований. Кроме того, уникальное гетерогенное распределение нервных клеток сетчатки в различных слоях и регионах, а также значительная гетерогенность внутриретиального распределения кислорода и потребления, добавляют диагностической и терапевтической сложности. Ретинальный кровоток должен соответствовать потреблению питательных веществ, таких как кислород и глюкоза, внутри сетчатки на клеточном уровне, чтобы эффективно поддерживать выживание и функционирование клеток. Регулирование кровотока и достаточная микроциркуляция, требует контроля за перфузией капилляров сетчатки для обеспечения местной ретинальной ткани, с учетом временных и пространственных изменений, метаболических потребностей [49–50].

Фундаментальные основы нейропластичности позволяют обосновать разработку принципиально новых методов нейрореабилитации [51]. Методы управления нейропластичностью позволяют провести своевременную профилактику факторов, снижающих нейропластичность, сохранить факторы положительного влияния на нейропластичность, а главное — своевременно применить в практическом здравоохранении комбинированные методы сохранения и развития нейропластичности головного мозга человека [24, 52–53].

#### Выводы

Мультидисциплинарное и мультимодальное взаимодействие в триаде «мозг-глаза-сосуды» позволяет выявить ранние биомаркеры как общего ускоренного и патологического старения, так и своевременно диагностировать нейродегенерацию, и провести эффективную нейрореабилитацию когнитивных нарушений.

Биоэлектромагнитические характеристики светового воздействия на зрительный анализатор, является самым сильным синхронизирующим сигналом для циркадианной системы и оптимальной работы мозга *H. sapiens*.

Более глубокое знание многих взаимодействий между глазом, мозгом и сердечно-сосудистой системой являются ключевыми для эффективной профилактики и нейрореабилитация когнитивных нарушений.

Комбинированные и гибридные методы нейровизуализации в содружестве с технологиями искусственного интеллекта и циркадианные очки в комбинированной схеме светотерапии являются современными инструментами профилактики когнитивных нарушений и здорового старения мозга *H. sapiens*.

Разработан и внедрен комбинированный и гибридный кластер в диагностике, лечении, профилактике и реабилитации когнитивных нарушений и когнитивных расстройств.

#### Список литературы:

1. Романчук Н. П., Романчук П. И. Нейрофизиология и нейрореабилитация когнитивных нарушений и расстройств // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №11. С. 176-196. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/48/19>
2. Романов Д. В., Романчук Н. П. Ранняя диагностика когнитивных нарушений. Самара, 2014. 34 с.
3. Blume C., Garbazza C., Spitschan M. Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood // *Somnologie*. 2019. V. 23. №3. P. 147-156. <https://doi.org/10.1007/s11818-019-00215-x>
4. Yang M, Ma N, Zhu Y, Su YC, Chen Q, Hsiao FC, Ji Y, Yang CM, Zhou G, Yang M. et al. The acute effects of intermittent light exposure in the evening on alertness and subsequent sleep



architecture // International journal of environmental research and public health. 2018. V. 15. №3. P. 524. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030524>

5. Wahl S., Engelhardt M., Schaupp P., Lappe C., Ivanov I. V. The inner clock-blue light sets the human rhythm // Journal of biophotonics. 2019. <https://doi.org/10.1002/jbio.201900102>

6. Rahman S. A., St Hilaire M. A., Gronfier C., Chang A. M., Santhi N., Czeisler C. A., ... Lockley S. W. Functional decoupling of melatonin suppression and circadian phase resetting in humans // The Journal of physiology. 2018. V. 596. №11. P. 2147-2157. <https://doi.org/10.1113/JP275501>

7. Wichniak A., Jankowski K. S., Skalski M., Skwarło-Sońta K., Zawilska J. B., Żarowski M., ... Jernajczyk W. Treatment guidelines for circadian rhythm sleep-wake disorders of the Polish Sleep Research Society and the Section of Biological Psychiatry of the Polish Psychiatric Association. Part I. Physiology, assessment and therapeutic methods // Psychiatr Pol. 2017. V. 51. №5. P. 793-814. <https://doi.org/10.12740/PP/OnlineFirst/66810>

8. Soto-Vázquez R., Labastida-López C., Romero-Castello S., Benítez-King G., Parra-Cervantes P. Stimulation of dendrogenesis and neural maturation in adult mammals // Pharmaceutical patent analyst. 2016. V. 5. №3. P. 183-193. <https://doi.org/10.4155/ppa.15.43>

9. Романчук Н. П., Пятин В. Ф., Волобуев А. Н. От электроэнцефалографии до позитронно-эмиссионной томографии: гибридные и комбинированные методы управления когнитивным мозгом // Здоровье и образование в XXI веке. 2017. Т. 19. №8. С. 2-8. <https://doi.org/10.26787/nydha-2226-7417-2017-19-8-2-8>

10. Manor R., Mishali L., Geva A. B. Multimodal neural network for rapid serial visual presentation brain computer interface // Frontiers in computational neuroscience. 2016. V. 10. P. 130. <https://doi.org/10.3389/fncom.2016.00130>

11. Volobuev A. N., Petrov E. S. Analog-to-digital conversion of information in the retina // Natural Science. 2011. V. 3. №01. P. 53. <https://doi.org/10.4236/ns.2011.31007>

12. Huff T., Mahabadi N., Tadi P. Neuroanatomy, visual cortex. 2019. PMID: 29494110

13. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. М.: Мир, 1990. 239 с.

14. Аветисов Э. С. Глазные болезни. Основы офтальмологии. М.: Медицина, 2012. 552 с.

15. Егоров Е. А. Офтальмология. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. 240 с.

16. Münch M., Bromundt V. Light and chronobiology: implications for health and disease // Dialogues in clinical neuroscience. 2012. V. 14. №4. P. 448. PMID: 23393421

17. Пятин В. Ф., Романчук Н. П., Романчук П. И., и др. Способ нормализации циркадианных ритмов человека. Патент РФ на изобретение 2533965.

18. 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.

19. 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>

20. Волобуев А. Н., Романчук Н. П., Пятин В. Ф. Циркадианная биофизика и нейропластичность // Здоровье и образование в XXI веке. 2016. Т. 18. №8. С. 79-83.

21. Пятин В. Ф., Романчук Н. П., Волобуев А. Н. Нейровизуализация и нейропластичность: инновации в диагностике и лечении // Бюллетень науки и практики. 2017. №9 (22). С. 51-61.

22. 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.
23. Романчук Н. П., Пятин В. Ф., Волобуев А. Н. Нейрофизиологические и биофизические принципы нейропластичности // Здоровье и образование в XXI веке. 2017. Т. 19. №2. С. 97-101.
24. Романчук Н. П., Пятин В. Ф., Волобуев А. Н. Нейропластичность: современные методы управления // Здоровье и образование в XXI веке. 2016. Т. 18. №9. С. 92-94.
25. Волобуев А. Н., Захарова Н. О., Романчук Н. П., Романов Д. В., Романчук П. И., Адыширин-Заде К. А. Современные принципы гериатрического анализа в медицине // Успехи геронтологии. 2016. №29 (3). С. 461-470.
26. Романчук П. И., Волобуев А. Н., Сиротко И. И., Никитин О. Л. Активное долголетие: биофизика генома, нутригеномика, нутригенетика, ревитализация. Самара, 2013. 416 с.
27. Tiganu V., Cascini G. L., Sanchez-Castañeda C., Péran P., Sabatini U. Neuroimaging and Neurolaw: Drawing the Future of Aging // *Frontiers in endocrinology*. 2019. V. 10. <https://doi.org/10.3389%2Ffendo.2019.00217>
28. Булгакова С. В., Романчук П. И., Романчук Н. П., Пятин В. Ф., Романов Д. В., Волобуев А. Н. Болезнь Альцгеймера и искусственный интеллект: долговременная персонифицированная реабилитация и медико-социальное сопровождение // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 11. С.136-175. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/48/18>
29. Булгакова С. В., Романчук П. И., Волобуев А. Н. Нейросети: нейроэндокринология и болезнь Альцгеймера // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №6. С. 112-128. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/43/16>
30. Булгакова С. В., Романчук П. И., Волобуев А. Н. Клинико-биофизические принципы лечения сосудистой деменции и болезни Альцгеймера // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №5. С. 57-72. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/42/08>
31. Волобуев А. Н., Романчук П. И. Биофизика кровообращения при сосудистой деменции и болезни Альцгеймера // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №4. С. 76-102. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/41/08>
32. Волобуев А. Н., Романчук П. И., Булгакова С. В. Нейросеть «мозг-микробиота»: регуляция «висцерального» мозга и накопление когнитивной памяти // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №2. С. 33-52. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/39/05>
33. Волобуев А. Н., Давыдкин И. Л., Пятин В. Ф., Романчук Н. П. Проблема «Информационного голода» в пери- и постперинатальном периоде // ВРАЧ. 2018. Т.29. №8. С. 35-36. <https://doi.org/10.29296/25877305-2018-08-08>
34. Волобуев А. Н., Пятин В. Ф., Романчук Н. П., Булгакова С. В., Давыдкин И. Л. Когнитивная дисфункция при перевозбуждении структур головного мозга. ВРАЧ. 2018. Т. 29. №9. С. 17-20. <https://doi.org/10.29296/25877305-2018-09-04>
35. 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>
36. Волобуев А. Н., Петров Е. С., Кондурцев В. А., Романчук П. И. Некоторые принципы подбора лекарственных препаратов при комбинированной лекарственной терапии первичной артериальной гипертензии // ВРАЧ. 2013. №3. С. 49-51.
37. Романчук П. И., Романчук Н. П. Способ оценки возрастных изменений сердечно-сосудистой системы. Патент РФ на изобретение 2485886.

38. Золотовская И. А., Давыдкин И. Л., Повереннова И. Е., Романчук Н. П. Влияние антикоагулянтной терапии на параметры артериальной жесткости и эндотелиальной дисфункции у больных с фибрилляцией предсердий, перенесших кардиоэмболический инсульт // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2016. №8 (4). С. 25-31. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2016-4-25-31>
39. Золотовская И. А., Дупляков Д. В., Давыдкин И. Л., Романчук Н. П. Влияние антикоагулянтной терапии на параметры артериальной жесткости во взаимосвязи с показателями эндотелиальной дисфункции у больных с фибрилляцией предсердий // Кардиология: новости, мнения, обучение. 2017. №3 (14). С. 51-56.
40. Yoon S. P., Grewal D. S., Thompson A. C., Polascik B. W., Dunn C., Burke J. R., Fekrat S. Retinal Microvascular and Neurodegenerative Changes in Alzheimer's Disease and Mild Cognitive Impairment Compared with Control Participants // *Ophthalmology Retina*. 2019. V. 3. №6. P. 489-499. <https://doi.org/10.1016/j.oret.2019.02.002>
41. Lim J. K., Li Q. X., He Z., Vingrys A. J., Wong V. H., Currier N., ... Nguyen C. T. The eye as a biomarker for Alzheimer's disease // *Frontiers in neuroscience*. 2016. V. 10. P. 536. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00536>
42. DeBuc D. C., Somfai G. M., Arthur E., Kostic M., Oropesa S., Santiesteban C. M. Investigating Multimodal Diagnostic Eye Biomarkers of Cognitive Impairment by Measuring Vascular and Neurogenic Changes in the Retina // *Frontiers in Physiology*. 2018. V. 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01721>
43. Hampel H., Toschi N., Babiloni C., Baldacci F., Black K. L., Bokde A. L. W. и др. Revolution of Alzheimer Precision Neurology. Passageway of Systems Biology and Neurophysiology // *J. Alzheimers Dis*. 2018. <https://doi.org/10.3233/JAD-179932>.
44. Beltrán J., García-Vázquez M. S., Benois-Pineau J., Gutierrez-Robledo L. M., Dartigues J. F. Computational techniques for eye movements analysis towards supporting early diagnosis of alzheimer's disease: a review // *Computational and mathematical methods in medicine*. 2018. V. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2676409>
45. Sweeney M. D., Sagare A. P., Zlokovic B. V. Cerebrospinal fluid biomarkers of neurovascular dysfunction in mild dementia and Alzheimer's disease // *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*. 2015. V. 35. №7. P. 1055-1068. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2015.76>
46. Arvanitakis Z., Capuano A. W., Leurgans S. E., Bennett D. A., Schneider J. A. Relation of cerebral vessel disease to Alzheimer's disease dementia and cognitive function in elderly people: a cross-sectional study // *The Lancet Neurology*. 2016. V. 15. №9. P. 934-943. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(16\)30029-1](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(16)30029-1)
47. Querques G., Borrelli E., Sacconi R., De Vitis L., Leocani L., Santangelo R., ... Bandello F. Functional and morphological changes of the retinal vessels in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment // *Scientific reports*. 2019. V. 9. №1. P. 63. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37271-6>
48. Sabel B. A., Flammer J., Merabet L. B. Residual vision activation and the brain-eye-vascular triad: Dysregulation, plasticity and restoration in low vision and blindness—a review // *Restorative neurology and neuroscience*. 2018. № Preprint. P. 1-25. <https://doi.org/10.3233/rnn-180880>
49. Faiq M. A., Wollstein G., Schuman J. S., Chan, K. C. Cholinergic nervous system and glaucoma: From basic science to clinical applications // *Progress in Retinal and Eye Research*. 2019. V. 72, P. 100767. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2019.06.003>

50. Yu D.-Y., Cringle S. J., Yu P. K., Balaratnasingam C., Mehnert A., Sarunic M. V., ... Su E.-N. Retinal capillary perfusion: Spatial and temporal heterogeneity // *Progress in Retinal and Eye Research*. 2019. №70. P. 23-54. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2019.01.001>

51. Тренева Е. В., Булгакова С. В., Романчук П. И., Захарова Н. О., Сиротко И. И. Мозг и микробиота: нейроэндокринные и гериатрические аспекты // *Бюллетень науки и практики*. 2019. Т. 5. №9. С. 26-52. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/46/03>

52. Harrison I. F., Whitaker R., Bertelli P. M., O'Callaghan J. M., Csincsik L., Bocchetta M., ... Lengyel I. Optic nerve thinning and neurosensory retinal degeneration in the rTg4510 mouse model of frontotemporal dementia // *Acta Neuropathologica Communications*. 2019. №7 (1). <https://doi.org/10.1186/s40478-018-0654-6>

53. Пятин В. Ф., Романчук Н. П. Геронтологические и гериатрические аспекты нейропластичности головного мозга человека // *Клинические и фундаментальные аспекты геронтологии*. Самара, 2017. С. 371-385.

### References

1. Romanchuk, N., & Romanchuk, P. (2019). Neurophysiology and Neurorehabilitation of Cognitive Impairment and Disorders. *Bulletin of Science and Practice*, 5(11), 176-196. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/48/19> (in Russian).

2. Romanov, D. V., & Romanchuk, N. P. (2014). Rannyaya diagnostika kognitivnykh narushenii. Samara. (in Russian).

3. Blume, C., Garbazza, C., & Spitschan, M. (2019). Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood. *Somnologie*, 23(3), 147-156. <https://doi.org/10.1007/s11818-019-00215-x>

4. Yang, M., Ma, N., Zhu, Y., Su, Y. C., Chen, Q., Hsiao, F. C., ... & Zhou, G. (2018). The acute effects of intermittent light exposure in the evening on alertness and subsequent sleep architecture. *International journal of environmental research and public health*, 15(3), 524. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030524>

5. Wahl, S., Engelhardt, M., Schaupp, P., Lappe, C., & Ivanov, I. V. (2019). The inner clock-blue light sets the human rhythm. *Journal of biophotonics*. <https://doi.org/10.1002/jbio.201900102>

6. Rahman, S. A., St Hilaire, M. A., Gronfier, C., Chang, A. M., Santhi, N., Czeisler, C. A., ... & Lockley, S. W. (2018). Functional decoupling of melatonin suppression and circadian phase resetting in humans. *The Journal of physiology*, 596(11), 2147-2157. <https://doi.org/10.1113/JP275501>

7. Wichniak, A., Jankowski, K. S., Skalski, M., Skwarło-Sońta, K., Zawilska, J. B., Żarowski, M., ... & Jernajczyk, W. (2017). Treatment guidelines for circadian rhythm sleep-wake disorders of the Polish Sleep Research Society and the Section of Biological Psychiatry of the Polish Psychiatric Association. Part I. Physiology, assessment and therapeutic methods. *Psychiatr Pol*, 51(5), 793-814. <https://doi.org/10.12740/PP/OnlineFirst/66810>

8. Soto-Vázquez, R., Labastida-López, C., Romero-Castello, S., Benítez-King, G., & Parra-Cervantes, P. (2016). Stimulation of dendrogenesis and neural maturation in adult mammals. *Pharmaceutical patent analyst*, 5(3), 183-193. <https://doi.org/10.4155/ppa.15.43>

9. Romanchuk, N. P., Pyatin, V. F., & Volobuev, A. N. (2017). From electroencephalography to positron emission tomography: hybrid and combined methods of management cognitive brain. *Health and Education Millennium*, 19(8), 2-8. <https://doi.org/10.26787/nydha-2226-7417-2017-19-8-2-8> (in Russian).

10. Manor, R., Mishali, L., & Geva, A. B. (2016). Multimodal neural network for rapid serial visual presentation brain computer interface. *Frontiers in computational neuroscience*, 10, 130. <https://doi.org/10.3389/fncom.2016.00130> PMC5168930



11. Volobuev, A. N., & Petrov, E. S. (2011). Analog-to-digital conversion of information in the retina. *Natural Science*, 3(01), 53. <https://doi.org/10.4236/ns.2011.31007> (in Russian).
12. Huff, T., Mahabadi, N., & Tadi, P. (2019). Neuroanatomy, visual cortex. PMID: 29494110
13. Khyubel, D. (1990). Glaz, mozg, zrenie. Moscow. (in Russian).
14. Avetisov, E. S. (2012). Glaznye bolezni. Osnovy oftal'mologii., Moscow. (in Russian).
15. Egorov, E. A. (2010). Oftal'mologiya. Moscow. (in Russian).
16. Münch, M., & Bromundt, V. (2012). Light and chronobiology: implications for health and disease. *Dialogues in clinical neuroscience*, 14(4), 448. PMID: 23393421
17. Pyatin, V. F., Romanchuk, N. P., & Romanchuk, P. I. Sposob normalizatsii tsirkadiannykh ritmov cheloveka. Patent RF na izobretenie 2533965. (in Russian).
18. 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).
19. Romanchuk, N., & Pyatin, V. (2019). Melatonin: Neurophysiological and Neuroendocrine Aspects. *Bulletin of Science and Practice*, 5(7), 71-85. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/08> (in Russian).
20. Volobuev, A. N., Romanchuk, N. P., & Pyatin, V. F. (2016). Circadian biophysics and neuroplasticity. *Health and Education Millennium*, 18(8), 79-83. (in Russian).
21. Pyatin, V., Romanchuk, N., & Volobuev, A. (2017). Neurovisualization and neuroplasticity: innovations in diagnosis and treatment. *Bulletin of Science and Practice*, (9), 51-61. (in Russian).
22. Romanchuk, N. P., Romanchuk, P. I., & Malyshev, V. K. Produkt dieticheskogo, profilakticheskogo i funktsional'nogo pitaniya pri khronicheskoi ishemii golovnogogo mozga. Patent RF na izobretenie, no. 2489038. (in Russian)
23. Romanchuk, N. P., Pyatin, V. F., & Volobuev, A. N. (2017). Neurophysiological and biophysical principles of neuronplasticity. *Health and Education Millennium*, 19(2), 97-101. (in Russian).
24. Romanchuk, N. P., Pyatin, V. F., & Volobuev, A. N. (2016). Нейропластичность: современные методы управления. *Health and Education Millennium*, 18(9), 92-94. (in Russian).
25. Volobuev, A. N., Zaharova, N. O., Romanchuk, N. P., Romanov, D. V., Romanchuk, P. I., & Adyshirin-Zade, K. A. (2016). Modern principles of the geriatric analysis in medicine. *Advances in Gerontology*, 29(3), 461-470. (in Russian).
26. Romanchuk, P. I., Volobuev, A. N., Sirotko, I. I., & Nikitin, O. L. (2013). Aktivnoe dolgoletie: biofizika genoma, nutrigenomika, nutrigenetika, revitalizatsiya. Samara. (in Russian).
27. Tigano, V., Cascini, G. L., Sanchez-Castañeda, C., Péran, P., & Sabatini, U. (2019). Neuroimaging and Neurolaw: Drawing the Future of Aging. *Frontiers in endocrinology*, 10. <https://doi.org/10.3389%2Ffendo.2019.00217>
28. Bulgakova, S., Romanchuk, P., Romanchuk, N., Pyatin, V., Romanov, D., & Volobuev, A. (2019). Alzheimer's Disease and Artificial Intelligence: Long-term Personalized Rehabilitation and Medical and Social Support. *Bulletin of Science and Practice*, 5(11), 136-175. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/48/18> (in Russian).
29. Bulgakova, S., Romanchuk, P., & Volobuev, A. (2019). Neural Networks: Neuroendocrinology and Alzheimer's Disease. *Bulletin of Science and Practice*, 5(6), 112-128. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/43/16> (in Russian).
30. Bulgakova, S., Romanchuk, P., & Volobuev, A. (2019). Clinical and Biophysical Principles of Vascular Dementia and Alzheimer's Disease Treatment. *Bulletin of Science and Practice*, 5(5), 57-72. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/42/08> (in Russian).

31. Volobuev, A., & Romanchuk, P. (2019). Biophysics of blood circulation in vascular dementia and Alzheimer's disease. *Bulletin of Science and Practice*, 5(4), 76-102. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/41/08> (in Russian).
32. Volobuev, A., Romanchuk, P., & Bulgakova, S. (2019). Brain-microbiota neural network: regulation of the visceral brain and accumulation of cognitive memory. *Bulletin of Science and Practice*, 5(2), 33-52. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/39/05> (in Russian).
33. Volobuev, A., Davydkin, I., Pyatin, V., & Romanchuk, N. (2018). The problem of data starvation in the peri- and postperinatal period. *Vrach*, 29(8). <https://doi.org/10.29296/25877305-2018-08-08> (in Russian).
34. Volobuev, A., Pyatin, V., Romanchuk, N., Bulgakova, S., & Davydkin, I. (2018). Cognitive dysfunction in the overexcitation of brain structures. *Vrach*, 29, (9). <https://doi.org/10.29296/25877305-2018-09-04> (in Russian).
35. Volobuev, A., Romanchuk, P., Romanchuk, N., Davydkin, I., & Bulgakova S. (2019). Memory impairment in Alzheimer's disease. *Vrach*, 30(6). <https://doi.org/10.29296/25877305-2019-06-02> (in Russian).
36. Volobuev, A. N., Petrov, E. S., Kondurtsev, V. A., & Romanchuk, P. I. (2013). Nekotorye printsipy podbora lekarstvennykh preparatov pri kombinirovannoi lekarstvennoi terapii pervichnoi arterial'noi gipertonii. *Vrach*, (3), 49-51. (in Russian).
37. Romanchuk, P. I., & Romanchuk, N. P. Sposob otsenki vozrastnykh izmenenii serdechno-sosudistoi sistemy. Patent RF na izobretenie 2485886. (in Russian).
38. Zolotovskaya, I. A., Davydkin, I. L., Poverennova, I. E., & Romanchuk, N. P. (2016). Impact of anticoagulant therapy on the indicators of arterial stiffness and endothelial dysfunction in patients with atrial fibrillation after cardioembolic stroke. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*, 8(4), 25-31. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2016-4-25-31> (in Russian).
39. Zolotovskaya, I. A., Duplyakov, D. V., Davydkin, I. L., & Romanchuk, N. P. (2017). The influence of anticoagulant therapy on oxygenation of erythrocyte membranes in correlation with the parameters of microcirculation in patients with atrial fibrillation. *Cardiology: News, Opinions, Training*, 3(14), 51-56. (in Russian).
40. Yoon, S. P., Grewal, D. S., Thompson, A. C., Polascik, B. W., Dunn, C., Burke, J. R., & Fekrat, S. (2019). Retinal Microvascular and Neurodegenerative Changes in Alzheimer's Disease and Mild Cognitive Impairment Compared with Control Participants. *Ophthalmology Retina*, 3(6), 489-499. <https://doi.org/10.1016/j.oret.2019.02.002>
41. Lim, J. K., Li, Q. X., He, Z., Vingrys, A. J., Wong, V. H., Currier, N., ... & Nguyen, C. T. (2016). The eye as a biomarker for Alzheimer's disease. *Frontiers in neuroscience*, 10, 536. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00536>
42. DeBuc, D. C., Somfai, G. M., Arthur, E., Kostic, M., Oropesa, S., & Santiesteban, C. M. (2018). Investigating Multimodal Diagnostic Eye Biomarkers of Cognitive Impairment by Measuring Vascular and Neurogenic Changes in the Retina. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01721>
43. Hampel H., Toschi N., Babiloni C., Baldacci F., Black K. L., Bokde A. L. W. и др. (2018). Revolution of Alzheimer Precision Neurology. Passageway of Systems Biology and Neurophysiology. *J. Alzheimers Dis.* <https://doi.org/10.3233/JAD-179932>.
44. Beltrán, J., García-Vázquez, M. S., Benois-Pineau, J., Gutierrez-Robledo, L. M., & Dartigues, J. F. (2018). Computational techniques for eye movements analysis towards supporting early diagnosis of Alzheimer's disease: a review. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2676409>

45. Sweeney, M. D., Sagare, A. P., & Zlokovic, B. V. (2015). Cerebrospinal fluid biomarkers of neurovascular dysfunction in mild dementia and Alzheimer's disease. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 35(7), 1055-1068. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2015.76>
46. Arvanitakis, Z., Capuano, A. W., Leurgans, S. E., Bennett, D. A., & Schneider, J. A. (2016). Relation of cerebral vessel disease to Alzheimer's disease dementia and cognitive function in elderly people: a cross-sectional study. *The Lancet Neurology*, 15(9), 934-943. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(16\)30029-1](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(16)30029-1)
47. Querques, G., Borrelli, E., Sacconi, R., De Vitis, L., Leocani, L., Santangelo, R., ... & Bandello, F. (2019). Functional and morphological changes of the retinal vessels in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Scientific reports*, 9(1), 63. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37271-6>
48. Sabel, B. A., Flammer, J., & Merabet, L. B. (2018). Residual vision activation and the brain-eye-vascular triad: Dysregulation, plasticity and restoration in low vision and blindness - a review. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 36(6), 767-791. <https://doi.org/10.3233/rnn-180880>
49. Faiq, M. A., Wollstein, G., Schuman, J. S., & Chan, K. C. (2019). Cholinergic nervous system and glaucoma: From basic science to clinical applications. *Progress in Retinal and Eye Research*, 72, 100767. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2019.06.003>
50. Yu, D.-Y., Cringle, S. J., Yu, P. K., Balaratnasingam, C., Mehnert, A., Sarunic, M. V., ... Su, E.-N. (2019). Retinal capillary perfusion: Spatial and temporal heterogeneity. *Progress in Retinal and Eye Research*, 70, 23-54. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2019.01.001>
51. Treneva, E., Bulgakova, S., Romanchuk, P., Zakharova, N., ... Sirotko, I. (2019). The Brain and Microbiota: Neuroendocrine and Geriatric Aspects. *Bulletin of Science and Practice*, 5(9), 26-52. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/46/03> (in Russian)
52. Harrison, I. F., Whitaker, R., Bertelli, P. M., O'Callaghan, J. M., Csincsik, L., Bocchetta, M., ... Lengyel, I. (2019). Optic nerve thinning and neurosensory retinal degeneration in the rTg4510 mouse model of frontotemporal dementia. *Acta Neuropathologica Communications*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40478-018-0654-6>
53. Pyatin, V. F., & Romanchuk, N. P. (2017). Gerontologicheskie i geriatrichekie aspekty neiroplastichnosti golovного mozga cheloveka. In: *Klinicheskie i fundamental'nye aspekty gerontologii. Samara*. (in Russian).

Работа поступила  
в редакцию 14.11.2019 г.

Принята к публикации  
19.11.2019 г.

Ссылка для цитирования:

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>

Cite as (APA):

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. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/49/14> (in Russian).