



ГЛИМФАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОЗГА И ФИЗИОЛОГИЯ СНА: СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ОЧИЩЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Абдугаффорова Мадина Абдушукур кизи

*Ташкентский государственный медицинский университет, Ташкент,
Узбекистан*

Научный руководитель: Рахмонова шахноза Эркиновна.

Аннотация

В статье рассматриваются современные представления о роли лимфатической системы в физиологии сна и поддержании гомеостаза центральной нервной системы. Анализируются механизмы циркуляции цереброспинальной жидкости, участие астроцитов и аквапоринов в очищении мозга от метаболитических продуктов, а также влияние фаз сна на эффективность нейронального детоксикационного процесса. Особое внимание уделено взаимосвязи нарушений сна с накоплением β -амилоида, нейродегенеративными заболеваниями и когнитивными расстройствами. Представлены современные данные о роли медленного сна в активации лимфатического клиренса. Показано, что сон выполняет не только восстановительную функцию, но и является ключевым физиологическим механизмом поддержания метаболической стабильности мозга. Рассматриваются перспективы использования знаний о лимфатической системе в профилактике нейродегенеративных заболеваний и разработке новых терапевтических подходов.



Ключевые слова: физиология сна, глимфатическая система, нейрофизиология, β -амилоид, астроциты, аквапорин-4, нейродегенерация, медленный сон.

Annotation

The article discusses modern concepts regarding the role of the glymphatic system in sleep physiology and maintenance of central nervous system homeostasis. Mechanisms of cerebrospinal fluid circulation, the role of astrocytes and aquaporins in brain detoxification, and the influence of sleep phases on the efficiency of neuronal clearance are analyzed. Particular attention is paid to the relationship between sleep disorders, β -amyloid accumulation, neurodegenerative diseases, and cognitive impairment. Modern data on the role of slow-wave sleep in activating glymphatic clearance are presented. It is shown that sleep performs not only a restorative function, but also acts as a key physiological mechanism for maintaining metabolic stability of the brain. Prospects for applying knowledge about the glymphatic system in the prevention of neurodegenerative diseases and the development of new therapeutic approaches are discussed.

Key words: sleep physiology, glymphatic system, neurophysiology, β -amyloid, astrocytes, aquaporin-4, neurodegeneration, slow-wave sleep.

Annotatsiya

Mazkur maqolada uyqu fiziologiyasida glinfatik tizimning o'рни va markaziy nerv tizimi gomeostazini saqlashdagi ahamiyati haqidagi zamonaviy qarashlar tahlil qilinadi. Serebrospinal suyuqlik aylanish mexanizmlari, astrositlar va akvaporinlarning miya metabolik mahsulotlarini chiqarishdagi roli hamda uyqu fazalarining neyron detoksikatsiyasiga ta'siri o'rganildi. Uyqu buzilishlari bilan β -amiloid to'planishi, neurodegenerativ kasalliklar va kognitiv buzilishlar o'rtasidagi bog'liqlikka alohida e'tibor qaratildi. Sekin to'liqinli uyquning glinfatik klirensni



faollashtirishdagi roli haqidagi zamonaviy ma'lumotlar keltirilgan. Uyqu nafaqat tiklovchi jarayon, balki miya metabolik barqarorligini ta'minlovchi asosiy fiziologik mexanizm ekanligi ko'rsatildi. Shuningdek, glinfatik tizim haqidagi bilimlarning neyrodegenerativ kasalliklar profilaktikasi va yangi terapevtik yondashuvlarni ishlab chiqishdagi istiqbollari muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: uyqu fiziologiyasi, glinfatik tizim, neyrofiziologiya, β -amiloid, astrositlar, akvaporin-4, neyrodegeneratsiya, sekin uyqu.

Введение

Сон представляет собой одно из наиболее фундаментальных физиологических состояний организма, обеспечивающих восстановление функций центральной нервной системы, регуляцию метаболизма и поддержание когнитивной активности. Несмотря на многовековую историю изучения сна, в последние десятилетия нейрофизиология получила принципиально новые данные о его биологическом значении. Одним из наиболее значимых открытий современной нейронауки стало выявление лимфатической системы мозга — специализированного механизма удаления метаболитических продуктов из нервной ткани. Данная система была описана сравнительно недавно и вызвала значительный интерес в связи с её ролью в развитии нейродегенеративных заболеваний. Ранее считалось, что центральная нервная система практически не имеет полноценной лимфатической системы. Однако современные исследования показали существование особого механизма циркуляции цереброспинальной жидкости, обеспечивающего очищение межклеточного пространства мозга. Было установлено, что наиболее интенсивная активность лимфатической системы наблюдается именно во время сна. Особое значение проблема сна приобретает в условиях современного общества. Хроническое недосыпание, нарушение



циркадных ритмов, длительное использование электронных устройств и высокий уровень психоэмоционального стресса приводят к распространению нарушений сна среди различных возрастных групп. Согласно современным исследованиям, подобные нарушения могут способствовать накоплению токсических белков в мозге и повышать риск развития болезни Альцгеймера и других нейродегенеративных процессов. В связи с этим изучение физиологии сна и механизмов функционирования глимфатической системы является актуальным направлением современной медицины и нейрофизиологии.

Цель исследования

Проанализировать современные представления о роли глимфатической системы в физиологии сна и оценить её значение в поддержании метаболического гомеостаза центральной нервной системы.

Задачи исследования

1. Изучить анатомо-физиологические особенности глимфатической системы.
2. Проанализировать роль сна в активации процессов очищения мозга.
3. Оценить участие астроцитов и аквапоринов в регуляции глимфатического клиренса.
4. Рассмотреть связь нарушений сна с нейродегенеративными заболеваниями.
5. Определить перспективы клинического применения современных знаний о глимфатической системе.

Материалы и методы

В исследовании использовались аналитический, сравнительный и системный методы научного анализа. Источниковую базу составили современные публикации по нейрофизиологии сна, нейробиологии,



молекулярной физиологии и нейродегенеративным заболеваниям. Анализ включал данные экспериментальных исследований, посвящённых функционированию лимфатической системы, особенностям циркуляции цереброспинальной жидкости и влиянию различных фаз сна на процессы метаболического очищения мозга. Также были изучены работы, посвящённые роли β -амилоида, тау-белка и хронической нейровоспалительной реакции в развитии болезни Альцгеймера.

Результаты исследования

Лимфатическая система как механизм очищения мозга
Лимфатическая система представляет собой специализированную сеть транспорта цереброспинальной жидкости через периваскулярные пространства головного мозга. Термин «лимфатическая» был образован путём объединения слов «глия» и «лимфатическая система», что отражает ключевую роль глиальных клеток в данном процессе. Основным структурным компонентом системы являются астроциты — клетки нейроглии, окружающие сосуды головного мозга. На мембранах астроцитов располагаются белковые каналы аквапорин-4, обеспечивающие транспорт воды и движение цереброспинальной жидкости. Во время функционирования лимфатической системы цереброспинальная жидкость поступает в ткань мозга через периваскулярные пространства артерий, смешивается с интерстициальной жидкостью и способствует удалению метаболических продуктов, включая β -амилоид и тау-белок. Далее жидкость выводится через венозные пути и лимфатические сосуды мозговых оболочек. Таким образом обеспечивается своеобразная «очистка» нервной ткани.

Сон как ключевой фактор активации лимфатического клиренса
Современные исследования показали, что активность лимфатической



системы значительно возрастает во время сна, особенно в фазе медленного сна. В этот период увеличивается объём межклеточного пространства мозга, что облегчает циркуляцию жидкости и удаление токсических веществ. [5/11/2026 4:00 PM] Абдугафорова Мадина: Во время бодрствования значительная часть энергетических ресурсов мозга направлена на обработку сенсорной информации и поддержание нейрональной активности. Во сне метаболическая активность частично снижается, что создаёт условия для активации процессов детоксикации. Экспериментальные исследования продемонстрировали, что скорость удаления β -амилоида во время сна существенно выше по сравнению с состоянием бодрствования. Это позволяет рассматривать сон как один из важнейших факторов профилактики нейродегенеративных изменений. Особое значение имеет медленный сон, характеризующийся преобладанием дельта-ритмов. Именно в этой фазе наблюдается максимальная синхронизация нейрональной активности и наиболее эффективная работа глимфатической системы.

Роль астроцитов и аквапоринов

Астроциты играют центральную роль в регуляции глимфатического транспорта. Их отростки образуют своеобразную сеть вокруг сосудов мозга, обеспечивая движение жидкости между сосудистым и межклеточным пространством. Белки аквапорин-4 выполняют функцию водных каналов, регулирующих транспорт жидкости через мембраны астроцитов. Нарушение работы данных каналов сопровождается снижением эффективности глимфатического клиренса. Современные исследования показывают, что дисфункция аквапоринов может быть связана с развитием хронического нейровоспаления, накоплением токсических белков и прогрессированием нейродегенеративных заболеваний. Кроме того, астроциты участвуют в



поддержании ионного баланса, регуляции нейромедиаторного обмена и энергетическом обеспечении нейронов.

Нарушения сна и нейродегенеративные заболевания. Хроническое нарушение сна рассматривается как один из факторов риска развития болезни Альцгеймера, болезни Паркинсона и других нейродегенеративных процессов. Недостаточная продолжительность сна приводит к снижению эффективности удаления β -амилоида из межклеточного пространства мозга. Постепенное накопление амилоидных бляшек сопровождается нарушением межнейрональных связей и когнитивных функций. Исследования показали, что даже одна ночь выраженного недосыпания может сопровождаться временным увеличением концентрации β -амилоида в тканях мозга. Дополнительное значение имеет хронический стресс и нарушение циркадных ритмов. Длительное повышение уровня кортизола оказывает негативное влияние на гиппокамп, процессы памяти и механизмы нейронального восстановления. Также установлено, что у пациентов с бессонницей, синдромом обструктивного апноэ сна и хроническими нарушениями циркадного ритма чаще наблюдаются когнитивные нарушения и снижение концентрации внимания.

Перспективы современной медицины. Изучение глимфатической системы открывает новые возможности для профилактики и лечения заболеваний нервной системы. Современные направления исследований включают: разработку методов стимуляции глимфатического клиренса; изучение влияния различных фаз сна на нейрональный метаболизм; поиск лекарственных средств, влияющих на функцию аквапоринов; использование нормализации сна как элемента профилактики нейродегенеративных заболеваний;



исследование связи между физической активностью, сосудистым тонусом и эффективностью лимфатической системы.

Особый интерес представляет возможность ранней профилактики болезни Альцгеймера путём коррекции сна и поддержания нормального циркадного ритма.

Обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о том, что сон выполняет значительно более сложные функции, чем предполагалось ранее. Помимо восстановления нервной системы и консолидации памяти, сон обеспечивает поддержание метаболической стабильности мозга. Открытие лимфатической системы изменило современные представления о физиологии центральной нервной системы. Если ранее основное внимание уделялось электрической активности нейронов, то современные исследования подчёркивают важность процессов межклеточного обмена и удаления токсических веществ. Особое значение имеет связь между нарушениями сна и нейродегенерацией. В условиях современной жизни хронический дефицит сна становится распространённым явлением, особенно среди студентов и молодых людей. Длительное нарушение сна может сопровождаться ухудшением памяти, снижением концентрации внимания и нарушением когнитивной деятельности. Следует отметить, что процессы очищения мозга тесно связаны с состоянием сосудистой системы, артериальным давлением и обменом веществ. Поэтому нарушения сердечно-сосудистой системы также могут оказывать влияние на эффективность лимфатического транспорта. В последние годы активно изучается влияние физических нагрузок, режима питания и циркадной организации сна на активность лимфатической системы. Предполагается, что комплексная коррекция образа жизни способна снижать риск возрастных



нейродегенеративных процессов. Несмотря на значительный прогресс в изучении глимфатической системы, многие механизмы её функционирования остаются недостаточно исследованными. Требуются дальнейшие клинические и экспериментальные исследования, направленные на разработку новых методов профилактики и терапии заболеваний нервной системы.

Выводы

1. Глимфатическая система является важнейшим механизмом очищения центральной нервной системы от метаболических продуктов.
2. Наиболее высокая активность глимфатического клиренса наблюдается во время сна, особенно в фазе медленного сна.
3. Астроциты и белки аквапорин-4 играют ключевую роль в обеспечении циркуляции цереброспинальной жидкости.
4. Хронические нарушения сна способствуют накоплению β -амилоида и повышают риск развития нейродегенеративных заболеваний.
5. Сон выполняет не только восстановительную, но и детоксикационную функцию, обеспечивая поддержание метаболического гомеостаза мозга.
6. Изучение глимфатической системы открывает перспективы для разработки новых подходов к профилактике болезни Альцгеймера и других нейродегенеративных процессов.
7. Современные данные подтверждают необходимость сохранения полноценного сна как важнейшего компонента профилактической медицины.

Список литературы

1. Xie L., Kang H., Xu Q. Sleep drives metabolite clearance from the adult brain // Science. — 2013.
2. Nedergaard M. Garbage truck of the brain // Science. — 2013.



3. Iliff J. J. et al. A paravascular pathway facilitates CSF flow through the brain parenchyma // *Science Translational Medicine*. — 2012.
4. Guyton A. C., Hall J. E. *Textbook of Medical Physiology*. — Philadelphia: Elsevier, 2021.
5. Kryger M., Roth T., Dement W. *Principles and Practice of Sleep Medicine*. — Elsevier, 2017.
6. Saper C. B., Fuller P. M. Wake-sleep circuitry // *Neuron*. — 2017.
7. Tarasoff-Conway J. M. et al. Clearance systems in the brain // *Nature Reviews Neurology*. — 2015.
8. Jessen N. A. et al. The glymphatic system // *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*. — 2015.
9. Benveniste H. et al. The glymphatic system and waste clearance // *Brain Pathology*. — 2019.
10. Siegel J. M. Sleep and dreaming // *Principles of Neural Science*. — 2021.
11. Kandel E. R. *Principles of Neural Science*. — New York: McGraw-Hill, 2021.
12. Brown R. et al. The role of sleep in neurodegenerative diseases // *Nature Reviews Neuroscience*. — 2020.
13. Rasmussen M. K. The glymphatic pathway in neurological disorders // *The Lancet Neurology*. — 2018.
14. Lim M. M., Gerstner J. R., Holtzman D. M. The sleep-wake cycle and Alzheimer's disease // *Neuron*. — 2014.
15. Watson B. O. Sleep and brain clearance mechanisms // *Trends in Neurosciences*. — 2022.