

УДК 612.8

Семерикова Екатерина Андреевна, студентка,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский
университет» Министерства здравоохранения РФ
Semerikova Ekaterina Andreevna, student,
Ural State Medical University of the Russian Ministry of Health

Суворова Полина Александровна, студентка,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский
университет» Министерства здравоохранения РФ
Suvorova Polina Aleksandrovna, student,
Ural State Medical University of the Russian Ministry of Health

**НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯ ДЕТСКОГО СНА: РОЛЬ МЕДЛЕННОГО
И БЫСТРОГО СНА В СОЗРЕВАНИИ МОЗГА И ФОРМИРОВАНИИ
КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ
NEUROPHYSIOLOGY OF CHILD SLEEP: THE ROLE OF SLOW-WAVE
AND RAPID EYE MOVEMENT SLEEP IN BRAIN MATURATION
AND COGNITIVE DEVELOPMENT IN EARLY ONTOGENESIS**

Аннотация. В статье рассматривается нейрофизиологическое значение сна в раннем онтогенезе. Показано, что сон новорождённых и младенцев является активным процессом, связанным с созреванием коры, таламо-кортикальных связей, сенсомоторных карт, памяти и регуляторных функций. Особое внимание уделено различиям REM- и NREM-сна, возрастной динамике их соотношения, ЭЭГ-маркерам зрелости мозга и клиническому значению мониторинга сна у недоношенных детей.

Abstract. The article reviews the neurophysiological significance of sleep in early ontogenesis. Infant sleep is described as an active developmental process associated with cortical maturation, thalamocortical connectivity, sensorimotor mapping, memory and regulatory functions. Special attention is paid to REM and NREM sleep, age-related changes in sleep architecture, EEG markers of brain maturation and the clinical importance of sleep monitoring in preterm infants.

Ключевые слова: Детский сон, REM-сон, NREM-сон, онтогенез, ЭЭГ, когнитивное развитие.

Keywords: Infant sleep, REM sleep, NREM sleep, ontogenesis, EEG, cognitive development.

Введение

Сон в раннем возрасте занимает исключительное место в физиологии развития. Если взрослый человек проводит во сне примерно треть жизни, то новорождённый и младенец первого года жизни спят значительно больше, а к концу первого года уже проводят во сне более половины прожитого времени. Такая выраженная представленность сна в период интенсивного роста мозга свидетельствует о том, что он выполняет не только восстановительную, но и формирующую функцию [1].

Классическое представление о сне как о состоянии пассивного покоя не применимо к раннему онтогенезу. В 1966 году Г. Роффварг предложил онтогенетическую гипотезу, согласно которой быстрый сон является источником эндогенной стимуляции развивающегося мозга. Современные данные подтверждают: REM-сон и медленный сон участвуют в созревании нейронных сетей, миелинизации, формировании сенсорных и моторных карт, а также в становлении когнитивных функций [1, 4].



Цель статьи – обобщить современные представления о роли медленного и быстрого сна в созревании мозга и формировании когнитивных функций у детей раннего возраста. Особое внимание уделяется возрастной динамике сна, ЭЭГ-паттернам, роли REM- и NREM-сна, связи сна с нейроразвитием и клиническому значению оценки сна у новорождённых.

Возрастная динамика сна в раннем онтогенезе

Сон новорождённого отличается от сна взрослого по структуре, длительности и способу смены состояний. В неонатальном периоде выделяют активный сон, тихий сон и неопределённый сон. Активный сон соответствует будущему REM-сну и характеризуется движениями глаз, нерегулярным дыханием, двигательной активностью и вариабельностью сердечного ритма. Тихий сон является предшественником NREM-сна и сопровождается более регулярным дыханием, уменьшением движений и появлением медленноволновой активности на ЭЭГ [8].

В первые месяцы жизни сон имеет полифазный характер: циклы сна и бодрствования многократно повторяются в течение суток и прерываются кормлениями. Продолжительность цикла сна у младенца обычно короче, чем у взрослого. Важнейшая особенность раннего возраста – засыпание часто начинается с активного сна, тогда как у более старших детей и взрослых сон обычно начинается с NREM-фазы [4].

На первом году жизни происходит постепенная консолидация сна. Ночной сон удлиняется, число дневных эпизодов уменьшается, а самый продолжительный непрерывный ночной период становится длиннее. При этом данные дневников сна и актиграфии могут различаться: приборы нередко фиксируют двигательные эпизоды во время активного сна как пробуждения, поэтому метод оценки влияет на итоговые показатели [2].

Одним из главных признаков созревания является изменение соотношения фаз. У недоношенных детей активный сон может составлять до 70-80% общего времени сна, у доношенных новорождённых – около половины, а к концу первого года его доля постепенно уменьшается. Параллельно возрастает относительное значение NREM-сна, что отражает перестройку механизмов регуляции сна и созревание корково-подкорковых связей [4, 8].

ЭЭГ-паттерны сна как маркеры зрелости мозга

Электроэнцефалография является одним из наиболее информативных методов оценки сна у новорождённых. В клинической практике особенно важна цикличность сна и бодрствования: регулярная смена активного и тихого сна рассматривается как показатель функциональной целостности центральной нервной системы. Нарушение этой цикличности может быть признаком незрелости или повреждения мозга [3].

Для тихого сна здорового доношенного новорождённого характерен паттерн *trace alternant*: чередование вспышек высокоамплитудной медленноволновой активности и низкоамплитудных участков смешанной частоты. Этот паттерн является важным возрастным маркером, поскольку постепенно исчезает в первые недели жизни и сменяется более зрелой медленноволновой организацией сна [4, 8].

Существенным признаком созревания NREM-сна является появление сонных веретён. В первые месяцы жизни они короткие, низкоамплитудные и могут быть асинхронными между полушариями. В дальнейшем их амплитуда, регулярность и продолжительность увеличиваются. Поскольку сонные веретёна связаны с активностью таламо-кортикальных сетей, их развитие отражает миелинизацию и созревание функциональных связей между таламусом и корой [5].

К 5-6 месяцам жизни начинают выявляться вертексные волны и K-комплексы. Эти графоэлементы медленного сна связаны с созреванием центральных и фронтальных отделов коры, а также с механизмами сенсорной фильтрации во сне. Постепенная перестройка частотного спектра ЭЭГ, уменьшение доли грубой дельта-активности и появление более организованных ритмов показывают, что сон отражает этапность морфофункционального развития мозга [5, 6].



Роль REM-сна в созревании мозга

Большая представленность REM-сна у плода, недоношенного ребёнка и новорождённого является одним из ключевых аргументов в пользу его развивающей функции. Согласно онтогенетической гипотезе, REM-сон обеспечивает эндогенную стимуляцию мозга тогда, когда внешние сенсорные воздействия ещё ограничены. Такая стимуляция помогает формировать зрительные, соматосенсорные, моторные и другие нейронные системы [1, 4].

Во время активного сна у недоношенных и новорождённых детей регистрируются спонтанные транзисты активности. Эти всплески ЭЭГ отражают эндогенно организованную активность незрелого мозга и, вероятно, участвуют в формировании таламо-кортикальных и кортико-кортикальных связей. Чем активнее такие процессы в определённые периоды развития, тем больше оснований рассматривать сон как фактор, поддерживающий рост и организацию мозга [1].

Особое значение имеют миоклонические подёргивания во сне. У младенцев они встречаются чаще, чем у взрослых, и не являются случайной двигательной активностью. Проприоцептивная обратная связь от подёргивающихся конечностей активирует соответствующие зоны развивающейся соматосенсорной коры и помогает формировать сенсомоторные карты. Таким образом, движения во сне могут рассматриваться как элемент раннего моторного обучения [4].

REM-сон также связан с нейрохимическими процессами раннего развития. Одним из центральных событий является GABA-сдвиг: в незрелом мозге гамма-аминомасляная кислота имеет преимущественно деполяризующее действие, а затем приобретает тормозный эффект. Этот переход меняет баланс эндогенной и экзогенной стимуляции, а также может объяснять постепенное уменьшение доли REM-сна по мере созревания нервной системы [1].

Значение NREM-сна и взаимодействие фаз

По мере развития ребёнка возрастает роль NREM-сна. Если на ранних этапах преобладает активный сон, то затем всё большее значение получают тихий сон, медленноволновая активность и веретённые паттерны. NREM-сон связан с созреванием таламо-кортикальных сетей, синаптической реорганизацией и укреплением функциональной связности коры [6, 8].

Исследования сна шестимесячных младенцев показывают, что поведенческие характеристики сна связаны с нейрофизиологическими показателями NREM-фазы. Более регулярный дневной сон может сопровождаться более выраженной медленноволновой активностью ночью, а плотность быстрых веретён связана с двигательной активностью и последующим моторным развитием. Это указывает, что внешне «беспокойный» сон младенца не всегда означает патологическую фрагментацию: в ряде случаев движения и веретёна отражают активное созревание сенсомоторных сетей [6].

Взаимодействие REM- и NREM-сна имеет этапный характер. На ранних сроках REM-сон преимущественно обеспечивает эндогенную стимуляцию, а NREM-сон постепенно берёт на себя функции организации и стабилизации нейронных сетей. Поэтому развитие сна нельзя свести к увеличению или уменьшению одной фазы: важна согласованная перестройка всей архитектуры сна [1, 6].

Сон и когнитивное развитие

Параметры сна связаны с когнитивными, языковыми, социальными и моторными исходами. У детей с более консолидированным ночным сном и меньшим количеством ночных пробуждений чаще отмечаются лучшие показатели рабочей памяти и исполнительных функций. Более качественный сон ассоциирован с социальным обучением и психомоторным развитием, тогда как позднее засыпание, частые пробуждения и выраженная фрагментация сна могут сопровождаться менее благоприятными нейроразвивающими результатами [8].



Связь сна и развития не является простой линейной зависимостью. Длительный сон у младенца не всегда означает лучший прогноз: у недоношенных детей повышенная потребность во сне в определённом возрасте может отражать меньшую зрелость мозга. Лонгитудинальные данные показывают, что гестационный возраст является важным модератором отношений между длительностью сна и развитием, а эффекты сна различаются у доношенных и недоношенных детей [7].

Особую роль играет качество сна в неонатальном периоде. У недоношенных детей меньшая продолжительность REM-сна и нарушение цикличности сна могут быть связаны с худшими показателями внимания, нейромоторного и когнитивного развития в последующие месяцы и годы. Поэтому сон в раннем возрасте выступает не только фактором развития, но и чувствительным индикатором состояния центральной нервной системы [3, 4].

Важным направлением исследований является изучение функциональной связности мозга во сне. Поскольку младенца трудно удерживать в состоянии спокойного бодрствования, сон становится удобной моделью для оценки внутренних сетей мозга. Исследования с использованием fNIRS показывают, что даже простые слуховые стимулы во сне вызывают индивидуально разные реакции функциональной связности. Это подчёркивает роль сна как состояния, в котором можно изучать раннюю организацию когнитивных сетей [9].

Клиническое значение и гигиена сна

Оценка сна имеет практическое значение в неонатологии. В отделениях интенсивной терапии новорождённых мониторинг цикличности сна помогает судить о функциональной зрелости мозга, особенно у недоношенных детей и детей, перенёсших гипоксию или другие критические состояния. Автоматические методы распознавания фаз сна перспективны, но должны учитывать возрастные особенности ЭЭГ и не могут механически переноситься с одной возрастной группы на другую [3].

Понимание развивающей роли сна важно и для организации среды выхаживания. Снижение уровня шума, контроль освещённости, уменьшение болевых раздражителей и сохранение периодов спокойного сна рассматриваются как элементы нейропротективного ухода. В раннем возрасте чрезмерная стимуляция может быть неблагоприятной, если мозг ещё находится на этапе, когда ведущую роль играет эндогенная активность сна [1, 4].

Для родителей и специалистов важно различать физиологические особенности сна младенца и признаки нарушений. Короткие циклы, двигательная активность, частые изменения состояния и неодинаковая длительность сна в первые месяцы могут быть вариантом возрастной нормы. Однако стойкая утрата цикличности сна, выраженная фрагментация, нарушения дыхания, резкое изменение поведения ребёнка или сочетание проблем сна с задержкой развития требуют медицинской оценки.

Заключение

Детский сон в раннем онтогенезе является активным нейрофизиологическим процессом, участвующим в созревании мозга. REM-сон обеспечивает эндогенную стимуляцию, связанную с формированием сенсорных и моторных систем, активностью незрелых нейронных сетей и ранней пластичностью. NREM-сон постепенно приобретает всё большее значение для таламо-кортикальной организации, медленноволновой активности, сонных веретён и стабилизации функциональной связности.

Возрастная перестройка сна отражает последовательное созревание центральной нервной системы: меняется соотношение REM- и NREM-сна, появляются зрелые ЭЭГ-графоэлементы, увеличивается консолидация ночного сна и формируются более устойчивые ритмы «сон–бодрствование». Именно поэтому параметры сна могут использоваться как маркеры нейроразвития, особенно у недоношенных детей.



Связь сна с когнитивным развитием сложна и зависит от возраста, гестационного срока, качества сна, степени его фрагментации и зрелости ЭЭГ-паттернов. Сон следует рассматривать не только как условие восстановления, но и как один из механизмов раннего формирования когнитивных, языковых, моторных и регуляторных функций. Дальнейшие исследования должны уточнить, какие параметры сна являются наиболее надёжными прогностическими маркерами и какие вмешательства способны безопасно поддерживать развитие мозга в раннем возрасте.

Список литературы:

1. de Groot, E.R. Sleep as a driver of pre- and postnatal brain development [Text]: / E.R. de Groot, J. Dudink, T. Austin // *Pediatric Research*. – 2024. – Vol. 96, № 6. – P. 1503–1509.
2. Gilchrist, A. Maturation of infant sleep during the first 6 months of life: a mini-scoping review [Text]: / A. Gilchrist, B.S. Aylward, C.M. Laine, H. Karp // *Frontiers in Neuroscience*. – 2025. – Vol. 19. – DOI: 10.3389/fnins.2025.1581325.
3. Montazeri Moghadam, S. Sleep State Trend (SST), a bedside measure of neonatal sleep state fluctuations based on single EEG channels [Text]: / S. Montazeri Moghadam, P. Nevalainen, N.J. Stevenson, S. Vanhatalo // *Clinical Neurophysiology*. – 2022. – Vol. 143. – P. 164–174.
4. Grigg-Damberger, M.M. Sleep in infants and children [Text]: / M.M. Grigg-Damberger // *Journal of Clinical Sleep Medicine*. – 2016. – Vol. 12, № 3. – P. 377–389.
5. Harmony, T. Normative longitudinal EEG recordings during sleep stage II in the first year of age [Text]: / T. Harmony, G. Otero-Ojeda, E. Aubert-Vázquez, T. Fernández, L. Cubero-Rego // *Scientific Data*. – 2024. – Vol. 11. – Article 784.
6. Schoch, S.F. Bedtime to the brain: how infants' sleep behaviours intertwine with non-rapid eye movement sleep electroencephalography features [Text]: / S.F. Schoch, V. Jaramillo, A. Markovic, R. Huber, M. Kohler, O.G. Jenni, C. Lustenberger, S. Kurth // *Journal of Sleep Research*. – 2024. – Vol. 33, № 2. – e13936.
7. Chan, P.H.Y. Interaction effect of gestational age on the association between sleep and neurodevelopmental outcomes in early childhood: A longitudinal study from birth to 24 months [Text]: / P.H.Y. Chan, C.M. Lai, P.C.M. Wong, H.S. Lam // *Early Human Development*. – 2025. – Vol. 204. – Article 106354.
8. Lenehan, S.M. The Architecture of Early Childhood Sleep Over the First Two Years [Text]: / S.M. Lenehan, L. Fogarty, C. O'Connor et al. // *Maternal and Child Health Journal*. – 2023. – Vol. 27. – P. 226–250.
9. Li, K. Task-based functional connectivity in infants after exposure to regular white noise during natural sleep measured by fNIRS [Text]: / K. Li, Y. Zhang, Z. Wang // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – Article 29461.

