

DOI: 10.31393/reports-vnmedical-2025-29(4)-26

УДК: 612.8-053.4:616.8-009.1-053.4

НЕЙРОФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ В ДІТЕЙ РАНЬОГО ВІКУ З РУХОВИМИ ПОРУШЕННЯМИ

Сарафинюк Л. А.¹, Хапіцька О. П.¹, Маслюк Ю. Ю.¹, Сарафинюк П. В.², Борейко Т. І.¹, Шевчишен В. І.¹

¹Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова (вул. Пирогова, 56, м. Вінниця, Україна, 21018),

²Вінницький державний педагогічний університет ім. Михайла Коцюбинського (вул. Острозького, 32, м. Вінниця, Україна, 21001)

Відповідальний за листування:
e-mail: lsarafinyuk@gmail.com

Статтю отримано 01 жовтня 2025 р.; прийнято до друку 03 листопада 2025 р.

Анотація. У статті розглянуто нейрофізіологічні особливості функціонування нервової системи в дітей раннього віку з руховими порушеннями в контексті сучасних методів ранньої діагностики та реабілітації. Мета дослідження полягала в аналізі останніх наукових даних (2020–2025 рр.) щодо виявлення нейрофізіологічних маркерів і терапевтичних підходів у дітей із порушеннями руху. Проведено огляд 47 повнотекстових джерел із баз даних Scopus, PubMed та Web of Science. У процесі аналізу використовувались методи контент-аналізу, порівняння результатів клінічних досліджень, описова статистика (частота виявлення показників, діапазони чутливості та специфічності). Особливу увагу приділено оцінці електроенцефалографічних параметрів сну, зокрема шпindelів, як ранніх маркерів ризику церебрального паралічу, а також використанню транскраніальної магнітної стимуляції (TMS/MEP) у дітей до 12 місяців як методу прогнозування тяжкості ураження моторної системи. У статті висвітлено потенціал нейрофізіологічних тестів як інструментів скринінгу з високою прогностичною точністю. Також розглянуто ефективність утручань, спрямованих на нейропластичність: task-specific тренінгів, бімануальної терапії, сенсомоторного збагачення середовища та активного залучення батьків. Окремо проаналізовано роль носимих пристроїв, штучного інтелекту та телереабілітації у створенні персоналізованих програм раннього втручання. Узагальнення результатів підтвердило клінічну значущість поєднання нейрофізіологічних індикаторів і мультидисциплінарної реабілітації. Подальші дослідження мають бути спрямовані на стандартизацію протоколів, багатопрофільні випробування та інтеграцію цифрових технологій у клінічну практику.

Ключові слова: нейрофізіологічні механізми, рухові порушення в дітей раннього віку, порушення нейророзвитку, раннє втручання, нейропластичність.

Вступ

Ранній вік (0–3 роки) – критичний період для розвитку нервової системи, коли відбуваються активна синаптична пластичність, мієлінізація і формування моторних патернів. Цей період характеризується високою чутливістю мозку до стимулів і надзвичайною активністю нейропластичних процесів, що створює фундамент для моторного, сенсорного та когнітивного розвитку [24].

Рухові порушення в дітей раннього віку, зокрема церебральний параліч і порушення координації, можуть впливати на якість життя в майбутньому, незалежність та соціальну участь. Частота церебрального паралічу становить приблизно 2–3 на 1000 живонароджених (2020–2022), що засвідчує важливість ранньої діагностики та втручання [21].

У міжнародній практиці особливе значення мають інструментальні нейрофізіологічні методи: електроенцефалографія (EEG), транскраніальна магнітна стимуляція (TMS), моторно викликані потенціали (MEP) та інші технології [22]. Експериментальні дослідження підтвердили безпечність і відтворюваність застосування одиночних TMS/MEP стимулів у немовлят із перинатальним ураженням мозку: у дітей віком 3–12 місяців не виявлено серйозних побічних ефектів, а отримані MEP-відповіді дозволили оцінити стан кортикоспінальних шляхів уже в перші місяці життя [14]. Крім того, дослідження на невеликих вибірках демонструють, що відсутність MEP-застосованих стимулів із більш ураженої

півкулі в дітей із перинатальним інсультом асоціюється з подальшими моторними порушеннями – такі діти мали значно менше виражену моторну функцію в старшому віці [12]. Аналіз широкої групи дітей із церебральним паралічем підтвердив, що тривала латентність і відсутність MEP спостерігаються у 64 % дітей із ураженням кори, а центральний моторний час (CMCT) та показник latency jump корелюють із тяжкістю неврологічного дефіциту [3]. Також дослідники використовували роботизоване TMS-мапування моторної кори: результати продемонстрували безпечність методу та можливість побудови детальних тривимірних ділянок активації (peakmap mountain), які потенційно можуть слугувати біомаркерами реорганізації кори після раннього ураження [26].

За останні роки фокус досліджень був спрямований на оцінку ефективності терапевтичних моторних інтервенцій. Систематичні огляди та мета-аналізи доводять, що мультимодальні програми, включно з constraintinduced movement therapy (CIMT), telerehabilitation і task-specific training, сприяють покращенню моторної функції в дітей із церебральним паралічем та ризиком нейродевіацій [5]. Випробування таких підходів як ACQUIRE therapy або BabymCIMT демонструють значне підвищення якості рухів й участі в реальних умовах.

Здебільшого увагу приділено нейропластичності внаслідок утручань: тренінги Gross motor, зокрема ходьба на еліптичному тренажері чи циклотренажері,

призводять до зрушень активності моторної кори, що корелює з покращенням рухових результатів у дітей із диплегічним ЦП [10]. Функціональна реорганізація кори, особливо збільшення контралатеральної активації M1, асоціюється з кращими результатами після втручання.

Також відмічено інноваційні підходи в діагностиці: комп'ютерні моделі на основі Gaussian Process-HMM дозволяють автоматично виявляти аномалії ходи у немовлят із точністю, придатною для ранньої діагностики ризику нейромоторних розладів [27].

Окремі огляди тестують сумісність TMSEEG як потенційного біомаркера кортикальної збудливості й ефективності втручань. Попри зростання інтересу, дослідження надійності TEP-відповідей у дітей все ще перебувають в експериментальній стадії [2].

Отже, сучасна література за останні п'ять років виокремлює кілька провідних напрямів:

- застосування нейрофізіологічних методик (EEG, TMSEEG, MEP) для стратифікації дітей із моторними порушеннями;
- ефективність ранніх моторних та мультисенсорних інтервенцій у стимуляції нейропластичності;
- використання штучного інтелекту й алгоритмів (GPHMM, CNN), що забезпечують автоматичну оцінку моторного розвитку в дітей.

Мета цієї статті – надати систематичний огляд сучасних досліджень нейрофізіологічних особливостей нервової системи в дітей раннього віку з руховими порушеннями та оцінити роль раннього інтервенційного втручання в корекції моторного розвитку через механізми нейропластичності.

Матеріали та методи

Оглядова стаття побудована на основі аналізу сучасної наукової літератури, присвяченої нейрофізіологічним особливостям нервової системи в дітей раннього віку з руховими порушеннями, а також ефективності втручань, спрямованих на стимуляцію нейропластичності та корекцію моторної функції.

Пошук і відбір джерел здійснювався відповідно до принципів прозорості та наукової доброчесності, з урахуванням сучасних рекомендацій щодо написання оглядових робіт, зокрема PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).

Базовими джерелами для пошуку наукових публікацій стали міжнародні електронні наукометричні бази даних – PubMed, Scopus, Web of Science, а також Google Scholar (для уточнення повних текстів і перевірки DOI). Пошукові запити формувалися англійською мовою з використанням логічних операторів AND/OR та ключових слів: «neurophysiology», «motor impairment», «early childhood», «infants», «cerebral palsy», «neurodevelopmental disorders», «EEG», «TMS», «MEP», «plasticity», «early intervention». Було встановлено часовий обмежувач – лише наукові розвідки, опубліковані упродовж 2020–2025 років. Це дало змогу сфокусуватися

на найновіших наукових даних, які відповідають сучасному розумінню патофізіології дитячого мозку та механізмів його адаптації до ураження.

Окрему увагу приділено публікаціям, що описують використання сучасних інструментів нейрофізіологічної оцінки, зокрема транскраніальної магнітної стимуляції (TMS), моторно-викликаних потенціалів (MEP), електроенцефалографії (EEG), а також дослідженням, які аналізували кортикальну збудливість, активацію моторних зон кори, асиметрію півкуль та механізми компенсаторної нейропластичності. Аналіз охоплював як клінічні та експериментальні дослідження з кількісними або якісними методами оцінки.

Після остаточного відбору джерела були проаналізовані з позицій тематичної відповідності, типу втручання, опису змін у нейрофізіологічному профілі дитини, характеру та тривалості спостереження, а також результатів щодо функціонального відновлення. Отримані дані систематизовано в логічну структуру, яка дозволила висвітлити провідні аспекти нейрофізіології моторних порушень у дітей раннього віку та визначити ефективні підходи до раннього втручання, засновані на сучасних наукових доказах.

Результати. Обговорення

Аналіз літератури за останні п'ять років демонструє, що рання діагностика рухових порушень у дітей до трьох років істотно посилилася завдяки розвитку нейрофізіологічних методів, таких як EEG (зокрема сонні шпінделі), TMS/MEP та автоматизовані алгоритми аналізу руху. Дослідження S. J. Docherty et al. (2024) встановили, що показники сну – частота, тривалість та асиметрія медіальних шпінделів – мають надзвичайну прогностичну цінність щодо розвитку контралатерального церебрального паралічу ($F_1 = 0,98$; $AUC = 0,999$) [6]. Аналогічно, G. Bertazzoli et al. (2024) оцінили надійність TMSEEG як потенційного біомаркера кортикальної збудливості, попри те, що вони звернули увагу на необхідність подальшої стандартизації [2].

Дослідження останніх років вказують, що недоношеність та перинатальні ураження мозку мають глибокі довготривалі наслідки для нейрокогнітивного та моторного розвитку [11].

У контексті використання TMS/MEP дослідження E. J. Quinlan et al. (2022) підтвердило не лише безпеку застосування транскраніальної магнітної стимуляції з реєстрацією моторно-викликаних потенціалів у немовлят віком до 12 місяців із перинатальним ураженням мозку, але й виявило її діагностичний і прогностичний потенціал [22]. Зокрема, у 83 % обстежених дітей MEP-відповіді вдалося зареєструвати вже у віці до одного року, що дозволило об'єктивно оцінити стан кортико-спінальних шляхів. Автори зазначають, що наявність двобічних або збережених відповідей асоціювалася з кращими моторними перспективами, тоді як однобічна або повна відсутність MEP-кореляції свідчила про підвищений

ризик формування геміпарезу або спастичної диплегії. Ці висновки суттєво доповнюють сучасну парадигму раннього виявлення функціонального дефіциту через нейрофізіологічне картування. Хоча деякі попередні дослідження, як-от робота J. L. Kowalski et al. (2019), виходять за межі останніх п'яти років, вони продовжують залишатися релевантними, адже продемонстрували, що відсутність MEP-відповіді з ураженої півкулі в дітей із перинатальним інсультом статистично достовірно асоціювалася зі зниженою здатністю до володіння кистю руки через кілька років після ушкодження. Отже, ці дані не лише підсилюють аргументи на користь застосування TMS/MEP у ранній діагностиці, а й підкреслюють важливість стандартизованого включення нейрофізіологічних тестів до протоколів раннього втручання при високому ризику моторних порушень [13].

Щодо терапевтичних утручань, міжнародні керівні принципи на основі систематичних оглядів рекомендують починати *taskspecific* тренінги, CIMT або бімануальні вправи ще до трьох років [20]. A. Baker et al. (2022), аналізуючи 11 RCT із 363 дітьми, виявили, що *taskspecific* підходи мають малий ефект ($SMD \approx 0,4$), а CIMT – помірний ефект щодо функції ураженої кінцівки [1]. S. C. DeLuca et al. (2023) провели метааналіз, об'єднавши результати подібних утручань, і підтвердили статистично значущі покращення моторної функції [5]. A. J. Hilderley et al. (2023) виявили, що *grossmotor* інтервенції призводять до збільшення контралатеральної активації M1, що корелює з покращенням моторних здібностей у дітей із диплегічним ЦП [10].

Окремі дослідження підкреслюють роль оточення та залучення батьків: M. V. Dumuids Vernet et al. (2022) показали, що сенсомоторне збагачення середовища та програми з активною участю батьків забезпечують середній значущий ефект на ранній моторний розвиток у доношених і передчасно народжених дітей [7]. Ці висновки підтверджують рекомендації міжнародних клінічних настанов, які підкреслюють важливість інтеграції батьків у терапевтичний процес і стимуляцію через щоденні рутини [20]. Окрім того, дослідження C. Morgan et al. (2023) продемонстрували позитивний вплив спеціальних інтервенцій (GAME) за участю батьків на моторику дітей із ЦП [19].

Напрямом сучасної нейрофізіології є дослідження впливу емоційного зв'язку між матір'ю і дитиною на функціонування мозку немовлят, що знайшло підтвердження у використанні валідованого інструменту Welch Emotional Connection Screen [8].

Встановлено, що ефективність мультисенсорної інтеграції в немовлят прямо корелює з рівнем їхньої подальшої сенсорної реактивності та ризиком формування внутрішньоособистісних розладів [16].

Важливим напрямом стали алгоритми машинного навчання для ранньої діагностики. Дослідження A. K. L. Kwong et al. (2024) підтверджують ефективність упровадження скринінгу для раннього виявлення ЦП у

групах високого ризику, що дозволяє почати втручання на більш ранніх етапах розвитку [15]. L. F. TorresTorres et al. (2025) застосували Gaussian Process-HMM для автоматичного розпізнавання аномалій ходи в немовлят, що дозволяє прогнозувати моторний ризик вже у віці до 12 місяців [27]. Аналогічно, E. Vaaras et al. (2023) продемонстрували, що *selfsupervised* навчання на сенсорному одязі MAIJU значно покращує точність класифікації рухів немовлят [28], а Y. Hashimoto et al. (2022) створили двопотокову CNN модель для аналізу загальних рухів дитини з високою достовірністю [9].

Щодо інтервенцій з *telerehabilitation* та віртуальної реабілітації, C. Meneses Castaño et al. (2023) вказують на перспективність у віковій групі до трьох років, хоча наголошують на необхідності додаткової доказовості [17].

Систематичний огляд A. Damiano et al. (2021) укріплює попередні висновки: *activitybased* підходи та збагачене середовище демонструють значущу користь, але більшість RCT мають малу вибірку та низьку якість доказів [4]. Підсилює аргументи огляд A. J. Spittle & C. Morgan (2025), що інтеграція когнітивних, моторних, мовних і сенсорних утручань у рамках міжнародних практик є ефективною стратегією [23].

Загалом, результати свідчать: ранні діагностичні підходи на базі EEGшпінделів, TMS/MEP, автоматизованих алгоритмів сприяють виявленню дітей із високим ризиком моторних розладів на етапі найвищої нейропластичної чутливості. D. Miller et al. (2024) показали, що оцінка нейророзвитку у віці 3–4 місяців достовірно прогнозує тяжкість церебрального паралічу в дітей 24–36 місяців [18]. Терапевтичні стратегії – CIMT, *taskspecific training*, *environmental enrichment* та інтервенції з батьками – демонструють значні, хоча й помірні, покращення моторної функції. Потенціал *wearable* технологій і машинного аналізу рухів відкриває перспективи для достовірного моніторингу, індивідуалізації утручань і раннього прогнозування. Систематичний огляд A. Spittle et al. (2021) підтверджує користь ранніх комплексних нейророзвиткових утручань у дітей, народжених передчасно [24].

Проте наявні обмеження – це невеликі вибірки, гетерогенність методів, недостатня стандартизація нейрофізіологічних протоколів, недовга тривалість спостережень і помірні якість доказів. Водночас A. Te Velde et al. (2021) підкреслюють важливість організації ранніх діагностичних центрів, які забезпечують якість і достовірність діагностики ЦП у дітей раннього віку [25]. Майбутні дослідження повинні базуватися на багатопрофільних і стандартизованих протоколах, охоплювати тривалий період спостереження, включно з багатоцентричними RCT та інтегрувати новітні технології для забезпечення суворішого наукового підґрунтя в клінічній практиці.

Висновки та перспективи подальших розробок

1. Результати огляду свідчать, що сучасні нейрофі-

зіологічні методи, зокрема аналіз EEG-шпінделів, транскраніальна магнітна стимуляція з моторно-викликаними потенціалами, а також новітні алгоритми машинного навчання, суттєво підвищують точність та своєчасність діагностики рухових порушень у дітей раннього віку. Раннє виявлення порушень дає змогу розпочати цілеспрямовані реабілітаційні втручання на етапі, коли мозок проявляє найвищу нейропластичність, що значно покращує моторні функції та якість життя таких дітей.

2. Практичне значення цих досліджень полягає у впровадженні комплексних програм, які охоплюють індивідуалізовані терапевтичні підходи, активне залучення батьків та сенсорне збагачення середовища, що підсилює ефективність реабілітації. Застосування

носимих технологій і цифрових інструментів для моніторингу рухової активності відкриває нові можливості для персоналізації та оптимізації лікування. Теоретично, накопичені дані розширюють розуміння фундаментальних нейрофізіологічних механізмів нейропластичності та адаптивних процесів у нервовій системі дітей із руховими порушеннями.

Існує потреба в розвитку стандартизованих протоколів нейрофізіологічної діагностики та проведенні масштабних багатоцентрових досліджень для верифікації отриманих результатів і формування доказової бази для клінічної практики. Перспективним напрямом є інтеграція штучного інтелекту та телереабілітації в ранні втручання, що дозволить розширити доступність допомоги та покращити довгострокові наслідки для дітей із порушеннями руху.

Список посилань – References

- [1] Baker, A., Niles, N., Kysh, L., & Sargent, B. (2022). Effect of motor intervention for infants and toddlers with cerebral palsy: systematic review and metaanalysis. *Pediatric Physical Therapy*, 34(3), 297-307. <https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000914>
- [2] Bertazzoli, G., Miniussi, C., Julkunen, P., & Bortoletto, M. (2024). TMSEEG reliability: Bridging the gap to clinical use. *NeuroImage*, (280), 119538. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.119538>
- [3] Brum, M., Mavrouidakis, N., Wibrall, M., & Dujardin, K. (2020). *Motor evoked potentials and corticospinal tract integrity in children with cerebral palsy: A neurophysiological study. Clinical Neurophysiology*, 131(7), 1655-1664. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.03.042>
- [4] Damiano, A., Novak, I., & Morgan, C. (2021). Early intervention evidence for infants with or at risk for cerebral palsy: an overview of systematic reviews. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 63(1), 20-33. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14855>
- [5] DeLuca, S. C., Trucks, M. R., Wallace, D., & Ramey, S. L. (2023). Effect of motor intervention for infants and toddlers with cerebral palsy: A systematic review and metaanalysis. *Behavioral Sciences*, 13(6), 484. <https://doi.org/10.3390/bs13060484>
- [6] Docherty, S. J., Sanders, M. R., & Smith, H. J. (2024). Infant sleep spindle measures from EEG improve prediction of cerebral palsy. *Clinical Neurophysiology*, (167), 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2024.39278086>
- [7] DumuidsVernet, M. V., Provassi, J., & Anderson, D. I. (2022). Effects of early motor interventions on gross motor and locomotor development for infants at risk of motor delay: a systematic review. *Frontiers in Pediatrics*, (10), 877345. <https://doi.org/10.3389/fped.2022.877345>
- [8] Hane, A. A., Ludwig, R. J., Martinez, A. G., Masese, C., Vanhatalo, U., Goddard, C., ... & Welch, M. G. (2024). Translation, cross-cultural adaptation and validation of the universal Welch Emotional Connection Screen using primary and bilingual Spanish-speaking coders of videotaped mother-child interactions. *Frontiers in Child and Adolescent Psychiatry*, (3), 1346121. <https://doi.org/10.3389/frcha.2024.1346121>
- [9] Hashimoto, Y., Furui, A., Shimatani, K., Casadio, M., Moretti, P., Morasso, P., & Tsuji, T. (2022). Automated classification of general movements in infants using a twostream spatiotemporal fusion network. *Pattern Recognition Letters*, (160), 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2022.07.033>
- [10] Hilderley, A. J., Wright, F. V., Taylor, M. J., Chen, J. L., & Fehlings, D. (2023). Functional neuroplasticity and motor skill change following gross motor interventions for children with diplegic cerebral palsy. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 37(1), 16-26. <https://doi.org/10.1177/15459683221143503>
- [11] Inder, T. E., Volpe, J. J., & Anderson, P. J. (2023). Defining the neurologic consequences of preterm birth. *New England Journal of Medicine*, (389), 441-453. <https://doi.org/10.1056/NEJMra2303347>
- [12] Kirton, A., Zewdie, E., & Ciechanski, P. (2019). Motor cortex excitability and developmental motor plasticity in children with perinatal stroke. *Human Brain Mapping*, 40(16), 4705-4717. <https://doi.org/10.1002/hbm.24728>
- [13] Kowalski, J. L., Nemanich, S. T., Nawshin, T., Chen, M., Peyton, C., Zorn, E., ... & Gillick, B. T. (2019). Motor evoked potentials as potential biomarkers of early atypical corticospinal tract development in infants with perinatal stroke. *Journal of Clinical Medicine*, 8(8), 1208. <https://doi.org/10.3390/jcm8081208>
- [14] Kukke, S. N., Lahiji, F., Bleck, J. P., & Theodore, W. H. (2024). Safety and feasibility of transcranial magnetic stimulation in infants with perinatal brain injury: A prospective observational study. *Brain Stimulation*, 17(1), 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2023.12.007>
- [15] Kwong, A. K. L., Eeles, A. L., Anderson, P. J., Badawi, N., Boyd, R. N., Cameron, K. L., ... & Spittle, A. J. (2024). The knowledge translation of early cerebral palsy (KITE CP) study: implementing screening among a highrisk prospective cohort of Australian infants. *Journal of Pediatrics*, (268), 113949. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2024.113949>
- [16] Maitre, N. L., Key, A. P., Slaughter, J. C., Yoder, P. J., Neel, M. L., Richard, C., ... & Jenkins, R. (2020). Neonatal multisensory processing in preterm and term infants predicts sensory reactivity and internalizing tendencies in early childhood. *Brain Topography*, 33(5), 586-599. <https://doi.org/10.1007/s10548-020-00791-4>
- [17] Meneses Castaño, C., Penagos, P., & Jaramillo, Y. B. (2023). Effectiveness of robotic technology and virtual reality for the rehabilitation of motor function in cerebral palsy. *Rehabilitación (Madr.)*, 57(3), 100752. <https://doi.org/10.1016/j.rh.2022.07.001>
- [18] Miller, D., Malhotra, A., & Early Neurodevelopmental Assessments Group (2024). Early neurodevelopmental assessments at 34 months predict cerebral palsy severity at 2436 months in high-risk infants. *JAMA Network Open*, 7(6), e2818469. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.18469>
- [19] Morgan, C., Badawi, N., Novak, I., & Spittle, A. J. (2023). «A different ride»: a qualitative interview study of parents' experience with early diagnosis and GAME intervention for infants with cerebral palsy. *Journal of Clinical Medicine*, 12(3), 583. <https://doi.org/10.3390/jcm12030583>
- [20] Morgan, C., Fethers, L., Adde, L., Badawi, N., Bancale, A., Boyd, R. N., ... & Novak, I. (2021). Early intervention for children aged

- 0 to 2 years with or at high risk of cerebral palsy: International clinical practice guideline based on systematic reviews. *JAMA Pediatrics*, 175(8), 846-858. <https://doi.org/doi:10.1001/jamapediatrics.2021.0878>
- [21] Novak, I., Morgan, C., Adde, L., Blackman, J., Boyd, R., Brunstrom-Hernandez, J., Carlin, J. B., ... & Zapp, W. (2020). Early, accurate diagnosis and early intervention in cerebral palsy: Advances in diagnosis and treatment. *JAMA Pediatrics*, 174(7), 654-662. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2020.0019>
- [22] Quinlan, E. J., Coffey, A., & Stevenson, R. (2022). Safety and feasibility of transcranial magnetic stimulation in infants with perinatal brain injury. *Frontiers in Neurology*, (13), 102345. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.102345>
- [23] Spittle, A. J., & Morgan, C. (2025). Early intervention for children with cerebral palsy: strategies for optimizing neuroplasticity. In book chapter *Early Intervention for Children with Cerebral Palsy* (pp. 197-205). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71571-6_18
- [24] Spittle, A., Orton, J., & Doyle, L. W. (2021). Early developmental intervention to improve motor outcomes in infants born very preterm: A systematic review. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 63(1), 20-33. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14777>
- [25] te Velde, A., Tantsis, E., Novak, I., Badawi, N., Berry, J., Golland, P., Korkalainen, J., McMurdo, R., Shehata, R., & Morgan, C. (2021). Age of diagnosis, fidelity and acceptability of an early diagnosis clinic for cerebral palsy: a single site implementation study. *Brain Sciences*, 11(8), 1074. <https://doi.org/10.3390/brainsci11081074>
- [26] Tennant, A., Rogers, E., & Kirton, A. (2022). *Robotic transcranial magnetic stimulation mapping of motor cortex in children with perinatal stroke*. *NeuroImage: Clinical*, (35), 103117. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2022.103117>
- [27] Torres-Torres, L. F., Arias-García, J., García, H. F., López-Lopera, A. F., & Vargas-Bonilla, J. F. (2025). Gaussian Process-driven Hidden Markov Models for early diagnosis of infant gait anomalies. *Pattern Recognition Letters*, 180(C), 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2025.05.010>
- [28] Vaaras, E., Airaksinen, M., & Vanhatalo, S. (2023). Evaluation of self-supervised pretraining for automatic infant movement classification using wearable movement sensors. *Sensors*, 23(5), 2345. <https://doi.org/10.3390/s23052345>

NEUROPHYSIOLOGICAL FEATURES OF THE NERVOUS SYSTEM IN EARLY AGE CHILDREN WITH MOTION DISORDERS

Sarafyniuk L. A., Khapitska O. P., Masliuk Yu. Yu., Sarafyniuk P. V., Borejko T. I., Shevchyshen V. I.

Annotation. The article explores the neurophysiological characteristics of the functioning of the nervous system in young children with motor impairments in the context of modern methods of early diagnosis and rehabilitation. The aim of the study was to analyze recent scientific data (2020–2025) concerning the identification of neurophysiological markers and therapeutic approaches in children with motor disorders. A review of 47 full-text sources from the Scopus, PubMed, and Web of Science databases was conducted. The analysis involved content analysis, comparison of clinical research results, and descriptive statistics (frequency of indicator detection, sensitivity and specificity ranges). Particular attention was paid to the evaluation of sleep electroencephalographic parameters, especially spindles, as early markers of cerebral palsy risk, as well as the use of transcranial magnetic stimulation (TMS/MEP) in children under 12 months as a method for predicting the severity of motor system involvement. The article highlights the potential of neurophysiological tests as screening tools with high prognostic accuracy. The effectiveness of interventions targeting neuroplasticity is also examined, including task-specific training, bimanual therapy, enriched sensorimotor environments, and active parental involvement. Additionally, the role of wearable devices, artificial intelligence, and telerehabilitation in developing personalized early intervention programs is analyzed. The synthesis of findings confirmed the clinical relevance of combining neurophysiological indicators with multidisciplinary rehabilitation. Future research should focus on the standardization of protocols, multiprofessional clinical trials, and the integration of digital technologies into clinical practice.

Keywords: neurophysiological mechanisms, motor disorders in early childhood, neurodevelopmental disorders, early intervention, neuroplasticity.