

Біологічні передумови розроблення концепції використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керуючого середовища» в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації дітей із церебральним паралічем

УДК 616.831 – 009.11 : 615. 8 – 053. 2(045)

¹С.А. Холодов, ²В.О. Кашуба, ²І.В. Хмельницька, ²Т.М. Ричок, ²К.О. Верзлова, ²Г.Б. Лабінська

¹Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Одеса, Україна

²Національний університет фізичного виховання і спорту Україна, Київ, Україна

Резюме. Аналіз масиву наукових знань свідчить, що застосування методології «штучного керуючого середовища» у сфері фізичної культури та спорту є досить актуальним науковим трендом. Факторний аналіз і метод головних компонентів належать до математичних дисциплін, призначених для опису багатовимірних об'єктів, тому дуже широко використовуються у біологічних дослідженнях. Проте матеріалів, які допомагають користувачу, у тому числі й спеціалісту сфери фізичної культури та спорту, на практиці адекватно і коректно використовувати сучасні методи багатфакторного статистичного аналізу, сьогодні недостатньо. *Мета.* Визначити біологічні передумови розроблення концепції використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керуючого середовища» в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації дітей 7–8 років із церебральним паралічем. *Методи.* Аналіз літературних джерел, педагогічний експеримент. Соціологічні методи дослідження, методи математичної статистики. *Результати.* Проведений факторний аналіз показників фізичного розвитку, фізичної підготовленості та моторних рухових функцій у дітей молодшого шкільного віку з двома іншими формами ДЦП – спастичною диплегією (СД) та спастичним геміпарезом (СГ) – дає змогу визначити як спільні, так і відмінні особливості цих факторних структур, що важливо для обґрунтування біологічних передумов розроблення концепції використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керуючого середовища» в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації дітей 7–8 років із церебральним паралічем.

Схожість факторних структур убачається у тому, що перший фактор в обох групах відображає базову стійкість та контроль положення тіла, а другий – координацію рухів та динамічну рівновагу. Також в обох структурах наявні фактори, пов'язані з адаптацією до нестабільних умов, що підтверджує схожість у біологічних передумовах формування стабільності у вертикальному положенні.

Відмінні риси факторних структур убачаємо у різному змісті третього та четвертого факторів: у дітей із СД третій фактор пов'язаний із підтримкою тіла у складних умовах (9,49% дисперсії), а четвертий – із загальною фізичною підготовленістю (9,12%), що вказує на необхідність посиленої уваги до адаптації постуральних навичок та загальної витривалості. У дітей із СГ третій фактор включає показники

нестабільності під час тестування рівноваги (17,08%), а четвертий – сенсомоторні навички (5,46%), що говорить про більший дисбаланс у розподілі моторних функцій у дітей із СГ. Крім того, у дітей із СД були включені показники, що стосуються силової витривалості спини та тулуба, які не були значущими у структурі моторних функцій дітей зі СГ. Натомість у дітей із СГ акцент більше зміщується на показники сенсомоторної адаптації та роботи з нестабільною опорою.

Ключові слова: фізкультурно-спортивна реабілітація, біологічні передумови, технічні засоби, методичні прийоми, штучне керуюче середовище, діти із церебральним паралічем, факторний аналіз, метод головних компонентів.

Biological prerequisites for developing the concept of using technical equipment and methodological approaches of the «artified control environment» in the process of physical and sports rehabilitation of children with cerebral palsy

¹S.A. Kholodov, ²V.A. Kashuba, ²I.V. Khmel'nitska, ²T.M. Rychok,
²K.A. Verzhlova, ²H.B. Labinska

¹The state institution «South Ukrainian National Pedagogical University named after K.D. Ushynsky», Odesa, Ukraine

²National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

Abstract. Analysis of the immense volume of scientific knowledge shows that the application of the «artificial control environment» methodology in the field of physical culture and sports is a rather relevant scientific trend. Factor analysis and the principal components method belong to mathematical disciplines intended for the description of multidimensional objects and therefore are very widely used in biological research. However, the guidelines for the user, including a specialist in the field of physical culture and sports, use modern methods of multifactor statistical analysis adequately and correctly in practice are currently insufficient. *Objective.* To determine the biological prerequisites for developing the concept of using technical means and methodological techniques of «artificial control environment» in the process of physical culture and sports rehabilitation of children 7–8 years old with cerebral palsy. *Methods.* Analysis of references, pedagogical experiment, sociological research methods, mathematical statistics. *Results.* The conducted factor analysis of indicators of physical development, physical fitness and motor functions in children of primary school age with two other forms of cerebral palsy – spastic diplegia (SD) and spastic hemiparesis (SH) – allows us to determine both common and distinctive features of these factor structures, which is important for substantiating the biological prerequisites of the concept of using technical means and methodological techniques of the «artificial control environment» in the process of physical and sports rehabilitation of children 7–8 years old with cerebral palsy.

The similarity of the factor structures is seen in the fact that the first factor in both groups reflects basic stability and control of body position, and the second one – coordination of movements and dynamic balance. Also, both structures contain factors related to adaptation to unstable conditions, which confirms the similarity in the biological prerequisites for the stability formation in an vertical position.

Distinctive features of the factor structures are seen in the different content of the third and fourth factors: in children with SD, the third factor is associated with body support in difficult conditions (9.49% of the variance), and the fourth one – with general physical fitness (9.12%), which indicates the need for increased attention to the adaptation of postural skills and general endurance. In children with SG, the third factor includes indicators of instability during balance testing (17.08%), and the fourth one – sensorimotor skills (5.46%), which indicates a greater imbalance in the distribution of motor functions in children with SG. In addition, in children with SD, indicators related to back and trunk strength endurance were included, which were not significant in the structure of motor functions of children with SG. In contrast, in children with SG, the emphasis is more shifted to indicators of sensorimotor adaptation and work with unstable support.

Keywords: physical education and sports rehabilitation, biological prerequisites, technical means, methodological techniques, artificial control environment, children with cerebral palsy, factor analysis, principal components method.

Постановка проблеми. Сьогодні проблема фізкультурно-спортивної реабілітації дітей із церебральним паралічем (ЦП) [6; 7] характеризується наявністю низки протиріч, які виражаються в тому, що: регулярно збільшується кількість дітей із цією нозологією, основною метою їх навчання є формування життєво важливих рухових умінь і навиків [9; 11], корекція психомоторних функцій [4; 5], підвищення рівня розвитку фізичних якостей і працездатності на корекційно-профілактичних заняттях у спеціальних освітніх установах [6; 12], з одного боку, і відсутністю наукових розробок, що спираються на методологію «штучного керуючого середовища» [2; 3] у цій сфері, — з іншого.

Аналіз масиву наукових знань свідчить, що застосування методології «штучного керуючого середовища» у сфері фізичної культури та спорту є досить актуальним науковим трендом. Факторний аналіз і метод головних компонентів належать до математичних дисциплін, призначених для опису багатовимірних об'єктів, і тому дуже широко використовуються у педагогічних та біологічних дослідженнях [8; 10]. Проте матеріалів, які допомагають користувачу, у тому числі спеціалісту сфери фізичної культури та спорту, на практиці адекватно і коректно використовувати сучасні методи багатфакторного статистичного аналізу, сьогодні недостатньо [8].

Дослідження виконано згідно з Планом НДР Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021–2025 рр. за темою 3.2 «Теоретико-методичні основи біомеханічних технологій у фізичному вихованні, спорті, реабілітації з урахуванням індивідуальних особливостей моторики людини» (номер держреєстрації 0121U107944) та Планом НДР ДЗ «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» за темою «Оцінка індивідуального здоров'я та підвищення адаптаційних можливостей дітей і молоді засобами здоров'язбережувальних освітніх технологій».

Мета дослідження — визначити біологічні передумови розроблення концепції використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керуючого середовища» в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації дітей 7–8 років із ЦП.

Методи дослідження. Аналіз літературних джерел, антропометрія, педагогічний експеримент, педагогічне тестування, методи

математичної статистики. Описова статистика дала змогу провести первинну обробку даних, зокрема розрахувати середні значення, медіани, стандартні відхилення, квартилі, а також мінімальні й максимальні значення. Це стало основою для оцінки вихідного рівня фізичного розвитку, моторних функцій, а також соціально-педагогічних та біологічних передумов у вибірках дітей зі спастичними формами ЦП. Факторний аналіз дав можливість ідентифікувати латентні фактори, які пояснювали структуру взаємозв'язків між біологічними показниками, такі як соматометричні параметри та моторні функції. Цей метод також допомагає узагальнити дані та виділити найбільшу значимість біологічних передумов для адаптації реабілітаційних програм. Регресійний аналіз використовувався для побудови моделей, які описували взаємозв'язки між незалежними змінними та залежним показником рівня розвитку моторних рухових функцій [1; 13].

Для реалізації названих методів використано статистичний пакет IBM SPSS Statistics 21 та додаткові комп'ютерні інструменти для обробки даних, що дало змогу реалізувати комплексний підхід, забезпечило точність обчислень, зручність візуалізації результатів та обґрунтованість висновків. Математично-статистична обробка і аналіз даних проводилися з використанням обчислювальних і графічних можливостей пакетів прикладних програм *Statistica* (StatSoft, версія 10.0) та Microsoft Excel 2010.

Дослідження проведено з дотриманням вимог Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини як об'єкта дослідження».

Результати дослідження та їх обговорення. Для визначення біологічних передумов концепції використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керуючого середовища» в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації дітей 7–8 років із ЦП проведено факторний аналіз із метою визначення латентних структур (факторів), які пояснюють взаємозв'язок між показниками фізичного розвитку, фізичної підготовленості та моторних рухових функцій у дітей зі спастичними формами ЦП. Виділення таких факторів дало змогу визначити головні напрями подальшої реабілітаційної роботи в межах розробленої концепції. Процедура аналізу реалізувалася окремо

для даних, отриманих у групах дітей молодшого шкільного віка зі спастичною диплегією (СД) та спастичним геміпарезом (СГ).

У першій групі для аналізу було відібрано 28 показників, які стосуються фізичного розвитку, фізичної підготовленості та моторних рухових функцій, виключивши із загального переліку показники довжини тіла, силової витривалості м'язів тулуба, силової витривалості м'язів нижніх кінцівок, оскільки їхні кореляції з рештою аналізованих показників давали низькі коефіцієнти. Також не враховувалися узагальнюючі показники моторних рухових функцій, оскільки вони порушували факторизацію через надвисокий зв'язок із результатами виконання окремих завдань тесту GMFM (GMFM-4). Вони були вилучені, щоб уникнути дублювання інформації. У результаті була отримана кореляційна матриця, яка стала основою для виконання аналізу головних компонентів. Для визначення

вибіркових факторів використовувалися критерії власних значень (більше за 1) та кумулятивний внесок факторів у загальну дисперсію. Обертання факторів відбувається методом варімакс для полегшення інтерпретації.

Проведений таким чином аналіз дав змогу визначити чотири фактори із власним значенням, більшим за одиницю, які разом пояснювали 89,23% дисперсії даних. Це високий показник, тобто виділені фактори добре описують структуру змінних, а саме: фактор 1 пояснює 35,42% дисперсії, фактор 2 — 35,19%, фактор 3 — 9,49%, фактор 4 — 9,12% дисперсії (табл. 1).

Після обертання факторів методом варімакс удалося інтерпретувати їх так. Перший фактор «Стійкість і базові моторні навички» об'єднує показники, що характеризують здатність дітей до базової стійкості та моторних дій. Це проба Ромберга I режим (0,760) та показники, що відображають стійкість та контроль під час простих

ТАБЛИЦЯ 1 — Факторний аналіз показників фізичного розвитку, фізичної підготовленості, особливостей моторних рухових функцій у дітей молодшого шкільного віку із СД (n=14)

Показники фізичного розвитку, фізичної підготовленості та моторних рухових функцій	Назва фактору; відсоток від загальної дисперсії			
	Стійкість і базові моторні навички; 35,42%	Координація рухів та рівновага; 35,19%	Підтримка тіла в складних умовах; 9,49%	Загальна фізична підготовленість; 9,12%
Маса тіла (кг)	-	-	-	-0,869
Окружність грудної клітки (см)	0,797	-	-	-
Проба Ромберга I режим (с)	0,760	-	-	-
Проба Ромберга II режим (с)	-	0,708	-	-
Проба Яроцького (с)	-	0,644	-	-
Силова витривалість м'язів спини (кількість разів за 30 с)	-	-	-0,716	-
Сидить з опорою на руки 5 с (бали)	-	-	0,671	-
Стоїть, піднімає ліву ногу, без рук, 10 с	0,849	-	-	-
Стоїть, піднімає праву ногу, без рук, 10 с	0,849	-	-	-
На колінах із піднятим тазом: встає без рук через праве коліно	0,849	-	-	-
На колінах із піднятим тазом: встає без рук через ліве коліно	0,849	-	-	-
Стоячи контролювано сідає на підлогу без рук	0,813	-	-	-
Стоячи присідає без рук	0,813	-	-	-
Стоїть за 2 руки, робить 10 кроків уперед	0,635	-	-	-
Стоїть, 10 кроків обома ногами між лініями на 20 см	-	0,709	-	-
Стоїть, 10 кроків обома ногами по лінії 2 см	-	-	-	0,633
Стоїть: переступає через палку, на висоті коліна, правою ногою	-	0,709	-	-
Стоїть: переступає через палку, на висоті коліна, лівою ногою	-	0,709	-	-
Стоїть: біжить 4,5 м, зупиняється і повертається назад	0,635	-	-	-
Стоїть: підскакує двома ногами разом на 30 см	0,849	-	-	-
Стоїть: стрибає вперед двома ногами разом на 30 см	-	0,846	-	-
Стоїть на правій нозі: підстрибує на правій нозі 10 разів у колі 60 см	-	0,882	-	-
Стоїть на лівій нозі: підстрибує на лівій нозі 10 разів у колі 60 см	-	0,882	-	-
Стоїть, тримаючись за 1 поручню: вгору 4 сходинки, ногами почергово	-	0,882	-	-
Стоїть тримаючись за 1 поручню: вниз 4 сходинки, ногами почергово	-	0,882	-	-
Стоїть: вгору 4 сходинки, ногами почергово	-	0,846	-	-
Стоїть: вниз 4 сходинки, ногами почергово	-	0,846	-	-
Стоїть на сходинці 15 см: зіскакує двома ногами одночасно	0,702	-	-	-

Примітка. У таблиці наведено лише ті факторні навантаження, які мають найвищий внесок у певний фактор, указуючи на приналежність до його змісту.

рухів, такі як стоїть, підвищує ліву/праву ногу без рук, 10 секунд (0,849), на колінах із піднятим тазом встає без рук через праве/ліве коліно (0,849), стоячи контрольовано сідає на підлогу без рук (0,813), стоячі присідає без рук (0,813), стоїть, підскакує двома ногами разом на 30 см (0,849). Як бачимо, фактор об'єднує дані про збереження у дітей основних стійких рефлексів та можливості базової координації, що є результатом неврологічної та м'язової адаптації. Він підтверджує важливість розвитку м'язового тону, пропріоцепції та базових моторних навичок як основи успішної фізкультурно-спортивної реабілітації. Із погляду розробленої концепції фактор указує на необхідність формування програми, спрямованої на стабілізацію тіла, розвиток основних стійких навичок та пропріоцептивного контролю.

До другого фактора «Координація рухів та рівновага» належать показники: проба Ромберга II режим (0,708), стоїть, 10 кроків обома ногами між лініями на 20 см (0,709), стоїть, переступає через палку, на висоті коліна, правою/лівою ногою (0,709), стоїть, стрибає вперед двома ногами разом на 30 см (0,846), стоїть на правій/лівій нозі, підстрибує на одній нозі 10 разів у колі 60 см (0,882), стоїть, тримаючись за поручень, підйом/спуск сходами (0,882). Фактор відображає рівень розвитку центральних механізмів рівноваги та координації, що пов'язані з функціонуванням вестибулярної системи, зорово-пропріоцептивного контролю та м'язової сили. Він указує на значимість розвитку динамічного балансу як важливого складника моторної активності. Його зміст підтверджує необхідність використання реабілітаційних програм, орієнтованих на тренування координації та рівноваги, зокрема через завдання з багатоетапним руховим контролем.

Фактор 3 «Підтримка тіла в складних умовах» об'єднує завдання, що вимагають збереження пози в умовах додаткового навантаження або нестійкої опори, а саме: сидить з опорою на руки, 5 секунд (0,671) та силова витривалість м'язів спини (–0,716). Він демонструє важливість розвитку мускулатури спини та навичок збереження стабільності при виконанні завдань, які потребують контролю корпусу. Показники свідчать про труднощі у дітей із СД під час виконання завдань, які потребують сильного м'язового контролю. Щодо ролі його змісту для створення нашої концепції фактор

підтверджує потребу у включенні вправ для тренування витривалості та сили спинної мускулатури для підтримки постурального балансу в складних умовах.

Четвертий фактор «Загальна фізична підготовленість» відображає загальні фізичні характеристики та здатність виконувати завдання з високим фізичним навантаженням. Показники, що входять до його змісту — маса тіла (–0,869) та стоїть, 10 кроків по лінії 2 см (0,633) — указують на зв'язок між загальними антропометричними параметрами та виконанням завдань, які потребують високої концентрації та контролю балансу. Отже, фактор підкреслює необхідність урахування фізичних можливостей дітей під час складання індивідуальних програм реабілітації, зокрема їхньої ваги та фізичної підготовленості.

Як бачимо, кожен фактор указує на певний аспект, який варто враховувати у реабілітаційній роботі: а) на розвиток стійкості та базових моторних функцій як основи для формування рухових дій; б) на тренування координації рухів і рівноваги через завдання з багаторівневим контролем; в) на підтримку базових рухових функцій, яка вказує на потребу розвитку постуральної витривалості; г) на загальну фізичну підготовку, яка забезпечує базу для виконання складних рухових завдань. Саме на ці фактори слід звертати особливу увагу під час розроблення авторської концепції фізичної реабілітації, що враховує індивідуальні можливості дітей із СД.

Для визначення біологічних передумов, які лежать в основі фізичного розвитку, фізичної підготовленості та моторних функцій у дітей молодшого шкільного віку із СГ, також проведена аналогічна процедура. Аналіз включав оцінку 23 показників, що описували різні аспекти рухових здібностей, координації та функціонального стану тіла дітей. Показники, які мали низькі кореляції або незначний внесок у пояснення дисперсії (маса тіла, ОГК, тести на силову витривалість, деякі тести на моторні рухові функції), були вилучені з кінцевого аналізу. У результаті було виділено чотири основні фактори, які в сукупності пояснюють 92,69% загальної дисперсії (табл. 2).

Перший фактор, який пояснює 37,43% дисперсії, отримав назву «Базова стійкість і контроль стану тіла». До нього увійшли показники, які характеризують здатність дітей підтримувати рівновагу та контролювати положення тіла: «стоїть, піднімає ліву та праву ногу без рук,

10 сек», «на колінах із піднятим тазом встає без рук» та «стоїть за 2 руки, робить 10 кроків уперед». Цей фактор указує на важливість розвитку статичної стійкості та базового контролю для забезпечення моторної стабільності, що є основою для інших рухових функцій.

Другий фактор, який пояснює 32,73% дисперсії, показує «Координацію складних рухів і динамічний баланс». Він містить показники, що характеризують здатність виконувати складні та скоординовані рухи, зокрема «стоїть, 10 кроків обома ногами по лінії 2 см», «стоїть, переступає через палку на висоті коліна» та «стоїть, тримаючись за поручень, вверх/вниз 4 сходинки».

Важливість цього фактору впливає на розвиток динамічної рівноваги та координації, що є частиною звичайної рухливості.

Третій фактор, який пояснює 17,08% дисперсії, пов'язаний зі «Стабільністю тіла в умовах змінного навантаження».

Цей фактор об'єднує показники, що характеризують здатність підтримувати стабільність

під час зміни положення тіла, такі як довжина тіла, проба Ромберга I режим, «стоячі присідає без рук». Він підкреслює роль адаптації до умов, що потребують підвищеної витривалості та контролю рухів.

Четвертий фактор, який пояснює 5,46% дисперсії, показує «Постуральну адаптацію і сенсомоторні навички». Найбільше з фактором пов'язаний результат проби Яроцького, указуючи на можливість дітей адаптувати поставу шляхом сенсомоторних дій, необхідних для збереження рівноваги в нестабільних умовах.

Отримані результати свідчать про те, що біологічними передумовами авторської концепції є розвиток базової стійкості, динамічної координації, стабільності тіла та сенсомоторних навичок. Ці фактори починають ключові напрями реабілітаційних програм, спрямованих на покращення контролю рухів, рівноваги та загальної моторної підготовленості у дітей із СГ. Вони є основою для створення ефективного реабілітаційного процесу з використанням

ТАБЛИЦЯ 2 – Факторний аналіз показників фізичного розвитку, фізичної підготовленості, особливостей моторних рухових функцій у дітей молодшого шкільного віку із СГ (n=11)

Показники фізичного розвитку, фізичної підготовленості та моторних рухових функцій	Назва фактору; відсоток від загальної дисперсії			
	Базова стійкість і контроль стану тіла; 37,43%	Координація складних рухів і динамічний баланс; 32,73%	Стабільність тіла в умовах змінного навантаження; 17,08%	Постуральна адаптація і сенсомоторні навички; 5,46%
Довжина тіла (см)	-	-	0,927	-
Проба Ромберга I режим (с)	-	-	0,76	-
Проба Ромберга II режим (с)	-	-	-0,865	-
Проба Яроцького (с)	-	-	-	0,78
Сидить з опорою на руки 5 с (бали)	-	0,702	-	-
Стоїть, піднімає ліву ногу, без рук, 10 с	0,913	-	-	-
Стоїть, піднімає праву ногу, без рук, 10 с	0,913	-	-	-
На колінах із піднятим тазом: встає без рук через праве коліно	0,913	-	-	-
На колінах із піднятим тазом: встає без рук через ліве коліно	0,913	-	-	-
Стоячи контрольовано сідає на підлогу без рук	0,815	-	-	-
Стоячи присідає без рук	0,646	-	-	-
Стоїть за 2 руки, робить 10 кроків уперед	0,913	-	-	-
Стоїть, 10 кроків обома ногами між лініями на 20 см	0,646	-	-	-
Стоїть, 10 кроків обома ногами по лінії 2 см	-	0,72	-	-
Стоїть: біжить 4,5 м, зупиняється і повертається назад	0,815	-	-	-
Стоїть: підскакує двома ногами разом на 30 см	0,913	-	-	-
Стоїть: стрибає уперед двома ногами разом на 30 см	-	0,786	-	-
Стоїть на правій нозі: підстрибує на правій нозі 10 разів у колі 60 см	-	0,786	-	-
Стоїть на лівій нозі: підстрибує на лівій нозі 10 разів у колі 60 см	-	0,786	-	-
Стоїть, тримаючись за 1 поручню: вверх 4 сходинки, ногами почергово	-	0,919	-	-
Стоїть, тримаючись за 1 поручню: вниз 4 сходинки, ногами почергово	-	0,865	-	-
Стоїть: вверх 4 сходинки, ногами почергово	-	0,919	-	-
Стоїть: униз 4 сходинки, ногами почергово	-	0,919	-	-
Стоїть на сходинці 15 см: зіскакує двома ногами одночасно	0,659	-	-	-

Примітка. У таблиці наведено лише ті факторні навантаження, які мають найвищий внесок у певний фактор, указуючи на приналежність до його змісту.

технічних засобів та методичних прийомів штучного керуючого середовища.

Для побудови прогностичної моделі було вибрано метод лінійної регресії. Серед можливих методів прогнозування, таких як лінійна регресія, дерево рішень, метод головних компонентів, машинне навчання чи ансамблеві підходи, перевага була надана саме регресійному аналізу за рахунок його зрозумілості, інтерпретованості та відповідності обсягу даних. Лінійна регресія дає змогу чітко визначити вплив кожного предиктора на залежну змінну, у нашому випадку — загальний бал моторних рухових функцій за результатами тестуванням GMFM ITEM SET 4, який є ключовим для встановлення біологічних передумов концепції використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керуючого середовища» в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації дітей 7–8 років із ЦП. Множинна регресія ефективно працює на невеликих вибірках ($n=14$ для групи дітей із СД) і дає можливість оцінити кожен показник.

Процедура побудови моделі розпочалася з відбору даних про фізичну підготовленість і моторні функції, де загальний бал виступав залежною змінною. Першим кроком було проведення аналізу взаємозв'язків між змінними, а також перевірка на мультиколінеарність. Для цього використано статистичні показники толерантності та VIF (фактор інфляції дисперсії). Показники, які мали високий VIF (вище 10) або низькі кореляції із залежно змінною, були вилучені для уникнення проблем мультиколінеарності та сильного впливу взаємозалежності змінених на модель. Наступним кроком стало підключення релевантних предикторів до моделі шляхом примусового відбору. У фінальну модель увійшли чотири предиктори: «силова витривалість м'язів спини», «стоїть, тримаючись за 1 поручню: вверх/вниз 4 сходинки», «стоїть, 10 кроків обома ногами по лінії 2 см», та «на колінах із піднятим тазом: встає без рук через ліве/праве коліно». Ці показники були включені до моделі через їх значущість у зоні залежної змінної — загального балу моторних рухових функцій. Змінні «стоїть, піднімає праву/ліву ногу, без рук» та «стоїть на правій/лівій нозі: підстрибує на цій нозі 10 разів у колі 60 см» не були включені до остаточної моделі через наявність колінеарності (толерантність=0) та їхній мінімальний вплив на загальний бал.

Якість моделі оцінена за основними статистичними критеріями. Значення R-квадрат дорівнювало 0,97, тобто модель пояснює 97% варіації загального балу. Скоригований R-квадрат (0,968) майже не відрізняється від початкового, що свідчить про стабільність моделі. Високий коефіцієнт кореляції ($R=0,989$) демонструє тісний зв'язок між фактичними та прогнозованими значеннями. Значення F-статистики ($F=100,13$) підтверджує, що модель є статистично значущою і має високу прогностичну силу ($p<0,001$).

Коефіцієнти регресії показують, наскільки змінюється залежна змінна (у цьому разі загальний бал моторних рухових функцій (МРФ)), якщо змінюють значення предиктора на одиницю, за умови, що всі інші предиктори залишаються постійними (табл. 3).

Таблиця демонструє, які з предикторів є найбільш впливовими (через значення B та β), наскільки точними є їхні оцінки (σ) і чи є вони статистично значущими (p). Це дає змогу визначити важливість кожного показника для прогнозу залежної змінної. Із таблиці ми бачимо, що показник «стоїть, тримаючись за 1 поручень: вгору/вниз 4 сходинки, ногами почергово» має найвищий стандартизований коефіцієнт $\beta=0,566$ ($B=9,344$, $p<0,001$), що вказує на його значний позитивний вплив на загальний бал і свідчить про важливість цього завдання для розвитку базових рухових функцій. Показник «на колінах із піднятим тазом: встає без рук через ліве/праве коліно» також є значущим предиктором ($\beta=0,460$; $B=9,673$, $p<0,001$), демонструючи значну роль у зміцненні м'язів і покращенні координації рухів. Показник «стоїть, 10 кроків обома ногами по лінії 2 см» має коефіцієнт $\beta=0,088$, його p -значення 0.269 вказує на статистичну незначущість, що свідчить про слабший вплив цього показника. Показник «силова витривалість м'язів спини» здійснює найнижчий внесок у модель ($\beta=0,033$, $p=0,613$), що відображає мінімальну залежність загального балу від цього показника.

Отже, побудована регресійна модель виявила ключові показники, які найбільше впливають на загальний бал МРФ у дітей із СД. Найбільш значущими виявилися вправи, які вказують на важливість координації, підтримки рівноваги та розвитку базових рухових навичок, що є вагомими біологічними передумовами концепції використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керуючого середовища»

ТАБЛИЦЯ 3 – Зміст регресійної моделі загального стану МРФ у дітей із СД з урахуванням фізичної підготовленості та сформованості окремих моторних рухових функцій

Предиктори моделі	Коефіцієнти та статистики				
	B	σ	β	t	p
Константа	1,850	5,150		0,359	0,728
Силовa витривалість м'язів спини	0,413	0,788	0,033	0,525	0,613
На колінах із піднятим тазом: встає без рук через ліве коліно	9,673	1,576	0,460	6,137	0
Стоїть, 10 кроків обома ногами по лінії 2 см	1,656	1,406	0,088	1,178	0,269
Стоїть, тримаючись за 1 поручню: вверх 4 сходинки, ногами почергово	9,344	1,317	0,566	7,094	0

Примітки: B – нестандартизований коефіцієнт; σ – стандартна помилка коефіцієнта B; β – стандартизований коефіцієнт; t – значення t-критерію для коефіцієнта; p – рівень значущості для коефіцієнта.

в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації дітей 7–8 років із ЦП. Також ми отримали змогу побудувати формулу для прогностичного моделювання підвищення рівня МРФ дітей із СД, яка остаточно мала такий вигляд:

$$\text{Загальний бал} = 1,850 + 0,413 \cdot X_1 + 9,673 \cdot X_2 + 1,656 \cdot X_3 + 9,344 \cdot X_4, \text{ де:}$$

X_1 – силова витривалість м'язів спини;

X_2 – на колінах із піднятим тазом: встає без рук через ліве/праве коліно;

X_3 – стоїть, 10 кроків обома ногами по лінії 2 см;

X_4 – стоїть, тримаючись за 1 поручню: вгору/вниз 4 сходинки, ногами почергово.

Із цієї формули бачимо, що базове значення загального балу МРФ, коли всі предиктори дорівнюють 0, залишається 1,85 балу. Якщо силова витривалість м'язів спини збільшується на 1 раз, загальний бал зростає на 0,413 балу. На кожен одиницю підвищення результату в тесті «на колінах з піднятим тазом...» загальний бал МРФ зростає на 9,673 одиниці. Якщо йдеться про таке саме збільшення результату тесту «стоїть, 10 кроків по лінії 2 см», загальний бал збільшується на 1,656 одиниці. Відповідно, зростання на 1 бал «стоїть, тримаючись за поручні...» здатне збільшити загальний бал МРФ на 9,344 одиниці.

Тоді прогностична модель дітей із СД з урахуванням підготовленості та сформованості окремих моторних рухових функцій буде мати такий вигляд (рис. 1).

Рисунок побудовано на результатах прогностичного моделювання загального балу МРФ для дітей із ЦП у формі СД. Графічна інформація деталізує вплив окремих показників фізичної підготовленості та моторних функцій на значення загального балу МРФ, що є кроком для обґрунтування біологічних передумов авторської концепції. У верхній лівій діаграмі

(а) наведено середні значення показників фізичної підготовленості дітей із групи із СД. Показники силової витривалості м'язів нижніх кінцівок та м'язів спини свідчать про нерівномірний розвиток фізичної підготовленості у цій групі дітей. Також і результати тесту Ромберга (I та II режими) показують наявність проблеми з підтриманням рівноваги, що є критичним для дітей зі спастичним порушенням рухової функції. А отже, не викликає сумніву необхідність удосконалення силової витривалості та стабільності опорно-рухового апарату для стимуляції розвитку функціональної рухової активності такої категорії дітей.

Середнє значення показників моторних функцій (б) зображено на діаграмі у нижній лівій частині малюнка, де можна побачити значні труднощі під час виконання завдань, пов'язаних із пересуванням, підтримкою рівноваги та координацією рухів (наприклад, «стоїть на одній нозі», «стоїть: переступає через палку», «сідає контрольовано без рук»). Найвищі результати спостерігаються в тестах, де діти отримують підтримку (наприклад, тримаючись за поручні), що вказує на важливість зовнішнього контролю в реабілітаційних заходах. Із цього робимо висновок про те, що підвищення сприйнятливості дітей до виконання складних рухових завдань можливі лише через цілеспрямовану стимуляцію координації та балансу, зокрема із застосуванням спеціалізованих технічних засобів.

У правій частині рисунка наведено прогнозоване значення загального балу МРФ за зміни ключових показників (в), яке є наслідком побудованої регресійної моделі. Тут ми бачимо, що зростання рівня виконання завдань, які вимагають значного контролю руху, координації, стабільності та силової витривалості (завдання «на колінах...»), та вправ на стабільну підтримку тіла та контроль руху («...тримаючись за 1 поручень: вверх/вниз 4 сходинки»),

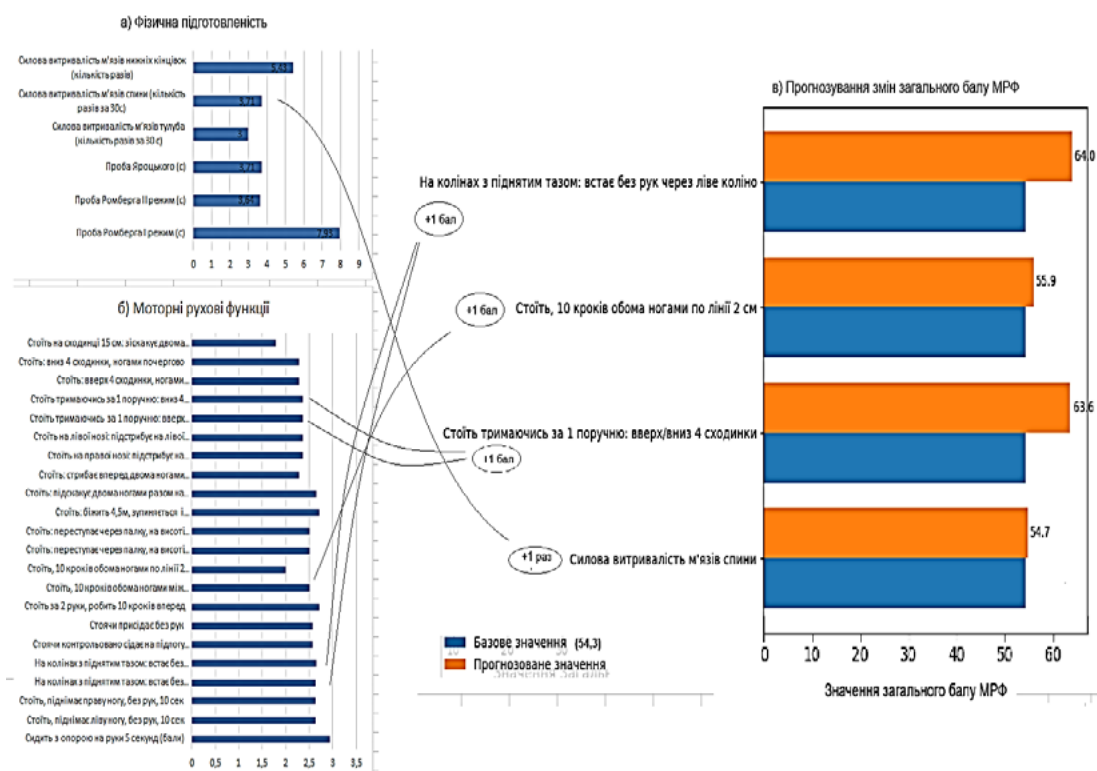


Рис. 1. Прогностична модель підготовленості та сформованості окремих моторних рухових функцій дітей із СД (n=14)

на підтримання рівноваги («...10 кроків обома ногами по лінії 2 см»), на компенсацію у підтримці загальної рухової активності («Силов витривалість м'язів спини») з різною інтенсивністю впливають на зростання загального рівня розвитку моторних рухових функцій. Такі вправи з координації рухів та підтримки рівноваги мають пріоритетний вплив на загальний рівень сформованості рухових функцій у дітей із СД і мають стати основою для стимульованого розвитку рухової активності.

Для побудови прогностичної моделі в групі дітей із СД було, як і в попередньому випадку, застосовано метод лінійної регресії. Перевіряючи результати на мультиколінеарність, виключено з аналізу предиктори, які мали критично низький рівень толерантності або незначущі кореляції, наприклад показники «стоїть, піднімає праву ногу, без рук, 10 с» та «на колінах із піднятим тазом: встає без рук через ліве коліно», хоча й мали у факторному аналізі високі факторні навантаження, не були включені до моделі через повну колінеарність (толрантність=0). У фінальну модель методом примусового включення увійшли п'ять предикторів: «стоїть за 2 руки, робить 10 кроків уперед»;

проба Ромберга (I і III режими); «стоїть, тримаючись за 1 поручню, вгору 4 сходинки, ногами почергово»; та проба Яроцького.

Під час оцінки якості моделі встановлено, що вона пояснює 89,5% варіації загального балу МРФ ($R^2=0,895$), що є високим показником. Скоригований R^2 (0,976) майже не відрізняється від початкового, що свідчить про стабільність і надійність моделі. F -статистика ($F=40,57$; $p<0,001$) підтверджує статистичну значущість моделі. Коефіцієнт кореляції ($R=0,988$) вказує на дуже тісний зв'язок між фактичними та прогнозованими значеннями.

Згідно з таблицею коефіцієнтів регресії (табл. 4), найбільший вплив на загальний бал має показник «стоїть за 2 руки, робить 10 кроків уперед» ($B=16,906$, $\beta=0,793$, $p=0,002$), тобто базові функції руху з опорою і навичками контролю тіла є ключовими для підвищення загального рівня МРФ у дітей цієї категорії.

Показник «стоїть, тримаючись за 1 поручню: вгору 4 сходинки, ногами почергово» також був значущим предиктором ($B=8,859$, $\beta=0,497$, $p=0,002$), який демонстрував важливість навичок координації і сили нижніх кінцівок. Дані за пробую Яроцького мали менш

ТАБЛИЦЯ 4 – Зміст регресійної моделі загального стану МРФ у дітей із СГ з урахуванням фізичної підготовленості та сформованості окремих моторних рухових функцій

Предиктори моделі	Коефіцієнти та статистики				
	B	σ	β	t	p
Константа	-12,947	14,504		-0,893	0,413
Стоїть, тримаючись за 1 поручню: вверх 4 сходинки, ногами почергово	8,859	1,521	0,497	5,824	0,002
Проба Ромберга I режим, с	-1,547	1,488	-0,134	-1,039	0,346
Проба Ромберга III режим, с	-1,676	2,076	-0,073	-0,807	0,456
Проба Яроцького, с	5,582	2,616	0,262	2,134	0,086
Стоїть за 2 руки, робить 10 кроків уперед	16,906	2,977	0,793	5,679	0,002

Примітки: B – нестандартизований коефіцієнт; σ – стандартна помилка коефіцієнта B; β – стандартизований коефіцієнт; t – значення t-критерію для коефіцієнта; p – рівень значущості для коефіцієнта.

значущу величину на рівні $p=0,086$, з коефіцієнтом $B=5,582$ та $\beta=0,262$, проте вони також підкреслювали важливість включення завдань, які вимагають стійкості та балансу в умовах нестабільного становища.

Проба Ромберга I режим ($B=-1,547$, $\beta=-0,134$, $p=0,346$) та III режим ($B=-1,676$, $\beta=-0,073$, $p=0,456$) не досягли статистичної значущості. Негативні значення коефіцієнтів свідчать про зворотний зв'язок цих показників із загальним балом, але їхній внесок є мінімальним.

Отже, формула регресійної моделі, яка визначена на основі коефіцієнтів регресії, буде прогнозувати загальний бал МРФ так:

$$\text{Загальний бал} = -12,947 + 16,906 X_1 + 8,859 X_2 + 5,582 X_3 - 1,547 X_4 - 1,676 X_5,$$

де: X_1 – стоїть за 2 руки, робить 10 кроків уперед;

X_2 – стоїть, тримаючись за 1 поручню: вверх 4 сходинки, ногами почергово;

X_3 – проба Яроцького, с;

X_4 – проба Ромберга I режим, с;

X_5 – проба Ромберга III режим, с.

Як бачимо, регресійний аналіз, проведений на вибірці дітей із СГ, дає змогу визначити групи основних біологічних передумов, що впливають на моторні рухові функції. Найбільший вплив на загальний бал МРФ, вочевидь, матимуть вправи, що розвивають координацію рухів, стабільність під час руху з опорою, а також контроль балансу. Ці результати підкреслюють значення включення вправ із підтримкою та крокуванням у програми фізкультурно-спортивної реабілітації. Найбільш значимі предиктори є біологічними передумовами, що обґрунтовують необхідність використання технічних засобів і методичних прийомів у реабілітаційних заходах для стимуляції розвитку рухових функцій у дітей із ЦП.

Базуючись на цих даних, можна уточнити зміст прогностичної моделі для дітей із СГ з урахуванням показників фізичної підготовленості та моторних рухових функцій (рис. 2).

Представлена прогностична модель орієнтована на визначення передумов для розроблення концепції використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керуючого середовища» в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації дітей 7–8 років із ЦП. Організація простору рисунку тут така сама, як і на попередньому зображенні: зверху ліворуч (а) розташовано середні значення основних фізичних показників, серед яких: результати проби Ромберга I режим (7,55 с) – показник стійкості та рівноваги, проби Яроцького (3,64 с) – оцінка координації рухів та інших тестів на витривалість і стійкість, які є основою для біологічного потенціалу розвитку моторних функцій. Моторні рухові функції (б) зображені ліворуч у нижній частині, де позначено середні результати тестів моторних функцій. Це завдання різної складності, які включають як прості (наприклад, сидіти з опорою), так і більш складні (ходьба, підйом по сходах) вправи. Значна увага приділена підйомам по сходах і ходьбі з підтримкою, які є основними для розвитку координації та балансу.

Права частина рисунку (в) показує, як можуть змінитися конкретні значення загального балу МРФ унаслідок збільшення на 1 одиницю певного показника фізичної підготовленості або виконання певної вправи. Так, вправи на контрольовану ходьбу, силу, координацію та навички підтримання рівноваги, стійкості призводять до відповідного зростання загального рівня моторних рухових функцій. Проте проба Ромберга I та III режимами показують нижчі значення впливу, а отже, прогностична сила тестів на статичний баланс виявилася меншою.

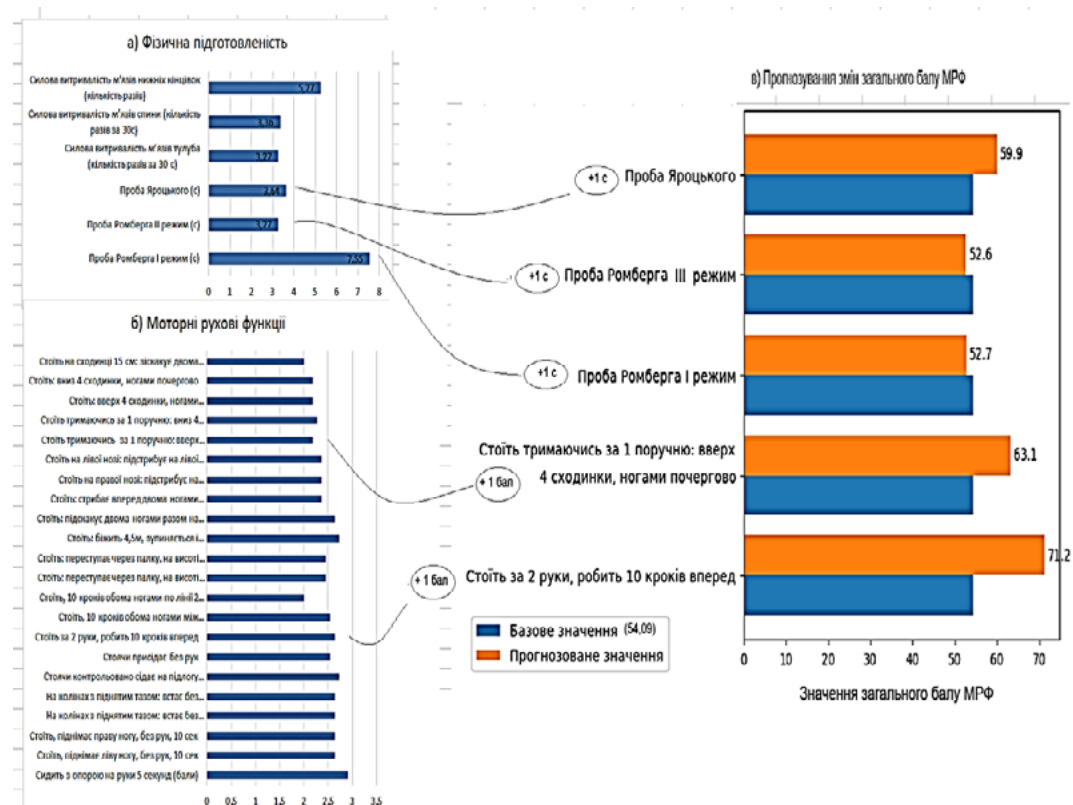


Рис. 2. Прогностична модель підготовленості та сформованості окремих моторних рухових функцій дітей із СГ (n=11)

Звідси робимо висновок про те, що найбільший внесок у покращення рухових функцій має завдання на контрольовану ходьбу та підйоми по сходах, а отже, є необхідність застосування методики, яка активує біомеханічні ланцюги та стимулює балансування, координацію та м'язову витривалість. Використання технічних засобів (наприклад, опорні статистичні системи, тренажери) може бути основним елементом для досягнення стійких результатів у дітей зі спастичним геміпарезом. Окрім того, тести на підйоми по сходах та пересування з підтримкою підтверджують значущість динамічних прав для покращення моторного контролю.

Отже, побудована регресійна модель дала змогу визначити, що розвиток динамічної рівноваги, координації та м'язової сили є основою для поліпшення моторних функцій у дітей зі спастичним геміпарезом. Відповідно, упровадження в реабілітаційний процес технічних засобів та методик штучного керуючого середовища, які забезпечують дозовані навантаження та поступовий розвиток рухових функцій у дітей молодшого шкільного віку із ЦП, сприятиме зростанню загального рівня МРФ у цілому.

Висновки. Розроблення системи знань про методологію «штучного керуючого середовища» дає змогу успішно вирішувати цю проблему і заповнити наявні прогалини в її висвітленні. Проведений факторний аналіз показників фізичного розвитку, фізичної підготовленості та моторних рухових функцій у дітей молодшого шкільного віку з двома іншими формами ДЦП — СД та СГ — дає змогу визначити як спільні, так і відмінні особливості цих факторних структур, що важливо для обґрунтування біологічних передумов розроблення концепції використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керуючого середовища» в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації дітей 7–8 років із ЦП.

Схожість факторних структур убачається у тому, що перший фактор в обох групах відображає базову стійкість та контроль положення тіла, а другий — координацію рухів та динамічну рівновагу. Також в обох структурах наявні фактори, пов'язані з адаптацією до нестабільних умов, що підтверджує схожість у біологічних передумовах формування стабільності у вертикальному положенні.

Відмінні риси факторних структур убачаємо у різному змісті третього та четвертого факторів: у дітей із СД третій фактор пов'язаний із підтримкою тіла у складних умовах (9,49% дисперсії), а четвертий — із загальною фізичною підготовленістю (9,12%), що вказує на необхідність посиленої уваги до адаптації постуральних навичок та загальної витривалості. У дітей із СГ третій фактор включає показники нестабільності під час тестування рівноваги (17,08%), а четвертий — сенсомоторні навички (5,46%), що говорить про більший дисбаланс у розподілі моторних функцій у дітей зі СГ. Окрім того, у дітей із СД були включені показники, що стосуються силової витривалості спини та тулуба, які не були значущими у структурі моторних функцій дітей

Література

1. Антомонов МЮ, Коробейников ГВ, Хмельницька ІВ, Харковлюк-Балакіна НВ. Математичні методи оброблення та моделювання результатів експериментальних досліджень: навчальний посібник. [Mathematical methods for compiling and modeling the results of experimental research: a basic guide]. Олімпійська література. 2021. Київ, 216 с.
2. Кашуба В, Попадюха Ю. Біомеханіка просторової організації тіла людини: сучасні методи та засоби діагностики і відновлення порушень: монографія. [Biomechanics of spatial organization of the human body: current methods and methods of diagnosis and renewal of disorders: monograph]. 2018. Київ: Центр учбової літератури. 768 с.
3. Кашуба В, Холодов С, Баканичев О. Використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керівного середовища» в процесі занять фізичними вправами [The use of technical methods and methodical methods of «piecemeal middleware» in the process of acquiring physical rights]. Молодіжний науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Фізичне виховання і спорт. 2019;35: 19–24. Available from: <https://sportvisnyk.vnu.edu.ua/index.php/sportvisnyk/issue/view/29>
4. Лапутін АМ, Кашуба ВО. Динамічна анатомія: навчальна програма для вузів фізичного виховання та спорту [Dynamic anatomy: Basic program for universities of physical education and sports]. Київ: Науковий світ, 2000. 12 с.
5. Лапутін АМ, Кашуба ВО. Кінетика тіла людини: навчальна програма для ВНЗ фізичного виховання та спорту [Kinetics of the human body: Basic program for VNZ physical training and sports]. Київ: Науковий світ, 2003. 13 с.
6. Фізкультурно-спортивна реабілітація осіб із порушенням біомеханіки просторової організації тіла [Physical culture and sports rehabilitation of individuals with impaired biomechanics of spatial organization of the body]. Навч. посіб.: у 2 ч. Ч. 1. / АІ Альошина та ін. Луцьк: Вежа-Друк, 2023. 480 с.
7. Фізкультурно-спортивна реабілітація осіб із порушенням біомеханіки просторової організації тіла [Physical culture and sports rehabilitation of individuals with impaired biomechanics of spatial organization

of the body]. Навч. посіб.: у 2 ч. Ч. 2. / АІ Альошина та ін. Луцьк: Вежа-Друк, 2024. 408 с.

зі СГ. Натомість у дітей із СГ акцент більше зміщується на показники сенсомоторної адаптації та роботи з нестабільною опорою. Таким чином, схожість у факторних структурах двох груп дітей полягає у значущості базової стійкості та координації рухів як ключових компонентів моторного розвитку. Водночас відмінності відображають різну значущість фізичної підготовленості: у дітей із СД більшу роль відіграють силова витривалість та загальна стабільність, тоді як у дітей СГ більш вираженими є проблеми з динамічною рівновагою та сенсомоторними навичками. Ці результати мають велике значення для розроблення програм фізкультурно-спортивної реабілітації, оскільки виявляють особливі особливості моторного розвитку кожної групи дітей.

8. Хмельницька І, Кашуба В, Шевчук О, Кардаков В, Верзлова К. Метод головних компонентів і факторний аналіз в обробці результатів наукових досліджень у фізичній культурі та спорті [The method of principal components and factor analysis in the collection of results of scientific research in physical culture and sports]. Фізична культура, спорт та здоров'я нації. 2024;18 (37):279–289. DOI: 10.31652/2071-5285-2024-18(37)-279-289.

9. Холодов СА, Кашуба ВО, Хмельницька ІВ, Ричок ТМ, Верзлова КО. Соціально-педагогічні передумови розроблення концепції використання технічних засобів та методичних прийомів «штучного керуючого середовища» в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації дітей із церебральним паралічем [Social-pedagogical changes in the development of the concept of vicarious technical techniques and methodical techniques of «piecemeal core» in the process of physical culture and sports rehabilitation of children with cerebral palsy]. *Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія*. 2025;1:124–130. DOI: <https://doi.org/10.32782/spmed.2025.1.18>.

10. Hill T, Lewicki P. STATISTICS: *Methods and Applications*. StatSoft, 2007. Tulsa, OK. p. 12–45.

11. Kholodov S, Kashuba V, Khmelitska I, Grygus I, Asauliuk I, Krupeny S. Model biomechanical characteristics of child's walking during primary school age. *Journal of Physical Education and Sport*® (JPES), Vol 21 (Suppl. issue 5), Art 380 pp 2857–2863, Oct 2021 online ISSN: 2247 - 806X; p-ISSN: 2247 – 8051; ISSN - L = 2247 - 8051 © JPES. DOI: 10.7752/jpes.2021.s5380.

12. Kholodov S, Savlyuk O, Hrebenina A, Yarmolinsky L, Kolos M. Methodology of «artificial control environment» in the process of physical exercise for children with disabilities: theoretical justification and practical application. *Physical rehabilitation and recreational health technologies*. 2024;9(5):370–384. [https://doi.org/10.15391/prrht.2024-9\(5\)](https://doi.org/10.15391/prrht.2024-9(5))

13. Vincent WJ. *Statistics in kinesiology*. 2005. 3rd ed. Champaign: Human Kinetics, 312 p.

ORCID 0000-0001-5108-3035, skholodov@ukr.net
 ORCID 0000-0001-6669-738X, kashubavo@gmail.com
 ORCID 0000-0003-0141-3301, khmeln.irene@gmail.com
 ORCID 0000-0003-1280-7058, r_tatian@ukr.net
 ORCID 0009-0009-9363-6430, kolonyuk.ua@gmail.com
 ORCID 0000-0001-5743-9266, gallabinska@gmail.com

Надійшла 03.06.2025
 Прийнята 11.06.2025
 Опублікована 10.09.2025