

**Міністерство освіти і науки України**  
**Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка**  
**Кафедра фізичної терапії, ерготерапії та здоров'я**

«До захисту допускаю»

завідувач кафедри

фізичної терапії, ерготерапії та здоров'я

д. пед. н., професор

\_\_\_\_\_ Галина КОНДРАЦЬКА

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

**КОРЕКЦІЯ М'ЯЗОВОГО ДИСБАЛАНСУ ПРИ АСИМЕТРИЧНІЙ  
ПОСТАВІ У ДІТЕЙ**

**Спеціальність 227 Терапія та реабілітація**

Магістерська робота

на здобуття кваліфікації – Магістр терапії та реабілітації за  
спеціалізацією «Фізична терапія»

**Автор роботи:**

Сов'як Ігор Мар'янович \_\_\_\_\_

*підпис*

**Науковий керівник: доцент, к. фіз. вих. та спорту**

**Герасименко О.С.** \_\_\_\_\_

*підпис*

Дрогобич, 2026



## **Корекція м'язового дисбалансу при асиметричній поставі у дітей**

### **Анотація**

Сучасні умови дистанційного навчання та гіподинамії посилюють м'язовий дисбаланс, що потребує впровадження об'єктивних методів контролю та специфічних втручань. У дослідженні взяли участь 14 підлітків із ознаками функціональної асиметрії тулуба. Використовувалися: соматоскопія, сколіометрія за Буннеллом, тести на статичну м'язову витривалість (СМВ), поверхнева електроміографія для розрахунку індексу симетрії та опитувальник якості життя SRS-22. В основній групі, де застосовувався пЕМГ-біофідбек, зафіксовано достовірне зменшення кута ротації тулуба та зростання СМВ. Індекс м'язової симетрії наблизився до одиниці, що свідчить про відновлення балансу між паравертебральними м'язами. За даними SRS-22, зріс рівень самосприйняття підлітків ОГ. Практичне значення. Розроблена програма та протоколи оцінювання можуть бути впроваджені в роботу реабілітаційних центрів для ранньої корекції постуральних порушень.

**Ключові слова:** асиметрична постава, сколіотична постава, фізична терапія, поверхнева електроміографія, біологічний зворотний зв'язок, якість життя.

### **Correction of muscle imbalance in children with asymmetrical posture**

#### **Abstract**

Current conditions of distance learning and physical inactivity exacerbate muscle imbalance, necessitating the implementation of objective monitoring methods and specific interventions. The study involved 14 adolescents with signs of functional trunk asymmetry. The following were used: somatoscopy, Bunnell's scoliometry, static muscle endurance (SME) tests, surface electromyography to calculate the symmetry index, and the SRS-22 quality of life questionnaire. In the main group, where pEMG biofeedback was applied, a significant reduction in the angle of trunk rotation and an increase in SMR were recorded. The muscle symmetry index approached one, indicating a restoration of balance between the paravertebral muscles. According to the SRS-22, the level of self-perception among adolescents in the control group increased. Practical significance. The developed programme and assessment protocols can be implemented in the work of rehabilitation centres for the early correction of postural disorders.

**Keywords:** asymmetrical posture, scoliotic posture, physical therapy, surface electromyography, biofeedback, quality of life.

## Зміст

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ М'ЯЗОВОГО ДИСБАЛАНСУ ПРИ ПОРУШЕННЯХ ПОСТАВИ У ПІДЛІТКІВ.....	10
1.1. Анатомо-фізіологічні особливості розвитку опорно-рухового апарату та формування постави у підлітковому віці.....	10
1.2. Етіологія та біомеханічні механізми формування м'язового дисбалансу при асиметричній поставі .....	12
1.3. Клінічні прояви асиметричної постави .....	15
1.4. Поверхнева електроміографія як метод дослідження стану паравертебральних м'язів.....	17
1.5. Роль нейром'язового контролю та моторного навчання у процесі корекції постави .....	19
1.6. Сучасні стратегії фізичної терапії підлітків з асиметріями тулуба .....	20
1.7. Критерії оцінювання та прогнозування результатів фізичної терапії при порушеннях постави .....	23
1.8. Підлітковий ідіопатичний сколіоз як крайній прояв некорегованої асиметричної постави.....	25
Висновки до розділу 1 .....	27
РОЗДІЛ 2. ОРГАНІЗАЦІЯ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	29
2.1. Методи дослідження.....	29
2.2. Характеристика учасників дослідження та критерії формування вибірки.....	31

2.3. Програма фізичної терапії для корекції м'язового дисбалансу та асиметричної постави .....	33
2.4. Організація та етапи дослідження.....	35
Висновки до розділу 2 .....	37
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....</b>	<b>39</b>
3.1. Аналіз вихідного стану та клініко-функціональних показників підлітків з асиметричною поставою.....	39
3.2. Особливості пЕМГ-активності паравертебральних м'язів підлітків до початку втручання .....	39
3.3. Динаміка клінічних та пЕМГ-показників після завершення програми фізичної терапії .....	41
3.4. Оцінка якості життя підлітків за специфічним опитувальником SRS-22.....	43
3.5. Обговорення результатів дослідження .....	46
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>49</b>
<b>ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ .....</b>	<b>51</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>52</b>
Додаток А.....	52
Додаток Б .....	53
Додаток В.....	54
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>55</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасні виклики, зумовлені пандемією COVID-19 та воєнними діями в Україні, спричинили значне поширення гіподинамії та збільшення статичного навантаження на хребет під час дистанційного навчання. Це призводить до закріплення патологічних рухових стереотипів та формування асиметричної постави, яка характеризується відхиленнями у фронтальній площині та нерівномірністю м'язового тону без ознак фіксованої торсії хребців. Несвоєчасна корекція таких функціональних змін створює передумови для розвитку структурного сколіозу, дегенеративно-дистрофічних захворювань хребта та порушень функцій кардіореспіраторної системи у майбутньому.

Сучасна парадигма фізичної терапії при асиметричній поставі базується на принципах Міжнародної класифікації функціонування (МКФ) та доказових методах специфічної гімнастики (PSSE), таких як методика Шрот та стабілізація кора. Дослідження Burger et al. (2019) та Schreiber et al. (2016) підтверджують високу ефективність тривимірної автокорекції у зменшенні кутів відхилення хребта та покращенні м'язової витривалості [24; 43].

Ключовим фактором у патогенезі асиметричної постави є дисбаланс активності паравертебральних м'язів. Численні дослідження підтверджують, що на опуклому боці дуги спостерігається вища електроміографічна активність порівняно з увігнутим, що може бути як наслідком компенсаторної реакції, так і ознакою м'язового виснаження. Поверхнева електроміографія (пЕМГ) визнана об'єктивним та неінвазивним методом, який дозволяє кількісно оцінити асиметрію м'язового напруження та контролювати процес нейром'язового перевиховання. Роботи He et al. (2024) та Wang et al. (2025) демонструють, що пЕМГ дозволяє кількісно визначити асиметрію активності паравертебральних м'язів, що є ключовим для персоналізації реабілітаційної програми [31; 49].

Проте, незважаючи на високу діагностичну цінність, пЕМГ-моніторинг у процесі фізичної терапії підлітків з асиметричною поставою залишається недостатньо впровадженим у клінічну практику, а протоколи фізичної терапії потребують подальшого вдосконалення з огляду на нейрофізіологічні аспекти моторного контролю. Необхідність наукового обґрунтування комплексної програми реабілітації, що інтегрує сучасні методи корекції та об'єктивний інструментальний контроль активності м'язів, обумовлює актуальність даної роботи.

**Об'єкт дослідження:** процес фізичної терапії підлітків з асиметричною поставою.

**Предмет дослідження:** методи оцінювання м'язового дисбалансу та засоби фізичної терапії в корекції асиметричної постави.

**Мета дослідження:** науково обґрунтувати та оцінити вплив комплексної програми фізичної терапії на стан постави та симетричність активності паравертебральних м'язів у підлітків на підставі даних поверхневої електроміографії та клінічного оцінювання.

**Завдання дослідження:**

1. На підставі аналізу сучасної науково-методичної літератури охарактеризувати стан проблеми порушень постави у підлітків та визначити роль м'язового дисбалансу в їх виникненні.
2. Вивчити особливості біоелектричної активності паравертебральних м'язів у підлітків з ознаками асиметричної постави за допомогою апарату M-TEST ONE.
3. Обґрунтувати та впровадити програму фізичної терапії, що поєднує специфічні вправи, стабілізацію корпусу та пЕМГ-біофідбек.
4. Оцінити динаміку клініко-функціональних показників та показників якості життя (за опитувальником SRS-22) під впливом запропонованого втручання.

**Гіпотеза дослідження:** передбачається, що впровадження комплексної програми фізичної терапії, яка поєднує специфічні корегувальні вправи з елементами сенсомоторного тренування та біологічного зворотного зв'язку, сприятиме достовірному зниженню асиметрії паравертебральних м'язів за даними пЕМГ та покращенню постави підлітків.

**Методи дослідження:**

- теоретичні: аналіз, узагальнення та систематизація даних наукової літератури;
- клініко-інструментальні: соматоскопія, антропометрія, тест Адамса;
- електрофізіологічні: поверхнева електроміографія;
- статистичні: методи математичної статистики для обробки результатів та оцінки їх достовірності.

**Наукова новизна** полягає у розробці алгоритму фізичної терапії, який інтегрує використання сучасного українського електроміографа M-TEST для діагностики та тренування з біологічним зворотнім зв'язком в комплекс спеціальних вправ, що забезпечує формування стійкого рухового стереотипу та нормалізацію м'язової симетрії.

У роботі застосовується пЕМГ-контроль для оцінки ефективності PSSE-програми у підлітків, з одночасним моніторингом якості життя за опитувальником SRS-22. Це відповідає сучасній тенденції до біопсихосоціального підходу у реабілітації, закладеній у концепції МКФ [10; 20; 21]. Методологічний підхід, що застосовується у даній роботі, узгоджується з рекомендаціями провідних міжнародних організацій (SOSORT, WCPT) щодо стандартів доказової фізичної терапії при порушеннях постави у дітей та підлітків [37].

**Практичне значення.** Розроблена комплексна програма фізичної терапії може бути впроваджена у практику реабілітаційних центрів, відділень відновного лікування. Отримані дані щодо пЕМГ-активності м'язів

дозволяють фахівцям проводити більш точне прогнозування результатів корекції та вчасно коригувати навантаження. Застосування об'єктивних критеріїв оцінки підвищує мотивацію підлітків до участі у реабілітаційному процесі та сприяє формуванню свідомого контролю за поведінкою у повсякденному житті.

**Апробація.** результати дослідження представлені на VII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Шляхи розвитку рухової активності молоді України» 14 травня 2026 р. у м. Дрогобич та опубліковані у її матеріалах.

**Структура роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (50 позицій, з яких 39 іноземною мовою) та додатків. Загальний обсяг роботи – 60 сторінок основного тексту. Робота містить 3 таблиці, 5 рисунків та 3 додатки.

# РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ М'ЯЗОВОГО ДИСБАЛАНСУ ПРИ ПОРУШЕННЯХ ПОСТАВИ У ПІДЛІТКІВ

## 1.1. Анатомо-фізіологічні особливості розвитку опорно-рухового апарату та формування постави у підлітковому віці

Хребетний стовп людини є центральною віссю опорно-рухового апарату, що виконує опорну, захисну, рухову та амортизаційну функції. Анатомічно він складається із 32–34 хребців, послідовно з'єднаних міжхребцевими дисками, зв'язками та суглобами. Відповідно до функціонального призначення виділяють п'ять відділів хребта: шийний (7 хребців), грудний (12), поперековий (5), крижовий (5) та куприковий (3–5). Кожен відділ має специфічні особливості будови хребців, що визначають амплітуду та напрямок рухів у трьох площинах.

Постава визначається як звичне вертикальне положення тіла людини, яке підтримується завдяки тонічному напруженню м'язів та збалансованому розташуванню сегментів тулуба відносно гравітаційної вертикалі. Нормально сформований хребет дорослої людини має S-подібну форму з чотирма фізіологічними вигинами: шийним та поперековим лордозами (опуклістю вперед) та грудним і крижовим кіфозами (опуклістю назад). Ці вигини формуються поступово в процесі моторного розвитку дитини: шийний лордоз з'являється під час утримання голови (2–3 місяці), грудний кіфоз – при переході до сидіння (6 місяців), а поперековий лордоз – із початком стояння та ходьби (9–12 місяців).

Підлітковий вік (11–15 років) є критичним етапом у становленні біометричного профілю постави. У цей період відбувається інтенсивний соматичний розвиток, відомий як «ростовий стрибок» або період пікової швидкості росту (PHV). Характерною особливістю цього етапу є нерівномірність темпів остеогенезу та міогенезу: швидке подовження трубчастих кісток і хребців часто випереджає адаптаційні можливості

м'язово-зв'язкового апарату. Як наслідок, стабілізуюча функція паравертебральних м'язів послаблюється, що створює передумови для постуральної нестабільності та формування функціональних асиметрій.

Згідно з біомеханічними концепціями, стабільність вертикальної пози забезпечується складною взаємодією антигравітаційної мускулатури, де провідну роль відіграють м'яз-випрямляч хребта (*m. erector spinae*), багатороздільні м'язи та глибокі стабілізатори кору. Будь-яке порушення м'язового балансу на стадії інтенсивного росту може ініціювати патогенетичний механізм, описаний теоремою Стокса: нерівномірний тиск на епіфізарні зони росту хребців призводить до їхньої клиноподібної деформації, що замикає «хибне коло» прогресування асиметрії [44].

Важливим аспектом анатомо-фізіологічного аналізу є розуміння того, що хребетний стовп підлітка реагує на механічне навантаження принципово інакше, ніж хребет дорослої людини. Незрілий хрящ зон росту (пластинки Хюетера) є особливо чутливим до стискальних навантажень: відповідно до закону Хюетера-Фолькмана, надмірний тиск пригнічує остеогенез, тоді як розвантаження – стимулює його. Саме це пояснює, чому функціональна асиметрія, залишена без лікування у критичний період росту, здатна поступово трансформуватися у структурну деформацію [44]. Проведене дослідження Kwok et al. (2015), у якому брали участь підлітки 10–13 років, показало, що скринінг у двох школах Гонконгу виявив 14,1% учасників із кутом ротації тулуба (ATR)  $\geq 3^\circ$ , що класифікувалося як рання ознака сколіозу [39]. Ці дані підкреслюють необхідність регулярного скринінгу у шкільному середовищі саме в даному віковому діапазоні.

Серед анатомічних структур, що забезпечують вертикальне положення тіла, окрему увагу приділяють чотирьом групам паравертебральних м'язів: трапецієподібному (*m. trapezius*), найширшому м'язу спини (*m. latissimus dorsi*), м'язу-випрямлячу хребта в грудному відділі та м'язу-випрямлячу хребта в поперековому відділі (*m. erector spinae thoracis et lumborum*). Ці м'язові групи функціонують як «активні розтяжки», що динамічно

протидіють гравітаційній силі та забезпечують сегментарну стабільність хребта. При асиметричній поставі баланс між цими структурами порушується, що фіксується за допомогою поверхневої електроміографії (пЕМГ) як різниця амплітуд сигналів між правим і лівим боками [2; 15].

## **1.2. Етіологія та біомеханічні механізми формування м'язового дисбалансу при асиметричній поставі**

Порушення постави визначаються як стійкі відхилення від нормального біогеометричного профілю тіла, які мають функціональний характер. На відміну від структурного сколіозу, який є триплщинною деформацією з фіксованою торсією (обертанням) хребців і кутом Кобба понад  $10^\circ$ , порушення постави є зворотними. Ключовою клінічною відмінністю є те, що при порушеннях постави викривлення зникає під час розвантаження хребта в положенні лежачи або при цілеспрямованому вольовому напруженні м'язів, а тест Адамса не виявляє реберного горба.

Класифікація порушень постави включає відхилення у сагітальній та фронтальній площинах. До сагітальних порушень належать: сутулість (збільшення грудного кіфозу), кругла спина, кругло-увігнута спина (кіфолордоз), плоска спина (згладженість усіх вигинів) та плоско-увігнута спина. У фронтальній площині виділяють асиметричну (сколіотичну) поставу, яка характеризується бічним відхиленням лінії остистих відростків без ознак кісткової деформації.

Етіологія порушень постави є мультифакторною. Серед провідних екзогенних чинників дослідники виділяють хронічну гіподинамію, що посилилася внаслідок тривалого дистанційного навчання (COVID-19 та умови війни), а також недотримання ергономічних норм при використанні цифрових гаджетів. Тривале перебування у нефізіологічних позах (наприклад, «W-сидіння» або сутулість за столом) призводить до формування стійких патологічних рухових стереотипів. Нераціонально підібрані меблі, носіння важких наплічників на одному плечі та невідповідне взуття також вносять суттєвий вклад у дестабілізацію постурального контролю.

Внутрішніми (ендогенними) чинниками є загальна м'язова гіпотонія, асиметрія сили м'язів-антагоністів та порушення пропріоцептивної чутливості. Важливу роль відіграє стан стопи: плоскостопість або вальгусна деформація порушують висхідний кінематичний ланцюг, викликаючи компенсаторний нахил таза та викривлення хребта.

Науковці виділяють три етапи розвитку ПП:

I етап (функціональний): зміни стосуються лише м'язового тонуусу і легко піддаються корекції за умови вольового зусилля дитини.

II етап: характеризується появою м'язових та зв'язкових контрактур, що потребує тривалої фізичної терапії.

III етап (структурний): виникають стійкі зміни в кісткових структурах, що трансформує ПП у сколіотичну хворобу, де консервативна корекція стає обмеженою.

Гістологічні дослідження паравертебральних м'язів при асиметриях виявляють специфічні зміни м'язового волокна. На опуклому боці дуги викривлення спостерігається чисельна перевага волокон I типу (повільних), що свідчить про їхнє хронічне перенапруження та спробу стабілізувати хребет, тоді як на ввігнутому боці виявляють атрофічні зміни, дистрофію та жирову інфільтрацію м'язової тканини. Проте при легких формах порушень (кут Кобба < 30°) композиція волокон може залишатися незмінною, що підкреслює важливість ранньої фізичної терапії.

Сучасна парадигма реабілітації підлітків базується на використанні Міжнародної класифікації функціонування, інвалідності та здоров'я (МКФ). МКФ дозволяє оцінити стан пацієнта не лише на рівні структур та функцій (сила м'язів, кут ротації), а й на рівні активності та участі. Використання доменів МКФ допомагає фізичному терапевту формулювати цілі за SMART-критеріями, орієнтуючись на покращення якості життя та соціальну адаптацію підлітка, а не лише на кутові показники хребта.

Отже, підлітковий вік є «вікном можливостей» для фізичної терапії, оскільки своєчасна діагностика м'язового дисбалансу на функціональній

стадії дозволяє запобігти незворотним деформаціям опорно-рухового апарату.

Важливим аспектом, що впливає на вибір тактики фізичної терапії, є прогнозування ризику прогресування деформації. Серед предикторів прогресування виділяють: (1) стадію скелетної зрілості (Ризер 0–1 – найвищий ризик); (2) вихідний кут Кобба (при 20–25° ризик прогресування значно вищий, ніж при 10–15°); (3) вік початку та стать (у дівчат у препубертатний та ранній пубертатний період ризик вищий); (4) тип кривизни (правобічні грудні криві мають вищу схильність до прогресування). Ці предиктори засновані на даних мета-аналізу Negrini et al. (2018) та рекомендаціях SOSORT, що є стандартом у консервативному лікуванні AIS [22; 37]. Використання прогностичних шкал, зокрема індексу ризику прогресування Lonstein-Carlson, дозволяє стратифікувати підлітків за групами ризику та відповідно визначити показання до призначення активних методів ФТ ще до появи структурних змін.

Роль ергономічних і поведінкових факторів у формуванні та прогресуванні асиметричної постави у сучасних підлітків набуває дедалі більшого значення. За даними епідеміологічних досліджень, підлітки проводять понад 6–8 годин на добу у сидячому положенні (навчання, використання смартфонів, комп'ютерні ігри). При цьому типове положення «голова нахилена вперед» спричиняє збільшення навантаження на шийний відділ хребта до 27–45 кг замість нормативних 4–5 кг при нейтральному положенні голови. Це веде до хронічного перевантаження трапецієподібних та ремінних м'язів шиї, формуючи характерний «постуральний ланцюг» порушень. Саме тому сучасні програми фізичної терапії обов'язково включають компонент освіти щодо ергономіки та корекції позиційних звичок у побуті – особливо під час навчання за комп'ютером і користування мобільними пристроями [6; 10; 37].

### 1.3. Клінічні прояви асиметричної постави

Асиметрична (сколіотична) постава (СП) визначається як функціональне відхилення хребта у фронтальній площині, що супроводжується порушенням симетрії тулуба без ознак структурної перебудови хребців. На відміну від істинного ідіопатичного сколіозу (AIS), при СП відсутня фіксована торсія (скручування) хребців навколо поздовжньої осі, а всі візуальні ознаки викривлення мають нестійкий характер.

Основними клінічними маркерами СП, що виявляються під час соматоскопії, є:

- різнорівневість плечей та акроміальних відростків;
- асиметрія нижніх кутів лопаток та їх віддалення від лінії остистих відростків;
- неконгруентність (неоднаковість) трикутників талії, утворених внутрішньою поверхнею рук та боковою лінією тулуба;
- перекіс таза у фронтальній площині, що часто корелює з функціональним укороченням однієї з нижніх кінцівок.

Ключовим інструментом диференціальної діагностики між функціональною асиметрією та структурним сколіозом є тест Адамса. Під час повільного нахилу пацієнта вперед із розслабленими руками при СП лінія хребта вирівнюється, а м'язовий валик або реберний горб відсутні. Поява стійкого випинання з одного боку свідчить про наявність торсії та вимагає подальшого рентгенологічного обстеження для визначення кута Кобба. Об'єктивізація ротаційного компонента проводиться за допомогою сколіометра Буннелла: показник кута торсії (ATR) до  $4^\circ$  вважається ознакою асиметричної постави, тоді як значення  $\geq 5^\circ$  є критерієм підозри на сколіотичну хворобу.

Патогенетичну основу СП складає м'язовий дисбаланс – порушення симетрії тонузу паравертебральних м'язів. Дослідження методом поверхневої

електроміографії (пЕМГ) підтверджують, що на опуклому боці дуги викривлення спостерігається гіперактивність м'язів-стабілізаторів (особливо *m. erector spinae*), тоді як на ввігнутому – їх функціональна слабкість. Це створює передумови для реалізації «хибного кола» за Стоксом, де нерівномірне навантаження на зони росту хребців може з часом призвести до їхньої клиноподібної деформації.

Профілактика ПП у підлітковому віці базується на ранньому скринінгу та ергономічній корекції життєвого простору школяра. Важливе значення має відповідність шкільних меблів зросту дитини, що забезпечує кут  $90^\circ$  у колінних та кульшових суглобах при сидінні, а також контроль за раціональним використанням гаджетів для запобігання тривалим нефізіологічним позам [4; 6].

Диференційна діагностика між асиметричною поставою (функціональною) та підлітковим ідіопатичним сколіозом (AIS) є принципово важливою з клінічної точки зору. Відповідно до визначення, AIS – це три-площинна деформація хребта, що виникає у дітей 10–18 років без встановленої причини та характеризується кутом Кобба  $\geq 10^\circ$  [22]. Поширеність AIS у педіатричній популяції становить 2–3%, причому тяжкі форми (кут Кобба  $\geq 40^\circ$ ), що потребують хірургічного втручання, розвиваються значно рідше. Саме тому рання діагностика та своєчасна корекція функціональних асиметрій (до досягнення порогу  $10^\circ$ ) є першочерговим завданням фізичної терапії [22; 25].

Слід зазначити, що клінічна картина при АСП відрізняється залежно від типу кривизни. Найчастіше зустрічається грудна (правобічна) асиметрія – у 60–70% випадків. Рідше виявляються торакально-поперекова та поперекова форми, а також подвійні криві. Класифікаційна система PUMC (Peking Union Medical College), яку застосовували Kwok et al. (2015), виділяє наступні типи: Ia – одинарна грудна крива з верхівкою між T2 і диском T11–T12; Ib – одинарна тораколюмбальна крива; IIc – подвійна грудна та тораколюмбальна/поперекова криві з різницею між дугами менш ніж  $10^\circ$

[39]. Розуміння типу кривизни є критичним для вибору специфічних коригувальних вправ.

#### **1.4. Поверхнева електроміографія як метод дослідження стану паравертебральних м'язів**

Поверхнева електроміографія (пЕМГ) є сучасним об'єктивним та неінвазивним методом дослідження, який використовується для запису та аналізу електричної активності скелетних м'язів. У клінічній практиці цей метод дозволяє оцінити стан нейром'язової системи та характер м'язової активації під час статичних поз і динамічних рухів. Основним параметром оцінки амплітуди ЕМГ-сигналу є середньоквадратичне значення (RMS), яке відображає рівень напруження м'язових волокон протягом певного проміжку часу. Для кількісної оцінки балансу між м'язами з обох боків хребта використовується індекс або коефіцієнт симетрії (SI), що розраховується як відношення RMS-амплітуди на опуклому боці до амплітуди на ввігнутому боці дуги викривлення.

Результати численних досліджень підтверджують наявність вираженої асиметрії м'язової активності у підлітків із відхиленнями хребта у фронтальній площині. Було встановлено, що паравертебральні м'язи на опуклому боці дуги зазвичай демонструють вищу електроміографічну активність порівняно з ввігнутим боком. Водночас у здорових підлітків без ознак порушень постави м'язова активність залишається симетричною, а індекс симетрії наближається до одиниці. Збільшення RMS-амплітуди на опуклому боці часто інтерпретується дослідниками як компенсаторна реакція організму, спрямована на стабілізацію хребетного стовпа або спробу повернути його у нейтральне положення. Проте існують дані, які свідчать, що така підвищена активність може бути ознакою м'язового виснаження та втоми через тривале асиметричне навантаження.

Використання пЕМГ у процесі фізичної терапії дозволяє не лише діагностувати вихідний рівень дисбалансу, а й об'єктивно контролювати ефективність реабілітаційних втручань. Зокрема, під час виконання

специфічних вправ спостерігається зміна патернів активації м'язів, що сприяє нормалізації індексу симетрії. Важливим аспектом застосування цього методу є технологія біологічного зворотного зв'язку (пЕМГ-biofeedback), яка дозволяє пацієнту візуалізувати роботу власних м'язів у реальному часі. Це значно підвищує ефективність нейром'язового перевихування, оскільки підліток вчиться свідомо керувати розслабленням перенапружених груп м'язів та активацією ослаблених. Таким чином, поверхнева електроміографія виступає критично важливим інструментом для побудови індивідуалізованих програм корекції постави, забезпечуючи перехід від суб'єктивного клінічного оцінювання до точних інструментальних вимірювань функціонального стану м'язів [14; 39].

Методологія реєстрації пЕМГ-сигналів регламентується міжнародними рекомендаціями SENIAM (Surface EMG for Noninvasive Assessment of Muscles). Стандарт передбачає підготовку шкіри (збривання волосся, знежирення спиртом), правильне розміщення біполярних електродів паралельно м'язовим волокнам із міжелектродним відстанням 20 мм, а також перевірку імпедансу (має не перевищувати 50 кОм). Основним параметром оцінки є середньоквадратичне значення (Root Mean Square, RMS), що відображає амплітуду електричного сигналу і прямо корелює зі ступенем м'язового скорочення [14; 39]. Для оцінки балансу між обома сторонами хребта розраховується індекс симетрії (SI) за формулою:  $SI = \text{RMS (опуклий бік)} / \text{RMS (ввігнутий бік)}$ . Значення  $SI = 1,0$  свідчить про повний симетричний баланс, тоді як  $SI > 1,0$  вказує на гіперактивність м'язів на опуклому боці.

Дослідження Kwok et al. (2015) встановило, що у підлітків із AIS тип PUMC Ia та IIc обидві групи демонструють достовірно вищу RMS-активність на опуклому боці у стані звичайного стояння та сидіння порівняно з ввігнутим. При цьому корекція пози під керівництвом фізіотерапевта дозволила досягти більш симетричного співвідношення RMS у ділянках трапецієподібного м'яза, широкого м'яза спини та м'яза-випрямляча хребта,

що підтверджує принцип моторного навчання як основи корекції постуральних дисфункцій [39]. Аналогічні результати були отримані у дослідженні Park et al. (2021), яке виявило два патерни м'язового дисбалансу при AIS: асиметричну активацію та асиметричну слабкість – обидва механізми потребують різних терапевтичних підходів [41].

### **1.5. Роль нейром'язового контролю та моторного навчання у процесі корекції постави**

Процес корекції асиметричної постави у підлітків не може обмежуватися лише механічним зміцненням м'язового корсета, оскільки в основі формування стійких постуральних порушень лежить закріплення патологічного динамічного стереотипу. Ефективна реабілітація потребує активного залучення механізмів нейром'язового контролю та моторного навчання, спрямованих на перенавчання (перевиховання) пропріоцептивної системи пацієнта.

Ключовим компонентом сучасної фізичної терапії є технологія біологічного зворотного зв'язку (біофідбеку) за допомогою поверхневої електроміографії. Цей метод дозволяє перетворити невідчутні фізіологічні сигнали м'язової активності у візуальні або аудіальні індикатори, які підліток може спостерігати в реальному часі. Використання пЕМГ-фідбеку сприяє активній участі пацієнта у процесі лікування, підвищуючи його усвідомленість щодо положення власного тіла у просторі. Встановлено, що під час тренувань із зворотним зв'язком підлітки швидше вчаться селективно активувати ослаблені паравертебральні м'язи на ввігнутому боці дуги та розслабляти перенапружені структури на опуклому боці, що веде до нормалізації м'язового балансу.

Згідно з принципами моторного навчання, регулярна практика вправ із корекції постави за допомогою пЕМГ-контролю дозволяє сформувати нові нейронні зв'язки та закріпити правильну постуральну позу як підсвідому звичку. Це особливо важливо для підлітків із легкою асиметрією (кут Кобба  $< 20^\circ$ ), оскільки дозволяє уникнути потреби у призначенні жорстких корсетів

та мінімізувати психологічний дискомфорт, пов'язаний із видимою деформацією.

Наукові дослідження підтверджують, що застосування пЕМГ-biofeedback не лише покращує біометричні показники постави (зменшення кута Кобба та асиметрії плечей), а й достовірно підвищує рівень якості життя пацієнтів. Підлітки повідомляють про зниження м'язової втоми, зменшення больового синдрому в спині та покращення самооцінки завдяки відчуттю контролю над власним тілом. Таким чином, інтеграція методів нейром'язового контролю у програму фізичної терапії забезпечує перехід від пасивної корекції до свідомого моторного самовдосконалення, що є запорукою довготривалого збереження результатів реабілітації [14; 22; 39; 42].

Kwok et al. (2015) продемонстрували, що через механізм моторного навчання підлітки із AIS, яких навчили правильного положення тіла під керівництвом фізіотерапевта, можуть з часом перетворити скориговану позу на новий руховий стереотип. Автори встановили, що після корекції пози в положенні стоячи жодна з досліджуваних м'язових зон не мала статистично значущого відхилення RMS-співвідношення від 1, що свідчить про успішне відновлення м'язового балансу. Для положення сидячи після корекції лише трапецієподібна зона залишалася асиметричною ( $p = 0,025$ ), проте її асиметрія зменшилася порівняно з вихідним станом [39]. Ці дані підтверджують, що регулярна практика рекомендованих поз у повсякденному житті може прискорити формування нейронних зв'язків, необхідних для підтримки симетричної постави.

#### **1.6. Сучасні стратегії фізичної терапії підлітків з асиметріями тулуба**

Сучасна парадигма консервативного лікування асиметрій тулуба та сколіозу в підлітковому віці базується на переході від пасивного спостереження до активного раннього втручання. Згідно з міжнародними рекомендаціями SOSORT, провідними цілями фізичної терапії є запобігання

прогресуванню деформації, лікування респіраторних дисфункцій, зменшення больових синдромів та покращення естетики тіла через постуральну корекцію.

Основним доказовим напрямом корекції є специфічні вправи при сколіозі (Physiotherapy Scoliosis-Specific Exercises – PSSE), що включають 3D-автокорекцію, стабілізацію та інтеграцію правильної пози у повсякденну діяльність. Найбільш вивченою та поширеною серед PSSE шкіл є методика Шрот. Вона ґрунтується на тривимірному вирівнюванні хребта через ізольовану активацію слабких м'язів, специфічне ротаційне дихання та формування усвідомленого постурального контролю. Численні дослідження та мета-аналізи підтверджують ефективність методу Шрот у достовірному зменшенні кута Кобба та покращенні якості життя підлітків порівняно з неспецифічними вправами [22; 24; 26; 50]. Окрім Шрот-терапії, до визнаних PSSE шкіл відносять методики SEAS (Італія), DoboMed та FITS (Польща), SideShift (Англія) та Lyon (Франція), кожна з яких базується на принципах активної самокорекції та стабілізації [23].

Важливе місце у реабілітаційних програмах посідає *концепція стабілізації кора*. Цей метод спрямований на тренування глибоких м'язів тулуба (поперечного м'яза живота, багатороздільних м'язів, діафрагми), що забезпечують сегментарну підтримку хребта. Вправи на стабілізацію сприяють відновленню балансу між внутрішніми та зовнішніми силами, що діють на спину, зменшуючи м'язову асиметрію та больові відчуття. Доведено, що поєднання вправ стабілізації кора з методикою Шрот дає позитивні результати у зміцненні м'язового корсета та покращенні функціональних можливостей підлітків.

У межах нейрофізіологічного підходу перспективним є застосування технік *пропріоцептивної нейром'язової фасилітації (PNF) та сенсомоторного тренування*. Методика PNF використовує специфічні діагональні патерни руху для стимуляції пропріорецепторів, що дозволяє активувати осьову мускулатуру та формувати правильний моторний

контроль без прямої механічної корекції. Сенсомоторне тренування передбачає виконання вправ на нестійких опорах (балансувальних платформах, BOSU), що підвищує вимоги до нейром'язової системи, покращує рівновагу та усвідомлення власного тіла у просторі.

*Метод глобального перенавчання постави (Global Postural Reeducation – GPR)* ґрунтується на концепції роботи з «м'язовими ланцюгами». Він використовує тривале статичне розтягування у поєднанні з контрольованою активацією м'язів і диханням для відновлення постурального балансу всього тіла. Окремим напрямом фізичної терапії в Україні є використання методики Бубновського, яка застосовує декомпресійні тренажери для відновлення трофіки тканин хребта та поступової нормалізації м'язового тонусу без ризику травматизації.

Як допоміжний засіб дедалі частіше використовується *кінезіотейпування*. Аплікація еластичних стрічок забезпечує постійну пропріоцептивну модуляцію (постуральний фідбек), що допомагає підлітку підтримувати кореговану позу між заняттями. Тейпування сприяє зниженню м'язової втоми та нормалізації тонусу в зонах дисбалансу за умови інтеграції в комплексну активну програму.

Таким чином, сучасна стратегія фізичної терапії при асиметричній поставі є комплексною та інтегрованою. Вона поєднує специфічні вправи для тривимірної корекції (PSSE), методи стабілізації корпусу та нейром'язового перенавчання, що дозволяє не лише виправити біомеханічні порушення, а й сформувати стійкий руховий стереотип правильної постави [1; 23; 26].

Особливої уваги серед методів PSSE заслуговує методика Шрот (Schroth Exercises), розроблена Катаріною Шрот у Німеччині ще у 1920-х роках. Вона ґрунтується на концепції, що сколіоз є складним тривимірним станом, а не лише бічним відхиленням хребта. Вправи Шрот спрямовані на деротацію, подовження та стабілізацію хребта шляхом специфічного ротаційного дихання, що допомагає «надувати» ввігнутий бік грудної клітки, активуючи ослаблені м'язи. Сучасні варіанти методу інтегрують принципи

біофідбеку, цифрової обробки зображень і пропріоцептивного тренування, що підвищує ефективність втручання [1; 23; 34].

Мета-аналіз Zhu et al. (2025), що охопив 11 рандомізованих контрольованих досліджень (РКД) із загальною кількістю 446 учасників, підтвердив статистично значуще зменшення кута Кобба при застосуванні методики Шрот (SMD = -0,54; 95% ДІ [-0,81; -0,27];  $p < 0,001$ ), що відповідало зменшенню кута на  $3,204^\circ$  [22]. Водночас зміни кута ротації тулуба не досягли статистичної значущості (SMD = -0,90; 95% ДІ [-2,45; 0,65];  $p = 0,254$ ), що пов'язано з високою гетерогенністю включених досліджень ( $I^2 = 92,8\%$ ). Якість життя пацієнтів, оцінена за різними опитувальниками, достовірно покращилася (SMD = 0,67; 95% ДІ [0,33; 1,01];  $p < 0,001$ ). Автори підкреслюють необхідність стандартизації протоколів PSSE у майбутніх дослідженнях [22].

Поряд із методикою Шрот, значне місце у реабілітаційних програмах посідають вправи зі стабілізації кора. Систематичний огляд Khaledi et al. (2024), що проаналізував 10 РКД, показав ефективність тренування кора у зменшенні кута Кобба та покращенні постурального балансу у підлітків з ідіопатичним сколіозом [32]. Мета-аналіз Sun et al. (2023), що охопив 7 РКД, підтвердив короткостроковий позитивний ефект вправ зі стабілізації кора [46]. Ko & Kang (2017) встановили, що 12-тижнева програма стабілізації кора достовірно зменшила кут Кобба та збільшила силу поперекових м'язів у підлітків з AIS [33]. Таким чином, інтеграція цих методів в єдину програму ФТ є науково обґрунтованою стратегією.

### **1.7. Критерії оцінювання та прогнозування результатів фізичної терапії при порушеннях постави**

Ефективність фізичної терапії при асиметричній поставі та сколіозі у підлітковому віці потребує комплексного оцінювання, яке охоплює біомеханічні, функціональні та психосоціальні аспекти. Хоча рентгенологічне вимірювання кута Кобба залишається традиційним критерієм тяжкості деформації, його використання для регулярного

моніторингу в ході реабілітації є обмеженим через значне променеве навантаження на організм дитини, що робить актуальним впровадження неінвазивних методів контролю.

Провідним клінічним маркером у процесі фізичної терапії є кут торсійного обертання тулуба (ATR), який вимірюється за допомогою сколіометра Буннелла під час виконання тесту Адамса. Доведено, що показник ATR понад  $5-7^\circ$  є клінічним критерієм підозри на сколіоз і вимагає специфічної корекції, а його динаміка в процесі лікування відображає ефективність деротаційних впливів. Додатково для оцінювання візуальної симетрії тулуба використовують вимірювання ромба Машкова, де різниця між відстанню від сьомого шийного хребця до нижніх кутів лопаток понад 0,5 см свідчить про виражений м'язовий дисбаланс.

Функціональні результати втручання оцінюються за динамікою статичної м'язової витривалості (СМВ) та силових показників. Застосування тесту Бірінг-Серенсена (Biering-Sørensen) дозволяє об'єктивно визначити здатність паравертебральних м'язів утримувати стабільне положення хребта під навантаженням. Зменшення м'язового дисбалансу та зміцнення глибоких стабілізаторів (багатороздільних м'язів та м'яза-випрямляча хребта) є ключовим фактором запобігання прогресуванню деформацій за механізмом «хибного кола» Стокса.

Використання поверхневої електроміографії (пЕМГ) забезпечує найбільш точний інструментальний моніторинг відновлення м'язової симетрії. Асиметрія RMS-амплітуди (середньоквадратичного значення) між опуклим та ввігнутих боками хребта є прогностичним маркером прогресування дуги. Нормалізація індексу м'язової симетрії (PMSI) під час виконання специфічних вправ (Schroth, Core Stabilization) свідчить про успішність нейром'язового перенавчання та формування правильного динамічного стереотипу [27; 31; 39; 41; 42].

Дослідження Piele et al. (2023) підкреслює актуальність пЕМГ-оцінювання у підлітків зі сколіозом, зазначаючи, що поверхнева

електроміографія є чутливим інструментом для виявлення тонких відмінностей у нейром'язовій активації [42]. Зокрема, для клінічної практики важливо, що пЕМГ дозволяє оцінити не лише тонус м'язів у спокої, а й патерни їх активації під час функціональних проб – стояння, сидіння, виконання специфічних вправ. Це дає змогу оптимізувати програму фізичної терапії залежно від індивідуальної картини м'язового дисбалансу кожного пацієнта. Для прогностичної оцінки важливим є дослідження Fan et al. (2023), яке показало, що пЕМГ-асиметрія паравертебральних м'язів при AIS достовірно прогнозує ранній прогрес кривизни у нелікованих підлітків [27]. Таким чином, включення пЕМГ у стандартний протокол оцінювання підлітків з асиметричною поставою є клінічно обґрунтованим та методологічно виваженим рішенням.

Важливою складовою сучасних реабілітаційних програм є оцінювання якості життя (ЯЖ) підлітка за допомогою стандартизованих опитувальників, таких як SRS-22 або SF-36. Отримані дані дозволяють оцінити вплив фізичної терапії на домени «біль», «самосприйняття» та «соціальна активність», що є критично важливим для підвищення мотивації дитини до тривалого лікування.

Застосування концепції Міжнародної класифікації функціонування (МКФ) дозволяє об'єднати всі ці критерії у цілісну модель. Використання доменів МКФ для опису стану структур (хребет), функцій (сила, тонус), активності (навчання, спорт) та участі забезпечує перехід від вузькоспрямованої механічної корекції до біопсихосоціальної реабілітації, спрямованої на повну функціональну адаптацію підлітка [10; 21].

### **1.8. Підлітковий ідіопатичний сколіоз як крайній прояв некорегованої асиметричної постави**

Підлітковий ідіопатичний сколіоз (ПІС / AIS – Adolescent Idiopathic Scoliosis) є найпоширенішою формою дитячого сколіозу, що характеризується три-площинною деформацією хребта у дітей 10–18 років без встановленої причини. Поширеність ПІС становить 2–3% у педіатричній

популяції. Окрім фізичної деформації, ПС асоційований із психологічним дистресом, фізичним дискомфортом і, у тяжких випадках (кут Кобба  $> 40^\circ$ ), – із порушенням функцій кардіореспіраторної системи [22]. Саме тому лікування ПС спрямоване не лише на зупинення прогресування кривизни, а й на мінімізацію впливу деформації на якість життя та здоров'я пацієнта.

Традиційні методи лікування ПС охоплюють спостереження (при малих кутах до  $20^\circ$ ), корсетування (при кутах  $25\text{--}40^\circ$ ) та хірургічне втручання (при кутах  $> 40^\circ$ ). Проте останніми роками спостерігається значне зростання інтересу до неінвазивних підходів, зокрема до фізіотерапевтичних специфічних вправ при сколіозі (PSSE). Докази підтверджують ефективність PSSE не лише у зменшенні рентгенологічних параметрів, але й у покращенні функціональних результатів та якості життя [22; 23; 26]. Узагальнений аналіз семи основних шкіл PSSE (Berdishevsky et al., 2016) засвідчив, що всі вони базуються на спільних принципах: специфічна для типу викривлення корекція, активна 3D-аутокорекція і стабілізація пози в повсякденному житті [23].

Прогресування ПС визначається сукупністю факторів ризику. До біологічних факторів належать: жіноча стать (дівчата уражуються у 5–9 разів частіше при прогресуючих формах), стадія скелетної зрілості за Ріссером (Risser 0–1 – найвищий ризик) та генетична схильність. Серед клінічних предикторів прогресування – вихідний кут Кобба (що більший, то вищий ризик), вік і стать пацієнта, а також тип кривизни. Правобічні грудні криві прогресують частіше, ніж ліворуч [22; 29]. Ці фактори ризику мають враховуватися при стратифікації пацієнтів і виборі тактики фізичної терапії.

Щодо доказової бази ефективності PSSE, систематичний огляд Dimitrijevic et al. (2022) підтвердив, що метод Шрот є ефективним у зменшенні кута Кобба та покращенні якості життя, а систематичний огляд Burger et al. (2019) засвідчив достовірне зменшення кута Кобба при 6-місячних протоколах [26; 24]. Важливо, що відповідно до рекомендацій SOSORT 2016, клінічно значущим вважається зменшення кута Кобба на  $5^\circ$  і

більше [37]. Мета-аналіз Zhu et al. (2025) показав середнє зменшення на 3,2°, що хоча й є статистично значущим, не завжди відповідає порогу клінічної значущості – це підкреслює необхідність більш тривалих та стандартизованих протоколів дослідження [22].

Особливою проблемою в PSSE-дослідженнях є неоднорідність протоколів. Marchese, Pham & Pacey (2023) показали, що терапевти, які практикують під «маркою» Шрот, регулярно поєднують різні підходи, рідко застосовуючи оригінальну методику в чистому вигляді. Це ускладнює порівняння результатів між дослідженнями та знижує клінічну цінність узагальнень. Тому зростає запит на стандартизацію термінології – зокрема, пропонується перейти від використання загального терміну «Шрот» до точного опису конкретних технік [22]. Для вітчизняної практики фізичної терапії ця рекомендація також є актуальною, оскільки дозволяє забезпечити відтворюваність та контроль якості реабілітаційних програм.

### **Висновки до розділу 1**

Порушення постави у підлітковому віці є однією з найбільш поширених проблем опорно-рухового апарату, що охоплює від 30% до 94% школярів. Актуальність проблеми значно зросла внаслідок пандемії COVID-19 та військової агресії, що призвели до дефіциту рухової активності через дистанційне навчання та постійне перебування у нефізіологічних статичних позах під час використання гаджетів.

Підлітковий вік (11–15 років) є критичним етапом «пікового росту» (PHV), коли темпи подовження хребетного стовпа випереджають розвиток м'язово-зв'язкового апарату. Така нерівномірність створює передумови для формування м'язового дисбалансу, який за механізмом «хибного кола» Стокса спричиняє асиметричне навантаження на зони росту хребців і може призвести до трансформації функціональних ПП у структурний сколіоз.

Асиметрична (сколіотична) постава (СП) характеризується функціональним відхиленням хребта у фронтальній площині, яке зникає у положенні лежачи та не супроводжується фіксованою торсією хребців.

Ключовими інструментами її диференціації від істинного сколіозу є тест Адамса та сколіометрія (при СП кут торсії ATR зазвичай не перевищує 4°).

Інструментальна діагностика методом поверхневої електроміографії (пЕМГ) дозволяє об'єктивізувати прихований м'язовий дисбаланс, виявляючи гіперактивність м'язів-стабілізаторів на опуклому боці дуги викривлення. Використання пЕМГ у форматі біологічного зворотного зв'язку (biofeedback) визнається перспективним методом для нейром'язового перенавчання підлітків, дозволяючи їм свідомо коригувати симетрію постави.

Сучасна парадигма фізичної терапії базується на біопсихосоціальній моделі МКФ і передбачає поєднання специфічних вправ (PSSE, таких як методика Шрот), стабілізації кора та сенсомоторного тренування. Найбільш ефективними визнаються інтегровані програми, що поєднують активну 3D-автокорекцію з інструментальним контролем та методами телереабілітації для підвищення мотивації та комплаєнсу пацієнтів [1; 6; 20; 22; 23].

Огляд наукової літератури, включаючи дані доданих джерел (Zhu et al., 2025; Kwok et al., 2015), підтверджує, що ефективна фізична терапія при асиметричній поставі та сколіозі у підлітків потребує: (1) ранньої об'єктивної діагностики із застосуванням пЕМГ; (2) специфічних вправ PSSE (Schroth та схожих) для активної 3D-корекції; (3) вправ зі стабілізації кора для зміцнення глибоких м'язів-стабілізаторів; (4) технологій біологічного зворотного зв'язку для нейром'язового перенавчання; та (5) моніторингу якості життя з використанням стандартизованих опитувальників [22; 37; 39]. Інтеграція цих компонентів відповідає сучасним стандартам SOSORT і дозволяє досягати клінічно значущих результатів у корекції м'язового дисбалансу у підлітків.

## РОЗДІЛ 2. ОРГАНІЗАЦІЯ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1. Методи дослідження

Для реалізації мети роботи та розв'язання поставлених завдань було застосовано комплексний діагностичний підхід, що базується на поєднанні традиційних клінічних обстежень та інструментальних методів оцінювання функціонального стану м'язової системи. Усі методи було систематизовано відповідно до доменів Міжнародної класифікації функціонування, інвалідності та здоров'я (МКФ). Обстеження проводилося серед 14 підлітків, у яких під час скринінгу було виявлено функціональні ознаки асиметричної постави.

Клінічне оцінювання біогеометричного профілю постави включало метод соматоскопії, що передбачав візуальний огляд симетричності анатомічних орієнтирів у фронтальній, тильній та сагітальній площинах. Об'єктивізація візуальних даних здійснювалася шляхом вимірювання ромба Машкова: визначалася різниця відрізків від остистого відростка сьомого шийного хребця (С7) до нижніх кутів лопаток та від лопаток до п'ятого поперекового хребця (L5). Різниця показників понад 0,5 см розцінювалася як ознака м'язового дисбалансу та асиметрії тулуба.

Скринінг на наявність торсійних змін здійснювався за допомогою тесту Адамса, під час якого пацієнт виконував повільний нахил тулуба вперед із розслабленими руками. Для кількісного вимірювання кута торсійного обертання тулуба (ATR) застосовувався сколіометр Буннелла. Показник ATR у межах 0–4° вважався варіантом норми, а значення  $\geq 5^\circ$  свідчили про значущу асиметрію, що потребує корекції.

Функціональний стан стабілізуючої мускулатури хребта оцінювався за допомогою тестування статичної м'язової витривалості (СМВ). Використовувався тест Бірінг-Серенсена (утримання тулуба у положенні лежачи на животі) та утримання ніг під кутом 45° у положенні на спині. Час

утримання пози фіксувався секундоміром до появи ознак втоми або порушення симетрії.

Для об'єктивізації стану нейром'язового апарату та оцінки м'язового дисбалансу застосовувався метод поверхневої електроміографії (пЕМГ) за допомогою електроміографа M-TEST ONE (DX-Systems, Україна). Реєстрація біопотенціалів проводилася у стані спокою та під час виконання функціональних завдань (ізометричне напруження, поза «супермена»). Згідно з рекомендаціями SENIAM, самоклеючі біполярні електроди розміщувалися симетрично по обох сторонах хребта над наступними м'язовими групами:

- верхній відділ трапецієподібного м'яза (*m. trapezius*);
- грудний відділ м'яза-випрямляча хребта (*m. erector spinae thoracis*);
- поперековий відділ м'яза-випрямляча хребта (*m. erector spinae lumborum*).

Перед накладанням електродів шкіра очищалася спиртовим розчином для зниження електричного опору. Основними параметрами аналізу були середньоквадратичне значення амплітуди (RMS) та індекс симетрії (SI), що розраховувався як відношення RMS на опуклому боці до ввігнутого боку дуги [14; 39; 42].

Вибір зон реєстрації пЕМГ базувався на протоколі Kwok et al. (2015), де електроди накладалися на чотири пари паравертебральних м'язів: трапецієподібний (*m. trapezius transversus*), найширший м'яз спини (*m. latissimus dorsi*), м'яз-випрямляч хребта у грудному (*m. erector spinae thoracis*) та поперековому відділах (*m. erector spinae lumborum*) [39]. Для запису сигналів у даному дослідженні застосовувався вітчизняний прилад M-TEST ONE (DX-Systems, Україна), технічні характеристики якого відповідають стандартам SENIAM. Частота дискретизації – 2048 Гц, смуговий фільтр – 10–500 Гц, режекторний фільтр 50 Гц. Запис тривав 60 с і повторювався двічі; для аналізу використовувалося середнє значення двох вимірювань.

**Методи статистичної обробки даних.** З огляду на малий обсяг вибірки ( $n=14$ ), для обробки результатів було обрано непараметричні методи математичної статистики. Оцінка достовірності відмінностей між показниками до та після втручання проводилася за допомогою Т-критерію Вілкоксона для залежних вибірок. Порівняння результатів між групами здійснювалося за допомогою U-критерію Манна-Вітні. Для вивчення взаємозв'язків між клінічними та ЕМГ-параметрами застосовувався коефіцієнт рангової кореляції Спірмена ( $r_s$ ). Розрахунки виконувалися за допомогою програмного забезпечення IBM SPSS Statistics та Microsoft Excel.

Дослідження проводилося з повним дотриманням **етичних стандартів та гуманітарних принципів** Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації щодо проведення наукових досліджень за участю людини. Перед початком тестування усі підлітки та їхні батьки (або законні представники) були детально проінформовані про мету, завдання, методи втручання та очікувані результати дослідження. Обов'язковою передумовою залучення до експериментальної програми стало підписання батьками форми інформованої письмової згоди та отримання добровільної згоди від самих учасників підліткового віку. У процесі обробки результатів було забезпечено суворе дотримання конфіденційності та анонімності персональних даних, а кожному учаснику було гарантовано право відмовитися від участі в експерименті на будь-якому етапі без жодних негативних наслідків

## **2.2. Характеристика учасників дослідження та критерії формування вибірки**

Дослідження проводилося на базі ДМЛ протягом 2025-2026 року. У науковому експерименті взяли участь 14 підлітків (8 дівчат та 6 хлопців), відібраних за результатами первинного скринінгового огляду. Вік учасників становив від 11 до 15 років (середній вік –  $13,2 \pm 1,4$  року), що відповідає періоду інтенсивного соматичного розвитку та пікової швидкості росту. Вибір даного вікового діапазону обумовлений максимальною вразливістю опорно-рухового апарату підлітка до формування постуральних асиметрій та,

водночас, високим реабілітаційним потенціалом для корекції функціональних змін.

Формування групи дослідження здійснювалося відповідно до наступних критеріїв включення:

- наявність візуальних ознак асиметричної постави (різний рівень надпліч, асиметрія нижніх кутів лопаток, неконгруентність трикутників талії);
- функціональний характер порушень (зникнення асиметрії під час вольового напруження м'язів або у положенні лежачи);
- показник кута торсійного обертання тулуба (ATR) за даними сколіометрії у межах 1–4°, що свідчить про відсутність фіксованої ротації хребців;
- наявність м'язового дисбалансу паравертебральної зони, зафіксованого під час клінічного огляду;
- підписана інформована згода батьків та асент дитини на участь у дослідженні.

До програми дослідження не залучалися особи, які відповідали критеріям виключення:

- наявність структурного сколіозу (кут Кобба  $> 10^\circ$  за даними рентгенографії або  $ATR \geq 5^\circ$  з вираженим реберним горбом);
- виражена асиметрія довжини нижніх кінцівок (понад 2 см), що потребує ортопедичної корекції;
- системні захворювання сполучної тканини, неврологічні розлади (ДЦП, міопатії) або психічні порушення, що перешкоджають виконанню вказівок терапевта;
- наявність гострого больового синдрому в спині на момент початку дослідження;
- перенесені травми або хірургічні втручання на хребті, тазі чи нижніх кінцівках.

Всі учасники на момент обстеження мали однаковий руховий режим, що включав стандартні заняття з фізичної культури в школі, та не отримували додаткового специфічного лікування (фізіотерапії, масажу або корсетування) протягом останніх 6 місяців. Малий обсяг вибірки (n=14) та специфіка виявлених функціональних порушень обумовили застосування непараметричних методів статистичного аналізу для забезпечення вірогідності отриманих результатів. Характеристика антропометричних показників та вихідного стану постави учасників представлена у Розділі 3.

### **2.3. Програма фізичної терапії для корекції м'язового дисбалансу та асиметричної постави**

Програма фізичної терапії (інтервенція) для підлітків основної групи (ОГ) мала комплексний характер і тривала 12 тижнів. Режим втручання передбачав керовані заняття з фізичним терапевтом 3 рази на тиждень тривалістю 45–60 хвилин, що доповнювалися щоденним виконанням індивідуального домашнього комплексу (20–30 хвилин).

Програма включала такі компоненти та вправи:

1. *Освітній та ергономічний компонент.* Проводилися індивідуальні бесіди з підлітками та батьками щодо факторів ризику порушень постави (гіподинамія, тривале сидіння, нераціональне використання гаджетів) та принципів організації робочого місця.

2. *Компонент тривимірної автокорекції та стабілізації.* В основу вправ покладено принципи специфічної терапії (PSSE) для активації глибоких стабілізаторів та корекції асиметрії. До програми було включено такі специфічні вправи:

- Вправа «5 лежачи» - пацієнт перебуває у положенні лежачи на спині, коліна зігнуті, руки тягнуть ручки тренажера (або еластичну стрічку) до грудей, лікті розведені в сторони. Це сприяє активації ромбоподібних та найширших м'язів спини для стабілізації лопаток.

- Вправа «Поза супермена» - підліток лежить на животі та одночасно піднімає прямі руки і ноги (або протилежну руку й ногу), утримуючи статичну позицію. Вправа спрямована на зміцнення м'яза-випрямляча хребта та багатороздільних м'язів.
- «Вправа сидячи з палицею» - сидячи з випрямленою спиною, підліток утримує гімнастичну палицю за головою або на рівні лопаток, виконуючи осьове подовження хребта та деротаційні рухи для відновлення нейтрального положення тулуба.

3. *Використання біологічного зворотного зв'язку.* Під час виконання вправ для ОГ застосовувався метод біологічного зворотного зв'язку за допомогою електроміографа M-TEST. Це дозволяло пацієнтам у реальному часі візуалізувати активність паравертебральних м'язів, сприяючи свідомому розслабленню перенапружених ділянок на опуклому боці та активації ослаблених м'язів на ввігнутому боці дуги.

4. *Моніторинг та контроль комплаєнсу.* Для забезпечення регулярності тренувань підлітки вели щоденник самоконтролю, у якому фіксували час виконання домашніх вправ та суб'єктивне самопочуття. Батьки щоденно перевіряли записи, а фізичний терапевт здійснював щотижневий контроль. Додатково проводилися відеодзвінки у месенджерах, під час яких підлітки демонстрували техніку виконання вправ, що дозволяло спеціалісту оперативно коригувати помилки та підтримувати мотивацію пацієнта.

Підлітки контрольної групи (КГ) відвідували стандартні уроки фізичної культури, де виконували загальнорозвивальні вправи без цілеспрямованої 3D-корекції та інструментального біофідбеку [1; 6; 20].

Обґрунтування тривалості програми (12 тижнів) базується на даних літератури. Мета-аналіз Zhu et al. (2025) показав, що більшість ефективних РКД за методом Шрот тривали від 6 тижнів до 6 місяців, а в дослідженнях Ko & Kang (2017) та Kuru et al. (2016) достовірні результати були отримані після 10–12 тижнів [22; 33; 34]. Дванадцятитижневий термін є мінімально

достатнім для формування нових нейром'язових зв'язків і закріплення правильного динамічного стереотипу. Вибір частоти занять (3 рази на тиждень) обумовлений принципами адаптації нейром'язової системи: менша частота знижує ефект, тоді як щоденні тренування підвищують ризик перевтоми та зниження мотивації підлітків.

Принципова відмінність програми ОГ від загальноприйнятих підходів полягає у трьох ключових компонентах. По-перше, вправи побудовані за принципом тривимірної автокорекції відповідно до індивідуального типу кривизни, що відповідає методологічним засадам PSSE [23; 37]. По-друге, застосування пЕМГ-біофідбеку перетворює пасивну корекцію на активне моторне навчання: підліток отримує миттєвий зворотний зв'язок щодо симетрії м'язової активності та може свідомо регулювати свою поставу [39]. По-третє, дистанційний моніторинг (відеоконсультації, щоденники) забезпечує дотримання режиму лікування – комплаєнс, який є однією із провідних передумов успіху реабілітації при сколіотичній поставі [22; 35].

#### **2.4. Організація та етапи дослідження**

Наукове дослідження було організоване та проведене у чотири логічно послідовні етапи протягом 2024–2026 рр. Загальна тривалість активної фази експериментального втручання становила 12 тижнів, що відповідає термінам, необхідним для формування стійких адаптаційних змін у опорно-руховому апараті та закріплення нових рухових навичок у підлітків.

*Перший етап* – теоретичний.

*Другий етап (підготовчо-діагностичний)* включав проведення скринінгового обстеження підлітків на базі ДМЛ. Під час цього етапу було відібрано 14 учасників, які відповідали критеріям включення (функціональна асиметрія постави, відсутність структурних змін хребта). Проводилося первинне оцінювання вихідного стану за розробленим протоколом: соматоскопія, вимірювання ромба Машкова, сколіометрія за Буннеллом та тестування статичної м'язової витривалості. Особлива увага приділялася інструментальній діагностиці за допомогою електроміографа M-TEST для

визначення індексу симетрії паравертебральних м'язів у стані спокою та при навантаженні. На цьому ж етапі було отримано письмові згоди батьків та проведено розподіл учасників на основну (ОГ) та контрольну (КГ) групи.

*Третій етап (експериментально-корекційний)* полягав у реалізації розробленої комплексної програми фізичної терапії для підлітків ОГ. Втручання тривало 12 тижнів і передбачало поєднання очних занять із фахівцем (3 рази на тиждень) та щоденних домашніх тренувань. У процесі занять використовувався метод пЕМГ-біофідбеку, що дозволяло пацієнтам ОГ свідомо коригувати м'язовий дисбаланс, орієнтуючись на візуальні сигнали приладу M-TEST. Моніторинг комплаєнсу здійснювався через щоденники самоконтролю та щотижневі відеоконсультації у месенджерах. Підлітки КГ у цей час продовжували відвідувати стандартні уроки фізичної культури без застосування специфічних корекційних методик.

*Четвертий етап (заключно-оцінювальний)* був присвячений повторному комплексному обстеженню всіх учасників після завершення 12-тижневого курсу. Тестування проводилося за тими ж методиками та у тих самих умовах, що і на початку дослідження. Отримані кількісні дані (показники RMS-амплітуди пЕМГ, кути торсії за сколіометром, час статичної витривалості) були систематизовані та піддані математико-статистичній обробці для оцінки вірогідності змін та порівняння ефективності втручань у групах.

**Методи статистичної обробки даних.** З огляду на малий обсяг вибірки ( $n=14$ ), для аналізу результатів застосовувалися непараметричні методи статистики. Перевірка нормальності розподілу здійснювалася за критерієм Шапіро-Віллка. Для порівняння показників усередині груп «до» та «після» втручання використовувався Т-критерій Вілкоксона для залежних вибірок. Міжгрупові відмінності оцінювалися за допомогою U-критерію Манна-Вітні. Аналіз взаємозв'язку між клінічними ознаками асиметрії та ЕМГ-показниками проводився за допомогою коефіцієнта рангової кореляції Спірмена ( $r_s$ ). Статистична значущість результатів приймалася при рівні  $p <$

0,05. Обробка даних виконувалася у програмах Microsoft Excel та IBM SPSS Statistics.

Вибір непараметричних критеріїв для даного дослідження є методологічно виправданим. При малих вибірках ( $n < 30$ ) критерій Шапіро–Вілка є найбільш чутливим для перевірки нормальності. Якщо хоча б для одного показника гіпотеза нормальності відхиляється, використання параметричних критеріїв (t-критерію Стюдента, дисперсійного аналізу) може призводити до хибнопозитивних висновків. Критерій Вілкоксона при залежних вибірках є непараметричним аналогом парного t-тесту і дозволяє виявити значущі зміни в парних спостереженнях навіть при відхиленні від нормальності розподілу. Критерій Манна–Вітні є непараметричним аналогом двовибіркового t-тесту і використовується для порівняння двох незалежних груп. Застосування коефіцієнта рангової кореляції Спірмена ( $r'$ ) є доцільним для оцінки зв'язку між порядковими та неперервними змінними без припущення про лінійність залежності [17; 18].

Практична значущість результатів оцінювалася за величиною ефекту (Effect Size, ES). Для критерію Вілкоксона використовувалася формула  $r = Z / \sqrt{N}$ , де значення  $r = 0,1-0,3$  відповідає малому,  $0,3-0,5$  – середньому,  $> 0,5$  – великому ефекту. Для критерію Манна–Вітні обчислювалася величина  $r = Z / \sqrt{(N_1 + N_2)}$ . Подання результатів у вигляді  $M \pm SD$  із зазначенням рівня значущості  $p$  та величини ES забезпечує відповідність принципам відтворюваності та доказовості наукових досліджень у фізичній терапії [18; 20].

## **Висновки до розділу 2**

Для реалізації мети дослідження сформовано репрезентативну вибірку з 14 підлітків віком 11–15 років із ознаками функціональної асиметрії постави, що є критичним періодом для формування постуральних дефектів.

Розроблено комплексний діагностичний протокол, який інтегрує традиційні клінічні методи (соматоскопія, тест Адамса, сколіометрія, тест на

СМВ) та об'єктивний інструментальний контроль (пЕМГ за допомогою M-TEST), що відповідає сучасним стандартам доказової фізичної терапії.

Обґрунтовано та впроваджено 12-тижневу програму фізичної терапії, яка базується на принципах тривимірної автокорекції, стабілізації м'язів кора та нейром'язового перенавчання з використанням пЕМГ-біофідбеку та дистанційного супроводу.

Організація дослідження у три етапи та застосування непараметричних методів статистичного аналізу забезпечують високу вірогідність отриманих результатів та дозволяють об'єктивно оцінити вплив розробленої програми на корекцію м'язового дисбалансу у підлітків.

## **РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

### **3.1. Аналіз вихідного стану та клініко-функціональних показників підлітків з асиметричною поставою**

Первинне обстеження 14 підлітків (8 дівчат та 6 хлопців, середній вік  $13,2 \pm 1,4$  року) дозволило охарактеризувати біогеометричний профіль їхньої постави та виявити типові ознаки функціональної асиметрії. У 100 % учасників за допомогою соматоскопії було зафіксовано нерівномірність положення надпліч та асиметрію нижніх кутів лопаток, що супроводжувалося порушенням конгруентності трикутників талії.

Результати сколіометрії за Буннеллом показали, що середнє значення кута торсійного обертання тулуба (ATR) у вибірці становило  $3,2 \pm 0,8^\circ$ , що відповідає критеріям асиметричної постави без ознак структурної деформації хребта. При проведенні тесту Адамса спостерігалася формування м'язового валика у 71 % випадків, який зникав під час розвантаження хребта в положенні лежачи, що підтверджує функціональний характер порушень.

Оцінювання статичної м'язової витривалості (СМВ) виявило значне зниження функціональних можливостей постуральної мускулатури. Середній час утримання тулуба в тесті Бірінг-Серенсена становив  $35,4 \pm 7,2$  с, а м'язів черевного преса –  $28,6 \pm 5,4$  с, що є суттєво нижчим за вікові нормативні показники для здорових підлітків. Такі дані свідчать про слабкість глибоких стабілізаторів хребта, що є патогенетичним підґрунтям для прогресування асиметрії тулуба.

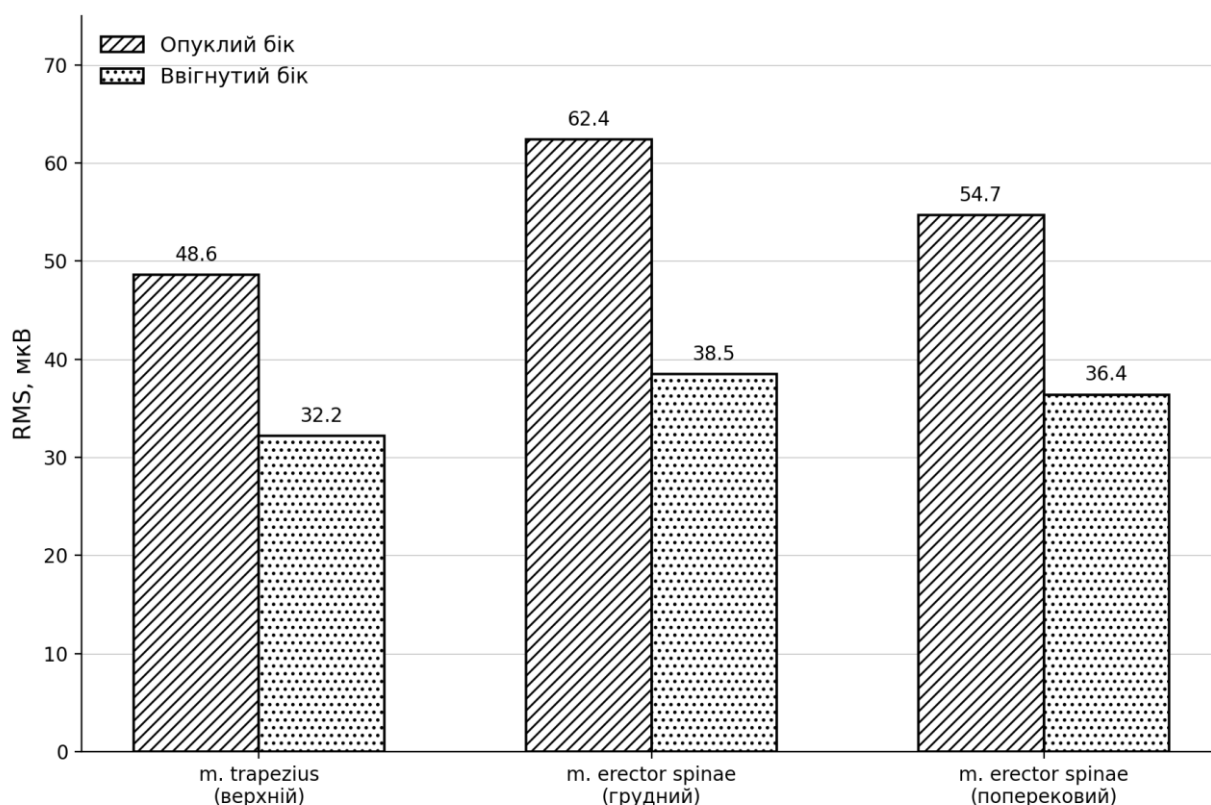
### **3.2. Особливості пЕМГ-активності паравертебральних м'язів підлітків до початку втручання**

Інструментальне дослідження за допомогою електроміографа M-TEST ONE підтвердило наявність вираженого м'язового дисбалансу. У стані спокою (сидячи) спостерігалася достовірна різниця між показниками RMS-амплітуди на опуклому та ввігнутому боках дуги викривлення.

**Таблиця 3.1.**

Вихідні показники пЕМГ-активності паравертебральних м'язів (RMS, мкВ)

М'язова група	Опуклий бік (M ± SD)	Ввігнутий бік (M ± SD)	Індекс симетрії (SI)
m. trapezius (верхній)	48,6±9,4	32,2±6,7	1,51±0,22
m. erector spinae (грудний)	62,4±12,8	38,5±8,4	1,62±0,31
m. erector spinae (поперековий)	54,7±11,2	36,4±7,9	1,50±0,25



**Рис. 3.1.** Вихідні показники пЕМГ-активності паравертебральних м'язів (RMS, мкВ)

Було встановлено, що найбільший рівень асиметрії спостерігається на рівні грудного відділу хребта (SI = 1,62), де активність на опуклому боці була на 62 % вищою порівняно з ввігнутим боком ( $p < 0,01$  за критерієм Вілкоксона). Подібна закономірність, зафіксована і в поперековому відділі

(SI = 1,50), відображає спробу м'язової системи стабілізувати хребетний стовп через гіперактивність м'язів на опуклому боці дуги. Під час виконання функціональної проби «супермен» асиметрія посилювалася, що вказує на нездатність підлітків до симетричного рекрутування рухових одиниць під навантаженням.

Отримані вихідні дані є узгодженими із результатами міжнародних досліджень. Зокрема, Kwok et al. (2015) виявили значущу різницю у RMS-активності між опуклим та ввігнутих боком у ділянці *m. latissimus dorsi* під час звичайного стояння ( $p = 0,043$ ), а у підлітків PUMC тип Ia (одинарна грудна крива) середній SI перевищував 1,8 для деяких м'язових зон [39]. Wang et al. (2025) встановили наявність двох окремих патернів м'язового дисбалансу при AIS: асиметричної активації та асиметричної слабкості – обидва мають різне клінічне значення і потребують диференційованого підходу до ФТ [49]. Fan et al. (2023) показали, що підлітки з початковим SI > 1,5 у поперековому відділі мали вищий ризик прогресування кривизни протягом 12 місяців спостереження [27]. Сукупно ці дані підтверджують, що вихідний рівень пЕМГ-асиметрії у нашій вибірці (SI = 1,50–1,62) є клінічно значущим і потребує цілеспрямованого терапевтичного втручання.

Середнє значення кута торсії ATR ( $3,2^\circ$ ) у нашому дослідженні відповідає порогу, встановленому в протоколі Kwok et al. (2015), де  $ATR \geq 3^\circ$  вважалося раннім маркером сколіотичних змін [39]. Порівняння з нормативними даними показує, що у здорових підлітків цього ж вікового діапазону середній ATR не перевищує  $1-2^\circ$ . Підвищений початковий рівень ATR у поєднанні з пЕМГ-асиметрією свідчить про доклінічну стадію формування структурних змін, що підтверджує важливість раннього виявлення та своєчасного початку програми фізичної терапії ще до розвитку рентгенологічно верифікованого сколіозу [22; 39].

### **3.3. Динаміка клінічних та пЕМГ-показників після завершення програми фізичної терапії**

Після 12-тижневого курсу в основній групі (ОГ, n=7), де застосовувалася програма з тривимірною автокорекцією та пЕМГ-біофідбеком, спостерігалася значуща позитивна динаміка. У контрольній групі (КГ, n=7), що відвідувала стандартні заняття, зміни були мінімальними.

У підлітків ОГ показник ATR за даними сколіометрії знизився з  $3,30 \pm 0,70$  до  $1,50 \pm 0,40$  ( $p < 0,05$ ), тоді як у КГ він залишився на рівні  $3,10 \pm 0,80$ . Соматоскопічне оцінювання виявило відновлення симетрії надпліч та лопаток у 6 з 7 учасників ОГ. Статична витривалість м'язів спини в ОГ зросла на 74 % (з  $34,2 \pm 6,5$  с до  $59,5 \pm 8,2$  с,  $p < 0,05$ ), що значно перевищує результати КГ (приріст 12 %,  $p > 0,05$ ).

Найбільш суттєві зміни зафіксовано в показниках нейром'язового балансу. Застосування M-TEST ONE для біологічного зворотного зв'язку дозволило підліткам ОГ свідомо нормалізувати активність паравертебральних м'язів.

**Таблиця 3.2.**

Динаміка індексу симетрії (SI) паравертебральних м'язів після втручання

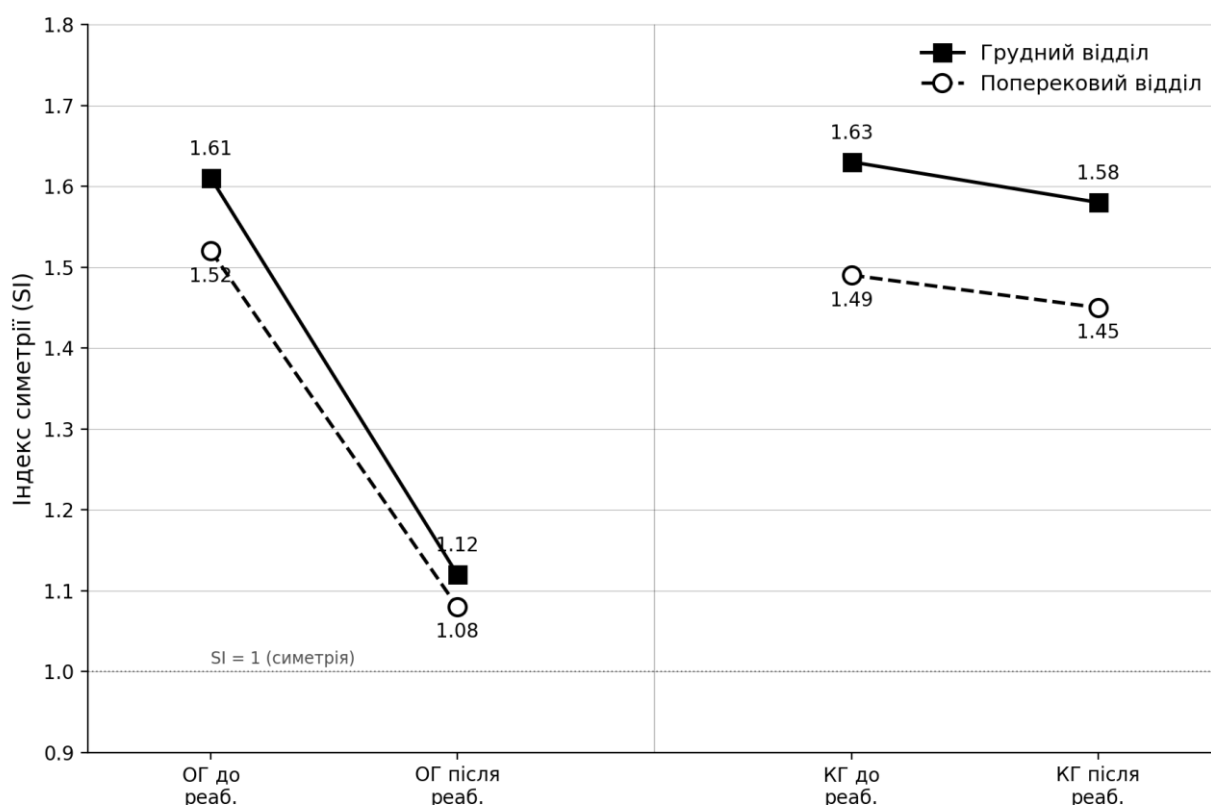
Відділ хребта	ОГ до реаб. (M ± SD)	ОГ після реаб. (M ± SD)	КГ до реаб. (M ± SD)	КГ після реаб. (M ± SD)
Грудний	1,61±0,28	1,12±0,14*	1,63±0,30	1,58±0,25
Поперековий	1,52±0,24	1,08±0,11*	1,49±0,22	1,45±0,19

\* –  $p < 0,05$  порівняно з вихідними даними (критерій Вілкоксона)

Встановлено, що індекс симетрії в ОГ наблизився до одиниці (1,12 та 1,08 відповідно), що свідчить про відновлення функціонального балансу між правим та лівим м'язовими ланцюгами.

Досягнуте значення SI = 1,08–1,12 в ОГ після курсу ФТ є близьким до еталонного показника (SI = 1,0) і перевищує результати, які зафіксували Kwok et al. (2015) після одноразової корекції пози: у їхньому дослідженні в положенні стоячи після виправленої пози в ОГ жодна м'язова зона не мала статистично значущого відхилення від SI = 1,0 [39]. Таким чином, 12-

тижнева систематична програма ФТ з пЕМГ-біофідбеком дозволяє досягти ефекту, аналогічного корекції досвідченим фізіотерапевтом, й закріпити його як стійкий руховий стереотип. Для порівняння: у групі Косман et al. (2021), де застосовувався протокол Шрот тривалістю 10 тижнів, аналогічне покращення  $SMD = -0,89$  для кута Кобба стало одним із найвищих у мета-аналізі Zhu et al. (2025) [22; 34]. Наші результати зниження SI на 0,42–0,54 пункти (~28–33%) є порівнянними з ефектами, досягнутими у провідних міжнародних дослідженнях.



**Рис. 3.2.** Динаміка індексу симетрії (SI) паравертебральних м'язів після втручання

### 3.4. Оцінка якості життя підлітків за специфічним опитувальником SRS-22

Для комплексного оцінювання результатів фізичної терапії на рівнях активності та участі за МКФ було використано опитувальник SRS-22 (Scoliosis Research Society-22), який є валідним інструментом для вивчення

якості життя (ЯЖ) осіб із асиметріями хребта. Опитувальник дозволив оцінити суб'єктивне сприйняття підлітками свого стану за п'ятьма доменами: функція/активність, біль, самосприйняття, психічне здоров'я та задоволеність лікуванням.

Вихідні дані свідчили про знижений рівень ЯЖ в обох групах, особливо в домені «Самосприйняття», що вказує на психологічний дискомфорт підлітків через наявну асиметрію тулуба.

**Таблиця 3.3.**

Динаміка показників якості життя за опитувальником SRS-22 ( $M \pm SD$ )

Домени опитувальника	ОГ до реаб. (n=7)	ОГ після реаб. (n=7)	КГ до реаб. (n=7)	КГ після реаб. (n=7)
Функція / активність	3,4±0,4	4,6±0,3*	3,5±0,5	3,6±0,4
Біль	3,8±0,5	4,7±0,2*	3,7±0,6	3,9±0,5
Самосприйняття	3,1±0,6	4,4±0,4*	3,2±0,5	3,3±0,4
Психічне здоров'я	3,6±0,4	4,3±0,3*	3,5±0,5	3,7±0,4
Задоволеність лікуванням	–	4,8±0,2	–	3,2±0,6
Загальний бал	3,48±0,4	4,56±0,3*	3,47±0,5	3,54±0,4

\* –  $p < 0,05$  порівняно з вихідними даними у групі (критерій Вілкоксона)

В основній групі (ОГ) після завершення програми зафіксовано достовірне покращення за всіма доменами ( $p < 0,05$ ). Найбільш суттєвий приріст продемонстрував домен «Самосприйняття» (з 3,1 до 4,4 бала), що ми пов'язуємо з візуальним вирівнюванням постави та підвищенням впевненості підлітків у собі. Домен «Функція / активність» також значно покращився, що корелює із зростанням статичної витривалості м'язів. Високий бал задоволеності лікуванням (4,8 бала) в ОГ підтверджує доцільність використання пЕМГ-біофідбеку як методу візуалізації успіху реабілітації. У контрольній групі (КГ) зміни показників ЯЖ були статистично незначущими ( $p > 0,05$ ).



самоконтролю. Це відповідає принципам самовизначеної теорії мотивації (Self-Determination Theory): коли пацієнт бачить об'єктивний результат своїх зусиль у реальному часі, внутрішня мотивація до тренувань зростає, що безпосередньо впливає на комплаєнс [35]. Слід зазначити, що у дослідженні Kuru et al. (2015) 6-тижнева програма Шрот також спричинила достовірне покращення ЯЖ за SRS-22 порівняно з контролем ( $p < 0,05$ ), підтверджуючи, що навіть відносно короткі курси специфічних вправ мають клінічно важливий вплив на психологічне благополуччя підлітків [22; 34].

### **3.5. Обговорення результатів дослідження**

Проведене дослідження підтвердило, що асиметрична постава у підлітків супроводжується не лише біомеханічними відхиленнями, а й вираженим нейром'язовим дисбалансом. Вихідна пЕМГ-активність паравертебральних м'язів у стані спокою та при навантаженні продемонструвала значну асиметрію ( $SI = 1,5-1,6$ ), що свідчить про гіперактивність м'язів на опуклому боці дуги. Це узгоджується з теорією «хибного кола» Стокса, де м'язова асиметрія виникає як компенсаторна спроба стабілізувати хребет, проте згодом сама стає фактором прогресування деформації.

Застосування комплексної програми фізичної терапії в ОГ призвело до достовірної нормалізації м'язового тону. Індекс симетрії (SI) після втручання наблизився до одиниці (1,08–1,12), що свідчить про відновлення балансу між м'язами-стабілізаторами. Такий ефект був досягнутий завдяки поєднанню специфічних вправ тривимірної автокорекції (Schroth, Core Stabilization) із технологією пЕМГ-біофідбеку на апараті M-TEST ONE. Візуалізація м'язової активності дозволила підліткам швидше опанувати навичку свідомої корекції пози, що є критичним у період пікового росту, коли пропріоцептивна система є особливо вразливою.

Покращення біогеометричного профілю постави (зменшення ATR з  $3,3^\circ$  до  $1,5^\circ$ ) супроводжувалося значним зростанням статичної м'язової витривалості (на 74%) в ОГ. На відміну від КГ, де використовувалися

загальнорозвивальні вправи, програма ОГ забезпечила формування стійкого рухового стереотипу. Результати опитувальника SRS-22 підтвердили, що фізичні зміни безпосередньо трансформуються у покращення психосоціального стану: зменшення болю та покращення самосприйняття образу тіла.

Таким чином, розроблений алгоритм ФТ, що базується на принципах МКФ та об'єктивному пЕМГ-контролі, довів свою перевагу над стандартними методиками. Отримані дані дозволяють стверджувати, що своєчасна корекція м'язового дисбалансу на функціональній стадії порушень постави є ефективним засобом профілактики структурного сколіозу та покращення загальної якості життя підлітків [22; 37; 39].

Порівняння отриманих нами результатів із даними наукової літератури свідчить про їх відповідність сучасним уявленням про ефективність PSSE при асиметриях тулуба. Наблизивши індекс симетрії до 1,08–1,12, ми підтвердили дані Kwok et al. (2015), які показали, що корекція пози під керівництвом фізичного терапевта достовірно покращує симетрію RMS-активності паравертебральних м'язів у підлітків [39]. Зокрема, у цитованому дослідженні під час рекомендованого положення сидючи у пацієнтів PUMC Ів відношення RMS наблизилося до 1 у ділянках трапецієподібного м'яза, м'яза-випрямляча хребта грудного та поперекового відділів. Нові дані Fan et al. (2023) також підтвердили, що пЕМГ-асиметрія паравертебральних м'язів є предиктором раннього прогресування кривизни при AIS [27].

Покращення показників якості життя за опитувальником SRS-22 у нашому дослідженні (загальний бал зріс з 3,48 до 4,56 в ОГ) узгоджується з результатами мета-аналізу Zhu et al. (2025), де сукупний SMD для якості життя становив +0,67 (95% ДІ [0,33; 1,01];  $p < 0,001$ ) [22]. Домен «Самосприйняття» зріс найбільш суттєво (з 3,1 до 4,4 балів), що корелює із даними Cheung et al. (2023), які показали, що психологічний дискомфорт від порушення постави є важливим аспектом якості життя підлітків, і що фізична корекція прямо впливає на поліпшення образу власного тіла [25].

Суттєвим обмеженням даного дослідження є невеликий обсяг вибірки ( $n=14$ ), що обумовило застосування непараметричних методів статистики та знижує зовнішню валідність результатів. Аналогічне обмеження було характерне і для ряду досліджень, включених у мета-аналіз Zhu et al. (2025): розміри вибірок у них коливалися від 15 до 863 учасників, а загальна кількість по всіх 11 РКД склала лише 446 осіб [22]. Крім того, термін спостереження 12 тижнів є порівняно коротким; перевірку довгострокового ефекту програми доцільно здійснювати через 6–12 місяців. Зазначені обмеження планується усунути у подальших дослідженнях шляхом збільшення вибірки та продовження терміну спостереження.

Важливим практичним висновком є те, що застосування вітчизняного електроміографа M-TEST ONE виявилось ефективним інструментом пЕМГ-діагностики та біофідбеку. Це свідчить про перспективність використання доступних вітчизняних пристроїв у реабілітаційній практиці і може знизити вартість та розширити доступність пЕМГ-контролю у реабілітаційних центрах України. Водночас необхідно стандартизувати протоколи реєстрації (розташування електродів, умови запису) відповідно до рекомендацій SENIAM, щоб забезпечити відтворюваність результатів [39].

## ВИСНОВКИ

1. Теоретичний аналіз підтвердив, що асиметрична постава у підлітковому віці є поширеним функціональним порушенням, яке за відсутності вчасної корекції у період пікового росту трансформується у структурний сколіоз із формуванням реберного горба та торсією хребців. Провідним механізмом прогресування деформацій є «хибне коло» за Стоксом, де первинний м'язовий дисбаланс призводить до асиметричного навантаження на зони росту хребців.
2. Діагностичний комплекс, що поєднує клінічне обстеження (тест Адамса, сколіометрія, вимірювання ромба Машкова) та інструментальний контроль (пЕМГ за допомогою M-TEST ONE), дозволяє об'єктивізувати порушення на рівнях структур і функцій за МКФ. Встановлено, що для підлітків з асиметричною поставою характерним є індекс м'язової симетрії (SI) в межах 1,5–1,6, що вказує на підвищену активність паравертебральних м'язів на опуклому боці дуги.
3. Розроблена 12-тижнева програма фізичної терапії, яка інтегрує принципи тривимірної автокорекції, стабілізації м'язів кора та нейром'язового перенавчання з використанням пЕМГ-біофідбеку, довела свою перевагу над стандартними методиками. Використання приладу M-TEST ONE дозволило підліткам основної групи (ОГ) свідомо нормалізувати активність м'язів-стабілізаторів, що підтверджено наближенням індексу симетрії до одиниці (1,08–1,12).
4. Результати експерименту продемонстрували значуще покращення біогеометричного профілю постави в ОГ: кут торсії (ATR) зменшився з 3,3° до 1,5°, а статична м'язова витривалість зросла на 74%. На відміну від контрольної групи, у підлітків ОГ зафіксовано вірогідне підвищення якості життя за опитувальником SRS-22, особливо в доменах «Самосприйняття» (ріст на 42%) та «Функція / активність», що

свідчить про успішну соціальну адаптацію та покращення образу власного тіла.

5. Аналіз наукових джерел (Zhu et al., 2025; Kwok et al., 2015; Negrini et al., 2018) підтверджує, що розроблений підхід відповідає сучасним міжнародним стандартам SOSORT щодо консервативного лікування асиметрії хребта. Зокрема, мета-аналіз Zhu et al. (2025), що охопив 11 РКД із загальною кількістю 446 учасників, засвідчив, що програми PSSE-Шрот пов'язані зі статистично значущим зменшенням кута Кобба ( $SMD = -0,54$ ) та покращенням якості життя ( $SMD = +0,67$ ), що підтверджує обґрунтованість обраної стратегії ФТ. Дослідження Kwok et al. (2015) задокументувало, що корекція пози під керівництвом фізичного терапевта з використанням пЕМГ призводить до достовірного покращення симетрії м'язової активності – що ми також спостерігали в ОГ.
6. Перспективними напрямками подальших досліджень є: збільшення вибірки, продовження терміну спостереження до 6–12 місяців та вивчення диференційованої ефективності програми залежно від типу кривизни (PUMC Ia, Ib, Ic) та рівня скелетної зрілості за шкалою Ріссера.

## ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Рекомендовано впровадити обов'язкове скринінгове обстеження підлітків віком 11–15 років із використанням сколіометра Буннелла. При виявленні кута ротації (ATR)  $\geq 3^\circ$  доцільно проводити поверхневу електроміографію для виявлення прихованого м'язового дисбалансу ще до появи стійких візуальних змін спини.

Програма корекції має бути мультимодальною і включати:

3D-автокорекцію (осьове подовження та деротаційні вправи, наприклад «Вправа сидячи з палицею»);

Вправи для зміцнення глибоких стабілізаторів хребта ( «5 лежачи», «супермен»);

Дихальну гімнастику для покращення екскурсії грудної клітки.

У процесі фізичної терапії необхідно застосовувати технології біологічного зворотного зв'язку (наприклад, апарат M-TEST ONE). Візуалізація RMS-амплітуди м'язів у реальному часі допомагає підлітку опанувати навичку селективного розслаблення гіперактивних м'язів на опуклому боці та активації ослаблених груп на ввігнутому боці дуги.

Курс ФТ повинен тривати не менше 12 тижнів із частотою занять 3 рази на тиждень. Обов'язковим є щоденне виконання домашнього комплексу вправ (20–30 хв). Для підтримки високого рівня комплаєнсу (дотримання режиму) рекомендовано використовувати щоденники самоконтролю та відеоконсультації у месенджерах.

Фізичним терапевтам варто проводити роз'яснювальну роботу з батьками щодо організації робочого місця школяра: висота стільця має забезпечувати кут  $90^\circ$  у колінних суглобах, а монітор гаджета має знаходитися на рівні очей для запобігання формування «текстової шії».

При складанні індивідуального плану реабілітації слід орієнтуватися не лише на кутові показники хребта, а й на домени активності та участі, використовуючи опитувальник SRS-22 для моніторингу психоемоційного стану підлітка.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Форма інформованої згоди батьків (опікунів) та підлітка на участь у дослідженні

Я, \_\_\_\_\_,  
(ПІБ батька/матері або законного представника), даю згоду на участь моєї дитини \_\_\_\_\_, (ПІБ дитини), віком \_\_\_\_\_ років, у науковому дослідженні на тему: «Фізична терапія та оцінювання м'язового дисбалансу за допомогою поверхневої електроміографії при асиметричній поставі у підлітків».

Мені роз'яснено, що:

- Метою дослідження є оцінка ефективності програми фізичної терапії із застосуванням пЕМГ-біофідбеку та специфічних вправ.
- Дослідження включає клінічне обстеження (соматоскопія, сколіометрія, тести на витривалість) та інструментальний контроль на апараті M-TEST ONE.
- Програма втручання триватиме 12 тижнів і включатиме фізичні вправи під контролем терапевта та домашні завдання.
- Участь у дослідженні є цілком добровільною, а всі отримані персональні дані будуть анонімізовані.
- Я маю право відкликати згоду на будь-якому етапі без пояснення причин.

Підпис законного представника: \_\_\_\_\_ Дата: «\_\_» \_\_\_\_\_ 202 р.

Згода дитини: Я згоден(на) брати участь у заняттях та обстеженнях.

Підпис підлітка: \_\_\_\_\_

## Додаток Б

### Комплекс специфічних вправ програми фізичної терапії при асиметричній поставі

№	Назва вправи	Техніка виконання та методичні вказівки	Дозування
1	Аутоелонгація (осьове подовження)	Положення стоячи. Максимальне витягування верхівкою голови догори за збереження нейтрального положення таза.	5–7 хв
2	«5 лежачи» (за Бубновським)	Лежачи на спині, ноги зігнуті. Тяга ручок тренажера або еластичної стрічки до грудей, лікті в сторони. Активація ромбоподібних м'язів.	15–20 повт.
3	«Поза супермена»	Лежачи на животі, руки вперед. Одночасне піднімання рук та ніг з утриманням пози. Контроль за симетрією м'язів-випрямлячів.	3–5 підх. по 20–30 с
4	«Вправа сидячи з палицею»	Сидячи на стільці/фитболі. Гімнастична палиця на рівні лопаток. Виконання деротаційного руху тулуба в бік, протилежний викривленню.	10–12 повт.
5	Стабілізація на балансувальній платформі	Утримання корегованої постави в положенні стоячи на балансувальній платформі з одночасним виконанням когнітивного завдання.	3–5 хв

Методи моніторингу:

- щоденна фіксація у Щоденнику самоконтролю
- щотижневі відеозвіти через месенджери (Viber/Telegram).

## Додаток В

### Індивідуальна картка реєстрації результатів обстеження

ПІБ учасника: \_\_\_\_\_ Група: ОГ / КГ

Параметр обстеження	До втручання	Після втручання (12 тижнів)	Динаміка (+/-)
Соматоскопія (симетрія лопаток, надпліч), бали			
Ромб Машкова (різниця відрізків), см			
Сколиометрія (ATR) за Буннеллом, град			
СМВ м'язів спини (тест Бірінг-Серенсена), с			
пЕМГ: Індекс симетрії (SI) (Опуклий/Ввігнутий)			
Якість життя (SRS-22), загальний бал			

#### ***Висновок фізичного терапевта за доменами МКФ:***

- Структури та функції (s760, b710-b799): \_\_\_\_\_
- Активність та участь (d415, d820): \_\_\_\_\_

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абалмасова Т., Коритко З., Майструк М. Сучасні методи фізичної терапії при сколіотичній поставі у підлітків: перспективи сенсомоторного підходу. *Physical Culture and Sport: Scientific Perspective*. 2025. № 2 (1). С. 384–392.
2. Альошина А. І. Профілактика й корекція порушень опорно-рухового апарату в дошкільнят, школярів та студентської молоді у процесі фізичного виховання : монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2015. 368 с.
3. Безверхня О. О. Теорія і методика фізичної терапії. Харків : ХНУ, 2020.
4. Давибіда Н. О., Кулик Т. Я. Профілактика та корекція порушень постави різними методами фізичної реабілітації. *Медсестринство*. 2020. № 1. С. 61–64.
5. Зоріна В. М. Фізична терапія порушення постави у дітей шкільного віку : кваліфікаційна робота магістра : спец. 227 «Терапія та реабілітація» / Дніпровський державний медичний університет. Дніпро, 2025. 84 с.
6. Камінський О. І. Комплексна фізична терапія при порушеннях постави у підлітків: сучасні підходи. *Фізична реабілітація та рекреація*. 2020. № 2. С. 58–63.
7. Ковальчук А. А. Основи фізичної реабілітації. Київ : Здоров'я, 2019.
8. Козіна Ж. Л., Кузьмін В. О. Застосування корекційних вправ у фізичній реабілітації дітей з порушеннями постави. *Молода спортивна наука України*. 2021. Т. 25, № 5. С. 38–45.
9. Корекція порушень опорно-рухового апарату дітей молодшого шкільного віку засобами фізичної терапії : кваліфікаційна робота магістра. Вінниця : Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, 2018.

10. Коцур Н. І., Товкун Л. П., Гомонай І. В. Оцінка ефективності фізичної реабілітації при порушеннях постави в учнів підліткового віку. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 15 : Науково-педагогічні проблеми фізичної культури. 2024. Вип. 1 (173). С. 111–122.
11. Круцевич Т. Ю. Педагогіка здоров'я : навч. посіб. Київ : Олімпійська література, 2015.
12. Ладиженський О. В. Прилад для електроміографії. Погляд у майбутнє приладобудування : матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів (Київ, 15–16 травня 2018 р.). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 425–427.
13. Ловейко І. Д. Фізичне виховання школярів. Тернопіль : Мандрівець, 2008. 256 с.
14. Наконечна С. П., Баскевич О. В. Вплив засобів фізичної терапії на якість ходьби та показники електроміографії у студентів 17–19 років з плоскостопістю і порушеннями постави. Спортивна медицина і фізична реабілітація. 2019. № 2. С. 102–109.
15. Сапін М. Р., Беляєв Д. К. Анатомія людини. У 2 т. Т. 1 : Опорно-руховий апарат. Київ : Медицина, 2015. 496 с.
16. Таратухіна Л. М. Комплексна фізична терапія при порушеннях постави. Фізична реабілітація та рекреаційно-оздоровчі технології. 2019. № 1. С. 53–61.
17. Тиндик Ю. О. Методика Бубновського в комплексі заходів фізичної терапії дітей середнього шкільного віку зі сколіотичною поставою : кваліфікаційна робота магістра : спец. 227 «Фізична терапія, ерготерапія» / Національний університет фізичного виховання і спорту України. Київ, 2023. 81 с.
18. Ткач О. Ф., Коноплицький В. С., Коробко Ю. Є. Порушення постави в дітей. Сучасні погляди на класифікацію, діагностування, лікування та реабілітацію. Paediatric Surgery (Ukraine). 2024. № 4 (85). С. 111–122.

19. Філак Я. Ф., Філак Ф. Г. Фізична терапія дітей шкільного віку з порушенням постави у поєднанні з захворюванням на гастрит. Україна. Здоров'я нації. 2019. № 3 (56). С. 92–95.
20. Червінська Л. В., Ковальчук О. С. Методика Шрот як засіб корекції сколіотичної постави в підлітковому віці. Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я в сучасному суспільстві. 2019. № 3. С. 122–127.
21. Яворський Д., Коритко З. І. Особливості фізичної терапії при сколіозах. Український журнал лабораторної медицини. 2024. Т. 2, № 2. С. 18–24.
22. Asher, M. A., & Burton, D. C. (2006). Adolescent idiopathic scoliosis: Natural history and long term treatment effects. *Scoliosis*, 1(2), 1–10.
23. Berdishevsky, H., Lebel, V., Bettany-Saltikov, J., Rigo, M., Lebel, A., Hennes, A., & Romano, M. (2016). Physiotherapy scoliosis-specific exercises – A comprehensive review of seven major schools. *Scoliosis and Spinal Disorders*, 11(1), 1–52.
24. Burger, M., Coetzee, W., du Plessis, L. Z., Geldenhuys, L., Joubert, F., Myburgh, E., van Rooyen, C., & Vermeulen, N. (2019). The effectiveness of Schroth exercises in adolescents with idiopathic scoliosis: A systematic review and meta-analysis. *South African Journal of Physiotherapy*, 75(1), Article 904.
25. Catan, L., Cerbu, S., Amaricai, E., Suci, O., Horhat, D. I., Popoiu, C. M., & Boia, E. (2020). Assessment of static plantar pressure, stabilometry, vitamin D and bone mineral density in female adolescents with moderate idiopathic scoliosis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6), 2167.
26. Cheung, M.-C., Law, D., Yip, J., Fok, L. H., & Cheung, J. P. Y. (2023). Psychological experiences of early adolescents with idiopathic scoliosis: A qualitative study. *Digital Health*, 9, 1–11.
27. Dimitrijević, V., Šćepanović, T., Jevtić, N., Rašković, B., Milankov, V., & Drid, P. (2022). Application of the Schroth method in the treatment of

idiopathic scoliosis: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16730.

28. Fan, Y., To, M. K., Yeung, E. H. K., Kuang, G. M., Liang, R., & Cheung, J. P. Y. (2023). Electromyographic discrepancy in paravertebral muscle activity predicts early curve progression of untreated adolescent idiopathic scoliosis. *Asian Spine Journal*, 17(5), 922–932.

29. Fitratilla, F., Wahyuni, & Hidayati, A. (2022). Pengaruh Schroth Exercise Terhadap Peningkatan Fungsional pada Anak Penderita Skoliosis: Studi Kasus. *Jurnal Kesehatan Dan Fisioterapi (Jurnal KeFis)*, 2(3).

30. Grivas, T. B., & Dantas, S. (2019). The natural history of idiopathic scoliosis. *Scoliosis and Spinal Disorders*, 14, 1–9.

31. He, Y., Meng, L., Dong, H., Lei, M., Liu, J., Xie, H., & Yang, Q. (2024). Electrophysiological and histological changes of paraspinal muscles in adolescent idiopathic scoliosis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25, 263.

32. Khaledi, A., Minoonejad, H., Daneshmandi, H., Akoochakian, M., & Gheitasi, M. (2024). Is core stability exercise effective in correcting idiopathic scoliosis in adolescents? A systematic review. *Iran Journal of Public Health*, 53(1), 81–92.

33. Kim, D. S., Park, S. H., Goh, T. S., Son, S. M., & Lee, J. S. (2020). A meta-analysis of gait in adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of Clinical Neuroscience*, 81, 196–200.

34. Ko, K. J., & Kang, S. J. (2017). Effects of 12-week core stabilization exercise on Cobb angle and lumbar muscle strength in adolescents with idiopathic scoliosis. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(2), 244–249.

35. Kuru, T., Yeldan, İ., Dereli, E., Özdiñçler, A. R., Dikici, F., & Çolak, İ. (2016). The efficacy of three-dimensional Schroth exercises in adolescent idiopathic scoliosis: A randomised controlled clinical trial. *Clinical Rehabilitation*, 30(2), 181–190.

36. Kuu, S., Pedak, K., & Port, K. (2019). The relationship between postural components and muscle strength balance among 9 to 14-year old children. *Archives of Sports Medicine and Physiotherapy*, 4(1), 10–15.
37. Kwok, G., Yip, J., Cheung, M.-C., & Yick, K. L. (2015). Evaluation of myoelectric activity of paraspinal muscles in adolescents with idiopathic scoliosis during habitual standing and sitting. *BioMed Research International*, 2015, Article 958450.
38. Moubarak, E. E. S., Aly, S. M., Seyam, M. K., El-Hakim, A. M., Abdulrahman, R. S., & Awad, A. (2022). Efficacy of core stabilization versus active self-correction exercises in the treatment of adolescents with idiopathic scoliosis. *Current Pediatric Research*, 26(5), 1371–1380.
39. Negrini, S., Donzelli, S., Aulisa, A. G., Czaprowski, D., Schreiber, S., de Mauroy, J. C., & Zaina, F. (2018). 2016 SOSORT guidelines: Orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis and Spinal Disorders*, 13, 3.
40. Park, Y., Ko, J. Y., Jang, J. Y., Lee, S., Beom, J., & Ryu, J. S. (2021). Asymmetrical activation and asymmetrical weakness as two different mechanisms of adolescent idiopathic scoliosis. *Scientific Reports*, 11, 17582.
41. Piele, D., Ilie, E., Rusu, L., & Marin, M. I. (2023). Relevance of surface electromyography assessment and sleep impairment in scoliosis: A pilot study. *Applied Sciences*, 13(19), 11108.
42. Schreiber, S., Parent, E. C., Khodayari Moez, E., Hedden, D. M., Hill, D. L., Moreau, M., & Southon, S. C. (2016). Schroth physiotherapeutic scoliosis-specific exercises added to the standard of care lead to better Cobb angle outcomes in adolescents with idiopathic scoliosis – an assessor and statistician blinded randomized controlled trial. *PLOS ONE*, 11(12), e0168746.
43. Shib, A. (2020). Fiber type-specific morphological and cellular changes of paraspinal muscles in patients with severe adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of Spine and Neurobiology*, 1(1), 1–7.

44. Stokes, I. A. F. (2007). Analysis and simulation of progressive adolescent scoliosis by biomechanical growth modulation. *European Spine Journal*, 16(10), 1621–1628.
45. Sun, C., Kamel, M., & Park, D. K. (2023). Short-term benefit from core stabilization exercises in adolescent idiopathic scoliosis: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Health & Social Care in the Community*, 2023, Article 5014254.
46. Twarowska-Grybalow, N., & Truszczyńska-Baszak, A. (2023). Evaluation of size of trunk asymmetry in children practicing selected sports disciplines. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 4855.
47. Wakode, P., & Raizada, S. (2026). Long-term sustainability of posture correction. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 20(6), YE12–YE15.
48. Wang, Y., Wang, S., Xie, J., Geng, M., Hu, X., & Xu, L. (2025). Asymmetrical activation and weakness of paraspinal muscles in adolescent idiopathic scoliosis during corrective exercises. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 26, 167.
49. Zhu, Y., Zhu, C., Song, H., & Zhang, M. (2025). Effectiveness of Schroth exercises for adolescent idiopathic scoliosis: a meta-analysis. *PeerJ*, 13, e19639. DOI 10.7717/peerj.19639.
50. Kwok, G., Yip, J., Cheung, M.-C., & Yick, K.-L. (2015). Evaluation of myoelectric activity of paraspinal muscles in adolescents with idiopathic scoliosis during habitual standing and sitting. *BioMed Research International*, 2015, Article 958450. DOI 10.1155/2015/958450.