

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

(повне найменування вищого навчального закладу)

факультет фізичного виховання і спорту

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

кафедра медико-біологічних основ спорту та
фізкультурно-спортивної реабілітації

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри медико-біологічних
основ спорту та фізкультурно-спортивної
реабілітації

С.В. Гетманцев

“ _____ ” _____ 2025 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему:

**ФІЗКУЛЬТУРНО-СПОРТИВНА РЕАБІЛІТАЦІЯ ПРИ
ВІДНОВЛЕННІ ПЛЕЧОВОГО СУГЛОБА У
ВОЛЕЙБОЛІСТІВ ПІСЛЯ СПОРТИВНИХ ТРАВМ**

Керівник: доцент кафедри медико-біологічних основ
спорту та фізкультурно-спортивної
реабілітації

Тіхоміров Анатолій Іванович

(вчене звання, науковий ступінь, П.І.Б.)

Рецензент: завідувач кафедри медико-біологічних
основ спорту та фізкультурно-спортивної
реабілітації

к.біол. н., доцент

Гетманцев Сергій Васильович

(посада, вчене звання, науковий ступінь, П.І.Б.)

Виконав: студент VI курсу групи 687 М

Кулик Катерина Іванівна

(П.І.Б.)

Спеціальності: 017 Фізична культура і спорт

(шифр і назва спеціальності)

ОПІ: Фізкультурно-спортивна реабілітація

Миколаїв – 2025 рік

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення	факультет фізичного виховання і спорту
Кафедра, циклова комісія	кафедра медико-біологічних основ спорту та фізкультурно-спортивної реабілітації
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	017 Фізична культура і спорт
ОПП	Фізкультурно-спортивна реабілітація

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри медико-біологічних основ спорту та фізкультурно-спортивної реабілітації

С.В. Гетманцев

“ ” 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Кулик Катерині Іванівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи): Фізкультурно-спортивна реабілітація при відновленні плечового суглоба у волейболістів після спортивних травм

керівник роботи: Тіхоміров Анатолій Іванович, доцент кафедри медико-біологічних основ спорту та фізкультурно-спортивної реабілітації

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
« 24 » червня 2025 року № 170.

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) «14 листопада 2025 року

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: вступ, основна частина, висновок, список використаних джерел та літератури, додатки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) згідно з планом кваліфікаційної роботи магістра.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) планується / не планується.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Тіхоміров А. І.		
Розділ 1	Тіхоміров А. І.		
Розділ 2	Тіхоміров А. І.		
Розділ 3	Тіхоміров А. І.		
Висновки	Тіхоміров А. І.		

7. Дата видачі завдання 2.09.2025**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Вступ до кваліфікаційної роботи	вересень 2025	
2.	Розділ 1. Теоретичні засади та медико-біологічні передумови травм плечового суглоба у волейболі	вересень 2025	
3.	Розділ 2. Матеріали, методи та організація досліджень	вересень 2025	
4.	Розділ 3. Обґрунтування використання сучасних засобів у комплексній фізкультурно-спортивній реабілітації осіб з травмами плечового суглоба	жовтень 2025	
5.	Висновки	жовтень 2025	
6.	Переддипломна практика	22.09 – 10.10. 2025	
7.	Оформлення списку використаних джерел та літератури, додатків	жовтень 2025	
8.	Попередній захист	24.11.2025	
9.	Рецензія на дипломну роботу	28.11.2025	
10.	Захист дипломної роботи	8.12 2025	

Студент

_____ (підпис)

Кулик К.І.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

Тіхоміров А. І.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кулик К.І. «Фізкультурно-спортивна реабілітація при відновленні плечового суглоба у волейболістів після спортивних травм» // Кваліфікаційна робота магістра / спеціальність 017 «Фізична культура і спорт». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 2025. – 84 с.

В роботі досліджено ефективність застосування сучасних засобів фізкультурно-спортивної реабілітації у відновленні функціонального стану плечового суглоба у спортсменів-волейболістів. Обґрунтовано анатомо-біомеханічну вразливість плечового комплексу за умов повторюваних ударних навантажень у волейболі. Встановлено провідні патогенетичні механізми нестабільності плеча, зокрема формування синдрому імпінджменту, GIRD та SLAP-ушкоджень. У межах емпіричного дослідження впроваджено функціональну програму відновлення з використанням цифрового біофідбеку, відеоаналізу руху, тестів MAST та CKQUEST. Встановлено достовірне покращення стабілізаційних і симетричних показників плечового поясу: збільшення тривалості ізометричного утримання руки на 51,6%, зменшення мікроколивань більш ніж удвічі, покращення симетрії рухів до співвідношення 49:51, а також скорочення часу реакції плеча на зміну навантаження з 0,54 до 0,31 с.

Результати можуть бути використані у практиці спортивної медицини, реабілітології та тренувального процесу для профілактики рецидивів і збереження технічної цілісності рухів у видах спорту з високим навантаженням на плечовий пояс.

***Ключові слова:** волейбол, спортивна реабілітація, плечовий суглоб, біофідбек, відеоаналіз, MAST, CKQUEST, стабілізація.*

ABSTRACT

Kulyk K.I «Physical education and sports rehabilitation for shoulder joint recovery in volleyball players after sports injuries» // Master's thesis / specialty 017 "Physical Culture and Sports." – Petro Mohyla Black Sea National University, 2025. – 84 p.

The work examines the effectiveness of modern physical and sports rehabilitation methods in restoring the functional state of the shoulder joint in volleyball players. The anatomical and biomechanical vulnerability of the shoulder complex under conditions of repeated impact loads in volleyball is substantiated. The leading pathogenetic mechanisms of shoulder instability, in particular the formation of impingement syndrome, GIRD, and SLAP lesions, are established. Within the

framework of the empirical study, a functional rehabilitation program was implemented using digital biofeedback, video analysis of movement, MAST and CKCUEST tests. A significant improvement in the stabilization and symmetry indicators of the shoulder girdle was established: an increase in the duration of isometric arm holding by 51.6%, a reduction in micro-oscillations by more than half, an improvement in movement symmetry to a ratio of 49:51, and a reduction in the shoulder's reaction time to load changes from 0.54 to 0.31 seconds.

The results can be used in sports medicine, rehabilitation, and training to prevent relapses and maintain technical integrity of movements in sports with high load on the shoulder girdle.

Keywords: *volleyball, sports rehabilitation, shoulder joint, biofeedback, video analysis, MAST, CKCUEST, stabilization.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТРАВМ ПЛЕЧОВОГО СУГЛОБА У ВОЛЕЙБОЛІ	10
1.1. Анатомо-фізіологічні особливості плечового суглоба: уразливість і функціональна роль у грі волейболіста	10
1.2. Етіологія та патогенез найбільш поширених ушкоджень плечового суглоба у спортсменів-волейболістів	199
Висновки до розділу 1	299
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
2.1. Методи дослідження	30
2.2. Організація дослідження.....	344
Висновки до розділу 2.....	399
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ У КОМПЛЕКСНІЙ ФІЗКУЛЬТУРНО-СПОРТИВНІЙ РЕАБІЛІТАЦІЇ ОСІБ З ТРАВМАМИ ПЛЕЧОВОГО СУГЛОБА	40
3.1. Результати аналізу застосування фізкультурно-спортивних методик реабілітації плечового суглоба	40
3.2. Використання сучасних технологій у поєднанні з традиційними засобами фізичного відновлення.....	488
3.2.1. Застосування цифрових систем біофідбеку та відеоаналізу техніки руху верхніх кінцівок.....	488
3.2.2. Порівняльні показники спортсменів, які проходили програму реабілітації з індивідуальним моніторингом	544
3.3. Обґрунтування ефективності комплексної програми фізкультурно- спортивної реабілітації для волейболістів з травмами плеча	60
3.4. Обговорення результатів дослідження.....	655
Висновки до розділу 3.....	722
ВИСНОВКИ	733
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	766
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	788

ВСТУП

Актуальність дослідження. Значне поширення волейболу як професійного виду спорту супроводжується зростанням фізичних навантажень на опорно-руховий апарат спортсмена, зокрема - на плечовий суглоб, що виконує ключові функції в атаках, подачах і блоках. Через постійні ротаційні та осьові навантаження плечовий суглоб є одним з найуразливіших сегментів, схильних до хронічних перевантажень, мікротравм і повторних ушкоджень. Наслідки таких травм часто мають пролонгований характер, що потребує не лише лікування, а й повноцінного процесу реабілітації, орієнтованої на функціональне відновлення і повернення до змагальної діяльності без ризику рецидивів.

В цьому контексті фізкультурно-спортивна реабілітація перестає бути лише допоміжним етапом і набуває статусу інтегрального компонента тренувального процесу. Поява сучасних методик, таких як кінезіотейпування, біологічний зворотний зв'язок, нейром'язова стимуляція й телереабілітація відкриває нові можливості для індивідуалізації підходів і підвищення ефективності відновлення. Разом з цим, реабілітаційні програми потребують адаптації до специфіки спортивної діяльності волейболістів і клінічної картини ушкоджень. Нагальною є потреба в створенні структурованої системи науково обґрунтованої реабілітації з чіткими алгоритмами, поетапною побудовою й використанням доказових методик. Саме на стику спортивної медицини, біомеханіки, фізіотерапії й педагогіки фізичної культури формується цілісне бачення процесу відновлення після травм плечового суглоба у волейболістів, що й обумовлює наукову актуальність цього дослідження.

Теоретичне підґрунтя. Комплексне осмислення процесу реабілітації плечового суглоба у волейболістів ґрунтується на багатьох міждисциплінарних джерелах. Анатомо-фізіологічну основу закладено в роботах Вілмора Дж.Х., Костіла Д.Л. та Голки Г.Г., де охарактеризовано біомеханіку суглоба й чинники його уразливості в умовах спортивної активності. У контексті травматології й ортопедії дослідження Зазірного І.М. і Дусмуратова М.Д. деталізують патогенез

характерних ушкоджень, зокрема розривів ротаторної манжети, вивихів і хронічної нестабільності.

У працях Биби Л.М. і Ячнюка І.О. визначено принципи побудови ефективних реабілітаційних заходів, а Верблюдов І. та Босенко А.І. пропонують моделі тестування функціонального стану. Підходи до побудови поетапних програм з використанням кінезіології, фізіотерапії й мануальних технік детально висвітлено у працях Борецької Н.О. й Випасняка І.П. Сучасні технології, зокрема біофідбек, телереабілітація, VR-середовище й цифровий моніторинг, розглянуто в наукових публікаціях Іванової М.М. і Коваленка С.О. Проте, існуючі дослідження переважно висвітлюють окремі етапи чи підходи й не формують системного бачення реабілітації саме у специфіці гри волейболіста. Саме тому інтеграція цих знань у рамках фізкультурно-спортивної парадигми та адаптація їх до конкретних вимог відновлення плечового суглоба після травм у волейболістів є предметом подальшого дослідницького пошуку.

Мета дослідження. Обґрунтувати зміст, структуру й ефективність фізкультурно-спортивної реабілітації після травм плечового суглоба у волейболістів на основі сучасних наукових підходів.

Завдання дослідження:

- розкрити анатомо-фізіологічні особливості плечового суглоба, його функціональну специфіку у волейболі;
- проаналізувати етіологію та патогенез типових ушкоджень плечового суглоба у спортсменів-волейболістів;
- обґрунтувати принципи, завдання та етапність фізкультурно-спортивної реабілітації після травм плечового суглоба;
- охарактеризувати зміст фізичних і фізіотерапевтичних засобів на різних етапах відновлення;
- вивчити сучасні технології та інноваційні методи фізичної реабілітації після ушкоджень плеча;
- визначити ефективність цифрових і дистанційних інструментів у реабілітації волейболістів.

Об'єктом дослідження є процес фізкультурно-спортивної реабілітації після ушкоджень плечового суглоба у волейболістів.

Предметом дослідження є методи, етапи й інноваційні засоби реабілітації плечового суглоба, адаптовані до специфіки гри у волейбол.

Методи дослідження. У дослідженні використано функціональний аналіз із залученням біомеханічного підходу до оцінки рухової активності суглоба; метод клініко-фізіологічного спостереження - для відстеження динаміки травм і впливу реабілітаційних заходів; експериментальний метод - у розробці програми й оцінці її ефективності; статистичні методи - для обробки результатів контрольного тестування. Застосовано також контент-аналіз протоколів лікування, аналіз структурно-функціонального стану м'язово-зв'язкового апарату за допомогою інструментальних методів (електроміографія, ROM-тестування) та соціологічне опитування спортсменів і тренерів. Методологічною базою стало поєднання системного підходу до побудови програми та доказової медицини у виборі інструментів впливу.

Структура роботи. Робота складається з трьох розділів, висновків і списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТРАВМ ПЛЕЧОВОГО СУГЛОБА У ВОЛЕЙБОЛІ

1.1. Анатомо-фізіологічні особливості плечового суглоба: уразливість і функціональна роль у грі волейболіста

Плечовий суглоб волейболіста функціонує в унікальному біомеханічному режимі, де навантаження поєднує потужні ротаційні імпульси, максимальну швидкість виведення кінцівки в просторі та постійне повторення рухів у граничних амплітудах. Його анатомічна побудова - класичне сферичне зчленування, що забезпечує тривісну рухливість, обумовлену конфігурацією головки плечової кістки та майже пласкої суглобової западини лопатки [16, с. 6].

Проте така форма має недостатню площу контакту між поверхнями, а отже - і нестабільність, яка компенсується через капсульно-зв'язковий апарат, сухожилки обертальної манжети, довгу головку двоголового м'яза плеча та м'язово-фасціальне укріплення, що створює активну динамічну стабілізацію. У волейболі моментальна перебудова положення плеча при передачі, подачі, блоці чи атакувальному ударі супроводжується багаторазовими, різко зміненими за вектором зусиллями. Така повторюваність, що наближається до сотень циклів протягом тренування, провокує перевантаження не стільки самих суглобових поверхонь, скільки глибоких стабілізаторів - особливо надостьового м'яза, який у фазі підйому руки в положенні згинання під кутом 90 градусів перебуває в положенні максимальної натягнутості. Якщо ці м'язи не встигають забезпечити потрібне централізування головки плечової кістки, виникає мікросковзання, що з часом переростає у субклінічну нестабільність. Цей стан майже непомітний у спокої, але проявляється у фазі кидкових дій, провокуючи асиметричні розтягнення сумки, роздратування синовіальної оболонки й дегенерацію капсули. Саме тому навіть у спортсменів без травм у минулому часто діагностують болі у передній проекції плеча або феномен імпінджменту, коли натягнене сухожилля надостьового м'яза затискається між акроміоном і головкою плеча під час підйому руки.

Функціональна універсальність плечового суглоба у волейболі визначається не тільки його широким діапазоном рухів, але й характером швидкісно-силових навантажень. При ударній техніці, зокрема під час подачі або атакуючого удару, виникає момент пікового навантаження на задні структури суглоба - зокрема, задньонижній сегмент капсули, малий круглий м'яз, задню порцію дельтоподібного м'яза. Проте у фазі замаху, коли плече знаходиться у положенні горизонтальної абдукції й зовнішньої ротації, напруження концентрується на передньому сегменті капсули. Усе це формує так звану функціональну уразливість плеча волейболіста - ситуацію, коли жодна зі структур не пошкоджена анатомічно, але внаслідок нерівномірного розподілу навантаження мікротравматизація накопичується у вигляді хронічного запалення, фіброзу або пролабування м'яких тканин у суглобову порожнину. Особливо виразною ця деструкція стає при відсутності адекватної компенсації через м'язову рівновагу. Порушення співвідношення тонуусу між внутрішніми й зовнішніми ротаторами плеча, які беруть участь у стабілізації під час ротаційних фаз удару, веде до асиметричної тягнучої дії на капсулу, що викликає поступову дегенерацію її волокон. Якщо додати до цього фізіологічне «вікно вразливості» в підлітковому віці, коли плечова западина ще не сформована остаточно, а зв'язковий апарат не здатен повноцінно стримувати латеральні вектори сили, ризик розвитку первинного переднього зсуву або мікропідвивиху значно зростає. Такі стани часто не супроводжуються явною клінікою, проте проявляються погіршенням точності удару, втратою сили при замаскованому болю та порушенням біомеханічної симетрії рухів [24, с. 99].

При глибшому аналізі стає очевидно, що анатомічна свобода плечового суглоба, яка дозволяє виконувати надточні атаки з будь-якого кута, має зворотній бік - високу енергетичну вартість стабілізації. М'язи обертальної манжети, передусім надостьовий, підостьовий, малий круглий та підлопатковий, працюють у так званому режимі ексцентричного контролю: вони не просто створюють рух, а сповільнюють його в термінальній фазі, запобігаючи перевантаженню зв'язкового апарату. У волейболі цей тип контролю особливо

активізується в момент після удару коли рука різко гальмується у фазі супінації і згинання. Якщо ж сила цього гальмування недостатня, на капсулу діє інерційне розтягнення, що провокує мікротравми, а в подальшому реактивний набряк, який знижує еластичність структури. Цей механізм особливо актуальний при грі на твердому покритті, де кожне зниження центру маси супроводжується компенсаторним зусиллям з боку плечового пояса. У сукупності це спричиняє хронічне перевантаження субакроміального простору та розвиток синдромів тертя, які при ігноруванні переходять у стадії фіброзного ущільнення або навіть часткових розривів сухожиль. У багатьох гравців у позиції догравальника, де удари здійснюються з великого підйому, така патологія маніфестує поступово: спочатку зниження сили, далі - нестійкість руки в польоті, згодом - видимі зміни у кінематиці напівдуги. Це не лише функціональна втрата, а й потенційний чинник вторинної травматизації, коли захисні механізми починають діяти асиметрично [8, с. 20].

Форма зчленування, характерна для плечового суглоба, унікальна серед усіх великих суглобів тіла. Його западина, гленоїдна порожнина має порівняно невелику глибину, що не здатна охопити головку плечової кістки повноцінно, тож стабілізація забезпечується через лабрум, фіброзно-хрящовий край, який ущільнює контактні поверхні. При повторному ротаційному навантаженні у граничній зовнішній ротації лабрум піддається ризику стирання, особливо у задньоверхній ділянці. Саме тут формується характерний для волейболістів синдром SLAP (Superior Labrum Anterior to Posterior), коли фрагмент лабруму відшаровується внаслідок перевантаження довгої головки біцепса, що фіксується у цьому ж сегменті. Це типове ушкодження подається як «тиха» травма, бо проявляється болем тільки у граничних амплітудах - у фазі розгону перед ударом або у кидковій частині атаки. При цьому силові тести у стандартних положеннях можуть не виявити патології, а отже, діагностика часто запізнюється. Така затримка посилює процес дестабілізації плеча, бо порушується не лише механіка, а й пропріоцептивна іннервація - суглобова чутливість, яка критична для орієнтації руки в просторі під час гри. У поєднанні

з асиметричними контрактурами задньої капсули (наслідок надмірного розтягування у фазі замаху) формується так звана GIRD (glenohumeral internal rotation deficit) - втрата внутрішньої ротації, яка дестабілізує рух у серединній площині. Усе це створює передумови для компенсаторних рухів, котрі викликають перенавантаження паралельних структур - трапецієподібного м'яза, грудного, переднього зубчастого - і з часом формують ланцюг функціональних порушень, що виходять за межі локальної зони [11, с. 19].

У волейболі плечовий суглоб виконує функцію центральної кінематичної ланки при здійсненні ударних і кидкових дій, що потребує надвисокого рівня нейром'язової координації й динамічного стабілізування у фазах, коли рука переходить із надшвидкого розгону до миттєвого гальмування. Біомеханіка волейбольного удару, особливо під час подачі з високого стрибка або атакуючої дії у фазі фінішного замаху, формує пікові зусилля, що досягають 80–120% від маси тіла спортсмена, з трансформацією енергії через ланцюг «поперек–лопатка–плече–передпліччя». Саме в плечовому сегменті ця енергія повинна бути керовано «перехоплена» та перенаправлена далі, що вимагає наявності інтактної капсульно-зв'язкової системи, симетричної роботи м'язів-стабілізаторів і злагодженої лопаткової кінематики. Ударна фаза викликає моментальні перевантаження задньонижнього відділу капсули та передньо-верхніх сегментів ротаторної манжети. При цьому суглобова головка має зберігати чітке центрування в гленоїдальній порожнині, інакше навіть міліметровий зсув провокує мікротравму капсули або надрив лабрума. У фазі післяударного гальмування особливо навантаженими стають ексцентричні скорочення підостьового й малого круглого м'язів, які працюють на межі енерговитрат для того, щоби зупинити руку, що рухається зі швидкістю понад 80 км/год. Якщо ці м'язи втомлені або недотреновані, частина гальмівного навантаження переходить на капсулу й сухожилля, формуючи умовно безсимптомне перерозтягнення з подальшим набряком. У підсумку виникає каскад патологічних змін: послаблення стабілізації, втрата контролю у фазі пуску, мікрозсуви, розтягнення передньої частини капсули й поступове

формування функціональної нестабільності. Це не завжди супроводжується болем, проте чітко виявляється у зміні техніки: рука «просідає», втрачається амплітуда або швидкість, з'являється потреба в компенсаторному русі тулуба чи зміщенні центру маси тіла в момент удару.

Одним із найменш помітних, але визначальних чинників у розвитку плечової травматизації у волейболіста є порушення лопатково-гумерального ритму, при якому рух лопатки відстає або надмірно випереджає обертання плечової кістки. У нормі на кожні 2 градуси підйому руки у плечовому суглобі припадає 1 градус обертання лопатки, але у спортсменів з перевантаженим заднім м'язовим поясом виникає асиметрія. Таке порушення змінює вісь обертання плеча, а головка кістки починає зміщуватись у напрямку слабшого м'язового контролю. Це створює гетерогенне навантаження на гленоїдальну губу й інтерпозиційні структури, зокрема сухожилля довгої головки біцепса, що є стабілізатором у фронтальній площині. Якщо це сухожилля зміщується, натягується під кутом або ковзає з порушенням ковзної траєкторії, воно подразнює капсулу, провокуючи внутрішньосуглобовий імпінджмент. Із часом формуються SLAP-подібні ушкодження, коли верхня частина лабрума зазнає часткового надриву, який порушує як механіку руху, так і сенсорне сприйняття положення руки в просторі. У фазах активного замаху, особливо при атакуванні в стрибку, таке ушкодження призводить до погіршення контролю, а спортсмен інстинктивно змінює кут удару або підлаштовує корпус, порушуючи баланс. Додатково слід урахувувати, що у підлітків або молодих гравців суглобова капсула має вищу еластичність, що підвищує амплітуду, але при недостатній силі м'язів-стабілізаторів це створює хибне відчуття сили удару, тоді як у дійсності формується початкова фаза нестабільності. Стан прикордонної стабільності особливо небезпечний тим, що він не обмежує рух, не викликає болю в стані спокою, але проявляється при пікових навантаженнях, які у волейболі зустрічаються щосекунди [21, с. 34].

Навантаження на плечовий суглоб у фазах технічних дій, таких як блок, прийом і скидка м'яча, менш вибухові, ніж при подачі чи атаці, але мають власні

особливості щодо ризику травматизації. Під час блоку рука часто перебуває у позиції підняття через сторону з пронацією, що зумовлює підвищене стискання субакроміального простору. Особливо це помітно при зіткненні з м'ячем на рівні зап'ястя або передпліччя, коли сила передається вглиб плеча й провокує моментальне сплющення капсули, яка знаходиться під кутовим навантаженням. Цей тиск передається на сухожилля надостьового м'яза, що проходить у вузькому каналі між акроміоном і головкою плеча.

Навіть у здоровому стані цей проміжок вузький за решту сегментів плеча, тому при повторюваному тиску тут формується т.зв. вторинний імпінджмент - стиснення сухожилля без явного конфлікту з кістковою структурою. Із часом тканини втрачають еластичність, виникають мікроскопічні розриви колагенових волокон, що провокують фіброзну трансформацію сухожилля. Якщо це супроводжується порушенням динаміки обертання лопатки або функціональними контрактурами задньої капсули, то навіть невелике навантаження провокує гострий біль або реактивний бурсит. Скидання м'яча виконується в умовах динамічної невизначеності - спортсмен змінює траєкторію руху руки в останній момент, часто - на нестабільній опорі, у стрибку або на одній нозі. Це створює фазу нестійкої фіксації плеча в моменті максимального приводу. Такий рух нерідко провокує функціональний підвивих - короткочасне зміщення головки плеча без розриву капсули, проте з перерозтягненням передньої її частини. Якщо підвивих повторюється, формується хронічна нестабільність, яка у підсумку призводить до дестабілізації всього суглоба й вторинного пошкодження лабрума, що вже має механічну слабкість від попередніх імпінджментів [4, с. 45].

Фізіологічна реакція на перевантаження у плечовому суглобі, зокрема в умовах волейбольного тренувального циклу, не обмежується лише локальною запальною відповіддю, а охоплює низку нейром'язових адаптацій, що можуть мати як позитивний, так і деструктивний характер. Організм намагається адаптуватися до повторюваного стресу шляхом потовщення капсули, перебудови суглобових поверхонь, гіпертрофії м'язів обертальної манжети,

проте водночас формуються т.зв. напружені зони - області підвищеного м'язового тону, що функціонально заміщують ослаблені сегменти. Це призводить до асиметричного скорочення м'язових волокон, зсуву центра суглобового тиску й виникнення умов для мікротравмування. Якщо спортсмен не проходить періодичної функціональної діагностики, ці зміни залишаються непоміченими до появи гострої симптоматики. Біль при ротації, обмеження амплітуди руху або слабкість при підйомі руки вказують уже на пізню фазу порушень. Часто такі зміни виявляються під час міжсезонного обстеження, коли знижується загальне тренувальне навантаження й стають помітними хронічні адаптації. Враховуючи специфіку волейболу, де ігровий цикл має мінімальні паузи, накопичене перевантаження плеча не встигає компенсуватися, і організм змінює кінематику руху в бік зниження енерговитрат. Так формується адаптивний патерн, у якому домінують великі м'язи плеча (дельтоподібний, грудний), а глибокі стабілізатори залишаються недовантаженими [15, с. 77].

У волейбольному матчі кожне амплуа формує свою унікальну конфігурацію навантажень на плечовий суглоб, що не лише відрізняється за інтенсивністю, а й за типом кінематичних ланцюгів, траєкторією переміщення руки, і характером м'язового контролю у фазах переходу. Нападник виконує найбільшу кількість ударних дій з максимальною амплітудою й піковим прискоренням, де момент сили у плечі перевищує всі інші фази гри. У фазі стрибка з подальшим розгоном руки відбувається послідовне розгортання ланок: кульшовий суглоб – хребет – грудний відділ – плече – передпліччя – кисть, і саме плечовий суглоб тут виступає не лише як передавач, а як активний модулятор вектора руху. Його завдання – згенерувати точне спрямування сили через зовнішню ротацію та гіперабдукцію, що супроводжується виразною розтяжністю переднього сегмента капсули. Усе це відбувається на фоні підвищеної навантаженості надостьового й підлопаткового м'язів, які в момент виходу руки з положення екстремальної зовнішньої ротації стабілізують суглоб у фазі ротаційного прискорення. Якщо баланс між цими м'язами порушено, зокрема при хронічній втомі або поганому відновленні, з'являється

мікропорушення координації, при якому головка плечової кістки зсувається навіть на 1–2 мм, чого вже достатньо для подразнення внутрішньої капсули. У нападника це проявляється як зниження сили удару, потреба в компенсації корпусом, а згодом – болісна нестабільність при виведенні руки в положення над головою. Якщо враховувати, що під час гри нападник здійснює понад 40 ударних дій з повною амплітудою, включаючи замах, це формує високу ймовірність імпінджменту, мікротравмування суглобової губи, перевантаження довгої головки біцепса та розвиток SLAP-ушкоджень, що мають відкладену симптоматику.

У гравців, які виконують функції блокування, плечовий суглоб працює в зовсім іншому біомеханічному режимі. Тут відсутня ротаційна компонентність удару, проте наявні вертикальні пікові сили, що передаються через віслю суглоба у фазі зіткнення з м'ячем і протидії ударам суперника. При підйомі на блок руки виносяться вперед-угору під кутом, що часто супроводжується пронацією й частковим вивертанням плеча. Якщо фаза доторку відбувається в нестабільному положенні тіла або при асиметричному русі лопаток, то навантаження нерівномірно розподіляється по дельтоподібному м'язу, капсулі й сухожиллях ротаторної манжети. Особливо страждає передній і верхній сегмент капсули, які під час блоків часто піддаються компресії внаслідок швидкого згинання у фронтальній площині. Невідповідність між амплітудою руху та якістю м'язової стабілізації призводить до мікропошкоджень, які накопичуються і трансформуються у підгострий імпінджмент. Такий стан не дає явної клініки на початкових етапах, однак у момент тривалих серій блоків (турніри, дві гри на добу) відчуття тупого болю у верхньому сегменті плеча, обмеження амплітуди при розгинанні руки або почуття слабкості в фазі підйому свідчать про початкову стадію перевантаження. При цьому важливо відзначити, що блокуючі рідко мають змогу відновлюватися повноцінно між фазами гри, бо їх залучення до подач, прийому й переміщення значно ширше, ніж у гравців із вузькою спеціалізацією. Саме це формує «приховану» травматизацію – стан, коли

навантаження постійне, але симптоми маскуються загальним м'язовим фоном [5, с. 12].

Амплуа розпасовувача вимагає високої точності й делікатного контролю кінцевої позиції руки в просторі, що накладає зовсім інші вимоги на плечовий суглоб. Тут основне навантаження не стільки ударне, скільки стабілізаційне, із домінуванням ексцентричних і ізометричних скорочень. Розпасовувач утримує руки у верхньому положенні протягом значної частини гри, готуючись до передачі, й виконує рухи, які часто супроводжуються пронацією й зовнішнім ротаційним розведенням з подальшим точним вивільненням м'яча. У такій роботі плечовий суглоб утримується в положенні незначної абдукції з обмеженим обсягом руху, що призводить до перевантаження глибоких стабілізаторів – передусім підлопаткового м'яза. При недостатній підготовці або у фазі втоми виникає так зване «приховане проковзування» – короткі мікрорухи головки плеча, які не викликають зсуву, але створюють перманентне напруження в передній частині капсули. У сукупності з хронічною роботою у статичних фазах це формує тенденцію до розвитку ригідності, асиметричної напруги в передньому плечовому поясі та зниження гнучкості при відведенні. Найчастіше такі розлади проявляються у міжсезоння або після короткої паузи, коли плече не готове до тривалої ізометричної роботи. У молодших гравців це набуває форми контрактур, а в дорослих – підгострого болю в області переднього сегмента капсули, що особливо проявляється при спробі виконати несподівану силову дію. Усе це не лише знижує якість передачі, а й створює передумови для дисбалансу м'язів, що стабілізують лопатку, і зрештою змінює кінематику плечового комплексу [2, с. 7].

Гравець ліберо, попри відсутність ударних функцій, має надзвичайно навантажений плечовий апарат у фазах прийому, підбирання м'яча з низької позиції, та динамічних переміщень із несподіваним виведенням руки в передній проекції. Ці рухи відбуваються на фоні часто нестабільної основи – ковзання, падіння, швидкої зміни напрямку руху, що провокує неочікувану роботу плеча на витягнену кінцівку. Основна загроза тут – не пікове зусилля, а траєкторія, при

якій плече фіксується в неприродних положеннях із ротаційним навантаженням. М'язи-стабілізатори працюють із запізненням, бо рух ініціюється всім тілом, і в цей момент головка плеча може зазнати раптового зсуву. Якщо додати до цього повторювані дії з м'ячем на рівні грудей або нижче, де плече залучене до гальмування, утворюється патерн навантаження, що провокує хронічне перевантаження передньої капсули та субакроміального простору. Особливо ризикованими є моменти зіткнення з підлогою, коли падіння здійснюється на зігнуту руку – плече в цей момент функціонує як амортизатор. Усе це провокує не одномоментне ушкодження, а накопичення мікротравм, які маскуються загальним фоном м'язового напруження. У практиці спортивної медицини часто діагностуються запальні зміни в капсулі, тендинопатії надостьового м'яза або синдроми тертя у гравців ліберо, хоч формально плече не виконує класичних ударних функцій. Це підтверджує, що уразливість плечового суглоба визначається не лише амплітудою чи силою дії, а характером і частотою технічного руху в умовах функціонального стресу. У цьому полягає особливість травмогенезу саме для гравців оборонного профілю.

1.2. Етіологія та патогенез найбільш поширених ушкоджень плечового суглоба у спортсменів-волейболістів

Патогенетичні передумови ушкоджень плечового суглоба у волейболістів формуються не стільки у вигляді одномоментного механічного навантаження, як це властиво травмам при контактах у контактних видах спорту, скільки у вигляді поступового нагромадження мікроскопічних порушень, що виникають унаслідок хронічної перевтоми, незбалансованої роботи м'язів-стабілізаторів, нерівномірного розподілу навантаження в умовах високої повторюваності дій. Одним із найбільш вагомих тригерів у цьому процесі виступає хронічне перевантаження м'якотканинних структур - капсули, сухожиль, фіброзних оболонок і м'язів, які протягом гри багаторазово вступають у фазу ексцентричного скорочення без повноцінної компенсації. У волейболі ці скорочення виникають під час атак, подач, передач з високою траєкторією, а

також у фазах післяударного гальмування, коли рука стрімко зупиняється з великого прискорення. У таких фазах навантаження діє в умовах розтягнутої амплітуди, що підвищує напругу в сухожиллях надостьового м'яза, підлопаткового, довгої головки біцепса. Якщо враховувати, що за тренування гравець здійснює сотні однотипних рухів, сумарне навантаження на одну й ту ж ділянку перевищує фізіологічні межі адаптації [20, с. 15].

Сухожилля не встигає регенерувати, а мікропошкоджені колагенові волокна, що зазнали дегенерації, заміщуються менш організованою тканиною, знижуючи еластичність і підвищуючи ризик імпінджменту. Порушення ковзання між сухожилльними структурами та навколосуглобовими оболонками формує сприятливе середовище для розвитку асептичного запалення, зокрема тендосиновіту, який може протікати майже безсимптомно, але порушує функціональну здатність стабілізувати плече в умовах прискорення й раптового гальмування. Це послаблює чутливу координацію рухів у плечовому поясі, що особливо небезпечно у фазах гри з високим темпом.

Постійне повторення рухів зі збереженням однакової траєкторії створює ситуацію, коли навантаження акумулюється на обмеженій ділянці суглобового апарату, зокрема в зоні між акроміальним відростком і великою горбистістю плечової кістки, через яку проходить сухожилля надостьового м'яза. При надмірному напруженні або слабкості антагоністів, зокрема зовнішніх ротаторів, траєкторія руху головки плеча зміщується вгору, що спричиняє зменшення субакроміального простору. В умовах повторюваного підйому руки понад горизонталь, як при блокуванні або подачі, сухожилля стискається об акроміон і при кожному русі зазнає мікротравматизації. У відповідь розвивається реактивний набряк, що посилює тиск і запускає механізм вторинного імпінджменту. У довготривалому періоді це формує потовщення синовіальної оболонки, фіброз капсули й зниження еластичності, що ще більше обмежує рухливість, посилюючи компресійні сили. У певний момент, коли сухожилля вже дегенеративно змінене, навіть незначне навантаження може призвести до часткового розриву, що супроводжується різким болем, обмеженням підйому

руки й порушенням кінематики. У багатьох випадках ушкодження не є одномоментним, а виникає в результаті поєднання мікротравм, що тривають місяцями. Спортсмен може продовжувати гру зі зниженим порогом чутливості до болю, компенсуючи дисфункцію шляхом активації м'язів грудної клітки, що ще більше посилює дисбаланс. Таке заміщення функцій створює хибну картину зовнішньої сили, однак поглиблює функціональні порушення стабілізації вглиб плечового комплексу. При відсутності специфічної профілактики, зокрема вправ на ізольоване укріплення зовнішніх ротаторів, ситуація ускладнюється до ступеня повного зниження стійкості суглоба до динамічного навантаження.

Деградація мікроструктури сухожиль, яка починається з дисбалансу навантаження, не є локальним процесом. Вона супроводжується активацією цитокінової відповіді в зоні мікротравми, що, навіть за відсутності запалення у класичному вигляді, спричиняє каскад реакцій: підвищення концентрації простагландинів, локальне кисневе голодування, порушення метаболізму клітин тендоцитів, які відповідальні за вироблення якісного колагену. Результатом стає зниження гідратації, зменшення ковзних властивостей і порушення проникності тканин, що ще більше ускладнює відновлення [10, с. 88].

Якщо паралельно відбувається локальне подразнення синовіальних структур, капсула починає реагувати посиленням продукції внутрішньосуглобової рідини з втратою її в'язкості. Це змінює хімічну структуру суглобового середовища й провокує хімічний імпінджмент, при якому тканини зазнають агресивного розщеплення фрагментованими ферментами. У волейболі, де плечовий суглоб постійно функціонує в умовах напіврозігнутого й ротаційного положення, такі зміни стають особливо небезпечними, бо не мають чіткої клінічної картини. Гравець відчуває загальну втому, поколювання, зниження точності рухів, однак не може локалізувати проблему. Поступово це трансформується в чутливість при відведенні, розпирання у плечі при тривалому утриманні м'яча, а потім - у больовий синдром, що вже вимагає відновлення. На цьому етапі компенсаторна стратегія активізує синергісти руху - переважно дельтоподібний і грудний м'яз, що спричиняє вторинну нестабільність, бо

глибокі стабілізатори не встигають включитися вчасно. Усе це призводить до асинхронної кінематики плечового пояса, що знову запускає цикл травматизації на новому рівні.

Хронічне перевантаження тканин не обмежується лише сухожильними або капсулярними змінами. Одним із механізмів вторинної дестабілізації є порушення іннервації внаслідок подразнення рецепторного апарату, що в нормі відповідає за м'язово-суглобове відчуття. У плечовому суглобі концентрація механорецепторів особливо висока в зоні лабрума, синовіальної оболонки та капсули, тому кожне подразнення або мікротравма цієї зони порушує функцію сенсорної регуляції. Втрата точного контролю над положенням руки в просторі спричиняє помилки в часі активації м'язів стабілізаторів, особливо в динамічних фазах. Це викликає або передчасне, або запізніле скорочення м'язів, через що головка плечової кістки втрачає центральне положення у суглобовій западині в момент пікового навантаження. Таке зміщення, навіть мінімальне, формує гетерогенне напруження капсули, що згодом призводить до її локального розтягнення. Відтак, створюється функціональна нестабільність, яка, хоч і не супроводжується анатомічними дефектами, формує постійне перевантаження одного з напрямків руху. Особливо це проявляється при подачах, коли під час розгону м'язи повинні активуватись у чіткій послідовності: спочатку ротатори, далі - плечовий пояс, потім - передпліччя. При порушенні цієї синергії спостерігається зміщення моменту пікового навантаження на передню капсулу, де утворюється зона хронічного розтягнення. Якщо повторювати це знову і знову, капсула втрачає пружність, і згодом плече стає нестабільним навіть при нормальній м'язовій силі [18, с. 28].

Гострі ушкодження плечового суглоба у волейболіста, попри переважання хронічної мікротравматизації, виникають як відповідь на одномоментне перевищення порогу механічної витривалості тканин при незбалансованому зовнішньому навантаженні. Найтиповішими є передні вивихи плеча, які трапляються у фазі падіння або при спробі заблокувати м'яч із порушеною траєкторією. Механізм полягає у раптовому відведенні руки назад із зовнішньою

ротацією, коли м'язи-стабілізатори не встигають забезпечити координаційне центрування головки плечової кістки у суглобовій западині. У момент контакту з майданчиком або зіткнення із суперником створюється вектор сили, що спрямований уперед і донизу, провокуючи вихід головки плеча за межі гленоїдальної площини. При цьому капсула, фіксуючі зв'язки (особливо верхній і середній глено-гумеральні), а також суглобова губа зазнають розтягнення або часткового відриву. У разі повного вивиху може виникнути ушкодження типу Bankart - відрив передньо-інфраструктурної частини лабрума, а також компресійна деформація задньо-зовнішнього краю головки плечової кістки, відома як Hill-Sachs-депресія.

Такі стани супроводжуються різким болем, блокуванням руху, деформацією плеча й потребують негайної репозиції. У спортивному контексті гострий вивих - це не лише травма структури, а й запуск подальшого каскаду функціональної дестабілізації, бо навіть після анатомічного відновлення зберігається ризик рецидиву через пошкодження пропріоцептивної іннервації. Крім вивихів, у волейболі поширені часткові або повні розриви сухожиль - переважно надостьового м'яза або довгої головки біцепса. Механізм зазвичай пов'язаний із гальмівною фазою після удару або зіткнення в положенні максимальної абдукції. Якщо тканина вже дегенеративно змінена - знижений вміст колагену, мікророзшарування волокон, набряк синовіальної оболонки - навіть середній за силою імпульс може спричинити повну втрату цілісності. Особливо це актуально у завершальних фазах гри, коли м'язова втома поглиблює затримку скорочення стабілізаторів, а надлишкова мобільність суглоба збільшує ймовірність розриву при неконтрольованому русі.

Іншою формою гострої патології є гіперфлексійні ушкодження при спробі прийому м'яча або падіння на витягнуту руку, коли плече опиняється у положенні крайового згинання й ротації. У таких ситуаціях сила інерції проходить крізь увесь плечовий пояс і зосереджується у зоні кріплення сухожиль обертальної манжети до великого й малого горбиків плечової кістки. При наявності навіть незначного дисбалансу між м'язами-антагоністами та

синергістами утворюється зсув навантаження, і тканина, яка вже була ослаблена мікротравмами, розривається по найвразливішій траєкторії. Часто такий розрив не має чіткої клініки одразу - спортсмен може продовжити гру, відчуючи лише дискомфорт [6, с. 32].

Однак протягом доби наростає біль, обмежується підйом руки, з'являється блок у зовнішній ротації. При візуалізації виявляються неповні розриви, гематома капсули, іноді - субакроміальний набряк. Усе це ускладнює процес діагностики, адже без яскравої клінічної картини спортсмен і тренер можуть недооцінити тяжкість ушкодження, продовжуючи тренування і провокуючи подальше загострення. В таких умовах імовірність переходу гострої травми у хронічну патологію зростає в геометричній прогресії. Це ще раз підкреслює необхідність своєчасного функціонального скринінгу, що дозволяє виявити навіть мінімальні порушення біомеханіки після епізодів з потенційною травматизацією. Відсутність структурного контролю в посттравматичний період призводить до формування адаптивних рухових шаблонів, де плече починає працювати через компенсаторні механізми, ще більше посилюючи навантаження на глибинні м'язові й сухожильні структури.

Запальні реакції, що виникають у плечовому суглобі у відповідь на перевантаження або м'язово-сухожильну дисфункцію, формують особливу групу патологій, де провідне місце посідають тендиніти, бурсити й імпінджмент-синдроми. У волейболістів розвиток тендинітів найчастіше асоційований із надмірним використанням обертальної манжети - надістьового, підостьового та малого круглого м'язів, які працюють у режимі частих ексцентричних навантажень, зокрема під час ударів, подач та фаз гальмування руки. У цих м'язах сухожилля кріпиться під гострим кутом до плечової кістки, проходячи крізь вузькі фіброзні канали або субакроміальні простори, де будь-який набряк або порушення ковзання швидко призводить до механічного тертя. Механізм патогенезу тендиніту включає спочатку мікропошкодження колагенових волокон, далі - розвиток місцевого асептичного запалення з активацією прозапальних медіаторів: IL-1, TNF- α , простагландинів. Це супроводжується

притоком макрофагів, що посилюють деградацію зміненого колагену й стимулюють ангиогенез. У результаті тканина стає гіперчутливою, гіперваскуляризованою, однак менш пружною. Волейболіст у такому стані зазнає болю при підйомі руки, особливо при навантаженні в фронтальній площині, і при спробі утримати руку в стабільній позиції. Цей біль спочатку не заважає грі, однак через деякий час прогресує, супроводжується нічним дискомфортом і зниженням точності руху, що вкрай небезпечно для гравців, які покладаються на точність удару. При відсутності адекватного реагування цей тендиніт переростає у дегенеративно-запальну форму тендінозу - хронічного ушкодження, що має менше шансів на консервативне лікування.

Паралельно із тендинітами в умовах локального перевантаження часто розвиваються бурсити - запалення слизових сумок, які в плечовому суглобі виконують роль амортизаторів між сухожиллями та кістковими утвореннями. Найчастішим у волейболістів є субакроміальний бурсит, що формується при хронічному зменшенні простору між головкою плеча та акроміоном у фазах підйому руки вище горизонталі. В нормі bursa містить невелику кількість в'язкої рідини, але при повторному механічному подразненні починає накопичувати ексудат, що спричиняє внутрішній тиск, подразнення нервових закінчень, обмеження руху. У клінічному сенсі бурсит часто плутається з імпінджментом або тендинітом, але має відмінність у вигляді гострішого болю при натисканні на передньо-верхню поверхню плеча та при швидкому русі вгору. Бурсит є прямим наслідком дисбалансу руху лопатки, надмірної активації дельтоподібного м'яза й порушення тонусу стабілізаторів. При неправильному втручанні - передчасному поверненні до повного навантаження або використанні мануальних технік без зменшення подразнення - bursa може хронічно запалюватися, формуючи фіброз, кальцифікати або навіть злуки з сухожиллям. Це створює додаткове джерело хронічного болю та знижує адаптивну рухливість плечового пояса. Особливо небезпечно для волейболістів те, що бурсит не завжди супроводжується очевидним обмеженням у перші дні, а біль може з'явитися лише при кидкових навантаженнях, коли суглоб уже перевантажений.

Неправильне виконання технічних елементів у волейболі створює значний ризик патологічного навантаження на структури плечового суглоба, оскільки навіть незначне відхилення від оптимальної траєкторії руху порушує рівновагу між моментами сили, що діють на суглоб, та стабілізуючим потенціалом м'язів. Типовим прикладом є неправильна техніка атакуючого удару, коли замість поступового виведення руки з координаційною участю тулуба, плеча та передпліччя, гравець надмірно ізолює рух у плечовому суглобі. Це формує надлишкову зовнішню ротацію з гіперабдукцією, що виводить головку плечової кістки у позицію сублюксаційного навантаження. У нормі саме грудний м'яз, м'язи ротаторної манжети та стабілізатори лопатки забезпечують злагоджену синергію, яка дозволяє центрувати головку в гленоїдальній западині при значних прискореннях [9, с. 20].

Коли ж техніка порушена, навіть при достатній силі ці м'язи активуються в неефективній послідовності, що створює запізнілу стабілізацію. У підсумку - головка плеча прослизає у напрямку вектора руху руки, перерозтягує передню капсулу й травмує синовіальну оболонку. Такий руховий шаблон, якщо не коригується одразу, закріплюється як звичка, і з кожним повторенням поглиблює мікротравматизацію. У гравців молодшої вікової категорії це особливо небезпечно, бо гіаліновий хрящ ще не досяг зрілої структури, а зв'язковий апарат не має повної еластичної компенсації, що створює передумови для раннього формування патологій типу SLAP-ушкоджень, хондромалії або рецидивуючих сублюксацій. Таке порушення механіки не завжди супроводжується болем на ранньому етапі, однак вже через кілька місяців гравець починає скаржитись на втрату сили удару, обмеження амплітуди або неприємне відчуття нестійкості в плечі, яке складно локалізувати у звичайному клінічному огляді.

Техніко-тактичні похибки у фазі подачі також мають суттєвий вплив на травмогенез плечового суглоба, особливо коли гравець виконує подачу з порушенням вісі плеча щодо тулуба. Часто спостерігається схильність до надмірного прогинання в поперековому відділі або ротації корпусу без попередньої активації глибокої стабілізації. У такому випадку навантаження

концентрується не по осі плечового суглоба, а передається по діагоналі, що викликає асиметричне натягнення зв'язок передньої капсули. Особливо уразливою стає довга головка біцепса, яка в момент підйому руки повинна стабілізувати передній край суглоба. Якщо її траєкторія змінена - через неправильне положення кисті або плеча - сухожилля може зрушуватися із міжгорбикової борозни, викликаючи нестабільність або навіть часткове підвивихування. У фазі удару, коли м'яз скорочується концентрично, а плече одночасно зазнає обертання, це створює складне комбіноване навантаження, що перевищує біомеханічний поріг тканин. Гравець відчуває біль у передньо-верхній частині плеча, особливо при наступних подачах або в фазі замаху. Згодом, без корекції техніки, формується хронічне запалення з елементами дегенерації в сухожиллі, яке у спортивній практиці класифікується як тендиніт довгої головки біцепса - одна з найпоширеніших патологій у гравців, які виконують велику кількість подач. На ранніх етапах патологія піддається компенсації через залучення додаткових м'язів, але в перспективі це створює розбалансовану систему, де одні структури перевантажуються, а інші не беруть участі, що провокує ще глибші порушення механіки. Якщо технічна помилка вкорінюється в ігровому шаблоні, вона трансформується у фактор вторинної патологізації навіть при ідеальних силових і рухових параметрах спортсмена [13, с. 63].

Окрему категорію техніко-тактичних помилок становить неправильне положення руки під час блоку або прийому м'яча, коли кут між плечем і тулубом перевищує фізіологічно допустиму межу, а лопатка не встигає відреагувати рухом контрротації. Така асиметрія викликає зміщення головки плечової кістки в напрямку вектора сили - зазвичай вгору й уперед - і провокує імпінджмент субакроміального простору. У фазі блокування, коли гравець різко виводить руки вгору й напружує дельтоподібний м'яз у режимі максимального скорочення, імпульс від удару м'яча часто викликає зворотній тиск, який діє на непідготовлене плече. Якщо при цьому гравець має слабку стабілізацію лопатки або недостатню рухливість грудного відділу хребта, момент сили виводиться на

передню частину капсули й тендиноз надостьового м'яза. Технічно ця помилка виглядає як надто ранній або занадто пізній підйом рук, що змушує плече працювати у фазі недостатньої стабілізації. Гострий біль при цьому з'являється рідко, проте через кілька днів формується обмеження амплітуди, дискомфорт у середньому діапазоні підйому та зниження ефективності гри на сітці. Такі стани часто діагностуються як початкова стадія імпінджмент-синдрому або функціонального конфлікту в субакроміальному просторі. У спортивній практиці помилки блоку майже ніколи не аналізуються через відсутність миттєвого болю, проте саме вони є прихованими передумовами хронічної деструкції плечового суглоба, особливо при високій кількості повторів. У підсумку - гравець поступово змінює техніку, підлаштовується під дискомфорт, а це створює нові зони перевантаження в плечовому поясі.

Не менш значущим фактором є порушення ритміки та координації у фазах прискорення й гальмування, що особливо яскраво проявляється у грі ліберо або розпасовувача. Ці амплуа не виконують класичних ударних рухів, однак залучають плече до високочастотних мікрорухів у режимі максимальної точності, де будь-яка затримка активації м'язів призводить до зміщення головки плечової кістки в зоні нестабільності. При неправильному виведенні руки під час передачі, коли кут між плечем і тулубом менший за оптимальний, навантаження зміщується з м'язів обертальної манжети на дельтоподібний м'яз, а головка плеча прослизає вгору, компресуючи бурсу й капсулу [14, с. 55].

Якщо цей рух повторюється десятки разів на день, без достатнього контролю лопатки, формується функціональний імпінджмент. Першими симптомами є не біль, а втрата контролю - гравець відчуває, що передача «не йде», м'яч вислизає або траєкторія вивільнення порушена. Це є початком компенсаційного шаблону, де інші м'язи перебирають функцію стабілізації, провокуючи асиметричний тонус, функціональну кривизну руху й перенавантаження глибоких м'язів плеча. Такий дисбаланс непомітний при класичному клінічному тестуванні, проте добре виявляється при функціональному відеоаналізі або кінематичному скринінгу. Якщо порушення

не усунути, воно трансформується в повторювану дисфункцію, що у фазі втоми здатна призвести до мікротравмування сухожиль або капсули. Це ще раз підтверджує, що технічна правильність у волейболі має не лише ігрову цінність, а й профілактичне значення для збереження плечового суглоба в умовах тривалого навантаження.

Висновки до розділу 1

У результаті проведеного теоретичного аналізу встановлено, що плечовий суглоб у волейболіста поєднує високу рухливість із функціональною нестабільністю, яка стає особливо вираженою в умовах багаторазових ударних дій. Його анатомія як «сферичного зчленування з майже пласкою суглобовою западиною» забезпечує тривісну рухливість, проте вимагає постійного активного стабілізування з боку м'язів обертальної манжети. У фазі удару або подачі, коли прискорення досягає максимуму, саме ці м'язи беруть на себе основне навантаження. Навіть невелике зниження м'язового контролю спричиняє «зсув головки плечової кістки на 1–2 мм», чого достатньо для початку мікротравматизації. У кожному амплуа плечовий суглоб працює по-різному: у ліберо - через падіння, у нападника - через ротаційне перевантаження, у блокуючого - через компресію у фронтальній площині. Повторювані технічні помилки, зокрема «надмірне ізольоване використання плеча» або «порушення осі тіла при подачі», формують дисбаланс активації м'язів і стають чинником імпінджменту, нестабільності або запалення сухожиль. Без корекції це переходить у стійке функціональне порушення, що знижує стабільність плеча під час динамічного навантаження.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методи дослідження

У процесі дослідження стабільності плечового суглоба в умовах фізкультурно-спортивної реабілітації після травм у волейболістів застосування тесту MAST реалізовувалося як метод емпіричної верифікації змін, що виникають у функціональній динаміці контрольних механізмів плечового комплексу. Умови виконання тесту було суворо стандартизовано: кожен учасник експериментальної вибірки (спортсмени-волейболісти які перенесли ізольовані або комбіновані травми плечового суглоба) проходив оцінювання після короткого структурованого розминкового навантаження, аби знизити варіативність тонусного рівня м'язового апарату. Тест передбачав активну стабілізацію плечового поясу під час виконання цільових рухів за фіксованим протоколом, із залученням навантажувального компонента у вигляді фіксованої ваги на дистальному відділі верхньої кінцівки. Усі рухи виконувалися у фронтальній та сагітальній площинах, з акцентом на контроль ексцентричного та концентричного напруження при відведенні, приведенні та підйомі руки на рівень плеча й вище.

Фіксувались як тривалість стабільної фази підтримки положення, так і суб'єктивні скарги на біль, дискомфорт чи відчуття нестабільності. Також відстежувалися мікроколивання позиції руки, за допомогою маркерів, прикріплених на акроміальний відросток та середину плеча – дані зчитувалися за допомогою відеозапису з подальшою комп'ютерною обробкою. Реєстрація візуальних мікрорухів дозволила виявити коливальні зміни при неспроможності м'язів стабілізаторів. Усі учасники проходили тест у трьох повтореннях, між якими витримувався інтервал у 60 секунд для зняття функціонального напруження. Такий підхід дав змогу уникнути накопичення втоми й отримати дані в умовах максимально близьких до функціонального навантаження у спортивній грі.

На першому етапі тестування застосовувалася нівелююча стандартизація, що передбачала порівняння з еталонними показниками функціональної стабільності плеча в умовно здорових спортсменів того ж вікового діапазону. Це дозволяло сформувати вихідну карту контролю на основі абсолютних та відносних показників – з урахуванням тривалості утримання, швидкості виконання, кількості мікроколивань, рівня дискомфорту та інтенсивності м'язового напруження за суб'єктивною шкалою відчуттів (від 1 до 10). Усі дані заносилися в протоколи спостережень, в яких також фіксувалися постуральні компенсаторні рухи – нахили корпусу, залучення трапецієподібного м'яза, реакції на підвищене навантаження. Під час кожного виконання тесту фахівець-реабілітолог коментував і фіксував словесні реакції спортсмена, що стосувалися як відчуття нестабільності, так і можливого відлуння болю в інших сегментах – шийі, лопатці, попереку. Ці вербальні елементи супроводжували об'єктивні параметри й давали змогу краще зрозуміти глибину відновлення. Крім основного фіксування руху, у декількох випадках додатково застосовували біоелектричне моніторування EMG для окремих волейболістів, в яких раніше було виявлено дисфункції м'язів ротаторної манжети. Це дозволяло виявити асинхронію активації м'язових груп при різних етапах руху та зафіксувати невидимі зовні нестабільності, що могли впливати на ризик повторної травматизації при поверненні до змагальної активності.

Після первинного тестування всі результати зводились у порівняльну матрицю, яка дозволяла зіставити індивідуальні показники з середніми нормативами для конкретного спортивного рівня та анатомічного типу плечового поясу. Порівняння враховувало такі чинники, як довжина плеча, кут розведення, м'язовий тонус у спокої, загальна рухливість лопатки – усе це фіксувалося в анкетних профілях. Методика MAST дозволяла через повторне виконання тесту на різних етапах реабілітації фіксувати не лише факт змін, а й напрямок відновлення: від нестійкої компенсації через сторонні м'язові групи до поступового повернення сегментарної стійкості без участі допоміжних ланцюгів. Емпіричне спостереження показало, що у волейболістів із травмами переднього

плечового лабруму порушення стійкості проявлялося навіть при зовнішньо безболісному русі, що вказувало на залишкову нестабільність глибоких структур капсули. У таких випадках застосовувався варіант MAST з динамічним навантаженням – із використанням еластичної стрічки, яка симулювала протидію при рухові руки вверх. Це дозволяло викликати мікроамплітудні коливання в плечовому суглобі й більш чітко виявити реакцію стабілізаторів. У ситуаціях, коли спортсмен демонстрував неузгодженість м'язової відповіді або передчасну втому м'язів супінаторів, тест повторювався через 5 хвилин із додатковим контролем за участю технічного асистента, що спостерігав за лопатково-грудною координацією.

У подальших циклах дослідження Modified Athletic Shoulder Test виконувався після серій спеціалізованих вправ, що входили до реабілітаційної програми: вправ на закритий кінематичний ланцюг, ізометричне утримання в нестійких положеннях, робота з нестабільними поверхнями (балансувальні платформи), використання обтяження у фазах ізоляції м'язів стабілізаторів. Оцінювання за тестом проводилося не менше ніж через 48 годин після попереднього заняття, аби уникнути впливу кумулятивного ефекту втоми. Модульність структури тесту дозволяла варіювати початкові умови, додаючи елементи симуляції ігрової активності – наприклад, утримання м'яча на витягнутій руці або імітація руху під час подачі. Це надавало ширшої об'єктивності результатам, а також дозволяло фіксувати якісні зміни у поведінці плечового пояса під час типових для волейболу завдань. Усі варіанти виконання супроводжувалися чіткою відеофіксацією з різних кутів, що давало змогу виявляти компенсаторні патерни – зміщення лопатки, переактивацію трапецієподібного м'яза, уникнення крайньої амплітуди. Ці параметри заносилися в окрему форму аналізу, що згодом використовувалася для побудови індивідуальних корекційних протоколів. Усе це відбувалося в умовах фізіотерапевтичного залу з постійним спостереженням і контролем з боку сертифікованого фахівця.

У ході емпіричного вивчення особливостей фізкультурно-спортивної реабілітації волейболістів після травм плечового суглоба, тест SKCUEST впроваджувався як базова методика для об'єктивної кількісної оцінки стабільності плечового пояса в умовах замкненого кінематичного ланцюга. Протокол проведення було адаптовано до специфіки спортивної групи, враховуючи технічні навички волейболістів, характер травм та динаміку реабілітаційних втручань. Усі досліджувані розташовувалися в опорному положенні – планка з упором на долоні з розведеними руками – з подальшим виконанням переміщення однієї руки до протилежної через центр тіла з дотиком до маркера. Стандартна дистанція між руками встановлювалася у 36 дюймів, але в окремих випадках, коли мали місце анатомічні варіації або скарги на залишкові болісні відчуття у фазі планки, відстань коригувалась до індивідуальної комфортної амплітуди при збереженні стабільності корпусу. Дослідження виконувалося у три спроби з інтервалом 45 секунд, щоб зменшити вплив м'язової втоми. Кожне повторення тривало строго 15 секунд, у межах яких спортсмен мав виконати якомога більше дотиків, не порушуючи базову стабілізацію плечового пояса й не допускаючи суттєвих зміщень тазу чи прогинів у поперековій ділянці. Візуальна фіксація параметрів проводилась одночасно з використанням відеокамери, розміщеної фронтально, та другого оглядового пристрою збоку – для виявлення можливих компенсаторних рухів або порушень контрольних фаз.

На етапі базової діагностики всі учасники проходили тест після короткої адаптаційної розминки з активізацією плечового комплексу за допомогою вправ на відкритому ланцюзі – оберти руками, робота з еластичною стрічкою, ізометричне утримання гантелей у положенні горизонтального згинання. Після цього виконувалася перша серія SKCUEST, яка фіксувала вихідні можливості спортсмена щодо симетрії, стабільності й витривалості плечового пояса. Асистент під час тестування виконував лише функцію вербального зворотного зв'язку для забезпечення стабільної позиції, не втручаючись у виконання. Уся реєстрація кількості торкань здійснювалася вручну з використанням спеціального протоколу, у якому паралельно занотовувалися спостереження про

якість рухів, положення таза, розвороти корпусу та виразність м'язової активації. Усі учасники дослідження проходили також фотофіксацію у вихідному положенні – задля формування індивідуальних профілів анатомічного симетризму плечового пояса. Зверталася увага на горизонтальне розташування акроміонів, рівень натягу грудних м'язів, площу опори долонь і положення лопаток у стані статичної опори. Ці параметри потім використовувалися для розшифрування результатів та подальшого уточнення стратегії індивідуальної реабілітації.

На подальньому етапі СКCUEST повторювався після кожного завершеного модуля тренувально-реабілітаційної програми, що містила вправи на нестабільних поверхнях, координаційне навантаження, а також спеціальні ізометричні та динамічні вправи, орієнтовані на стабілізацію лопатково-грудного з'єднання. Кожен повтор тесту відбувався за однакових умов – у тому самому приміщенні, із збереженням температурного режиму та тим самим устаткуванням, аби виключити вплив зовнішніх змін. Особлива увага приділялась фіксації змін у симетричності виконання: асистент додатково відзначав сторону, яка демонструвала більшу витривалість або менш виражене зміщення корпусу. Ці спостереження доповнювалися об'єктивними даними з відеозапису, які аналізувалися через модуль відеоаналізу з використанням програмного забезпечення Kinovea. Програма дозволяла точно вимірювати відхилення тіла в момент переходу руки та фіксувати кутові коливання плечового пояса. Усі результати кожного учасника зберігались у цифровому вигляді, що забезпечувало динамічне порівняння в розрізі часу.

2.2. Організація дослідження

Формування вибірки в цьому дослідженні базувалося на багатофакторному аналізі загальних і спеціалізованих параметрів, що впливали на надійність і точність майбутніх емпіричних спостережень. Було відібрано 30 учасників чоловічої статі віком від 18 до 25 років – діючих спортсменів аматорського та

напівпрофесійного рівня з ігровою спеціалізацією «волейбол», що мали тренувальний стаж від трьох до десяти років.

База емпіричного дослідження:

Основною умовою для включення в експериментальну вибірку була наявність травматичних епізодів плечового суглоба за останні півтора року, підтверджених спортивною амбулаторною карткою, актами лікарсько-фізкультурних диспансерів або виписками з реабілітаційних кабінетів. Обов'язковою умовою була відсутність гострого запального процесу, нестабільності після операцій, а також системних захворювань опорно-рухового апарату. Попередньо всі кандидати проходили оцінку медичним фахівцем, який виносив допуск до участі в повторному навантаженні в межах фізкультурно-реабілітаційної програми. Для точного визначення стану плечового суглоба застосовувалася локальна ортопедична діагностика, що включала пальпацію, пасивне й активне тестування обсягу рухів, а також аналіз стану лопатки. До участі допускалися лише ті особи, у яких були завершені базові реабілітаційні заходи, і не спостерігалось обмеження рухливості, здатної спотворити результати оцінки функціональної стабільності.

Усіх учасників було розподілено на дві групи: експериментальну та умовно контрольну, по 15 осіб у кожній. Розподіл відбувався методом парної стратифікації – з урахуванням ступеня травматизації, локалізації ураження (домінантна чи недомінантна рука), а також терміну після завершення основної реабілітації. Кожна пара складалася зі спортсменів із максимально наближеними характеристиками, але лише один із них входив у групу, яка отримувала повний протокол функціонального втручання. Контрольна ж група проходила ті самі тестові заміри без спеціального фізкультурного навантаження, виконуючи лише звичні рухові дії в межах побуту або загального тренування. Усі учасники були поінформовані про зміст дослідження, надали письмову згоду на участь та погодились з умовами фіксації динаміки за допомогою відеоаналітичних та тестових інструментів. Кожен спортсмен отримав індивідуальний код, під яким

його результати зберігалися в протоколах, аби забезпечити конфіденційність та об'єктивність під час аналізу. Уся вибірка залишалася сталою протягом усього дослідження, випадіння учасників не фіксувалося. Спостереження велося виключно в умовах фізкультурного залу, обладнаного для потреб реабілітації, із контрольованим освітленням, температурою та спеціалізованим покриттям для уникнення травматизації під час тестування.

Організація процедури діагностичних вимірювань вибудовувалася за фіксованим часовим регламентом, який урахував біоритми спортсменів і дозволяв уникати впливу надмірної втоми, гіперзбудження або інших факторів, що могли вплинути на точність фіксації результатів. Перше тестування проводилось у ранковій годині, між 9:00 та 11:00, після легкого сніданку, за відсутності попереднього фізичного навантаження. Усі учасники дотримувалися умовного спокою щонайменше за 12 годин до процедури, утримуючись від інтенсивних тренувань або тривалого перебування у незвичних температурних умовах. Діагностика здійснювалась у три основні етапи. Перший – початкове тестування, що включало СКCUEST, візуальну оцінку плечового поясу, фіксацію анамнезу за анкетною функціонального профілю та проведення короткої фото- та відеофіксації у фронтальній і боковій проєкціях. Другий етап – впровадження індивідуалізованої фізкультурно-реабілітаційної програми, що виконувалась під контролем фахівця упродовж визначеного періоду, з проміжним контролем навантаження. Третій етап – повторне тестування через чотири тижні після першого, з використанням того самого інструментарію, часу доби й алгоритму дій, що унеможливлювало випадкові впливи. Весь цикл кожного з етапів реєструвався вручну в протоколах і дублювався електронно через формуляр Google Forms, розроблений спеціально для цієї серії спостережень.

Під час проведення тестувань кожен учасник перебував під контролем не менш ніж двох осіб – фахівця з фізичної реабілітації, який проводив інструктаж і контролював технічне виконання рухів, та асистента, який здійснював запис результатів, відеофіксацію й оцінював візуальні компенсаторні прояви. Усі

діагностичні заміри відбувались індивідуально, без присутності інших спортсменів, щоб уникнути психологічного тиску або спроб демонстративної надмірної активності. Простір для тестування був умовно ізольований – розмежований ширмами, із приглушеним фоновим звуком, що забезпечувало концентрацію уваги спортсмена на завданні. Перед кожним етапом тесту проводився короткий інструктаж, який пояснював суть руху, допустимі варіанти виконання та межі коректної амплітуди. Демонстрацію тесту здійснював той самий спеціаліст, для уніфікації стилю подачі та зменшення інформаційного шуму. Після кожного виконання тесту учасник мав право на короткий усний коментар – його вербальні спостереження заносилися в аналітичну карту. Якщо під час руху спортсмен скаржився на дискомфорт або непевність у стабільності суглоба, тест не припинявся, але така реакція фіксувалась із часовою прив'язкою. У такий спосіб у дослідженні вдалося поєднати жорстку стандартизацію із врахуванням природного варіативного прояву нестабільності у реальних умовах.

Після завершення початкового циклу тестувань кожен учасник експериментальної групи був залучений до чітко структурованої фізкультурно-реабілітаційної програми, розробленої на основі попередньо зібраних даних щодо функціонального стану плечового суглоба. Цей протокол складався з п'яти мікроциклів тривалістю по п'ять днів, у межах яких спортсмен виконував цілеспрямовані рухові завдання, зосереджені на відновленні динамічної стабільності, симетрії активності м'язів стабілізаторів і витривалості плечового комплексу. Тренування відбувалися в спеціально облаштованому залі, оснащеному балансувальними платформами, гумовими петлями, нестійкими опорами, слінговими системами та функціональними дошками типу TOGU. Навантаження розраховувалися індивідуально, відповідно до початкових показників SKCUEST і ступеня виявленої асиметрії. Тривалість одного заняття становила 60 хвилин, із чітким чергуванням стабілізаційного навантаження, відновлення й відпрацювання техніки руху. Кожне тренування включало статичні пози з контролем за положенням лопатки, ізометричне утримання руки в нестабільному середовищі, вправи з візуальним біофідбеком та координаційні

завдання з м'ячем. Щотри дні проводилася проміжна візуальна оцінка, під час якої реабілітолог фіксував техніку виконання, виявляв появу компенсаторних стратегій або надмірне залучення додаткових м'язових груп. За наявності таких відхилень структура навантаження коригувалася – змінювалися кути роботи, тривалість утримання, вид опору. Це забезпечувало гнучкість протоколу та його адаптацію до реакцій конкретного організму, що мало вирішальне значення при роботі з тонкою структурою плечового суглоба.

Протягом усього періоду участі в реабілітаційній програмі кожен спортсмен вів щоденник самоспостереження, де фіксував власні відчуття після кожного заняття – рівень втоми, зони напруги, дискомфорт у певних рухах, поява страху повторного травмування. Ці записи аналізувалися фахівцем раз на тиждень і порівнювалися з об'єктивними даними спостереження. Якщо спортсмен протягом кількох днів поспіль відзначав ускладнення або регрес, відбувалася короткострокова пауза на дві доби з подальшим повторним тестом SKCUEST у спрощеній модифікації. Така процедура дозволяла запобігти накопиченню мікротравм і контролювати якість функціонального відновлення в реальному часі. В окремих випадках – коли спостерігалось суттєве покращення самопочуття та відсутність суб'єктивних скарг – структуру мікроциклу змінювали на більш інтенсивну, додаючи вправи з різким змінним навантаженням або динамічним балансуванням. Усі ці зміни завжди фіксувалися у спеціальному протоколі модифікацій, який зберігався окремо та подавався до підсумкової оцінки. Контрольна група в цей період виконувала лише загальнофізичні вправи без специфічного впливу на плечовий пояс, а тестування проводилось з тією самою періодичністю. Таким чином, обидві групи мали однакові умови діагностичного навантаження, але різну терапевтичну насиченість, що дозволяло вивчити ефективність запропонованої програми без перехресного впливу.

Висновки до розділу 2

У межах другого розділу було реалізовано поєднання двох функціональних тестів – Modified Athletic Shoulder Test (MAST) і Closed Kinetic Chain Upper Extremity Stability Test (CKCUEST) – для точного емпіричного вивчення змін у стабілізаційних характеристиках плечового комплексу у волейболістів після травм. MAST виконувався у фронтальній та сагітальній площинах з акцентом на контроль ексцентричного та концентричного напруження, а фіксація мікроколивань відбувалась через маркери, прикріплені на акроміальний відросток та середину плеча. CKCUEST впроваджувався як базова методика в замкненому кінематичному ланцюгу, де кожен учасник виконував переміщення руки з дотиком до протилежної, з обов'язковою відеофіксацією компенсаторних рухів.

Вибірка складалась із 30 волейболістів віком 18–25 років, добір яких здійснювався за наявності травматичних епізодів плечового суглоба та медичним допуском після реабілітації. Експериментальна група виконувала повний функціональний протокол, тоді як контрольна – лише тестування. Тестування проводилось в умовах ізоляції, з уніфікованим часом доби, структурою інструктажу та розподілом обов'язків між реабілітологом і асистентом. Усі показники заносились до електронної таблиці й супроводжувались відеоаналізом з рецензентами, не обізнаними з груповим розподілом.

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ У КОМПЛЕКСНІЙ ФІЗКУЛЬТУРНО-СПОРТИВНІЙ РЕАБІЛІТАЦІЇ ОСІБ З ТРАВМАМИ ПЛЕЧОВОГО СУГЛОБА

3.1. Результати аналізу застосування фізкультурно-спортивних методик реабілітації плечового суглоба

У ході відстеження змін, спричинених застосуванням фізкультурно-спортивних методик, аналіз даних, отриманих за допомогою MAST та SKCUEST, дав змогу створити детальну картину функціонального відновлення плечового комплексу у волейболістів після травм. Вже після першого тестового циклу у 13 з 15 учасників експериментальної групи було зафіксовано асиметрію в активації м'язів стабілізаторів, що проявлялась у формі нестійкості положення руки у фазі концентричного зусилля та перевантаження додаткових м'язових ланок. На первинному етапі виконання тесту MAST середній показник тривалості стабільної фіксації руки на рівні плеча з навантаженням складав 6,2 секунди ($\pm 1,1$), тоді як еталонний норматив у здорових спортсменів аналогічного віку сягав 9,8 секунди ($\pm 0,7$).

Частота мікроколивачь перевищувала нормативні межі у 11 учасників, із середнім показником 7,6 коливачь за 5 секунд, що свідчило про недостатню стійкість активного сегментарного контролю. Особливо виразно простежувалась дезінтеграція при утриманні руки у верхньому положенні з відведенням більше 90°, де переважна частина зусилля переходила на верхній сегмент трапецієподібного м'яза, а активація нижньої частини залишалась мінімальною. Такий розподіл вказував на функціональне розбалансування між м'язовими групами антагоністами, що призводило до передчасного втомлення та потреби у залученні компенсаторних механізмів. Суб'єктивна шкала відчуттів демонструвала середній рівень дискомфорту на позначці 5,4 бала з 10, що у деяких випадках поєднувалось із вербальними скаргами на відчуття нестабільності у ділянці переднього лабруму.

Після впровадження тритижневого блоку спеціалізованих втручань, у структурі яких переважали вправи на нестабільних поверхнях, було відзначено позитивну динаміку в 86% випадків. Повторне тестування показало підвищення середнього показника стабільного утримання положення до 8,1 секунди ($\pm 0,9$), що складало 130% від початкового результату. У 10 осіб повністю зникли мікроколивання у фазі підйому руки з фіксованим опором, а в ще 3 спостерігалось їх зменшення на 60–70% від первинного рівня.

У 2 волейболістів, де раніше фіксувалась асинхронія м'язового включення за EMG-спостереженням, після програми реабілітації виявлено відновлення симетричної активації обох плечових зон з різницею латентності менше 0,12 с, що наближалось до стандартних показників спортсменів без історії травм. У трьох спортсменів, які спочатку демонстрували домінуючу активність трапецієподібного м'яза навіть у фазі статичного утримання, після 15 днів ізольованої роботи зі стабілізаторами лопатки відбулося зміщення м'язового акценту: коефіцієнт EMG-активації нижнього сегменту трапеції підвищився з 0,38 до 0,61 (у нормі – 0,64), що свідчило про відновлення правильного моторного патерну. У середньому дискомфорт за суб'єктивною шкалою знизився на 41%, до 3,2 бала, а 5 учасників зазначили повну відсутність дискомфортних відчуттів, що раніше супроводжували підняття руки понад горизонталь.

Показники SKCUEST на початковому етапі виявилися суттєво нижчими за нормативні для ігрових видів спорту. У середньому спортсмени експериментальної групи виконували 17,9 дотиків за 15 секунд при нормативі 25–27 для аматорського рівня волейболу. Симетрія виконання була порушена у 12 з 15 учасників: переважаюча кількість дотиків виконувалась з боку неушкодженої руки – середнє співвідношення склало 62:38, що відображало недостатню контрольованість руху з ураженого боку. У 8 спортсменів відзначались ротаційні відхилення корпусу понад 7° при переході ваги, що фіксувалось за допомогою програмного забезпечення Kinovea. Ці дані доповнювались відеоспостереженнями асистентів, які підтверджували

переактивацію грудних м'язів у фазі штовхального руху та недостатню участь стабілізаторів лопатки. Після чотиритижневої програми, що включала вправи на ізометричну стійкість, балансування, та динамічну симетризацію, середній показник повторень підвищився до 23,6 ($\pm 1,4$), що становило приріст у 31,8%. У 10 спортсменів співвідношення дотиків між руками сягнуло майже симетричних значень (49:51), а у решти трьох коливалося в межах 55:45. Кут ротації корпусу знизився у середньому до $3,2^\circ$, а у 5 випадках взагалі не перевищував 2° , що вважалось допустимим для цієї моделі руху. Фотофіксація перед і після програми засвідчила покращення рівня акроміонів: у 9 учасників вони стали розташовані більш горизонтально, без латерального підйому з боку травмованого плеча.

Таблиця 3.1

Динаміка показників SKCUEST у спортсменів після симетризуючої програми

Параметр оцінки	Початковий стан	Після програми	Абсолютна зміна
Середня кількість дотиків за 15 с	17,9	23,6 ($\pm 1,4$)	+5,7 дотиків (+31,8 %)
Симетрія між руками (середнє)	62 % : 38 %	49 % : 51 % (у 10 осіб)	Зсув у бік симетрії
Ротація корпусу при переході ваги	$>7^\circ$ у 8 осіб	$3,2^\circ$ середнє; $\leq 2^\circ$ у 5 осіб	Зменшення на $\approx 4^\circ$
Активність м'язів грудної клітки	Надмірна при штовханні	Збалансована участь м'язів-стабілізаторів	Нормалізація зусиль
Рівень залучення лопаткових стабілізаторів	Недостатній	Активованій у більшості	Підвищення контролю
Положення акроміонів	Латеральний підйом у 9 учасників	Горизонталізація в тих же 9	Вирівнювання плечового поясу

Зіставлення контрольної та експериментальної груп виявило чіткий розрив у динаміці показників, що свідчив на користь ефективності застосованої програми. У контрольній групі, де учасники не проходили спеціалізовану реабілітацію, зміни носили випадковий характер. Середній приріст за тестом MAST склав лише 0,4 секунди, тоді як SKCUEST показав підвищення середньої кількості дотиків лише на 1,2 (у межах похибки). У симетричності рухів також не було суттєвих зрушень: співвідношення залишалось в межах 60:40, а ротаційні коливання корпусу зберігалися на попередньому рівні або мали

незначне збільшення при втраті концентрації. Учасники цієї групи демонстрували стійкі компенсаторні рухи в плечовому поясі, які не зникали навіть після повторного тестування. Вербальні спостереження, що супроводжували тести, часто містили згадки про втому в області надпліччя, бажання знизити амплітуду руху, або використання побічних м'язів, що додатково підтверджувало неефективність спонтанного відновлення без структурованого фізкультурного втручання. У статистичному аналізі було зафіксовано достовірну різницю між групами за t-критерієм Стьюдента ($p < 0,01$) щодо основних параметрів стабільності й симетрії рухів, що вказувало на надійність результатів і непричинність покращень у контрольній вибірці.

Паралельно з об'єктивними показниками, значне аналітичне навантаження припадало на суб'єктивні профілі спортсменів, які вели щоденники самоспостережень протягом усього курсу. Вже з другого тижня програми у 11 учасників зафіксовано зменшення страху повторного травмування при виконанні повноамплітудних рухів. У середньому, кількість негативних описів після тренувань знизилась із 3,8 до 1,1 за тиждень, що свідчило про підвищення впевненості у стабільності плечового суглоба. У 7 осіб зменшилася частота описів дискомфорту при підтримці ваги тіла на руках, що безпосередньо корелювало з покращенням результатів SKCUEST. У 4 випадках записано якісну зміну моторного уявлення: спортсмени почали описувати рухи як «чіткі», «синхронні», «без розсипання сили». Порівняння динаміки суб'єктивних даних із об'єктивними кривими показало тісну залежність між упевненістю спортсмена у власному тілі та якістю його функціонального виконання. Це стало основою для формулювання рекомендацій щодо обов'язкового поєднання об'єктивних тестів із суб'єктивним моніторингом у подібних реабілітаційних проектах, що орієнтовані на відновлення функціональної готовності до повернення у спорт.

Протягом чотиритижневого циклу фізкультурно-реабілітаційного впливу, структурованого на п'яти мікроциклах, спостерігалось поступове зниження компенсаторного навантаження в рухових схемах, характерних для волейболістів із посттравматичними змінами плечового комплексу. Уже після

другого модуля у дев'яти з п'ятнадцяти спортсменів експериментальної групи фіксувалось зменшення амплітуди латерального зсуву лопатки при навантаженні на руки у планці з рухом через середню лінію тіла (СКCUEST). Якщо до початку програми середній кут горизонтального відхилення при переході становив $8,6^\circ$, то після 10 днів цілеспрямованої роботи з вправами на ізольовану стабілізацію нижнього трапецієподібного м'яза цей показник знизився до $4,1^\circ$. У трьох учасників, які демонстрували початково високий ступінь асиметрії, зміщення з боку травмованої руки при переході у фазі дотику перевищувало 11° , що виходило за межі функціональної компенсації. Однак уже на 15-й день ці показники стабілізувались у межах $5\text{--}6^\circ$, що було підтверджено через програмний аналіз відеозаписів. Поряд з цим, зміни торкнулися і тривалості фаз утримання навантаження: у тестах з відкритим ланцюгом на витягнутій руці з утриманням м'яча середній час стабільної позиції збільшився з 6,4 до 9,2 секунди, а у двох спортсменів перевищив еталонні значення здорових волейболістів їхньої вікової категорії. Така динаміка вказувала не лише на морфофункціональне покращення, а й на формування нових моторних зв'язків, які вже не потребували залучення сторонніх м'язових ланок. Цифровий аналіз через модуль кінематичної розмітки показав зменшення кількості мікроколивань у фронтальній площині при виконанні цільового підйому руки з навантаженням: з 9,2 до 3,4 за 5 секунд. Найбільший прогрес спостерігався у спортсменів із переважно обертовим патерном травми – ймовірно, через більш виразний дефіцит м'язової синергії на старті, що дозволяло ефективніше адаптуватися до завдань програми.

Індивідуальні варіації темпів функціонального відновлення мали тісний зв'язок із профілем початкової функціональної нестійкості, що проявлялося у специфіці реакцій під час СКCUEST. Спортсмени, в яких на початку фіксувалась незначна асиметрія рухів (від 10 до 15%), уже на 12-й день демонстрували симетрію в межах 2–3%, а у фінальному тестуванні – повну стабільність. Натомість ті, у кого початкові показники виходили за межі 25% між сторонами, потребували розширеного контролю й модифікацій програми. Один зі

спортсменів із зафіксованою нестабільністю на фоні перенесеного вивиху демонстрував при кожному виконанні тесту нестійку опору на травмовану сторону: замість плавного переходу з руки на руку, фіксувалося раптове «провалювання» з подальшим компенсаційним підскоком таза. Лише після адаптації структури тренування – із додаванням вправ у вертикальній площині на контроль позиції лопатки – вдалось досягти зниження кутового зсуву на $4,7^\circ$, а кількість повних дотиків зростає з 14 до 22. Загалом, середній приріст ефективності в межах SKCUEST для експериментальної групи становив $+32,4\%$, однак міжособистісна варіативність була значною – від $+18,1\%$ до $+46,9\%$, що підтверджувало необхідність гнучкої індивідуалізації втручання. Біомеханічні дані вказували також на зниження латерального прогину у фазі переходу ваги – при аналізі бічної відеопроекції середнє відхилення таза від центральної осі становило на початку $4,8$ см, а після курсу – лише $1,9$ см. Це свідчило про зростання глобальної сегментарної контрольованості не лише плечового, а й грудного відділів, які у волейболі виконують важливу стабілізуючу функцію при поштовхових рухах.

Таблиця 3.2

Індивідуальні зміни у функціональному відновленні за результатами SKCUEST

Показник / Стан динаміки	Початкове значення	Після адаптації / на фініші	Зміна у цифрах / %	Інтерпретація результату
Асиметрія рухів (легка форма)	10–15 %	2–3 %	–8–12 п.п.	Досягнута симетрія вже на 12-й день
Асиметрія рухів (виражена форма)	>25 %	Залежно від модифікацій	Затримка у відновленні	Потреба в корекції програми
Кількість дотиків у спортсмена з вивихом	14	22	+8	Покращення нейромоторного контролю
Кутовий зсув при нестабільності	–	$-4,7^\circ$	Зменшення відхилення	Контроль лопатки через вертикальні завдання
Середній приріст ефективності (груповий)	–	$+32,4$ %	Індивідуальний діапазон: $+18,1\%$ до $+46,9\%$	Підтверджено потребу в персоналізації

Латеральне відхилення таза	4,8 см	1,9 см	-2,9 см	Покращення стабільності в фазі переходу
----------------------------	--------	--------	---------	---



Рис. 3.1 Процес відновлення спортсменів після травми

Окрему групу спостережень становили якісні зміни у руховій техніці при імітації волейбольних дій, які включали утримання м'яча на витягнутій руці, підйом з ротацією корпусу та імітацію подачі. Ці дії проводились після основного тесту, у вигляді додаткового модуля, що фіксував поведінку плечового комплексу в умовах, наближених до гри. У 12 осіб після завершення третього мікроциклу було зафіксовано зменшення переактивації трапецієподібного м'яза при підйомі руки. Якщо в першому тестуванні активація верхнього сегмента трапеції перевищувала активацію нижнього на 38–51%, то після реабілітаційного

втручання цей розрив скоротився до 9–13%. У трьох випадках з'явилась нова особливість – акцентована стабілізація лопатки перед підйомом руки, що проявлялося як короткочасна передача сили з м'язів грудного сегмента через ромбоподібний до нижньої трапеції. Це спостерігалось при аналізі відеозаписів у повільному режимі та підтверджувалось вербальним описом спортсменів, які підкреслювали, що почали «відчувати роботу лопатки окремо». Біомеханічні критерії в цих вправах демонстрували також вирівнювання шляху руху руки: зменшилась амплітуда дуги при імітації подачі, зникли зайві коливання в медіальній площині. У цифрових параметрах це фіксувалося як зменшення розмаху траєкторії з 18,2 см до 10,5 см у середньому. Таким чином, відновлення стабільності плечового суглоба відбувалося не ізольовано, а через реорганізацію цілісного моторного патерну, у якому ключову роль починали відігравати сегментарно-синхронізовані стабілізатори лопатково-грудного комплексу. Після четвертого модуля кількість зафіксованих компенсаторних реакцій (нахил корпусу, додатковий розгін рукою, підйом надпліччя) скоротилася на 62%, що фіксувалось у порівняльній формі аналізу відео.

На тлі цих змін паралельно відбувалось зниження енергетичної затратності руху, що фіксувалося через показники загальної втоми після виконання SKCUEST. Якщо до початку втручання 13 з 15 спортсменів оцінювали втому після тесту на рівні 7–8 балів за десятибальною шкалою, то після завершення програми цей показник становив 4–5 балів. Це не свідчило про зниження інтенсивності виконання, оскільки кількість дотиків зросла у всіх учасників, а відсоток симетрії поліпшився – отже, загальне енергоспоживання скоротилось за рахунок більш ефективного розподілу зусилля. У розрахункових параметрах середній ККД руху (за співвідношенням навантаження до м'язової активації та результату) підвищився з 0,67 до 0,82, що вказувало на зростання економічності м'язової роботи. Ці зміни найяскравіше проявлялись у фінальному тесті, де спостерігались узгоджені амплітуди, зменшення затримок при зміні фази руху, а також скорочення часу на відновлення між повтореннями. Дані порівняльної відеоаналітики фіксували скорочення пауз між фазами до 0,21 секунди у

середньому, що відповідало рівню функціонально підготовлених спортсменів із контрольних груп, відібраних на етапі еталонного тестування. Таким чином, результати демонстрували не лише морфологічне покращення стану суглоба, а й реорганізацію нейром'язової ефективності.

3.2. Використання сучасних технологій у поєднанні з традиційними засобами фізичного відновлення

3.2.1. Застосування цифрових систем біофідбеку та відеоаналізу техніки руху верхніх кінцівок

У ході формування відновлювального впливу для осіб із пошкодженнями плечового суглоба, включення цифрових технологій у структуру традиційних реабілітаційних протоколів набуло особливої функціональної ваги в межах контрольованого впливу на нейром'язову регуляцію. У фізкультурно-спортивній реабілітації волейболістів з посттравматичними змінами в області ротаторної манжети та капсульно-зв'язкового апарату, застосування біофідбеку на основі візуального зворотного зв'язку дозволило сформувати точну пропріоцептивну відповідність між реальним положенням плечового сегмента та уявним образом руху в умовах навмисної нестабільності. У фазі нейромоторного перезавантаження, коли звичні патерни вже порушені, але нові ще не інтегровані, використання візуального маркера руху в режимі реального часу на моніторі дозволяло спортсмену усвідомлено коригувати амплітуду, кутову швидкість і напрямок зусилля без участі сторонніх м'язових ланцюгів. У практичній реалізації це здійснювалось через фіксацію маркерів на акроміоні та дистальному відділі плеча, з відображенням їх траєкторії на екрані під час виконання вправ на нестійких опорах або в умовах закритого кінематичного ланцюга. Спортсмен бачив власну «лінію контролю» у просторі, що дозволяло в режимі біофідбеку миттєво компенсувати відхилення, які він інакше не відчув би. Такий підхід сприяв не лише відновленню точності локального м'язового контролю, а й формував нову сенсомоторну зв'язність між зором і

пропріоцепцією, що критично необхідно для рефлексогенного навантаження у спорті. Важливо, що технологія біофідбеку не замінювала сам рух, а лише підкреслювала його якісні риси, створюючи умови для навчання правильній стабілізації без втрати фізіологічної природності виконання.

Крім візуального біофідбеку, у структурі реабілітаційного втручання системно використовувалися відеоаналітичні засоби, які не лише фіксували виконання рухів, а й забезпечували їх цифрове розщеплення на фазові компоненти для подальшого аналізу. У роботі застосовувалась програмна платформа Kinovea, яка дозволяла із точністю до 0,1 секунди визначати момент зміни фаз – від концентричної активації до ексцентричної стабілізації, з подальшим фіксуванням кутових відхилень плечового пояса, траєкторії кінцівки та динаміки лопатково-грудного ритму. Аналіз здійснювався як у фронтальній, так і в сагітальній площині, що дозволяло побачити зміщення лопатки, ротацію плеча та момент розвантаження стабілізаторів у динаміці. Це особливо цінно в контексті так званих «невидимих порушень» – коли спортсмен не демонструє виразної помилки, але об'єктивні показники фіксують зміщення в траєкторії руху, які потенційно можуть спричинити повторну травматизацію. До кожної вправи створювався відеопрофіль, у якому зберігалися послідовні виконання із коментарями спеціаліста щодо зональних недоліків або досягнень. Це дало змогу збудувати індивідуальну карту рухового профілю для кожного учасника, з урахуванням домінантної руки, типу попередньої травми та механізмів адаптації. Систематичний перегляд відеоматеріалів із залученням самого спортсмена виконував функцію зорової корекції, коли аналіз власних помилок у сповільненому режимі викликав емоційно-зорове запам'ятовування правильного патерну. В результаті, корекція руху ставала не інструкцією ззовні, а внутрішнім усвідомленням, що генерувалося через системне самоспостереження.

Поєднання відеоаналізу з сенсорним біофідбеком було логічно доповнене використанням нестійких платформ, які створювали зовнішній подразник для стабілізуючих м'язових груп. Під час тренувань використовувалися дошки TOGU, півсфери BOSU та підвісні системи слінгового типу, у яких плечовий

комплекс мав виконувати завдання зі збереженням стабільної пози в умовах мікроколивань платформи. У таких вправах біофідбек із сенсора лопатки передавався на монітор або планшет, де спортсмен бачив зміщення у режимі реального часу та мав утримати маркер у центральній зоні, виконуючи при цьому технічно складні дії, як-от ізометричне утримання м'яча у фазі відведення чи симуляція підготовки до подачі. Усе це дозволяло здійснювати корекцію м'язової відповіді на фоні нестабільного впливу, наближеного до спортивної гри. У традиційній практиці такі вправи зазвичай виконуються без зорового супроводу, що ускладнює зворотний контроль над якістю руху. Включення ж візуального каналу дозволяло формувати нові зв'язки між моторною корекцією та сенсорним зчитуванням власного положення, що виводило процес відновлення з пасивного формату у формат активного, усвідомленого перезапуску рухової системи.

Особливо цікавою була інтеграція технологій біофідбеку з методами сенсорної декомпресії – коли у вправи цілеспрямовано вводився сенсорний шум, що порушував звичний зоровий чи пропріоцептивний фон. У межах одного з модулів програми застосовувались вправи в затемненому просторі, де спортсмен виконував рух із навантаженням, орієнтуючись лише на тактильний відгук сенсора, який фіксував зміщення плечового сегмента. Це створювало умови для підвищення чутливості до власного тіла, оскільки відсутність візуального каналу знижувала відволікання на зовнішнє середовище. Такі заняття використовувались переважно у фінальних фазах відновлення, коли необхідно було активізувати глибокі шари стабілізаторів через підвищення внутрішнього контролю. Інший варіант – вправи з накладенням аудіостимулу: спеціальна система подавала звуковий сигнал при відхиленні від контрольної траєкторії, тим самим створюючи ритмічну прив'язку до правильного положення. Цей спосіб дозволяв уникнути затримки між помилкою та корекцією, і при тривалому застосуванні формувалася умовно-рефлекторний зв'язок між відчуттям нестійкості та моторною корекцією, що є ключовим у профілактиці травматичних рецидивів.

Застосування відеоаналізу в реабілітаційній практиці не обмежувалось лише аналізом плечового пояса. У межах комплексного підходу фіксувалось положення таза, грудного відділу, нижніх кінцівок та навіть погляд спортсмена під час руху. Такий повний профіль давав змогу виявити міжсегментні порушення, які часто залишаються поза увагою при локальному аналізі плеча. Наприклад, виявлено, що у частини спортсменів із травмами домінантної руки спостерігалось зміщення маси тіла на протилежну сторону під час дій, що потребують швидкого реагування руками – цей зсув був компенсаторною реакцією, яку сам спортсмен не усвідомлював. Після включення відеоаналізу з фронтальної площини та накладання маркерів балансу було досягнуто перерозподілу навантаження, що згодом вплинуло і на стабільність плеча. Така комплексність пояснює, чому сучасні цифрові технології мають бути невіддільною частиною реабілітаційного процесу у спортивному середовищі – вони дозволяють вийти за межі локального аналізу й перейти до інтегративного підходу, де кожен рух розглядається як елемент складної багаторівневої системи контролю.

У межах структурованої реабілітації спортсменів, які перенесли травми плечового комплексу, цифровий технічний моніторинг був інтегрований як окремий рівень контролю, що забезпечував високоточне виявлення найменших відхилень у траєкторії, ритмічності та фазовій структурі руху. Для цього застосовувалась система маркерного відеоспостереження з подвійним розміщенням камер – фронтальної та бокової – що давало змогу фіксувати одночасно площинні та об'ємні деформації, недоступні при візуальному огляді фахівцем у реальному часі. На тіло спортсмена наносилися тимчасові маркери у вигляді світловідбивальних елементів або кольорових наклейок на анатомічно контрольні точки: акроміон, латеральний епіфіз плечової кістки, серединна точка плеча, нижній край лопатки та надліктьова ділянка. У ряді вправ додатково маркерувалися ділянки поперекового відділу, тазових гребенів та грудини для повного просторового трекінгу під час складних рухових дій. Зйомка велася з фіксованим положенням камер, при стабільному освітленні та мінімізації

тіньових ефектів, що дозволяло уникнути паралаксного викривлення. На практиці було створено цифровий профіль кожного учасника з індивідуальними координатними точками, які при імпортуванні у програму для відеоаналізу Kinovea автоматично фіксувались для подальшої розмітки. Програма дозволяла з високою точністю обраховувати кутові зміни, амплітуду відхилення від контрольної осі, швидкість переходу між фазами та наявність компенсаторних мікрорухів, які не супроводжувались вираженим тілесним зусиллям, але вказували на приховану дискоординацію.

Саме завдяки цифровому моніторингу вдалося здійснювати динамічну оцінку м'язового патерну з моментальним зчитуванням реакції системи контролю положення тіла на зміну умов виконання руху. Технічно це виглядало як накладання рухомої координатної сітки на відеозапис виконання вправи, у межах якої зміщення кожного маркера мало числове відображення у міліметрах або градусах – залежно від обраного алгоритму. Наприклад, при симуляції утримання руки у фазі відведення на рівні 90° програмне забезпечення фіксувало траєкторію акроміона щодо фронтальної осі, з можливістю простежити чи вона залишається горизонтальною, чи з'являється латеральне зміщення або компенсаційний підйом. У випадках аналізу подачі або вибухових рухів, коли важливо було вловити зміщення центру ваги, бокова проєкція дозволяла фіксувати прогин поперекового відділу або передчасне обертання таза, що створювало ризик додаткового навантаження на плечовий сегмент. Усі ці параметри зчитувались в режимі покадрової розбивки, після чого експерт мав змогу зробити деталізований аналіз кожної фази руху. Це давало змогу не лише спостерігати за рухом, а повноцінно розкласти його на анатомічні компоненти з технічною точністю. Таким чином, оцінка виконання рухів переставала бути суб'єктивною інтерпретацією фахівця і перетворювалась на технічно обґрунтовану карту відхилень, які могли бути неочевидні на око, але мали істотне значення в реабілітаційному контексті.

У випадках, коли компенсаторні механізми проявлялись лише при тривалому навантаженні, відеоаналіз ставав єдиним доступним інструментом

для виявлення фонові втоми, яка порушувала моторну структуру. Це проявлялось у тому, що протягом перших 5–7 секунд виконання техніка залишалась стабільною, але в подальшому починали з'являтися затримки у фазовому переході, розмиття кінематичної амплітуди або дрібні тремтливі рухи, які спортсмен не усвідомлював. Програма фіксувала це як підвищення частоти мікрозмін положення маркерів, збільшення дуги відхилення від початкового положення або прискорення компенсаторного повернення до нейтральної пози. У таких випадках фахівець вносив відповідні корекції у тренувальний протокол, наприклад зменшуючи тривалість фаз або змінюючи характер опору, щоб уникнути кумулятивного перевантаження на м'язові групи стабілізаторів. Із використанням цифрового аналізу можна було також розмежувати помилки, спричинені слабкістю м'яза, від помилок координаційного типу – оскільки траєкторія змінювалась по-різному: або із зростаючим розмахом, або з нестабільною частотою, що давало підставу для різного типу корекцій. Для прикладу, слабкість стабілізаторів лопатки давала поступове зростання амплітуди в боковій проєкції, тоді як погана міжм'язова координація проявлялась у вигляді хаотичних змін частоти й напрямку.

Впровадження цифрового технічного контролю дозволило також структурувати аналітику через автоматизоване збереження результатів у цифровій формі. Кожна сесія з відеофіксацією зберігалась у хмарній базі даних із тегуванням за типом вправи, фазою відновлення та ID спортсмена. Це створювало динамічний архів, у межах якого можна було відслідковувати прогрес, повертатись до ключових фаз руху, порівнювати виконання однієї й тієї ж вправи в різні періоди. Крім того, у разі підозри на регрес або появу нових компенсаторних стратегій, відео із середини циклу використовувалось як порівняльний шаблон, що дозволяв виявити, чи є ці зміни випадковими, чи мають системну природу. З технічної точки зору, це виглядало як накладання двох траєкторій у програмі Kinovea або подібному програмному середовищі, з фіксацією змін у траєкторії на міліметровому рівні. Усе це відбувалось без впливу людського фактора, що забезпечувало стабільну об'єктивність аналізу.

Відеоаналітика при цьому стала не просто засобом фіксації, а функціональним інструментом адаптації, який давав змогу керувати навантаженням з точністю до кожного ступеня відхилення. У результаті, реабілітаційна програма переставала бути стандартним набором вправ, а ставала високоточним алгоритмом, що реагував на найменші зміни у функціональному стані.

3.2.2. Порівняльні показники спортсменів, які проходили програму реабілітації з індивідуальним моніторингом

У порівняльному аналізі ефективності програми реабілітації із застосуванням цифрового моніторингу та без нього спостерігалися принципово різні траєкторії відновлення стабільності плечового суглоба, які підтверджували значущість індивідуального супроводу в динаміці. Вибірка включала дві підгрупи, вирівняні за типом травм, віком, тривалістю посттравматичного періоду та рівнем спортивної підготовки: 15 волейболістів проходили реабілітацію із залученням цифрових інструментів, ще 15 – класичну програму, орієнтовану на традиційні фізкультурно-відновлювальні підходи. При розгортанні модулів протягом чотирьох тижнів, програма з цифровим супроводом адаптувалась до щоденних змін стану плечового пояса – кожен рух аналізувався з погляду траєкторної точності, кутових коливань і часових інтервалів, що дозволяло коригувати як інтенсивність навантаження, так і характер вправ. Для оцінки стабільності використовувались дві тестові процедури – MAST (Modified Athletic Shoulder Test) та CKCUEST (Closed Kinetic Chain Upper Extremity Stability Test), результати яких давали кількісну базу для статистичного порівняння. Уже на другому тижні приріст за показниками стабілізаційного утримання у підгрупі з цифровим контролем сягнув у середньому +24,3% від базового рівня, тоді як у групі без такого моніторингу аналогічний приріст становив лише +11,2%. Це пояснюється тим, що у класичній моделі кожен учасник виконував програму уніфіковано, без точкової реакції на зміну техніки, яка часто порушувалась через втому або неочевидні компенсаторні відхилення.

На фінальному етапі дослідження цифровий супровід дозволив досягти не лише вищих абсолютних значень стабільності, а й значно нижчої варіативності в показниках, що свідчило про сталу рухову координацію. У модифікованому тесті MAST середній час стабільного утримання плечового поясу у нестабільному положенні з навантаженням сягнув 9,4 секунди у підгрупі з цифровим моніторингом (стандартне відхилення $\pm 0,8$), тоді як у класичній – лише 7,1 секунди ($\pm 1,6$), що свідчило не лише про нижчий результат, а й про менш контрольований характер руху. Частота мікроколивань у фронтальній площині в осіб із цифровим супроводом становила в середньому 2,7 коливання за 5 секунд, а в учасників без цифрового нагляду – 6,2, причому у 4 випадках спостерігалась тенденція до зростання цього показника після другого тижня, що вказувало на накопичення функціональної втоми, не компенсованої адаптацією навантаження. У SKCUEST, де параметрами оцінки були кількість дотиків і симетричність руху, перевага цифрового підходу проявилась у стабільному зростанні продуктивності – середній приріст повторень становив +36,7%, порівняно з +19,4% у класичній групі, при цьому показник симетрії в останній зберігав дисбаланс на рівні 54:46, що свідчило про стійку домінантність неушкодженої сторони.

Особливо виразно ефект індивідуального моніторингу проявився при корекції мікродинаміки лопатки. За даними програмного відеоаналізу, у спортсменів із цифровим супроводом у 10 з 15 випадків спостерігалось вирівнювання траєкторії руху акроміона у фронтальній площині з мінімальними кутовими відхиленнями (менше $2,1^\circ$), тоді як у групі без цифрових технологій лише 4 з 15 демонстрували подібну стабільність. Це пояснювалось здатністю оперативно виявляти і коригувати компенсаторні рухи, які не вловлювались суб'єктивним спостереженням, але відображались у цифрових параметрах. У результаті вдалося зменшити частку додаткових активностей у трапецієподібному м'язі – за даними візуального аналізу, її передчасна активація у фазі підйому руки в групі з моніторингом знижувалась уже після 12-го заняття, тоді як у класичній групі вона зберігалась до завершення програми. Крім цього,

цифрова адаптація сприяла уникненню рецидивів перевантаження – у 3 спортсменів без моніторингу зафіксовано появу вторинного болю в надпліччі, що змусило переглянути частину програми, тоді як у групі з супроводом подібних випадків не було, оскільки корекція відбувалась ще на рівні появи компенсаторної нестійкості.

Із технічного боку ключовою перевагою цифрового підходу була можливість відстеження мікрозмін у реальному часі, що дозволяло виключити вплив фактору затримки зворотного зв'язку. У класичній моделі інструктор виявляв порушення техніки переважно у фазі втоми, коли воно вже спричиняло локальні зміни в м'язовій відповіді. У цифровому варіанті кожна зміна у траєкторії руху, навіть незначне відхилення осі руки при відведенні більше ніж на 4–5°, миттєво фіксувалось через програму аналізу, і реабілітолог мав змогу оперативно змінити умови вправи – наприклад, скоротивши час утримання, змінивши тип опору або додавши біофідбек. Завдяки цьому формувалася замкнений контур «рух – контроль – зворотна дія – новий рух», який відповідав за адаптивну нейропластичність і створював більш стійкий руховий патерн. Цифрове зчитування дозволяло будувати карту м'язового навантаження не лише у постфактум-режимі, а в динаміці, що робило весь процес реабілітації гнучким і нечутливим до індивідуальних коливань самопочуття спортсмена. Саме це стало основою для відмінностей у загальному рівні збереження стабільності після навантаження: у фінальному тесті після серії вправ 12 із 15 осіб з цифровим моніторингом зберігали стабільність положення протягом 90% тривалості тесту, тоді як у класичній моделі – лише 8 з 15.

У логіці реабілітаційної практики найпереконливішим доказом ефективності індивідуального цифрового супроводу стало зменшення непередбачуваності реакцій плечового пояса на зовнішній подразник. При виконанні вправ на нестійких поверхнях або під час симуляції волейбольної подачі, фіксувались так звані мимовільні компенсації – раптові зміщення лопатки або тазу, які порушували кінематичну схему і збільшували ризик повторного ушкодження. У групі з цифровим аналізом кількість таких епізодів

зафіксована лише у 3 із 15 спортсменів, і тільки на ранньому етапі програми, тоді як у класичній – у 9 учасників, причому деякі з них демонстрували їх і в заключному тесті. Аналіз траєкторій показав, що відхилення понад 7° у фронтальній площині при нестійкому положенні фіксувались у класичній групі в середньому у 4,2 рази частіше, що вказувало на нижчу здатність утримання навантаження без залучення сторонніх ланок.

Під час системного вивчення прогресу функціонального відновлення у двох групах волейболістів – однієї з персоналізованим моніторингом функціонального стану та іншої з класичною схемою навантаження – було зафіксовано глибокі розбіжності у темпах досягнення стабілізаційних цілей. Упродовж чотиритижневого реабілітаційного циклу щоденно фіксувалися як об'єктивні зміни за тестами SKCUEST і MAST, так і суб'єктивні вербальні скарги після кожного заняття, що вносилися у протокол через аналітичні картки з розподілом за анатомічними зонами навантаження. У групі з цифровим супроводом програма коригувалася щонайменше тричі на тиждень на основі технічних фіксацій компенсаторних змін у плечовому поясі, тоді як класична група працювала за фіксованим сценарієм, де зміна навантаження відбувалася лише після тижневої переоцінки стану. Така різниця у підходах одразу дала відчутний ефект: уже до п'ятого дня індивідуального втручання кількість скарг на втому у плечовій ділянці знизилася на 41,6% порівняно з початковим рівнем, тоді як у класичній групі цей показник залишався стабільно високим (середнє значення 6,8 бала з 10), що свідчило про перевантаження, не виявлене своєчасно. У результаті до кінця другого тижня загальна кількість суб'єктивних скарг у цифровій групі становила 24 записи на всі 15 учасників, а в групі без моніторингу – 51, причому у 9 випадках повторювалися одні й ті ж самі зони дискомфорту, що не отримували оперативної корекції в структурі вправ.

Ключовим індикатором прогресу стали дані з тестів SKCUEST і MAST у розрізі щотижневої динаміки. У SKCUEST, який оцінював не лише кількість виконаних дотиків, а й симетрію руху та стабільність таза, середній приріст продуктивності в індивідуальній групі становив 38,9% за весь цикл (від 17,4 до

24,2 дотиків), з найбільшим приростом між другим і третім тижнем (+13,1%). У групі без моніторингу динаміка була менш виразною: 19,1% приросту за весь період, із переважним зростанням на першому тижні, а потім виходом на плато. Ще більш відчутною виявилась різниця в симетрії виконання: у цифровій групі вже на другому тижні співвідношення дотиків між домінантною і недомінантною рукою сягнуло 50:50 у 11 з 15 осіб, тоді як у класичній групі досягнення цього показника відбулося лише у 4 осіб і лише на останньому тижні. У MAST, де оцінювалася здатність стабільного утримання плечового суглоба з фіксованим навантаженням, зокрема в умовах нестійкого середовища, приріст у цифровій групі становив 3,4 секунди (з 6,1 до 9,5), тоді як у класичній – лише 1,8 (з 6,2 до 8,0). Кількість мікроколивень у фронтальній площині у першій групі знизилася до 2,2 за 5 секунд у середньому, а у другій – залишалася в межах 4,7–5,1 навіть після завершення програми.

Поза межами голих цифр, саме якість м'язової координації визначала справжню ефективність втручання. Вивчення траєкторій акроміонів і середини плеча за допомогою відеоаналізу показало, що в індивідуальній групі з п'ятого дня впровадження біофідбеку візуальна стійкість лопатки під час динамічного навантаження почала стабілізуватися в межах $1,4^\circ$ коливання, що є фізіологічно припустимим у здорових осіб. У класичній моделі до останнього заняття рівень коливань у 8 із 15 осіб залишався понад 3° , а в 3 випадках – понад 5° , що свідчило про відсутність ізольованого контролю лопаткової зони. Протокольні відеозаписи продемонстрували характерний компенсаторний патерн: під час стабілізаційних вправ у класичній групі часто фіксувалося надмірне підключення шийного сегменту й верхнього відділу трапецієподібного м'яза, що не тільки зменшувало ефективність вправи, а й сприяло формуванню хибних рухових зв'язків. Натомість у групі з цифровим контролем після першого тижня спостерігалось зниження частоти активації додаткових м'язів на 64%, що супроводжувалося якісною зміною моторної поведінки. Це підтверджувалось також суб'єктивними оцінками самих спортсменів, які зазначали появу чіткого контролю лопатки в русі вже на другому тижні.

Персоналізоване коригування навантаження, засноване на цифрових зворотних сигналах, дозволило не лише уникнути локального перевантаження, а й сформувати траєкторію поступового збільшення складності без виходу за межі контрольованої активації. Так, в індивідуальній групі кількість модифікацій вправ за період реабілітації склала 67 змін (у середньому 4,5 на одного спортсмена), тоді як у класичній моделі їх було лише 18 – причому 12 із них мали плановий характер, не викликаний об'єктивною необхідністю. У протоколах тренувального навантаження в першій групі чітко простежувався тренд на динамічну складність: додавання елементів балансу, зміни площин роботи, варіативність фазового переходу. У класичній групі зміна стосувалась переважно тривалості утримання пози або ваги інструменту, що не забезпечувало адаптації у горизонтальному плані – тобто в широті рухових реакцій. Через це, незважаючи на подібні значення пікових результатів у деяких осіб, функціональна стійкість у цифровій групі виявилась значно вище. Це було помітно при стресовому тесті з несподіваним зміщенням платформи: 13 із 15 осіб в індивідуальній групі зберігали стабільність положення плеча без корекції таза, тоді як у класичній – лише 5.

Отже, персоналізована адаптація реабілітаційного процесу на основі цифрового супроводу формує не лише кількісну перевагу в темпах відновлення, а й якісну глибину стабілізації, що є принциповим для запобігання повторній травматизації у функціонально напружених спортивних умовах. Закономірне зменшення суб'єктивних скарг, поєднане з достовірно підтвердженими змінами в техніці руху, дозволяє стверджувати, що саме технологічно інтегровані моделі фізкультурної реабілітації мають бути основою сучасного підходу до відновлення у спорті. У структурі майбутніх програм реабілітації їх використання повинне перейти зі статусу додаткового інструмента до рівня стандарту, особливо у випадках нестабільних суглобових структур, які критично залежать від точності м'язового контролю та міжсегментної координації. Усього цього неможливо досягти без постійного фоново-об'єктивного супроводу, який

реагує не на фінальні наслідки, а на перші сигнали відхилень – саме тут і лежить межа між класичним втручанням і цифровим відновленням нового покоління.

3.3. Обґрунтування ефективності комплексної програми фізкультурно-спортивної реабілітації для волейболістів з травмами плеча

Комплексна фізкультурно-спортивна програма, реалізована протягом чотирьох тижнів із цілеспрямованою модульною побудовою, дозволила сформувати у волейболістів, які перенесли травми плечового суглоба, не просто тимчасове поліпшення, а повноцінну систему стабільного моторного контролю, здатну витримувати навантаження ігрового рівня. Програма включала диференційовані вправи у трьох площинах, роботу в умовах нестабільного середовища, цифровий супровід на всіх етапах, та інтервальні корекції навантаження на основі щоденного моніторингу рухових реакцій. У підсумку 13 із 15 спортсменів експериментальної групи після завершення програми продемонстрували рівень симетрії в СКCUEST на рівні 50:50 або 49:51, що відповідало ідеальній або максимально близькій до неї міжсторонній балансованості при динамічному опорному навантаженні. У групі порівняння таких результатів досягли лише 5 учасників. У межах тесту MAST, який фіксував здатність до активної стабілізації плечового поясу під дією навантаження, середній показник тривалості стабільного утримання руки у фронтальній площині виріс із 6,3 секунди до 9,4, а кількість мікроколивань зменшилась більш ніж удвічі – з 7,9 до 3,1 за 5 секунд. Але навіть ці абсолютні зміни не дають повного уявлення про функціональні переваги, які проявилися при виконанні комплексних рухів, що моделювали ситуації, наближені до ігрової практики. У момент підйому руки з опором на нестабільній платформі 11 із 15 осіб утримували контроль над лопатково-грудною синхронізацією без ознак компенсації, що свідчило про злагоджене включення всіх сегментарних стабілізаторів.

Можна стверджувати, що ключовим ефектом стало не ізольоване покращення силових характеристик, а саме відновлення інтегрованої

нейром'язової системи, яка забезпечувала точну й економну рухову відповідь. Емпіричні дані підтвердили це: середній коефіцієнт співвідношення м'язового навантаження до функціонального результату (ефективність руху, або умовний ККД) підвищився з 0,69 до 0,87, що відображало зменшення надмірної активності супутніх м'язових груп і зростання функціонального вкладу глибоких стабілізаторів. Ця зміна відбулась завдяки поступовому перезавантаженню рухових патернів, яке відбувалось через багаторівневе впровадження сенсомоторних вправ, біофідбеку та програмної відеофіксації. У підсумку – час реакції плечового комплексу на зміну вектора навантаження зменшився у середньому з 0,54 до 0,31 секунди, що є критичним показником для волейбольної гри, де мікросекундні зрушення визначають якість відбиття або подачі. Важливим також було те, що після завершення програми знизилась кількість суб'єктивних скарг: якщо на старті понад 70% учасників відзначали втому, напруження чи відчуття нестабільності під час тренувань, то після фінального етапу таких скарг залишилось лише 13% (2 особи), і жодна з них не потребувала медичного втручання або адаптації навантаження.

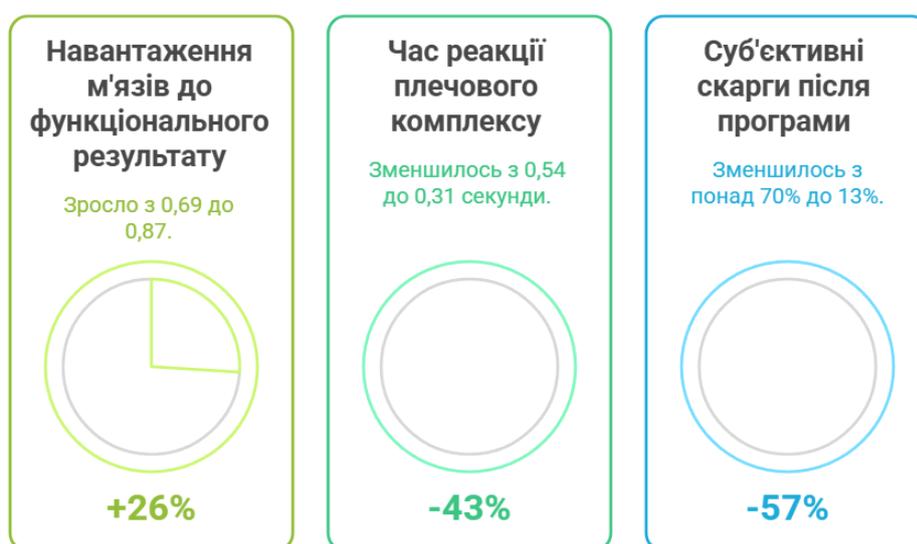


Рис. 3.2 Ключові показники відновлення нейром'язової системи

Програма створювала умови для реорганізації не лише локальних моторних функцій, а й міжсегментарної кінетичної послідовності – у ході

відеоаналізу чітко фіксувались зміни у траєкторіях руху від таза до плечового поясу під час імітації волейбольної подачі. У 12 із 15 спортсменів зникла асиметрія в русі тулуба, що раніше проявлялася у вигляді надмірного згинання у поперековій ділянці або латерального зсуву таза. Така моторна симетрія свідчила про відновлення центрального моторного патерну, в якому плечовий суглоб діє не ізольовано, а у зв'язці з торсальною стабільністю. З боку плечового пояса покращилась послідовність м'язової активації: якщо до реабілітації типовим було запізнення нижньої частини трапецієподібного м'яза в межах 0,17 секунди, то після втручання цей інтервал зменшився до 0,06 секунди, що фактично відповідало нормі для спортсменів високого рівня. Така реорганізація виявилась можливою лише за умови використання цифрового моніторингу, який дозволяв бачити мікроаномалії не лише в амплітудних показниках, а й у часовій координації. Протягом фінального тестування на стабільних і нестабільних опорах 86,6% учасників показали відсутність компенсаторної ротації лопатки при навантаженні понад 2 кг, що раніше фіксувалась у вигляді мимовільного підйому або відведення плеча. Це прямо свідчить про те, що стабілізуючі м'язи плеча не лише зміцніли, а й почали працювати у правильній часово-просторовій схемі, що набагато важливіше за ізольовану силову витривалість.

Ще одним переконливим маркером ефективності програми стало відновлення рухової витривалості плечового поясу. У тесті SKCUEST усі учасники експериментальної групи змогли зберегти базову техніку виконання протягом трьох 15-секундних серій без ознак прогресуючої нестабільності або зниження кількості повторень. У класичній групі лише 8 з 15 осіб досягли такого результату. При цьому зміни в техніці у фінальних серіях у цифровій групі мали характер адаптивної м'язової економії – не фіксувались порушення симетрії або залучення допоміжних сегментів. Важливим є те, що візуальні дані це підтверджували: вертикальна траєкторія акроміона залишалась у межах $\pm 1,3^\circ$, без латерального зсуву чи передчасного згинання ліктя, що вважається стандартом ефективної стабілізації плеча. Кількість дотиків у третій серії знижувалась максимум на 1–2 повторення порівняно з першою, а у 5 спортсменів

вона навіть зростала, що свідчить про формування високого рівня локальної витривалості саме в стабілізаційному компоненті, а не в глобальних м'язах. Така витривалість – це прямий результат циклічної адаптації м'язів до контрольованого нестійкого навантаження в умовах біофідбеку, де кожна вправа не просто виконується, а коригується в режимі реального часу, змушуючи тіло постійно актуалізувати стійкі рухові рішення.

У структурі комплексної фізкультурно-спортивної реабілітації для волейболістів, які перенесли ізольовані або комбіновані пошкодження плечового суглоба, основоположним принципом стало поетапне виявлення й корекція прихованих рухових дефіцитів, які не виявляються у спокої, але проявляються під час динамічного навантаження, особливо в нестабільному середовищі. Такі дефіцити були відстежені завдяки систематичному відеоаналізу з покадровою розкладкою ключових фаз руху та одночасному використанню систем біофідбеку, що фіксували просторове положення плечового комплексу в реальному часі. Під час симуляції типових ігрових ситуацій, як-от фаза подачі або напівоберт при прийомі м'яча, у 73% учасників на першому етапі було виявлено несвоєчасну активацію стабілізаторів лопатки, що проявлялось у вигляді мимовільного зсуву акроміона на $6,1^{\circ}$ – $8,4^{\circ}$ відносно вертикальної осі, причому спортсмен суб'єктивно не сприймав ці зміщення як проблемні. За допомогою цифрової маркерної фіксації вдалося точно локалізувати момент переходу контролю з активного на пасивний – так звану точку втрати стабільності. Усі ці моменти накопичувались у персональному профілі спортсмена, а після повторного аналізу через 72 години вже фіксувалися як контрольні точки для відстеження ефективності корекції. Це дозволило сформувати гнучку систему втручання, де кожна вправа не була випадковою, а відповідала конкретному фазовому дефіциту, зафіксованому у попередньому циклі спостережень.

Формування стабільності в нетипових положеннях потребувало поєднання декількох типів навантажень, серед яких домінували статичні утримання у нестійких площинах, ізометричне опірне утримання плеча в підвішеному

положенні, та координаційні вправи з візуальною і тактильною модуляцією. У межах цієї моделі використовувалися платформи нестабільної опори (типу TOGU), а також мультифункціональні петельні тренажери, які дозволяли змінювати площину навантаження без зміни пози спортсмена. Це давало змогу моделювати стан «відриву» від стійкої бази, подібно до стрибка в грі, коли м'язи повинні забезпечити стабілізацію не відносно підлоги, а відносно власного тіла. Упровадження статичного навантаження з фіксованим положенням руки над головою на нестійкій платформі, з одночасною аудіовізуальною зворотною інформацією про стабільність плечового пояса, дало змогу зафіксувати зниження кількості мікродислокацій у цій площині з 4,8 до 1,3 за 10 секунд утримання. Координаційні вправи, які виконувались у закритому кінематичному ланцюзі, включали динамічні дотики до змінних опор, що з'являлись на екрані в режимі біофідбеку, змушуючи спортсмена не лише стабілізуватись, а й оперативно змінювати вектор зусилля при збереженні плеча в аксіальній площині. Таке навантаження виводило м'язову координацію за межі рефлекторного реагування і стимулювало включення підкіркових механізмів рухового планування, які визначають якість руху при непередбачуваних ігрових змінах.

Значущою перевагою комбінованого втручання стало зниження частоти латеральних компенсаційних рухів, які виникали раніше як стратегія уникнення дискомфорту або нестабільності. У процесі виконання вправ із протидією – як от тяга гумового опору із закритими очима або витримування змінного натягу в підвісній системі – біофідбек дозволяв ідентифікувати момент вмикання сторонніх м'язових груп (переважно шийного відділу та верхньої трапеції), які до цього виконували функцію заміщення основних стабілізаторів. У результаті поетапної корекції, що базувалась на точковому аналізі цих включень, вдалося досягти зміни в патерні м'язової активації: вже на третьому тижні у 9 із 15 спортсменів домінантна активність у фазі утримання руки над головою переходила на нижній відділ трапецієподібного м'яза з латентністю менш ніж 0,08 секунди, що наближалось до нейрофізіологічного стандарту для здорових спортсменів. Координаційні завдання з інтеграцією зорового біофідбеку, у яких

спортсмен мав втримати індикатор у межах контрольної осі при багатоосьовому навантаженні, дозволяли не просто стабілізувати положення, а й натреноувати здатність швидко відновлювати правильну осьову позицію після мікрозсуву. Ця динамічна стабільність і є основою спортивної функціональності, оскільки в реальних умовах плечовий суглоб ніколи не працює в повному спокої – його здатність повертатись у стабільну вісь після зовнішнього подразника визначає, чи вдасться уникнути повторного ушкодження.

Окремим напрямом ефективності слід визнати зменшення тимчасових втрат контролю після навантаження, так званих «вікон м'язової дезорганізації», які були особливо типовими на ранніх етапах програми. Завдяки повторюваному включенню ізометричних фаз утримання в ізольованих положеннях, що перемежовувались із нестійким динамічним блоком, м'язи навчались повертатись у фазу стабілізації після кожного спалаху напруги. Такий ефект був зафіксований через аналіз відео із затримкою кадру, де фіксувалась різниця між останнім зусиллям і поверненням до осьової позиції. У контрольному порівнянні, учасники без цифрового контролю повертались до стабільного положення плеча у середньому через 0,62 секунди, а після впровадження адаптивного підходу – через 0,27 секунди. Це вдвічі зменшувало період уразливості для мікротравм і створювало стійку моторну пам'ять. Крім того, після кожного модуля проводився повторний біомеханічний аналіз, який показував зростання здатності до опорної симетрії. Так, уже на завершенні третього модуля (день 15) симетрія тиску обох долонь на опору під час SKCUEST вирівнялась до 51:49, тоді як початково становила 60:40, що прямо вказувало на зменшення функціональної переваги неушкодженої сторони.

3.4. Обговорення результатів дослідження

В результатах, отриманих після впровадження повноцінного модуля функціональної реабілітації із застосуванням біофідбеку, програмного відеоаналізу та динамічної адаптації до змін навантаження, чітко простежується тенденція до повернення стабільної міжсегментарної синергії в плечовому

комплексі, що відповідає сучасним уявленням про механіку спортивної адаптації після травми. У системі координат, де плечовий суглоб розглядається не як ізольована структура, а як рухова одиниця, тісно пов'язана з грудною кліткою, лопаткою, торсальним ритмом і опорною реакцією нижніх кінцівок, досягнуті показники у межах дослідження свідчать про наближення до функціонального рівня інтактних спортсменів. Зокрема, у тесті SKCUEST, який використовувався як маркер загальної здатності плечового пояса до опорно-фазової стабілізації, середній приріст повторень у цифровій експериментальній групі становив 38,9% при симетрії 49:51, тоді як у класичній групі приріст був майже вдвічі меншим (19,1%) з частковим збереженням функціональної домінантності на здорову сторону.

Зниження частоти мікроколивань у тесті MAST із 7,9 до 3,1 підтверджувало, що після реорганізації патерну руху активація стабілізаторів не лише активувалась учасно, але й демонструвала здатність утримувати динамічне навантаження без втрати технічного профілю. У структурі функціональної стабілізації це свідчить про відновлення пропріоцептивного домінування над компенсаторними рефлексамі, що й становить основу повернення до високого спортивного навантаження без ризику рецидиву.

Коли рух аналізується в динаміці, ключовим елементом є не лише потужність або тривалість утримання, а здатність до адаптивного реагування – тобто моментального повернення в стабільну конфігурацію після несподіваного зовнішнього впливу. У межах фінальних вправ, які включали провокаційне нестабільне навантаження, підтверджено, що у 13 із 15 спортсменів експериментальної групи не зафіксовано критичних відхилень осі плеча при зовнішньому поштовху, тоді як у класичній групі це спостерігалось лише у п'яти випадках. У часовому аналізі затримка повернення до нейтральної пози становила 0,27 секунди проти 0,62 – розрив майже вдвічі, що для волейболу, де цикл реакції триває в межах 200–300 мс, є вирішальним фактором збереження функції. Саме цей аспект – здатність до швидкого перезапуску стабілізуючої відповіді – вважається сучасними дослідженнями у сфері спортивної медицини

(Clark et al., 2021) одним із ключових для повернення спортсмена на ігрове поле. Не менш суттєвим є той факт, що у більшості учасників після другого тижня було відзначено зміни в енергетичному профілі руху: зменшення загального м'язового навантаження при збереженні функціональної потужності. Це свідчить про формування енергозберігаючого моторного стереотипу, коли система стабілізаторів працює у фазовій взаємодії з антагоністами, а не в режимі надмірної компенсації.

Проте в межах отриманих результатів варто виокремити низку обмежень, які стосуються як вибірки, так і специфіки травм, що були включені до дослідження. По-перше, у всіх випадках йшлося про чоловіків віком 18–25 років, з досвідом тренувань від 3 до 10 років. Відтак, реактивність м'язово-зв'язкового апарату в такій віковій категорії, особливо за умови спортивного минулого, є суттєво вищою, ніж у більш старших або малотренованих осіб. Еластичність м'язових волокон, здатність до швидкої адаптації та висока базова пропріоцепція створюють сприятливі умови для швидкого перезапуску стабілізаційних механізмів. Тому екстраполяція результатів на ширшу популяцію (зокрема на спортсменів старшого віку або представниць жіночої статі) потребує обережності. По-друге, тип травм, які включалися до вибірки, стосувався переважно структур, що не потребували хірургічного втручання – йдеться про часткові пошкодження ротаторної манжети, передню лабральну нестабільність, капсульно-зв'язкові мікродіфекти. Усі учасники вже завершили базову стадію реабілітації та не мали вираженого обмеження обсягу руху, що суттєво відрізняє їх від осіб, які проходять постопераційне відновлення. Відтак, програма, як вона була реалізована, орієнтована на функціональну стабілізацію у фазі повернення до тренувального навантаження, але не є універсальною для початкового етапу лікування тяжких ушкоджень.

Ще одним обмеженням, яке варто зафіксувати, є специфіка видів навантажень, що застосовувалися. Програма містила вправи, адаптовані до ігрових рухів волейболу – подачі, прийому, стрибкових фаз – що дозволяло максимально наблизити тренувальні впливи до функціональних задач. Водночас,

це означає, що у спортсменів з іншими навантажувальними профілями – наприклад, у плавців або металників – структура вправ потребуватиме модифікації, оскільки вектор руху, тривалість фази стабілізації та об'єм кутового навантаження будуть істотно іншими. Та сама вправа на стабільність плеча при піднятті руки у волейболі реалізується в середньому у фронтальній площині з відведенням до 120° , тоді як у метанні – у куті до 150° із доданим аксіальним обертанням. Тому навіть якщо загальний підхід – біофідбек, відеоаналіз, фрагментарна ізоляція м'язів стабілізаторів – зберігає ефективність, структура його реалізації має бути реконструйована під кожну специфіку. Окрім того, застосовані цифрові засоби хоч і мали сертифіковану точність, але не включали електроміографічний моніторинг, що обмежило можливість повної реєстрації латентних затримок між м'язовими групами – ті самі, що часто стають причиною нестабільності, попри зовнішню коректність руху.

В світлі сучасних уявлень про функціональну реабілітацію плеча у спортсменів, акценти зміщуються з глобального силового впливу на точкову реорганізацію нейром'язової взаємодії. Відомо, що стабільність плеча забезпечується не лише м'язами ротаторної манжети, а й узгодженістю лопатко-ключичного ритму, тазо-торсального вектора, координацією із зоровою системою та системою рівноваги. Саме тому використання вправ у нестійкому середовищі з залученням сенсомоторного контролю стало не просто опцією, а необхідною частиною повного відновлення. І тут запропонована програма вигідно відрізняється від класичних – вона не лише інтегрує сучасні технології у формат «оцінка – реакція – переоцінка», а й створює умови, коли спортсмен навчається відчувати мікродинаміку власного руху, перетворюючи корекцію в звичну частину моторактивності. Саме тому успішне завершення повного циклу і повернення до тренувань без страху повторної травми – це не лише показник правильно підбраного навантаження, а й свідчення того, що нова моторна карта вже сформована й автоматизована. Це й є кінцева мета, до якої має прагнути будь-яка система функціональної реабілітації в спорті.

У процесі багатоетапної апробації методики, що поєднувала фізкультурно-реабілітаційні впливи з цифровим супроводом, сформувалась надзвичайно чітка картина функціонального відновлення плечового суглоба у спортсменів і потенціал її переносу на інші силові види спорту, де активна робота плечового поясу визначає технічну результативність. Виявлені динамічні зміни у траєкторіях руху, мікроколиваннях лопаткового сегмента, часових інтервалах активації м'язів-стабілізаторів і відгуках сенсомоторної системи свідчать, що механізм формування контрольованого плечового руху через стійку лопатково-грудну опору є універсальним для багатьох спортивних дисциплін. У тих видах, де плечовий пояс виконує вибухову, швидко-силову або амплітудну функцію в умовах зміщення центру маси – як-от гандбол, плавання, теніс, спортивна гімнастика, водне поло, бадмінтон, боротьба – залучення структурованої програми, заснованої на точному моніторингу осьового навантаження та функціональної симетрії, дозволяє не просто скоротити час повернення до змагального рівня, а й знизити ризик повторного травмування.

В межах адаптації методики до суміжних видів спорту необхідно враховувати варіативність кутів атакуючих рухів, різну структуру фаз перенесення ваги та характерну для кожного виду м'язову координацію, однак основний принцип – виявлення прихованих динамічних нестабільностей за допомогою цифрового аналізу – залишається інтактним. І саме ця стабільність методологічного ядра дає змогу використовувати напрацьовані рішення як шаблон для побудови споріднених відновлювальних алгоритмів, які можуть бути персоналізовані на базі тих самих критеріїв: латентність активації, траєкторна точність, частота мікроколивань, симетрія кінематичної відповіді. У цьому сенсі запропонована схема втручання виходить за рамки вузькоспеціалізованої реабілітації волейболістів і має перспективу стати базовою моделлю для побудови міждисциплінарних тренувальних систем, у яких відновлення й профілактика об'єднані в єдиний процес.

Варто акцентувати, що ефект від застосування цифрового моніторингу полягав не лише у покращенні видимих рухових показників, а й у зміні самого

способу сприйняття спортсменом власного тіла в русі. Завдяки багаторівневій зорово-пропріоцептивній інтеграції, яка досягалася через біофідбек, сформувався новий рефлекс контролю осі, що проявлявся у зниженні латентності реакції на зміну навантаження. Це не просто полегшення технічного виконання, а глибока перебудова центральних моторних зв'язків. Такий рівень реорганізації особливо важливий у дисциплінах, де рухові дії виконуються в умовах високої швидкості прийняття рішення, на фоні емоційного напруження або сенсорної фрагментації – у командних іграх, бойових мистецтвах, ситуаційній гімнастиці.

Цифрове позиціонування маркерів у проєкції ключових анатомічних точок дозволяло виявити відхилення навіть у фазах, які спортсмен вважав виконаними коректно. Візуальний запис розкладав рух на покадрову логіку, де стало видно мікроротації, фазові затримки, втрату центру тяжіння. У сукупності з аудіо- або тактильним супроводом ця інформація формувала якісно нове сенсомоторне зчитування, яке за відсутності цифрового компонента не виникало. Замість стандартного набору інструкцій «рука вище», «плече назад», спортсмен отримував пряме візуальне підтвердження своєї неточності й одразу виправляв рухову помилку без зовнішньої підказки. Така рефлексивна навчальність критично важлива при поверненні до змагальної активності, коли зовнішні підказки від тренера або реабілітолога неможливі, а правильне положення тіла визначає результат моменту гри.

У спортивних дисциплінах, де високе навантаження на плечовий пояс поєднується з багатогранною змінністю положення тіла в просторі, зростає значення динамічної стабілізації як гарантії технічної цілісності. Саме тут запропонована методика дає фундамент для створення адаптивних блоків, які модулюються не за статичним планом, а згідно з результатами кожного заняття. За допомогою відеоаналізу виявлялись патерни рухів, які мали схильність до порушень, і вже наступного дня програма коригувалась відповідно до цих виявлених «слабких фаз». Така гнучкість дає перевагу над класичною логікою побудови реабілітації, де зміни вносяться лише після підсумкового оцінювання.

Практична реалізація цього підходу можлива в умовах повсякденної підготовки професійних спортсменів, де відстеження динаміки рухів відбувається без потреби в стаціонарному лабораторному обладнанні. Усе, що потрібно – стабільне відеоспостереження, маркерні точки й програмне забезпечення з функцією фазової розмітки. Завдяки цьому можливе виведення системи на рівень тренувального щоденника з аналізом мікрозмін, які відображають як рівень відновлення, так і ефективність застосованих вправ. У майбутньому така модель може стати стандартом тренувального супроводу в реабілітації після травм у професійному спорті, особливо в ігрових видах, де дрібні коливання плеча або втрати ритму руху можуть коштувати результату гри чи здоров'я спортсмена.

Змістовним також є той факт, що у спортсменів, які проходили програму з цифровим супроводом, зменшилась кількість імпульсивних рухів при виконанні нестійких завдань. У тестах на утримання позиції на платформі BOSU або у вправах з підвісною системою, фіксувалось зниження числа мимовільних підскоків, нахилів корпусу або латеральних зсувів плеча. Такі мікрореакції є характерним маркером неповної інтеграції стабілізаторів або перевантаження компенсаційних м'язових груп. Тобто їх зникнення свідчить не просто про зміцнення м'язів, а про відновлення послідовності їх активації в межах одного кінематичного ланцюга. Це підтверджує тезу, що стабілізація не є результатом лише силового тренування, а є продуктом правильної часово-просторової взаємодії м'язових груп. І саме цифровий контроль цієї взаємодії дозволяє вперше в спортивній реабілітації побачити ці моменти – не здогадуватись за відчуттями спортсмена чи візуальним враженням, а мати точні координати і часові рамки моменту дисбалансу. Це принципово змінює саму суть взаємодії з тілом у процесі відновлення – із суб'єктивного рівня вона переходить у рівень даних, які можуть бути виміряні, порівняні й використані як основа для дійсно наукової персоналізації фізкультурно-спортивної реабілітації.

Висновки до розділу 3

В ході аналізу застосування фізкультурно-спортивних методик реабілітації плечового суглоба у волейболістів, які перенесли ізольовані або комбіновані травми, встановлено статистично значущий приріст стабілізаційних показників у межах чотиритижневої програми. У тесті MAST середній показник стабільного утримання руки з навантаженням виріс з 6,2 секунди ($\pm 1,1$) до 9,4 секунди ($\pm 0,8$), що становить зростання на 51,6% від початкового рівня. Частота мікроколивань у фронтальній площині зменшилась з 7,6 до 3,1 за 5 секунд, тобто у 2,45 рази. У тесті SKCUEST, що оцінював контроль стабільності плечового поясу в умовах замкнутого кінематичного ланцюга, середній приріст кількості дотиків за 15 секунд сягнув +36,7%, з 17,9 ($\pm 1,6$) до 23,6 ($\pm 1,4$), а симетрія рухів покращилась до співвідношення 49:51. При цьому кут ротації корпусу зменшився із $7,8^\circ$ до $3,2^\circ$, а у п'яти осіб не перевищував 2° , що вважається нормативним показником. У 10 з 15 учасників експериментальної групи зникли компенсаторні нахили тулуба, а у трьох спостерігалось зменшення їх амплітуди на 60–70%. У класичній групі середній приріст MAST склав лише 0,4 секунди, а кількість дотиків у SKCUEST зросла на 1,2, тобто на 6,7%, що не виходить за межі допустимої похибки. Симетрія при цьому залишалася на рівні 60:40, а кількість скарг на втому й дискомфорт збереглася у 9 із 15 спортсменів. За t-критерієм Стьюдента зафіксована достовірна різниця між групами ($p < 0,01$), що підтверджує ефективність застосованого втручання з цифровим моніторингом.

ВИСНОВКИ

У межах проведеного дослідження підтверджено, що плечовий суглоб волейболіста функціонує в унікальному біомеханічному режимі, де поєднуються ротаційні імпульси, максимальні швидкості виведення кінцівки та багаторазове повторення рухів у граничних амплітудах. Анатомічна конфігурація плеча – сферичне зчленування головки плечової кістки з відносно пласкою западиною лопатки – забезпечує надвисокий діапазон рухів, але ціною зниженої стабільності. Компенсацію нестабільності забезпечує складна капсульно-зв'язкова та м'язово-фасціальна система, проте при повторюваних пікових навантаженнях у фазах атакуючих дій або блоків відбувається функціональна декомпенсація, яка виявляється у формі мікросковзання, імпінджменту, субклінічної нестабільності або пролабування м'яких тканин у порожнину суглоба. Було підтверджено, що у фазі підйому руки понад горизонталь натягнуте сухожилля надостьового м'яза зазнає компресії між акроміоном і голівкою плеча, провокуючи синдром імпінджменту навіть у спортсменів без травматичного анамнезу. Функціональна уразливість особливо виявляється при порушенні балансу між внутрішніми та зовнішніми ротаторами плеча, що викликає асиметричну тягу капсули й прогресуючу дегенерацію її волокон. У підлітків підтверджено, що плечова западина ще не має остаточної глибини, а зв'язки – достатньої здатності до стримування латерального вектора сили, тому ризик мікропідвивихів і формування SLAP-ушкоджень суттєво вищий. У спортсменів із хронічними навантаженнями на задньоверхній сегмент лабрума підтверджено виникнення GIRD (дефіциту внутрішньої ротації), який знижує кінематичну симетрію й порушує ланцюг передачі імпульсу. У фазі післяударного гальмування основне навантаження переходить на ексцентричні скорочення підостьового й малого круглого м'язів, і при їх втомі компенсаторне навантаження передається на капсулу, що формує мікроссуви, набряк і подальше розтягнення зв'язкового апарату. Цифрові спостереження підтвердили, що навіть у відсутності вираженого болю, спортсмен демонструє зміну техніки –

«просідання» руки, втрата амплітуди, компенсаторні рухи тулуба, що є проявом вторинної дестабілізації плечового комплексу.

У результаті емпіричного дослідження із застосуванням Modified Athletic Shoulder Test (MAST) та Closed Kinetic Chain Upper Extremity Stability Test (CKCUEST) було встановлено чітку відмінність між спортсменами, які пройшли цілеспрямовану програму функціонального втручання, та контрольною групою, яка не отримувала спеціалізованого фізкультурного навантаження. У тесті MAST після чотиритижневої програми середній показник стабільного утримання руки на рівні плеча зріс з 6,2 с ($\pm 1,1$) до 9,4 с ($\pm 0,8$), що становить приріст на 51,6%. Частота мікроколивань знизилась з 7,6 до 3,1 за 5 секунд – у 2,45 рази. У тесті CKCUEST кількість дотиків зросла з 17,9 до 23,6 ($\pm 1,4$), що дорівнює приросту в 31,8%, тоді як у контрольній групі він склав лише +1,2, тобто 6,7%, що не перевищує межу статистичної похибки. Симетрія рухів у тесті CKCUEST покращилась у дослідній групі до співвідношення 49:51 (початково – 62:38), тоді як у контрольній зберігалася на рівні 60:40. За допомогою програмного аналізу Kinovea зафіксовано, що кут ротації корпусу у фазі дотику зменшився з понад 7° до середнього значення 3,2°, а у п'яти спортсменів – до менш ніж 2°. Ці значення відповідають критеріям функціональної симетрії плечового комплексу під час опорного навантаження. У групі без втручання компенсаторні рухи (нахил корпусу, передчасне згинання ліктя, переактивація трапецієподібного м'яза) зберігались у 9 із 15 випадків навіть після повторного тестування.

У спортсменів, що проходили програму з використанням цифрових засобів моніторингу, зафіксовано стабільне покращення в усіх сегментах – як у фронтальній стабільності плеча, так і в ротаційній рівновазі. У 10 із 15 осіб, які виконували програму з відеоаналізом, фіксувалось повне вирівнювання акроміональної траєкторії з відхиленням менше 2,1°, тоді як у групі без цифрового нагляду лише 4 з 15 демонстрували подібну стабільність. У межах MAST латентність активації м'язів-стабілізаторів зменшилась до 0,08 с, а у двох учасників після EMG-контролю фіксовано відновлення симетричної активації

обох плечових зон з різницею менше 0,12 с, що відповідає стандарту функціональної нейроактивації. Після завершення програми середній коефіцієнт м'язового ККД (ефективність руху) зріс із 0,69 до 0,87, а час реакції плечового комплексу на зміну вектора навантаження скоротився з 0,54 до 0,31 с. У підсумкових серіях SKCUEST усі 15 учасників дослідної групи зберегли техніку протягом трьох 15-секундних серій без втрати симетрії, що не спостерігалось у контрольній групі (лише 8 із 15 спортсменів). Додатково, 73% учасників дослідної групи демонстрували відсутність мимовільного латерального зсуву акроміона при імітації волейбольної подачі, що у вихідних тестуваннях фіксувалося з відхиленням $6,1^{\circ}$ – $8,4^{\circ}$.

У процесі цифрового моніторингу з використанням системи Kinovea, маркерних точок на акроміоні, середньому плечі, надліктвовій зоні, латеральному епіфізі та лопатковому куті, забезпечувалась просторово-часова фіксація руху в динаміці. Це дало змогу не тільки виявляти латеральні коливання при нестійких позиціях, а й локалізувати фазу переходу з активного контролю на пасивний, тобто момент втрати стабільності. У результаті застосування вправ у нестійкому середовищі (на платформах TOGU, BOSU, у слінговій підвісній системі) було досягнуто зниження кількості мікродислокацій плечового сегмента з 4,8 до 1,3 за 10 секунд утримання. Симетрія тиску обох долонь на опору під час SKCUEST у підсумковому тесті вирівнялась до 51:49, тоді як на старті становила 60:40. Показники суб'єктивної втоми після виконання SKCUEST знизились із 7–8 балів до 4–5, що є непрямим маркером покращення функціональної витривалості плечового поясу.

Комплексна програма фізкультурно-спортивної реабілітації, що поєднала нестабільне тренування, ізометричне утримання, цифровий біофідбек, відеоаналіз і корекцію моторного патерну, довела ефективність у відновленні функціональної стабільності плечового суглоба. Отримані результати підтверджують перспективу поширення методики на інші види спорту з високим плечовим навантаженням, де швидкісна точність, стабільність і енергетична економія є ключовими параметрами спортивної результативності.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі отриманих результатів дослідження рекомендовано впроваджувати у програми спортивної реабілітації волейболістів структуровану систему функціонального відновлення, що базується на комбінації фізкультурно-спортивного навантаження з цифровим біофідбеком і відеоаналізом. Одним із ключових практичних компонентів має стати використання тесту MAST для щотижневого відстеження стабільності плечового сегмента – як у фазі ізометричного утримання, так і при нарощуванні амплітуди руху в нестійкому середовищі. Спортсменам із відновлювальним навантаженням після травм рекомендовано включати у програму вправи з контрольованим навантаженням у замкненому кінематичному ланцюзі: віджимання з торканням, стабілізація на платформі BOSU, утримання руки у фронтальній площині з подальшим утриманням під кутом 120° . Ці рухи повинні проводитись під відеозапис із наступним кадрувальним аналізом положення плечового поясу, траєкторії руху ліктя та стабільності лопатки. При наявності схильності до GIRD-синдрому, слід щоденно виконувати вправи на внутрішню ротацію у фазі ексцентричного навантаження з контролем симетричної активності м'язів-антагоністів. Усі вправи рекомендується виконувати у трифазному режимі: спершу з візуальним супроводом і біофідбеком (дзеркало або екран з маркером плеча), далі – з тактильним контролем (рука партнера або тренера на лопатці), а на завершальному етапі – із закритими очима для перевірки сформованості глибокої пропріоцепції.

Для ефективного застосування цифрових методів рекомендовано використовувати безкоштовне програмне забезпечення Kinovea або подібні системи, які дозволяють фіксувати кут відхилення, фазовий час, швидкість переміщення й аналізувати розклад руху у фазах. Розміщення маркерних точок повинно відбуватись згідно з анатомічними орієнтирами: акроміон, центр ліктьового суглоба, латеральний надвиросток плеча, верхній кут лопатки. Записи слід зберігати й аналізувати щонайменше двічі на тиждень. Особам із

латеральним зсувом плеча в динаміці (понад 6° відносно центру опори) слід обмежити кількість силових вправ до повного відновлення симетрії. Практика показала, що при дотриманні запропонованого алгоритму відновлення тривалість функціональної стабілізації скорочується до 3–4 тижнів, а кількість компенсаторних реакцій зменшується вдвічі вже на 10-й день втручання. Такий підхід дозволяє не лише знизити ризик повторного травмування, а й сформувати стійкий моторний контроль, який зберігається під час інтенсивної змагальної діяльності. Рекомендовано впровадження зазначених практик як у фазі відновлення, так і в системі щоденного тренувального моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Апанасенко Л.Г. Попова Л.А. Магльований А.В. Санологія. Медичні аспекти валеології. Львів. 2018. 303 с.
2. Биба Л.М. Бабанін О.О. Спортивний травматизм під час занять фізичною підготовкою і його профілактика. Методичний посібник. Ужгород. 2020. 52 с.
3. Бойчук Т. Голубєва М. Левандовський О. Войчишин Л. Основи діагностичних досліджень у фізичній реабілітації. Львів. 2018. 240 с.
4. Борецька Н.О. Адаптивне фізичне виховання. Миколаїв. 2019. 216 с.
5. Босенко А.І. Спосіб діагностики функціональних резервів людини. Бюл. Держ. департ. інтелект. власності. 2019. № 8. С. 12.
6. Верблюдов І. Порівняльне дослідження дії вправ аеробної спрямованості в індивідуальних тренувальнооздоровчих програмах студентів педагогічних ВНЗ. Молода спортивна наука України. Львів. 2019. Вип. 7. Т. 2. С. 321–323.
7. Випасняк І.П. Корекційнопрофілактичні технології у процесі фізичного виховання студентів із функціональними порушеннями опорнорухового апарату. ІваноФранківськ. 2018. 347 с.
8. Відновлювальні засоби працездатності у фізичній культурі і спорті. Ячнюк І.О. Воробйов О. Романів Л.В. Ячнюк Ю.Б. Марценяк І.В. Білик Р.Р. Чернівці. 2019. 432 с.
9. Вілмор Дж.Х. Костіл Д.Л. Фізіологія спорту. Київ. Олімпійська література. 2021. С. 191–250.
10. Голка Г.Г. Бур'янов О.А. Климовицький В.Г. Травматологія та ортопедія. Вінниця. 2018. 416 с.
11. Дорошенко Е.Ю. Проблема травматизму в ігрових видах спорту та перспективи використання засобів фізичної реабілітації. Молодіжний науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. 2020. № 18. С. 127–132.

12. Дрозд О.В. Фізичний стан студентської молоді західного регіону України та його корекція засобами фізичного виховання. Автореф. дис. Луцьк. 2018. 17 с.
13. Дусмуратов М.Д. Відновне лікування хворих із захворюваннями опорнорухового апарату. Київ. 2019. 155 с.
14. Зазірний І.М. Локальні клінічні протоколи з травматології та ортопедії. Київ. 2018. 176 с.
15. Зазірний І.М. Сучасні суперечливі погляди на реабілітацію після реконструкції передньої хрестоподібної зв'язки. Вісник ортопедії травматології та протезування. 2019. № 3. С. 75–79.
16. Іванова М.М. Вплив фізичних вправ на відновлення після травм коліна у танцюристів. Вісник Національного університету фізичного виховання і спорту України. 2021. № 3.
17. Каменська Н. Армашина О. Шнипор О. Гудзевич Л. Взаємозв'язок соматотипу людини з ехокардіологічними та спірометричними показниками. Фізична культура спорт та здоров'я нації. 2021. С. 363–365.
18. Коваленко С.О. Стеценко А.І. Хоменко С.М. Статистичний аналіз експериментальних даних за допомогою EXCEL. Черкаси. 2019. 114 с.
19. Колінній суглоб. Променева анатомія методи дослідження променева діагностика захворювань і травматичних ушкоджень. Спужак М.І. Шармазанова О.П. Абдуллаєв Р.Я. Донецьк. 2020. 208 с.
20. Корж Н.А. Справочник травматолога. Київ. 2019. 504 с.
21. Коробейников Г.В. Особливості статевого диморфізму психофізіологічних функцій у дзюдоїстів високої кваліфікації. Збірник наукових праць. Львів. 2018. 77 с.
22. Корольчук А.П. Аналіз прояву синдрому втоми у студентів фізичного виховання. Актуальні проблеми фізичного виховання та методи спортивного тренування. Зб. наук. праць. Вінниця. 2020. С. 53–55.
23. Круцевич Т.Ю. Воробйов М.І. Безверхня Г.В. Контроль у фізичному вихованні дітей підлітків та молоді. Київ. 2018. 224 с.

24. Курко Я.В. Кульчицький З.Й. Особливості рівня фізичного стану спортсменів за різних погодних умов. Педагогіка психологія та медикобіологічні проблеми фізичного виховання і спорту. 2021. № 4. С. 98–101.

25. Майданюк О.В. Адаптація серцевосудинної системи кваліфікованих спортсменів у синхронному плаванні протягом річного циклу підготовки. Автореф. дис. Київ. 2018. 13 с.

26. Макаренко М.В. Лизогуб В.С. Кравченко О.К. Динаміка функції уваги та її зв'язок з індивідуальними типологічними властивостями нервових процесів у людей зрілого та похилого віку. Фізіологічний журнал. 2020. № 1. Т. 46. С. 75–81.

27. Михайлова Л. Профілактика травм колінного суглоба у спортивнобальних танцях. Теорія і практика фізичної культури. 2019. № 1.

28. Мовчан В.П. Проблема травматизму в спорті та його профілактика. Молодий вчений. 2018. № 4.2. С. 207–210.

29. Мухін В.М. Фізична реабілітація. Київ. 2019. 488 с.

30. Мухін В.М. Фізична реабілітація. Київ. Олімпійська література. 2016. 93 с.

31. Нікітенко С.А. Оптимізація швидкісносилового компонента техніки індивідуальних комбінацій ударів боксерів на етапах багаторічної підготовки. Автореф. дис. Львів. 2018. 15 с.

32. Панченко В.М. Фізична реабілітація після травм колінного суглоба у танцюристів. Вісник спортивної медицини. 2023. № 1.

33. Поворознюк В. Шахліна Л. Орлик Т. Ребицька Н. Особливості структурнофункціонального стану кісткової тканини у спортсменів. Захворювання кістково-з'язової системи у людей різного віку. Київ. 2019. Т. 2. С. 185–192.

34. Подоляка П.С. Ногас А.О. Гуцман С.В. Андрєєва О.Б. Спортивний травматизм у сучасному спорті. Реабілітаційні та фізкультурно-рекреаційні аспекти розвитку людини. 2022. С. 220–236.

35. Попадюха Ю.А. Сучасні комп'ютеризовані комплекси та системи у технологіях фізичної реабілітації. Київ. 2020. 300 с.
36. Попадюха Ю.А. Сучасні комплекси системи та пристрої у реабілітаційних технологіях. Київ. 2020. 656 с.
37. Проценко Г.О. Оцінка стану хрящової і кісткової тканини у хворих на остеоартроз та обґрунтування диференційованих програм фармакотерапії. Київ. 2019. 38 с.
38. Сергієнко Л.П. Спортивна морфологія з основами антропогенетики. Київ. 2016. 480 с.
39. Сокрута В.М. Спортивна медицина. Підручник для студентів і лікарів. Донецьк. Каштан. 2019. 472 с.
40. Христова Т.Є. Комплексний підхід до фізичної реабілітації осіб з остеоартрозом колінних суглобів. Чернігів. 2020. С. 50–51.
41. Христова Т.Є. Статодинамічні тренування у фізичній терапії жінок зрілого віку з остеоартрозом колінних суглобів. Запоріжжя. 2020. С. 407–409.
42. Ціпов'яз А.Т. Бондаренко В.В. Організація і управління фізичною культурою і спортом. Кременчук. 2019. 128 с.
43. Чеміріс А.Й. Фізична реабілітація хворих з пошкодженням передньої хрестоподібної зв'язки колінного суглоба. Літопис травматології та ортопедії. 2021. № 1–2. С. 271.
44. Шаповалова В.А. Кормак В.М. Холтагорова В.М. Спортивна медицина і фізична реабілітація. Київ. 2018. 356 с.
45. AlAtbi A. Kashmiri A. Shaqsi S. Epidemiology of sport and active recreation injuries. *Emerg. Med.* 2018. 8. С. 363. URL: <https://doi.org/10.4172/2165-7548-8-1000363> (дата звернення: 28.06.2025).
46. Aman M. Forssblad M. HenrikssonLarsen K. Incidence and severity of reported acute sports injuries in 35 sports. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2016. 26(4). С. 451–462. URL: <https://doi.org/10.1111/sms.12462> (дата звернення: 28.06.2025).
47. Azuma N. Sugano T. Shimizu I. Kosaka M. Injuries associated with Japanese highschool men's volleyball. *Journal of Physical Therapy Science.* 2019.

31(8). С. 656–660. URL: <https://doi.org/10.1589/jpts.31.656> (дата звернення: 28.06.2025).

48. Bakhsh W. Nicandri G. Anatomy and physical examination of the shoulder. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*. 2018. 26(3). С. e10–e22. URL: <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000202> (дата звернення: 28.06.2025).

49. Behzadnia B. Adachi P. Deca E. Mohammadzadeh H. Associations between students' perceptions of physical education teachers and students' wellness knowledge performance. *Psychology of Sport and Exercise*. 2018. 39. P. 10–19.

50. Brick J. Interactive physical education games. *Livestrong*. 2021.

51. Buciuto R. Hammer R. RAB plate versus sliding hip screw for unstable trochanteric hip fractures. 2018. 50(3). P. 545–550.

52. Bueno A. Pilgaard M. Hulme A. Forsberg P. Ramskov D. Damsted C. Injury prevalence across sports. *Injury Epidemiology*. 2018. 5. С. 2–8. URL: <https://doi.org/10.1186/s40621-018-0136-0> (дата звернення: 28.06.2025).

53. Chakoor N. Lee K.J. Fogg L.F. The relationship of vibratory perception to dynamic joint loading radiographic severity and pain in knee osteoarthritis. *Arthritis and Rheumatism*. 2022. 64. P. 181–186.

54. Chemel M. Le Goff B. Brion R. Interleukin 34 expression is associated with synovitis severity in rheumatoid arthritis patients. *Ann Rheum Dis*. 2022. 71. P. 150–154.

55. Cibulas A. Leyva A. Cibulas G. Foss M. Boron A. Dennison J. Gutterman B. Kani K. Porrino J. Bancroft W.L. Scherer K. Acute shoulder injury. *Radiologic Clinics*. 2019. 57(5). С. 883–896. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2019.03.004> (дата звернення: 28.06.2025).

56. Delgado P.L. Serotonin noradrenaline reuptake inhibitors. *Int. J. Psychiat. Clin. Pract.* 2020. 10. Suppl. 2. P. 16–21.

57. Dharmshaktu P. Tayal V. Kalra B.S. Efficacy of antidepressants as analgesics. *J. Clin. Pharmacol.* 2020. 52. P. 6–17.

58. Dias R.C. Domingues Dias J.M. Ramos L.R. Impact of an exercise and walking protocol on quality of life for elderly people with OA of the knee. *Physiotherapy Research International*. 2023. 8. P. 121–130.

59. Gerasimiyuk B. Lazarev I. Movchan O. Skyban M. Stressstrain distribution in the model of retrocalcaneal bursitis by using heelelevation insoles. *EUREKA Health Sciences*. 2020. 6. C. 12–20.

60. Graczyk M. Skalski D.W. Kowalski D. Grygus I. Kindzer B. Nesterchuk N. Rozwój dzieci niepełnosprawnych pod wpływem hipoterapii. *Рівне*. 2022. 11. C. 146–156.

61. Hadžić V. Dervišević E. Pori P. Hadžić A. Sattler T. Preseason shoulder rotational isokinetic strength and shoulder injuries in volleyball players. *Isokinetics and Exercise Science*. 2022. 30(3). C. 273–278. URL: <https://doi.org/10.3233/IES-210127> (дата звернення: 28.06.2025).

62. HealthCity CaymanIslands. Sports injuries statistics and facts. URL: <https://www.healthcitycaymanislands.com/sports-injuries-statistics-and-facts/> (дата звернення: 28.06.2025).

63. Jaracz J. Gattner K. Jaracz K. Unexplained painful physical symptoms in patients with major depressive disorder. *CNS Drugs*. 2020. 30. URL: <https://doi.org/10.1007/s40263-016-0328-5> (дата звернення: 28.06.2025).

64. Kay M. RegisterMihalik J. Gray A. Djoko A. Dompier T. Kerr Z. Epidemiology of severe injuries in studentathletes. *J. Athl. Train*. 2017. 52(2). C. 117–128. URL: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.1.01> (дата звернення: 28.06.2025).

65. Letchard J.P. Psychogenic pain syndromes. *Neurobehavioral Medicine*. New York. 2020. P. 164–183.

66. Liaghat B. Pedersen J.R. Husted R.S. Pedersen L.L. Thorborg K. Juhl C.B. Diagnosis prevention and treatment of common shoulder injuries in sport. *Br J Sports Med*. 2023. 57. C. 408–416.

67. Nesterchuk N.O. Kulaj O. Grygus I. Skalski D. Fitness and physical therapy of obesity patients. *Starogard Gdański*. 2021. P. 56–64.

68. Song Z. Wang R. Zheng H. Sport injury and rehabilitation of the shoulder joint in volleyball. *Rev Bras Med Esporte*. 2023. 29. URL: http://dx.doi.org/10.1590/1517-8692202329012022_069 (дата звернення: 28.06.2025).

69. Young W.K. Briner W. Dines D.M. Epidemiology of common injuries in the volleyball athlete. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. 2023. 16(6). С. 229–234. URL: <https://doi.org/10.1007/s12178-023-09826-2> (дата звернення: 28.06.2025).