

## Причини варіабельності програм реабілітації та перспективи створення уніфікованих рекомендацій у пацієнтів після пластики передньої хрестоподібної зв'язки

Котюк В.В.<sup>1</sup>✉, Коструб О.О.<sup>2</sup>, Засаднюк І.А.<sup>2</sup>, Смірнов Д.О.<sup>2</sup>, Подік В.А.<sup>2</sup>, Блонський Р.І.<sup>2</sup>

**Резюме.** На вибір програми реабілітації після пластики передньої хрестоподібної зв'язки (ПХЗ) впливають наступні фактори. Фактори з боку операції: особливості проведення тунелів, спосіб та якість фіксації трансплантату, наявність і вид додаткової дистальної фіксації, а також наявність або відсутність додаткового армування, діаметр трансплантату, матеріал та якість трансплантату, спосіб прошивання трансплантату, тип пластики ПХЗ (однопучкова, двопучкова), інші елементи операції. Фактори з боку пацієнта: комплаєнс, психологічна готовність перейти у наступну фазу реабілітації, цілі та задачі, які ставить пацієнт, його вік, тип і рівень активності та фізичного стану пацієнта; мотивація, очікування пацієнтів, передопераційний досвід пацієнта у виконанні реабілітаційних вправ, вага та зріст пацієнта, пропорції тіла, зокрема сегментів нижніх кінцівок (різні довжини важелів), ротаційні та кутові співвідношення кісток нижніх кінцівок, нахил плато великогомілкової кістки дозад, ширина міжвиросткової вирізки та нахил даху вирізки, стан антеролатеральної зв'язки та інших стабілізаторів колінного суглоба, тонус, сила, розвиток м'язів взагалі та на момент операції зокрема, амплітуда рухів у колінному та суміжних суглобах. Зважаючи на необхідність врахування принаймні перерахованих факторів, не може існувати єдиного для усіх протоколу реабілітації пластики ПХЗ. Лише тісна взаємодія між хірургом, реабілітологом та фізичним терапевтом дозволяє максимально швидко і безпечно одночасно реабілітацію таких пацієнтів. Суб'єктивні відчуття пацієнта та його здатність до виконання певних вправ не є підставою для прийняття рішення про перехід до наступної її фази. Існує певна межа, обумовлена швидкістю біологічних процесів в організмі, яку ми поки що переступити не можемо. Гарною практикою є заповнення хірургом одразу після операції реабілітаційної карти пацієнта, де вказано вправи, час їх початку та допустимі навантаження.

**Ключові слова:** ПХЗ, передня хрестоподібна зв'язка, реабілітація, рекомендації.

Сьогодні вибір хірургічного методу лікування пошкоджень ПХЗ, особливо у пацієнтів молодого віку та активних пацієнтів середнього віку мало у кого викликає сумніви. Перші спроби хірургічного лікування ушкоджень хрестоподібної зв'язки полягали у її відкритому шві [1], що був ненадійним, вимагав тривалої іммобілізації, вкрай обережної реабілітації, але все одно часто призводив до негативних результатів [2], [3]. Відкрита пластика ПХЗ поліпшила ситуацію в плані надійності та дещо активізувала реабілітаційний процес.

Втім значна травматизація тканин при відкритому способі пластики також обмежувала можливості реабілітації. Рухи та навантаження обмежували більш тривало, ніж прийнято сьогодні [4]. Впровадження артроскопічних методик, удосконалення хірургічної техніки та розробка нових способів фіксації – інтерференційні гвинти, endobutton та інші, дозволили більш ранню реабілітацію. Розроблялись та продовжують розроблятися різні протоколи реабілітації після артроскопічної пластики ПХЗ, що дозволяють проводити її у все більше і більше ранні терміни після операції. Ми досягли значних успіхів у малоінвазивності та надійності фіксації трансплантата ПХЗ. Але близько 27%

✉ <sup>1</sup> Котюк В.В., kotyuk\_v@ukr.net

<sup>1</sup> Carolina Szpital Luxmed, Польща, Варшава.

<sup>2</sup> ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ

операції закінчується неспроможністю трансплантату чи його фіксації [5]. Частина цих випадків намагаються пояснити помилками та недоліками техніки операцій. Але неспроможність фіксації має місце і при ідеальному проведенні каналів та якісній фіксації. У частини пацієнтів лізис чи розрив трансплантату трапляється навіть у віддалені терміни [6]. Чи не надмірно ми прискорились із ранньою реабілітацією? Можливо, принаймні у частини пацієнтів? Чи можемо ми науково обгрунтовано диференційовано підійти до вибору вправ та їх інтенсивності у різних пацієнтів? Чи можлива єдина програма реабілітації після пластики ПХЗ?

Зазвичай менш виражений больовий синдром після артроскопічних операцій може створювати помилкове враження про можливість раннього навантаження та розробки в деяких ситуаціях, в яких це не допустимо. Результати найкращої операції можуть бути зіпсовані в післяопераційний період неадекватною поведінкою пацієнта або неадекватною реабілітацією. Тому питання реабілітації після пластики ПХЗ зводиться не лише до ранньої розробки амплітуди рухів та укріплення м'язів, а до такої системи послідовних заходів, яка дозволяє максимально зменшити ризики та ступінь розвитку контрактур та артрофіброзу, відновити функціональну спроможність, не збільшуючи при цьому ризик ушкодження трансплантату. Метою реабілітації після пластики ПХЗ є відновлення повноцінної функції не лише колінного суглоба, а всієї нижньої кінцівки (тобто необхідно відновити належну рухливість, пропріоцепцію, силу та координацію), а також якомога швидше повернення пацієнта до активного повсякденного життя, робочої і рекреаційної або спортивної діяльності, не втрачаючи стабільності суглоба. Завданням реабілітації є також запобігання повторним травмам та перевантаженням інших частин тіла, які компенсують недостатність колінних суглобів у кінематичному ланцюгу під час різних видів фізичної активності [7].

Дослідження вказують на відносно безпечний ранній початок рухів після операції та навантаження в тюторі [8]. Але при цьому відомо, що раннє навантаження призводить до розширення кісткових тунелів [9], а безпека раннього повернення до спорту (через 3-4 місяці) залишається все ще без підтвердження. Сьогодні відносно безпечним вважається повернення до спорту у термін не раніше 6 місяців [8]. Тим не менш, лігаментизація триває (у разі трансплантату з групи semi-) 12-24 місяці, а отже і остаточної міцності трансплантат досягає через 12-24 місяці [10], що ставить під сумнів можливість максимальних та субмаксимальних навантажень у термін навіть 6 місяців, принаймні

в окремих видах спорту, окремих вправах та при певних анатомічних особливостях, як, наприклад, великий кут нахилу плато великогомілкової кістки дозад. Це добре ілюструє дослідження Paterno MV та ін. (2014), згідно якого розрив трансплантата ПХЗ трапляється у 25% жінок протягом першого року при повноцінному поверненні у спорт [6]. Ми досі не знаємо всіх численних, але ймовірно, важливих дрібниць, які можуть негативно впливати на трансплантат ПХЗ.

Реабілітація спортсменів включає у себе підготовку до повернення до певних видів спорту. Але якщо вплив силових вправ на ПХЗ та її трансплантат ще хоч якось досліджений [11], то вплив на ПХЗ різноманітних ударів в ігрових видах спорту та в бойових мистецтвах майже не описаний і є справжньою білою плямою. Це особливо дивно з огляду як на популярність футболу в світі, так і на частоту власне розривів ПХЗ у цьому виді спорту [12]. З одного боку існують дослідження стосовно безпечного початку тренувань з ударів по м'ячу після пластики ПХЗ, і навіть наводяться деякі рекомендації щодо поступового збільшення навантажень та інтенсивності тренувань, сили ударів у цьому напрямку. А з іншого боку, ці рекомендації засновані не на дослідженні реальної безпеки трансплантату, а більше на відчуттях пацієнта (сам трансплантат через відсутність нервових закінчень у ньому пацієнт не відчуває) та силі відповідних м'язів, що має мало спільного із безпекою трансплантату [13]. Удар у кикбоксингу та більшості бойових мистецтв зазвичай суттєво відрізняється від удару по м'ячу, як по напрямку дії векторів сил (удар по м'ячу найчастіше медіальною поверхнею стопи, а удари в бойових мистецтвах переважно тильною або підошовною поверхнею), так і по силі. Досліджень впливу таких ударів на ПХЗ ще менше.

Таким чином, ми насправді маємо дуже обмежені знання стосовно впливу більшої частини спортивних вправ на трансплантат, щоб бути в стані давати науково обгрунтовані рекомендації. Ще менш дослідженим, але не менш важливим є питання оптимальних термінів повернення пацієнтів до спорту після ревізійної пластики ПХЗ. На даний час, як відомо, не існує доказів які б скеровували хірургів у встановленні остаточного часу повернення спортсменів до професійної діяльності. Тому зазвичай хірурги повинні провести оцінку кожного пацієнта індивідуально, щоб визначити його готовність до початку реабілітації та повернення до спорту. [14].

Повернення спортсменів після пластики ПХЗ до рівня, що був перед травмою, вдається не в усіх випадках, а у разі ревізійної пластики ПХЗ

– ще рідше. Втім, адекватна хірургічна техніка та консервативне лікування до та після операції дозволяють збільшити як відсоток тих пацієнтів, що повертаються до спорту взагалі, так і тих, що повертаються до професійного спорту на рівень, який був до операції. Показники повернення до спорту після ревізійної реконструкції нижчі, ніж після первинної реконструкції. Майбутні дослідження мають бути зосереджені на вдосконаленні як техніки ревізійних втручань, так і реабілітації [15,16,37,38].

На вибір оптимальних термінів повернення до занять спортом впливають як власне вид спорту, так і рівень підготовки спортсмена до операції, рівень функціональної здатності після операції, ступінь гіпотрофії м'язів та рівень нервово-м'язового контролю/пропріорецепції після операції, якість хірургічного втручання, а також тип фіксації трансплантату, тип власне трансплантату, кількість та локалізація забору власних сухожилків для пластики ПХЗ. Наступним після якості проведення операції фактором, що впливає на повернення спортсменів до тренувального процесу та змагань, є якість реабілітаційного процесу та фізичної терапії. А також на швидкість повернення до спорту та можливість тих чи інших вправ впливають рівень наших знань про навантаження, що виникають у ПХЗ та трансплантаті ПХЗ, при цих вправах у різних варіантах їх виконання. Деякі дослідження вказують що реабілітація повинна починатися якомога раніше після реконструкції ПХЗ, щоб оптимізувати сприятливі результати з точки зору функціонального фізичного відновлення, тоді як затримка від травми до реконструкції є менш значущою для цієї мети [17].

Сьогодні все ще мало інформації у наукових літературних джерелах стосовно поведінки та навантаження ПХЗ та трансплантату ПХЗ при перерозгинанні. Імпінджмент трансплантату ПХЗ о передню частину даху міжвиросткової вирізки вважається одним із факторів, що призводять до ушкодження трансплантату, втім допустимий рівень такого імпінджменту та кути, при яких він вважатиметься патологічним, не визначені. Ступінь імпінджменту залежить від кута нахилу даху міжвиросткової вирізки, кута перерозгинання, а у випадку трансплантату від розташування тунелів. Для ПХЗ імпінджмент починається в середньому при  $-6,3^{\circ} \pm 3,8^{\circ}$ . Сьогодні трансплантат все ще не може відтворити взаєморозташування рідної ПХЗ, але можливе таке його проведення, при якому імпінджмента не трапляється. Чим більша здатність у конкретного пацієнта до гіперекстензії, тим більше дозаду варто розташовувати тібальний канал, щоб запобігти імпінджменту трансплантату об дах

міжвиросткової западини. Пацієнти із більшим кутом нахилу даху міжвиросткової вирізки та більш вираженою гіперекстензією мають більший ризик імпінджменту, а отже стосовно них виникає важке тактичне питання – ставити трансплантат так, щоб відтворити біомеханіку контрлатерального колінного суглоба із більшою гіперекстензією та дещо більшою нестабільністю, але меншим ризиком імпінджменту (змістити тібальний тунель дозаду, а трансплантат натягнути у повному перерозгинанні), або йти на більшу стабільність та відповідно обмеження гіперекстензії колінного суглоба із збільшенням ризику імпінджменту та, відповідно, ушкодження трансплантату [18]. У випадках вибору тактики із більш жорсткою фіксацією та імпінджментом (що також є суперечливим варіантом), можливо, варто не намагатись досягнути гіперекстензії в оперованому колінному суглобі, а особливо із навантаженням, наприклад, при присіданні з додатковою вагою.

Одним із факторів, що особливо часто асоціюють із більшим навантаженням на ПХЗ, є більший нахил плато великогомілкової кістки дозаду [19, 20, 21, 22, 23], хоча і не всі дослідження змогли це підтвердити [24]. Про значно вищий ризик ушкодження ПХЗ та трансплантата ПХЗ при нахилі плато великогомілкової кістки дозаду в  $12^{\circ}$  та більше повідомляють Webb J. M. та ін. (2013), Salmon L. J. та ін. (2018) і Lee C. C. та ін. (2018) [18, 19, 20]. Це змушує нас переглянути уніфікованість підходів до термінів початку навантажень після пластики ПХЗ та їх інтенсивність [11, 25].

Відомо, що навіть взаєморозташування в тунелі інтерференційного гвинта і трансплантату значною мірою впливають на міцність фіксації [26, 27, 28, 29]. Проблеми щодо використання інтерференційних гвинтів із трансплантатами м'яких тканин включають пошкодження трансплантата під час введення гвинта, зниження міцності фіксації та зменшення площі контакту кістки та сухожилля для загоєння всередині тунелю, коли гвинт розміщено в ексцентричному положенні [26].

Більшість описаних в літературі трансплантатів, які використовуються для реконструкції передньої хрестоподібної зв'язки, мають більшу біомеханічну недостатність та жорсткість у порівнянні з нормальною зв'язкою. Незалежно від трансплантату всі типи мають однакові біомеханічні властивості [30]. Тому дані дослідження треба брати до уваги і ортопеду при виконанні стандартного хірургічного відновлення ПХЗ і при реабілітації, що покращить результати реконструкції передньої хрестоподібної зв'язки.

Щодо відносно нового способу відновлення



пошкодженої передньої хрестоподібної зв'язки, а саме рефіксації. Наявні дослідження свідчать про те, що динамічне доповнене шовне відновлення ПХЗ не поступається реконструкції ПХЗ з точки зору суб'єктивних результатів, про які повідомляють пацієнти. Проте на відміну від хірургічного втручання з ревізією ПХЗ у зв'язку з повторним розривом, більша кількість пов'язаних побічних ефектів, що призвели до повторної операції, спостерігаються у пацієнтів, яким проводили відновлення ПКС протягом 2 років після операції [31].

Більшість описаних на сьогодні протоколів реабілітації після пластики ПХЗ та критеріїв переходу від однієї фази реабілітації до іншої засновані не на співвідношенні рівня та характеру навантажень і міцності трансплантату та його фіксації, а на суб'єктивних відчуттях пацієнта протягом реабілітації, на оцінці сили чи об'єму чотириголових м'язів, на оцінці здатності виконувати функціональні задачі (наприклад, стрибки на одній нозі) та психічній готовності для переходу на наступну стадію, а часом і на оцінці результатів за шкалами недостатніми для оцінки здатності повернення до спорту професійного спортсмена [26,27,28,32]. Передопераційні вправи на збільшення сили чотириголових м'язів стегна здатні підвищити його силу, однак післяопераційна користь від виконання таких вправ до кінця не зрозуміла [33]. Прискорена реабілітація може дати пацієнтам короткострокові функціональні переваги. Вправи з відкритим кінетичним ланцюгом можуть мати додаткові переваги щодо сили та витривалості, водночас післяопераційна фіксація може не давати додаткових переваг. Довгострокове використання нервово-м'язової електростимуляції здається більш корисним, ніж короткочасне використання [26]. Тому такі програми реабілітації якщо і можна вважати науково-обґрунтованими, то дуже обмежено, з точки зору лише тих параметрів, які вони приймають до уваги. А це, як ми бачимо, часто не вирішальні для безпеки трансплантату параметри. Такі програми реабілітації не можуть застосовуватись для усіх пацієнтів у чистому вигляді. Не може критерієм для переходу до наступного етапу реабілітації бути тест стрибків на одній нозі, якщо стан трансплантату, стадія лігаментизації, спосіб фіксації трансплантату, наявність факторів ризику, таких як високий кут нахилу плато великогомілкової кістки дозад, надмірна вага пацієнта та інші не дозволяють цього. На жаль, факторів, що не просто впливають на трансплантат ПХЗ, а впливають значною мірою кожен окремо, так багато, що на сьогоднішній день науково обґрунтована єдина програма реабілітації після пластики ПХЗ виглядає малоімовірною. Втім, перспективною, хоча і

складною задачею, є розробка програми реабілітації, яка б включала у якості критеріїв переходу якомога більшу кількість перемінних факторів із наведеного списку з наданням кожному фактору певної науково обґрунтованої ваги. На сьогоднішній день вагу ряду факторів все ще неможливо розрахувати через відсутність досліджень. Більш того, комбінований вплив кількох факторів може значно відрізнитись від впливу кожного фактору окремо. Можливих таких комбінацій дуже багато, а досліджень впливу навіть деяких з них вкрай мало. Тому дослідження впливу таких комбінацій факторів може бути чудовим напрямком досліджень. Продовження ж базування програм реабілітації переважно на рівні функціональної здатності пацієнта без достатнього врахування його анатомічних особливостей, особливостей операції та інших параметрів є хибним шляхом та напрямком досліджень. Чудові результати надто ранньої реабілітації одних досліджень [34], [35], [36], [37] часто розходяться з менш райдужними результатами досліджень стосовно стабільності колінного суглоба [38], [39], [40] та ревізійних операції на ПХЗ [5]. А програми реабілітації після пластики ПХЗ в реабілітаційних центрах частіше відповідають більш прискореним протоколам реабілітації, ніж більш обережним.

Ми спробували систематизувати фактори з боку операції та з боку пацієнта, що впливають на вибір програми реабілітації після пластики ПХЗ.

#### *Фактори з боку операції:*

- точність та нюанси проведення тунелів у залежності від анатомічних особливостей, діаметру трансплантату, особливостей міжвіросткової вирізки тощо

- спосіб фіксації трансплантату (два інтерференційні гвинти з проксимальним ендобатомом, два інтерференційні гвинти, проксимальний ендобатон і дистальний інтерференційний гвинт, проксимальні піни і дистальний інтерференційний гвинт, два ендобатони, тощо)

- наявність і вид додаткової дистальної фіксації (скоба, гудзик)

- наявність або відсутність додаткового армування та його тип (FiberTape, JewelACL, тощо)

- якість фіксації трансплантату (стан кісткової тканини, матеріал фіксаторів, співвідношення діаметрів трансплантату, каналів та інтерференційних гвинтів)

- діаметр трансплантату

- матеріал та якість трансплантату (ауто-, ало), має значення спосіб його підготовки та стерилізації, синтетичний (має значення матеріал); сухожилки групи semi, VTB, fascia lata, сухожилок m.quadriceps femoris, тощо

- спосіб прошивання трансплантату, шовний матеріал (Vicryl, Ethibond, Fiberwire) і його діаметр

- тип пластики ПХЗ (однопучкова, двопучкова)  
 - інші елементи операції (шов чи резекція менісків, реконструкція антеролатеральної зв'язки та її спосіб, реконструкція інших елементів колінного суглоба, варіанти доступів).

*Фактори з боку пацієнта:*

- комплаєнс пацієнта  
 - психологічна готовність пацієнта перейти у наступну фазу реабілітації

- цілі та задачі, які ставить пацієнт (виграти найближчі олімпійські ігри, виграти наступні олімпійські ігри, займатись спортом на аматорському рівні, бути здатним дійти до офісної роботи або магазину, тощо), його вік, тип і рівень активності та фізичного стану пацієнта; вид спорту, яким пацієнт займається або хоче займатись, мотивація, очікування пацієнтів

- передопераційний досвід пацієнта у виконанні реабілітаційних вправ, проходження пацієнтом передопераційної реабілітації

- вага та зріст пацієнта, пропорції тіла, зокрема сегментів нижніх кінцівок (різні довжини важелів)

- ротаційні та кутові співвідношення кісток нижніх кінцівок

- нахил плато великогомілкової кістки дозад

- ширина міжвиросткової вирізки та нахил даху вирізки

- стан антеролатеральної зв'язки та інших стабілізаторів колінного суглоба (колатеральні зв'язки, меніски, тощо)

- тонус, сила, розвиток м'язів взагалі та на момент операції зокрема

- амплітуда рухів у колінному та суміжних суглобах

Отже, в принципі не може існувати єдиного для всіх протоколу реабілітації пластики ПХЗ, хоча загальні принципи у вигляді надання переваги вправам із закритим кінематичним ланцюгом, важливості вправ на розвиток пропріоцепції і т.і. все ж таки викристалізуються. Програма реабілітації конкретного пацієнта повинна враховувати принаймні перераховані фактори, які не є вичерпним переліком і впливають на вибір допустимих вправ та допустимих рівнів навантаження, а також на час їх початку. Очевидно, що існують і фактори з боку реабілітолога, соціальні та економічні фактори. Але їх ми не розглядали в контексті даної статті.

Необхідна тісна взаємодія між хірургом, реабілітологом та фізичним терапевтом, що проводять перед та післяопераційне лікування таких пацієнтів. Адже фізичний терапевт та реабілітолог повинні

знати та враховувати всі пошкодження, анатомічні особливості та нюанси операції, що мали місце у пацієнта, окрім недостатності передньої хрестоподібної зв'язки. І лише хірург може в достатній мірі інформувати їх про ці особливості. Гарною практикою в ряді ортопедичних центрів є заповнення хірургом одразу після операції реабілітаційної карти пацієнта, де буде вказано вправи, час їх початку та допустимі навантаження. Незалежно від стратегії лікування, лікування розриву ПКС має бути спрямоване на відновлення функції коліна, усунення психологічних бар'єрів для занять спортом та повсякденною діяльністю, зниження ризику подальшої травми та остеоартрозу колінного суглоба та покращення якості життя [41].

Наявність суб'єктивного відчуття нестабільності або інших неприємних відчуттів часто має місце навіть при об'єктивній стабільності колінного суглоба. Причинами можуть бути численні фактори – зокрема супутні ушкодження суглобового хряща та/або менісків, інших структур суглоба, порушення пропріорецепції, недостатнє відновлення функції м'язів, тощо [42, 43, 44]. Зниження пропріорецепції після реконструкції ПХЗ має велике значення для оптимізації індивідуальних планів лікування даних пацієнтів. Оскільки в сучасній літературі все ще мало відомостей про точні основні механізми, необхідні подальші дослідження [45, 46]. І навпаки, відсутність відчуття нестабільності в перші місяці і навіть роки після операції не свідчить про справді стабільний колінний суглоб або про завершення процесів лігаментизації трансплантату. Тому ми не можемо спиратись лише на відчуття пацієнта та його здатність до виконання певних вправ та завдань для прийняття рішення про перехід до наступної фази реабілітації.

Фізична терапія повинна розпочинатись ще до операції [47], та продовжуватись одразу після неї. У залежності від рівня спортсмена та важливості його повернення до професійного спорту рівень та інтенсивність фізичної терапії можуть відрізнятись. Результати досліджень свідчать про доцільність попередньої реабілітації перед реконструкцією ПХЗ для покращення нервово-м'язової функції колінного суглоба [48]. Якісна фізична терапія дозволяє максимально швидко відновити спортсмена для продовження тренувань. Але навіть коли на це покладені усі можливі зусилля та ресурси, все одно лишається певна межа, зумовлена швидкістю біологічних процесів в організмі, яку ми поки що переступити не можемо.

*Конфлікт інтересів.* Автори декларують відсутність конфлікту інтересів. Дана публікація не була, не є і не буде предметом комерційної зацікавленості в будь якій формі.

## References

1. Robson AWW. Ruptured Crucial Ligaments and their Repair by Operation. *Ann Surg* 1903;37:716–8.
2. Feagin JA, Curl WW. Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5 year follow up study. *American Journal of Sports Medicine* 1976;4:95–100.
3. Jones R. Disabilities of the knee joint. *British Medical Journal* 1916;2:169–73.
4. Galleazzi R. La ricostruzione dei ligamenti cociati del ginocchio. *Atti e Memorie della Società Lombarda di Chirurgia*. 1924;13:302–17.  
Galleazzi R. Reconstruction of the cruciate ligaments of the knee. *Proceedings and Memoirs of the Lombard Society of Surgery*. 1924;13:302–17. [in Italian]
5. Crawford SN, Waterman MBR, Lubowitz JH. Long-Term Failure of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* 2013;29:1566–71. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.04.014>.
6. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of Second ACL Injuries 2 Years After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. *Am J Sports Med* 2014;42:1567–73. <https://doi.org/10.1177/0363546514530088>.
7. Reider B, Davies GJ, Provencher MT. *Orthopaedic rehabilitation of the athlete: getting back in the game*. Philadelphia, PA: Elsevier/Saunders; 2015. 1680 p.
8. Wright RW, Haas AK, Anderson J, Calabrese G, Cavanaugh J, Hewett TE, et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Rehabilitation: MOON Guidelines. *Sports Health Multidiscip Approach* 2015;7:239–43. <https://doi.org/10.1177/1941738113517855>.
9. Tajima T, Yamaguchi N, Nagasawa M, Morita Y, Nakamura Y, Chosa E. Early weight-bearing after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring grafts induce femoral bone tunnel enlargement: a prospective clinical and radiographic study. *BMC Musculoskelet Disord* 2019;20:274. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2653-6>.
10. Pauzenberger L, Syré S, Schurz M. «Ligamentization» in Hamstring Tendon Grafts After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review of the Literature and a Glimpse Into the Future. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* 2013;29:1712–21. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.05.009>.
11. Kotiuk V, Kostrub O, Blonskyi R, Podik V, Sushchenko L. How safe are partial squats after the anterior cruciate ligament reconstruction? A finite element analysis. *The Knee* 2023;43:192–9. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2023.06.014>.
12. Коstrуб ОО, Котюк ВВ, Подік ВА, Смірнов ДО, Вадзюк НС. Епідеміологічна та клінічна характеристика спортсменів із розривом передньої хрестоподібної зв'язки, та динаміка відновлення їх функціональної спроможності. *Scientific Collection «InterConf» 2021:260–9*. Kostrub O, Kotiuk V, Podik V, Smirnov D, Vadzyuk N. Epidemiological and clinical characteristics of athletes with a rupture of the anterior cruciate ligament, and the dynamics of recovery of their functional capacity. *Scientific Collection «InterConf» 2021:260–9*. [in Ukrainian].
13. Arundale A, Silvers H, Logerstedt D, Rojas J, Snyder-Mackler L. An interval kicking progression for return to soccer following lower extremity injury. *Int J Sports Phys Ther* 2015;10:114–27.
14. Erickson BJ, Cvetanovich GL, Frank RM, Riff AJ, Bach BR. Revision ACL Reconstruction: A Critical Analysis Review. *JBJS Rev* 2017;5:e1–e1. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.16.00094>.
15. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2019 Feb;33(1):33–47. doi: 10.1016/j.berh.2019.01.018.
16. Miller MD, Kew ME, Quinn CA. Anterior Cruciate Ligament Revision Reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg*. 2021 Sep 1;29(17):723–731. doi: 10.5435/JAAOS-D-21-00088.
17. Łyp M, Stanisławska I, Witek B, Majerowska M, Czarny-Działak M, Włostowska E. The Timing of Rehabilitation Commencement After Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. *Adv Exp Med Biol*. 2018 May 9;1096:53–7. doi: 10.1007/5584\_2018\_210.
18. Jagodzinski M, Richter GM, Pässler HH. Biomechanical analysis of knee hyperextension and of the impingement of the anterior cruciate ligament: a cinematographic MRI study with impact on tibial tunnel positioning in anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2000;8:11–9. <https://doi.org/10.1007/s001670050004>.
19. Webb JM, Salmon LJ, Leclerc E, Pinczewski LA, Roe JP. Posterior Tibial Slope and Further Anterior Cruciate Ligament Injuries in the Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Patient. *Am J Sports Med* 2013;41:2800–4. <https://doi.org/10.1177/0363546513503288>.
20. Salmon LJ, Heath E, Akrawi H, Roe JP, Linklater J, Pinczewski LA. 20-Year Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Hamstring Tendon Autograft: The Catastrophic Effect of Age and Posterior Tibial Slope. *Am J Sports Med* 2018;46:531–43. <https://doi.org/10.1177/0363546517741497>.
21. Lee CC, Youm YS, Cho SD, Jung SH, Bae MH, Park SJ, et al. Does Posterior Tibial Slope Affect Graft Rupture Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* 2018;34:2152–5. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.01.058>.
22. Todd MS, Lalliss S, Garcia E, DeBerardino TM, Cameron KL. The Relationship between Posterior Tibial Slope and Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Am J Sports Med* 2010;38:63–7. <https://doi.org/10.1177/0363546509343198>.
23. Brandon ML, Haynes PT, Bonamo JR, Flynn MI, Barrett GR, Sherman MF. The Association Between Posterior-Inferior Tibial Slope and Anterior Cruciate Ligament Insufficiency. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* 2006;22:894–9. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2006.04.098>.
24. Nelitz M, Seitz AM, Bauer J, Reichel H, Ignatius A, Dürselen L. Increasing posterior tibial slope does not raise anterior cruciate ligament strain but decreases tibial rotation ability. *Clin Biomech* 2013;28:285–90. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2013.01.011>.
25. Kotiuk V, Kostrub O, Blonskyi R, Podik V, Smirnov D, Haiko O. The stress in the ACL, ACL graft, and other joint elements while weight-bearing in full extension depending on the posterior tibial slope. *Georgian Medical News* 2022;331:54–60.
26. Simonian P, Sussmann P, Baldini T, Crockett H, Wickiewicz T. Interference screw position and hamstring graft location for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg* 1998;14:459–64. [https://doi.org/10.1016/S0749-8063\(98\)70072-6](https://doi.org/10.1016/S0749-8063(98)70072-6).
27. Chen NC, Brand JC, Brown CH. Biomechanics of Intra-tunnel Anterior Cruciate Ligament Graft Fixation. *Clin Sports Med* 2007;26:695–714. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2007.06.009>.



28. Harvey AR, Thomas NP, Amis AA. The effect of screw length and position on fixation of four-stranded hamstring grafts for anterior cruciate ligament reconstruction. *The Knee* 2003;10:97–102. [https://doi.org/10.1016/S0968-0160\(02\)00092-3](https://doi.org/10.1016/S0968-0160(02)00092-3).
26. Nelson C, Rajan L, Day J, Hinton R, Bodendorfer BM. Postoperative Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Sports Med Arthrosc Rev* 2021;29:63–80. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000314>.
27. Bousquet BA, O'Brien L, Singleton S, Beggs M. Post-operative criterion based rehabilitation of acl repairs: a clinical commentary. *Int J Sports Phys Ther* 2018;13:293–305.
28. Brinlee AW, Dickenson SB, Hunter-Giordano A, Snyder-Mackler L. ACL Reconstruction Rehabilitation: Clinical Data, Biologic Healing, and Criterion-Based Milestones to Inform a Return-to-Sport Guideline. *Sports Health Multidiscip Approach* 2022;14:770–9. <https://doi.org/10.1177/19417381211056873>.
29. Benca E, Zderic I, Caspar J, Kneysel KV, Hirtler L, Gueorguiev B, et al. On Measuring Implant Fixation Stability in ACL Reconstruction. *Sensors (Basel)*. 2021 Oct 6;21(19):6632. doi: 10.3390/s21196632.
30. Malige A, Baghdadi S, Hast MW, Schmidt EC, Shea KG, Ganley TJ. Biomechanical properties of common graft choices for anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2022 May;95:105636. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2022.105636. Epub 2022 Apr 1.
31. Hoogeslag RAG, Brouwer RW, Boer BC, de Vries AJ, Huis In 't Veld R. Acute Anterior Cruciate Ligament Rupture: Repair or Reconstruction? Two-Year Results of a Randomized Controlled Clinical Trial. *Am J Sports Med*. 2019 Mar;47(3):567–577. doi: 10.1177/0363546519825878.
32. Yabroudi MA, Irrgang JJ. Rehabilitation and return to play after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med*. 2013 Jan;32(1):165–75. doi: 10.1016/j.csm.2012.08.016.
33. Potts G, Reid D, Larmer P. The effectiveness of preoperative exercise programmes on quadriceps strength prior to and following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: A systematic review. *Phys Ther Sport*. 2022 Mar;54:16–28. doi: 10.1016/j.ptsp.2021.12.004.
34. Kruse LM, Gray B, Wright RW. Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *J Bone Jt Surg* 2012;94:1737–48. <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.01246>.
35. Ebert JR, Edwards P, Joss B, Annear PT. A structured accelerated versus control rehabilitation pathway after anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstrings demonstrates earlier improvement in physical outcomes without increasing graft laxity: A randomized controlled trial. *Phys Ther Sport* 2022;55:271–81. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.05.005>.
36. Łyp M, Stanisławska I, Witek B, Majerowska M, Czarny-Działak M, Włostowska E. The Timing of Rehabilitation Commencement After Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. *Adv Exp Med Biol*. 2018 May 9;1096:53–7. doi: 10.1007/5584\_2018\_210.
37. van Melick N, van Cingel RE, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W, Nijhuis-van der Sanden MW. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med*. 2016 Dec;50(24):1506–1515. doi: 10.1136/bjsports-2015-095898.
38. Patra SK, Nanda SN, Patro BP, Sahu NK, Mohnaty CR, Jain M. Protocolo de reabilitação acelerada precoce versus conservadora retardada após reconstrução do ligamento cruzado anterior: Um ensaio prospectivo randomizado. *Rev Bras Ortop* 2022;57:429–36. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1748970>.
- Patra SK, Nanda SN, Patro BP, Sahu NK, Mohnaty CR, Jain M. Early accelerated versus conservative delayed rehabilitation protocol after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective randomized trial. *Rev Bras Ortop* 2022;57:429–36. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1748970>. [in Portuguese]
39. Török L, Jávör P, Török K, Rárosi F, Hartmann P. Early Return to Play After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Is It Worth the Risk? *Ann Rehabil Med* 2022;46:97–107. <https://doi.org/10.5535/arm.22010>.
40. Fan Z, Yan J, Zhou Z, Gao Y, Tang J, Li Y, et al. Delayed versus Accelerated Weight-bearing Rehabilitation Protocol Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Rehabil Med* 2022;54:jrm00260. <https://doi.org/10.2340/jrm.v53.1438>.
41. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2019 Feb;33(1):33–47. doi: 10.1016/j.berh.2019.01.018.
42. Bach BR, Provencher MT. ACL surgery: how to get it right the first time and what to do if it fails. *Thorofare, NJ: Slack Incorporated*; 2010. 416 p.
43. Fleming JD, Ritzmann R, Centner C. Effect of an Anterior Cruciate Ligament Rupture on Knee Proprioception Within 2 Years After Conservative and Operative Treatment: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med*. 2022 May;52(5):1091–1102. doi: 10.1007/s40279-021-01600-z.
44. van Grinsven S, van Cingel RE, Holla CJ, van Loon CJ. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010 Aug;18(8):1128–44. doi: 10.1007/s00167-009-1027-2.
45. Kaya D, Guney-Deniz H, Sayaca C, Calik M, Doral MN. Effects on Lower Extremity Neuromuscular Control Exercises on Knee Proprioception, Muscle Strength, and Functional Level in Patients with ACL Reconstruction. *Biomed Res Int*. 2019 Nov 15;2019:1694695. doi: 10.1155/2019/1694695.
46. van Melick N, van Cingel RE, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W, Nijhuis-van der Sanden MW. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med*. 2016 Dec;50(24):1506–1515. doi: 10.1136/bjsports-2015-095898.
47. Cunha J, Solomon DJ. ACL Prehabilitation Improves Postoperative Strength and Motion and Return to Sport in Athletes. *Arthrosc Sports Med Rehabil* 2022;4:e65–9. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2021.11.001>.
48. Giesche F, Niederer D, Banzer W, Vogt L. Evidence for the effects of prehabilitation before ACL-reconstruction on return to sport-related and self-reported knee function: A systematic review. *PLoS One*. 2020 Oct 28;15(10):e0240192. doi: 10.1371/journal.pone.0240192.

## **Reasons for the Variability of Rehabilitation Programs and the Perspective of the Standardized Guidelines Development for Patients after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction**

Kotiuk V.V.<sup>1</sup>, Kostrub O.O.<sup>2</sup>, Zasadniuk I.A.<sup>2</sup>, Smirnov D.O.<sup>2</sup>, Podik V.A.<sup>2</sup>, Blonskyi R.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Carolina Szpital Luxmed, Poland, Warsaw

<sup>2</sup> Department of Sports and Ballet Trauma of the SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine», Kyiv

**Summary.** *The following factors influence the choice of rehabilitation program after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. Surgical factors: peculiarities of the tunnels drilling, method and quality of graft fixation, presence and type of additional distal fixation, as well as the presence or absence of additional reinforcement, graft diameter, graft material and quality, graft suturing method, type of ACL repair (single- or double-bundle), and other elements of the surgery. Patient factors: compliance, psychological readiness to move on to the next phase of rehabilitation, goals and objectives set by the patient; age, type, and level of activity and physical condition of the patient; motivation, expectations of the patient, the preoperative experience of the patient in performing rehabilitation exercises, weight and height of the patient, body proportions, in particular of the lower limb segments (different lever lengths), rotational and axial alignment of the lower limb bones, posterior tibial plateau slope, intercondylar notch width and notch roof slope, condition of the anterolateral ligament and other knee joint stabilizers, muscle tone and strength in general and at the time of surgery in particular, range of motion in the knee and adjacent joints. Given the need to consider at least the above factors, there should not be a single rehabilitation protocol for ACL reconstruction. Only close cooperation between the surgeon, rehabilitologist and physical therapist allows for the fastest and safest rehabilitation of such patients. The patient's subjective feelings and their ability to perform specific exercises are not the criteria for deciding to proceed to the next rehabilitation phase. There is a certain limit, determined by the speed of biological processes in the body, which we cannot yet overcome. It is a good practice for the surgeon to fill out a patient's rehabilitation card immediately after the surgery, indicating the exercises, the time they should start, and the allowed loads.*

**Keywords:** ACL; anterior cruciate ligament; rehabilitation; guidelines.