

## Ушкодження передньої схрещеної зв'язки (ПСЗ): сучасна стратегія оперативного лікування (Огляд)

Скобенко Є.О.<sup>1</sup>, Кваша В.П.<sup>2</sup> ✉, Купрій В.О.<sup>1</sup>

**Резюме.** Серед усіх травм колінного суглоба найпоширенішою є ушкодження передньої схрещеної зв'язки (ПСЗ). ПСЗ відіграє ключову роль у стабільності колінного суглоба: обмежує передню дислокацію великогомілкової кістки та забезпечує стабільність ротаційних рухів. У фізично активних пацієнтів хірургічна реконструкція ушкодження ПСЗ є "золотим стандартом" лікування. Розвиток біомеханічних, біологічних, клінічних досліджень та тканинної інженерії створює підґрунтя для розбіжностей у способі реконструкції ушкоджень ПСЗ. У цьому огляді коротко розглянуто сучасні підходи до оперативного лікування ПСЗ.

**Ключові слова:** травми передньої схрещеної зв'язки; передньомедіальна нестабільність; аутоотрансплантат; реконструкція; відновлення.

### Вступ

Ушкодження передньої схрещеної зв'язки (ПСЗ) зустрічаються у пацієнтів віком 16-39 років із частотою 85 випадків на 100 000 та є однією з найпоширеніших травм колінного суглоба [1, 2]. Це захворювання складає від 25 до 50% усіх ушкоджень зв'язкового апарату колінного суглоба [3]. Ушкодження ПСЗ доволі часто (до 80%) поєднуються з ушкодженням менісків, хряща, колатеральних зв'язок, зв'язок утримувача наколінка, що призводить до суттєвого порушення біомеханіки колінного суглоба та супроводжується синовітами, хронічною нестабільністю, гіпотрофією м'язів стегна, артрофіброзом та раннім розвитком остеоартрозу [4, 5, 6, 7]. Ушкодження ПСЗ та його наслідки негативно впливають на якість життя через обмеження фізичної активності, порушення емоційного статусу та призводять до обмеження вибору професії, стійкої втрати працездатності [8, 9]. Враховуючи економічні втрати, питання відновлювального лікування при ушкодженні ПСЗ має не тільки медичне, а й соціальне значення [10]. Пріоритетом оперативного лікування є адекватне повноцінне відновлення анатомо-біомеханічних параметрів колінного суглоба при мінімальній травматизації втручання, що є підґрунтям для забезпечення повної функції, а відповідно, повернення пацієнтів до звичного рівня фізичної активності. Тому визна-

чення оптимального підходу до лікування хворих з ушкодженням ПСЗ на підставі аналізу сучасних способів та технологій є актуальним і предметним питанням сучасної ортопедії та травматології.

Першим дискусійним питанням при оперативному лікуванні ушкодження ПСЗ є визначення оптимального терміну реконструкції [11-14]. Одні автори вважають, що таким є перші три тижні після травмування, обґрунтовуючи свою позицію зменшенням вірогідності вторинних ушкоджень менісків, хряща, розвитком гіпотрофії м'язів та контрактур [15, 16]. Seong Hwan Kim (2021) у своєму дослідженні доводить прямий кореляційний зв'язок між ранньою реконструкцією та покращенням функціонального результату і прискоренням темпів реабілітації [17]. Інші дослідники, підтримуючи ранню реконструкцію ПСЗ, вказують, що оптимальним терміном оперативного втручання є проміжок між другим та третім тижнем після ушкодження. Як доказ автори наводять наявність у перші два тижні захворювання післятравматичного асептичного запалення, тому проведення реконструкції ПСЗ у цей період призводить до збільшення інтраартикулярного рубцювання, що суттєво подовжує терміни реабілітації [17]. На противагу тривалі спостереження демонструють, що немає суттєвої клінічної відмінності між ранньою чи пізньою реконструкцією ПСЗ [18, 19].

ПСЗ представлена двома пучками: передньомедіальним (ПМ) та задньолатеральним (ЗЛ) [20]. Ключова відмінність між ПМ та ЗЛ пучками полягає у місці кріплення до плато великогомілкової кістки: центр ПМ пучка розташовується на відстані  $4,6 \pm 0,7$  мм позаду від міжменіскової зв'язки,

✉ Кваша В.П., vlkvasha@ukr.net

<sup>1</sup>Центр інноваційних медичних технологій НАН України, м. Київ

<sup>2</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця МОЗ України, м. Київ

центр 3Л пучка – на  $1,4 \pm 0,7$  мм перед медіальним підвищенням великогомілкової кістки [21]. Такі анатомічні відмінності зумовлюють біомеханічні особливості цих структур у стабілізації колінного суглоба. Так, ПМ пучок вважається центром обертання ПСЗ і піддається розтягненню, більшою мірою під час згинання, забезпечує ротаційну та передньо-задню стабільність [22, 23, 5]. 3Л пучок переважно навантажується під час розгинання від 30 до 0 градусів та забезпечує ротаційну стабільність [24]. Таким чином, динамічна та статична ротаційна та передньо-задня стабільність колінного суглоба забезпечуються завдяки комплексній синергічній дії обох пучків. Анатомо-біомеханічні особливості складових ПСЗ стали підґрунтям для важливого питання: доцільно відновлювати дві порції (двопучкова реконструкція (ДР), яка відтворює анатомічну та біомеханічну ідентичність) чи одну (однопучкова реконструкція (ОР), яка забезпечує достатні умови для функціонування суглоба).

Фундатором ДР вважається Mott (1983), який одним із перших запропонував теорію відновлення структури ПСЗ за допомогою цього способу та довів його переваги. Останні полягають у забезпеченні перемінного навантаження на окремі пучки під час рухів у колінному суглобі, що є близькими до нормальної біомеханіки [25].

На сучасному етапі найпоширенішим способом оперативного лікування ушкоджень ПСЗ є ОР, яка дозволяє поновити передньо-задню стабільність колінного суглоба з обмеженими можливостями відновлення ротаційної кінематики колінних суглобів, особливо під час динамічних навантажень [26]. Незважаючи на численні та тривалі дослідження, в яких порівнювались способи ДР та ОР, дотепер існують суттєві розбіжності у поглядах щодо їх результативності. Підвищення ротаційної стабільності та передньо-задньої стабільності при застосуванні методу ДР показано результатами метааналізу Xue Li, Chang-Peng Xu (2013) щодо оцінки порівняння із застосуванням артрометра KT1000 (SMD  $-0,48$ ; 95% CI  $-0,66$  to  $-0,30$ ;  $P < 0,00001$ ) [27]. Результати метааналізу рандомізованих клінічних досліджень, проведених L. Kong, Z. Liu (2017), також підтверджують переваги ДР, які полягають у збільшенні стабільності колінного суглоба та покращенні клінічної функціональності [28]. E. Kondo (2011), O. Lorbach (2015) та ін. на підставі власних досліджень демонструють відсутність об'єктивних та суб'єктивних відмінностей між цими двома способами [29, 30, 31-34]. J. Zhou (2011) доводить, що метод ДР більш трудомісткий, технічно складніший та обмежений у застосуванні у пацієнтів із величиною міжвиросткової вирізки стегнової кістки менш ніж 12 мм та відбитком ПСЗ

на великогомілковій кістці менш ніж 14 мм [35]. На нашу думку, ДР та ОР мають свої переваги і недоліки. Розбіжність поглядів і, відповідно, результативність їх застосування полягає в відсутності індивідуалізації при використанні, тобто, які функціональні вимоги ставить пацієнт перед колінним суглобом (одна справа – активний спортсмен із колосальними навантаженнями на суглоб, інша – пацієнт із низькою фізичною активністю).

Відновлення ПСЗ здійснюється різним чином. Пряме відновлення реалізується 4 способами: динамічна внутрішньолігаментарна стабілізація (Dynamic intraligamentary stabilization (DIS)) за допомогою Ligamys™ [36], мостоподібне відновлення за допомогою посиленого шва (the Bridge-enhanced repair (BEAR)) [37], використання внутрішньої скоби [38] та використання анкерної фіксації [39]. Кожна методика потребує ретельного підходу до вибору “випадок – пацієнт”, однак результатів досліджень недостатньо, щоб розглядати ці способи в контексті стандартизованого підходу. Найбільш вагомими є дослідження S. Kohl, D. Evangelopoulos (2013) та H. Christiaan, W. Neudens (2021) щодо застосування методики DIS як способу відновлення ПСЗ [40, 41]. Ця фіксація передбачає ушивання ушкодженої ділянки ПСЗ полідіоксаноновим шовним матеріалом та стабілізацію колінного суглоба швом, який проходить поряд із ПСЗ та фіксується на великогомілковій кістці за допомогою пружинно-гвинтової системи. Остання забезпечує динамічну біомеханічну стабільність та створює передумови до відновлення [42, 41]. Результати рандомізованих клінічних досліджень демонструють незначні відмінності в оцінках за допомогою суб'єктивних шкал (International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form (IKDC), Lysholm+Tegner Activity Scale (TAS)) між реконструкцією ПСЗ та відновленням за методикою DIS [43, 41]. Специфічним ускладненням останньої було утворення гіпертрофічних рубців до 10% випадків та дискомфорт у місці розташування гвинта, що потребували оперативного втручання у 50% випадків [44, 45]. Недостатня кількість спостережень і, відповідно, достовірної об'єктивної оцінки результативності стосовно методики DIS не дозволяють сформулювати власну точку зору.

Найбільш вживаними сьогодні є реконструктивні способи відновлення ПСЗ із використанням аутоотрансплантатів, алотрансплантатів та синтетичних аналогів. Дискусії щодо вибору трансплантату для реконструкції ПСЗ тривають дотепер. Кожний тип трансплантату забезпечує розв'язання певних завдань та має свої недоліки і переваги. Ключовими критеріями при виборі трансплантату для реконструкції ПСЗ є: біомеханічні властивості, біологічна сумісність, термін лігаментизації,

**Біомеханічні параметри трансплантатів**

Характер трансплантату	Міцність на розрив (Н):	Жорсткість (Н/мм):	Джерело літератури
Нативна ПСЗ	2160±157	242±28	[45]
ВРТВ 10 мм	2238±316	455±67	[47]
QТВ 10 мм	2353±495	621±122	[48]
4-пучковий сухожилок тонкого та напівсухожилкового м'яза	4090±295	276±204	[46]
2-пучковий сухожилок тонкого м'яза	1550±369	370±108	[46]
2-пучковий сухожилок напівсухожилкового м'яза	2640±320	534±76	[46]

суб'єктивні відчуття пацієнтів та об'єктивна оцінка стану колінного суглоба.

Основні типи аутоотрансплантатів, що використовуються для реконструкції ПСЗ: частина кісткової маси наколінка – порція власної зв'язки наколінка – частина кісткової маси великогомілкової кістки (ВРТВ), порція сухожилку квадрицепса – частина кісткової маси наколінка (QТВ), сухожилки напівсухожилкового та тонкого м'яза (СНТ) у вигляді двох або чотирьох пучків. Механічні властивості цих аутоотрансплантатів відображені в табл. 1 [46-49].

Різноманітними порівняльними дослідженнями встановлено основні недоліки та переваги застосування цих аутоотрансплантатів [50-54]. Безперечною перевагою ВРТВ аутоотрансплантату є здатність інтеграції донорської кісткової частини в ділянку реципієнта при достатній механічній міцності (міцність на розрив (Н) становить 2238±316) із повноцінною стабілізацією колінного суглоба в порівнянні з СНТ аутоотрансплантатом. Дослідження випадків розриву ВРТВ та СНТ аутоотрансплантатів демонструють неоднозначні результати. К. Freedman, J. D'Amato (2003) вказують, що ці ушкодження зустрічаються в 7,2% та 15,8% при застосуванні ВРТВ та СНТ, відповідно [55]. У свою чергу за результатами інших системних аналізів не продемонстровано достовірної значущої різниці між цими даними [52, 53]. Недоліки використання ВРТВ аутоотрансплантату зумовлені технічними проблемами, збільшенням травматичності оперативного втручання та пов'язані з донорським місцем, особливо в ділянці наколінка. J. Kartus та ін. (2001) констатують, що близько 50% пацієнтів звернулись із проблемами в місці забору трансплантату: біль у колінному суглобі, відчуття дискомфорту в колінному суглобі та болючості при прямому контакті поверхні та місця

забору (стояння на колінах та ін.) [56]. Цей технічний прийом підвищує ризик перелому наколінка на 0,12-1,3% [57, 58]. У пацієнтів із застосуванням ВРТВ для реконструкції ПСЗ спостерігається тривале збереження болювого синдрому, особливо в передній частині колінного суглоба, та обмеження амплітуди рухів [59, 58]. Т. Leys та ін. (2012) за результатами власних досліджень визначили прямо пропорційний зв'язок між використанням ВРТВ аутоотрансплантату та зростанням частки після травматичного остеоартрозу в ранній період [59]. Вище вказані недоліки стали підґрунтям для широко використання СНТ аутоотрансплантату. Методика його застосування є більш косметичною та не супроводжується значними болювими відчуттями у місці забору. Водночас 4-пучковий сухожилок тонкого та напівсухожилкового аутоотрансплантату, а також 2-пучковий сухожилок напівсухожилкового м'яза мають достатню міцність на розрив (Н), відповідно 4090±295 та 2640±320. На нашу думку, така міцність цих аутоотрансплантатів зумовлена не тільки структурними характеристиками, але і синергічною складовою їх функціонування під час різного діапазону рухів у колінному суглобі. Серед недоліків застосування СНТ варто зазначити втрату сили активного згинання колінного суглоба з внутрішньою ротацією великогомілкової кістки, що вимагає виваженого підходу пацієнтів під час занять певними видами спорту [60, 59], а також розширення об'єму стегнового тунелю на 20% відносно ВРТВ до 10% ( $p=0,003$ ) і великогомілкового тунелю 25% відносно ВРТВ 15% ( $p=0,01$ ) [61] та збільшення часу інтеграції трансплантату, що може сповільнити темпи реабілітації [62].

Суттєвими перевагами використання алотрансплантатів є малотравматичність, яка полягає у відсутності потреби у донорській ділянці, зменшення часу оперативного втручання, пришвидшене від-

новлення у післяопераційний період, необмеженість у кількості та виборі типу і розміру трансплантату [63, 64]. Однак порівняльний аналіз їх використання доказово свідчить про більш низький рівень відновлення стабільності суглоба, який пов'язаний із реінтеграцією алотрансплантату. Порівняльний аналіз реінтеграції анатомо-функціональної спроможності між алотрансплантатом та аутогенним трансплантатом свідчить на користь останнього (відповідно 60,5 та 71,5%) [64]. Про можливість усунення цього недоліку свідчать роботи М. Mariscalco, R. Magnussen (2014) та К. Sun, S. Tian (2009), які на підставі власних досліджень доводять суттєве покращення якості алотрансплантату щодо реінтеграції шляхом його обробки, а саме використання опромінення [65, 66]. Променева обробка трансплантату необхідна, щоб запобігти можливій передачі вірусів та пріонів від донора до реципієнта. Однак, згідно з результатами дослідження К. Sun, S. Tian (2009), алотрансплантати, які піддають променевої обробці впливом  $\geq 2,5$  Мрад, не рекомендують застосовувати через зменшення стійкості до розриву [66].

## Висновки

На сучасному етапі розвитку ортопедії та травматології є широкий і доступний вибір методик та інструментального забезпечення ушкоджень ПСЗ колінного суглоба. Аналіз віддалених результатів оперативного методу лікування вказує на достатню ефективність реконструкції ПСЗ із використанням аутогенних трансплантатів, навіть при чіткому усвідомленні їх недоліків. Дискусійні питання порівняльного аналізу результативності різних методик реконструкції можна пояснити тим, що аналіз проводиться у групах пацієнтів із доволі різним ступенем фізичної активності.

Завданням майбутніх досліджень є більш глибоке розуміння недоліків та переваг різноманітних способів, а у практиці, беручи до уваги науковий базис, керуватися індивідуальним підходом при лікуванні.

**Конфлікт інтересів.** Ця публікація не викликає будь-якого конфлікту між авторами, не була і не буде предметом комерційної зацікавленості чи винагороди в жодній формі.

## References

1. Granan LP, Bahr R, Steindal K, Furnes O, Engebretsen L. Development of a national cruciate ligament surgery registry: the Norwegian National Knee Ligament Registry. *Am J Sports Med.* 2008;36(2):308-15. DOI: 10.1177/0363546507308939.
2. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Clin Sports Med.* 2017;36(1):1-8. DOI: 10.1016/j.csm.2016.08.001.
3. Risberg M A, Lewek M, Synder-Mackler L. A systematic review of evidence for anterior cruciate ligament rehabilitation: how much and what type? *Phys Ther Sport* 2004; 5(3): 125-45. Available from: [http://www.physicaltherapyinsport.com/article/S1466-853X\(04\)00029-X/abstract](http://www.physicaltherapyinsport.com/article/S1466-853X(04)00029-X/abstract).
4. Bates NA, McPherson AL, Rao MB, Myer GD, Hewett TE. Characteristics of inpatient Anterior cruciate ligament reconstructions and concomitant injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(9):2778-86. DOI: 10.1007/s00167-014-3478-3.
5. Levine JW, Kiapour A.M, Quatman CE, Wordeman SC, Goel VK, Hewett, TE, et al. Clinically relevant injury patterns after an anterior cruciate ligament injury provide insight into injury mechanisms. *Am J Sports Med.* 2013;41(2):385-95. DOI: 10.1177/0363546512465167.
6. Rahnemai-Azar AA, Sabzevari S, Irarrázaval S, Chao T, Fu FH. Anatomical Individualized ACL Reconstruction. *Arch Bone Jt Surg.* 2016;4(4):291-7.
7. Ajuied A, Wong F, Smith C, Norris M, Earnshaw P, Back D, et al. Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2014;42(9):2242-52. DOI: 10.1177/0363546513508376.
8. Tengman E, Brax Olofsson L, Stensdotter AK, Nilsson KG, Häger CK. Anterior cruciate ligament injury after more than 20 years. II. Concentric and eccentric knee muscle strength. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24(6):501-9. DOI: 10.1111/sms.12215.
9. Bell DR, Pfeiffer KA, Cadmus-Bertram LA, Triggsted SM, Kelly A, Post EG, et al. Objectively Measured Physical Activity in Patients After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2017;45(8):1893-900. DOI: 10.1177/0363546517698940.
10. Murray MM. Current status and potential of primary ACL repair. *Clin Sports Med.* 2009;28(1):51-61. DOI: 10.1016/j.csm.2008.08.005.
11. Lee YS, Lee OS, Lee SH, Hui TS. Effect of the Timing of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction on Clinical and Stability Outcomes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arthroscopy.* 2018;34(2):592-602. DOI: 10.1016/j.arthro.2017.07.023.
12. Smith TO, Davies L, Hing CB. Early versus delayed surgery for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(3):304-11. DOI: 10.1007/s00167-009-0965-z.
13. Andernord D, Karlsson J, Musahl V, Bhandari M, Fu FH, Samuelsson K. Timing of surgery of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy.* 2013;29(11):1863-71. DOI: 10.1016/j.arthro.2013.07.270.
14. Ferguson D, Palmer A, Khan S, Oduoza U, Atkinson H. Early or delayed anterior cruciate ligament reconstruction: Is one superior? A systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2019;29(6):1277-89. DOI: 10.1007/s00590-019-02442-2.
15. Krutsch W, Zellner J, Baumann F, Pfeifer C, Nerlich M, Angele P. Timing of anterior cruciate ligament reconstruction within the first year after trauma and its influence on treatment of cartilage and meniscus pathology. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(2):418-25. DOI: 10.1007/s00167-015-3830-2.
16. Granan LP, Bahr R, Lie SA, Engebretsen L. Timing of anterior cruciate ligament reconstructive surgery and risk of cartilage lesions and meniscal tears: a cohort study based on the

- Norwegian National Knee Ligament Registry. *Am J Sports Med.* 2009;37(5):955-61. DOI: 10.1177/0363546508330136.
17. Kim SH, Han SJ, Park YB, Kim DH, Lee HJ, Pujol N. A systematic review comparing the results of early vs delayed ligament surgeries in single anterior cruciate ligament and multiligament knee injuries. *Knee Surg Relat Res.* 2021;33(1):1. Published 2021 Jan 7. DOI: 10.1186/s43019-020-00086-9.
  18. Frobell RB, Roos HP, Roos EM, Roemer FW, Ranstam J, Lohmander LS. Treatment for acute anterior cruciate ligament tear: five year outcome of randomised trial. *BMJ.* 2013;346:f232. Published 2013 Jan 24. DOI: 10.1136/bmj.f232.
  19. Raviraj A, Anand A, Kodikal G, Chandrashekar M, Pai S. A comparison of early and delayed arthroscopically-assisted reconstruction of the anterior cruciate ligament using hamstring autograft. *J Bone Joint Surg Br.* 2010;92(4):521-6. DOI: 10.1302/0301-620X.92B4.22973.
  20. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(3):204-13. DOI: 10.1007/s00167-005-0679-9.
  21. Ferretti M, Doca D, Ingham SM, Cohen M, Fu FH. Bony and soft tissue landmarks of the ACL tibial insertion site: an anatomical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(1):62-68. DOI: 10.1007/s00167-011-1592-z.
  22. Sonnery-Cottet B, Chambat P. Arthroscopic identification of the anterior cruciate ligament posterolateral bundle: the figure-of-four position. *Arthroscopy.* 2007;23(10):1128-83. DOI: 10.1016/j.arthro.2006.11.028.
  23. Fu FH, Jordan SS. The lateral intercondylar ridge--a key to anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(10):2103-4. DOI: 10.2106/JBJS.G.00851.
  24. Zantop T, Herbort M, Raschke MJ, Fu FH, Petersen W. The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med.* 2007;35(2):223-7. DOI: 10.1177/0363546506294571.
  25. Mott HW. Semitendinosus anatomic reconstruction for cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;(172):90-2.
  26. Tashman S, Collon D, Anderson K, Kolowich P, Anderst W. Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2004;32(4):975-83. DOI: 10.1177/0363546503261709.
  27. Li X, Xu CP, Song JQ, Jiang N, Yu B. Single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: an up-to-date meta-analysis. *Int Orthop.* 2013;37(2):213-26. DOI: 10.1007/s00264-012-1651-1.
  28. Kong L, Liu Z, Meng F, Shen, Y. Single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. 2017;(10):1-15. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/316255150\\_Single-bundle\\_versus\\_double-bundle\\_anterior\\_cruciate\\_ligament\\_reconstruction\\_A\\_systematic\\_review\\_and\\_meta-analysis](https://www.researchgate.net/publication/316255150_Single-bundle_versus_double-bundle_anterior_cruciate_ligament_reconstruction_A_systematic_review_and_meta-analysis).
  29. Kondo E, Merican AM, Yasuda K, Amis AA. Biomechanical comparison of anatomic doublebundle, anatomic single-bundle, and nonanatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med.* 2011;39(2):279-88. DOI: 10.1177/0363546510392350.
  30. Lorbach O, Kieb M, Domnick C, Herbort M, Weyers I, Raschke M, et al. Biomechanical evaluation of knee kinematics after anatomic single- and anatomic double-bundle ACL reconstructions with medial meniscal repair. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(9):2734-41. DOI: 10.1007/s00167-014-3071-9.
  31. Sastre S, Popescu D, Núñez M, Pomes J, Tomas X, Peidro L. Double-bundle versus single-bundle ACL reconstruction using the horizontal femoral position: a prospective, randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(1):32-6. DOI: 10.1007/s00167-009-0844-7.
  32. Misonoo G, Kanamori A, Ida H, Miyakawa S, Ochiai N. Evaluation of tibial rotational stability of single-bundle vs. anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction during a high-demand activity – a quasi-randomized trial. *Knee.* 2012;19(2):87-93. DOI: 10.1016/j.knee.2011.01.003.
  33. Chen G, Wang S. Comparison of single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction after a minimum of 3-year follow-up: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Clin Exp Med.* 2015;8(9):14604-14. Published 2015 Sep 15.
  34. Hussein M, van Eck CF, Cretnik A, Dinevski D, Fu FH. Prospective randomized clinical evaluation of conventional single-bundle, anatomic single-bundle, and anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: 281 cases with 3- to 5-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2012;40(3):512-20. DOI: 10.1177/0363546511426416.
  35. Zhou JB. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: a surgical technique more original than traditional. *Chin. J. Sports Med.* 2011;(30): 6.
  36. Bieri KS, Scholz SM, Kohl S, Aghayev E, Staub LP. Dynamic intraligamentary stabilization versus conventional ACL reconstruction: A matched study on return to work. *Injury.* 2017;48(6):1243-8. DOI: 10.1016/j.injury.2017.03.004.
  37. Murray MM, Flutie BM, Kalish LA, Ecklund K, Fleming BC, Proffen BL, et al. The Bridge-Enhanced Anterior Cruciate Ligament Repair (BEAR) Procedure: An Early Feasibility Cohort Study. *Orthop J Sports Med.* 2016;4(11):2325967116672176. Published 2016 Nov 21. DOI: 10.1177/2325967116672176.
  38. Smith JO, Yasen SK, Palmer HC, Lord BR, Britton EM, Wilson AJ. Paediatric ACL repair reinforced with temporary internal bracing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(6):1845-51. DOI: 10.1007/s00167-016-4150-x.
  39. Achtnich A, Herbst E, Forkel P, Metzloff, S, Sprenger F, Imhoff AB, et al. Acute Proximal Anterior Cruciate Ligament Tears: Outcomes After Arthroscopic Suture Anchor Repair Versus Anatomic Single-Bundle Reconstruction. *Arthroscopy.* 2016;32(12):2562-9. DOI: 10.1016/j.arthro.2016.04.031.
  40. Kohl S, Evangelopoulos DS, Kohlhof H, Hartel M, Bonel H, Henle P, et al. Anterior cruciate ligament rupture: self-healing through dynamic intraligamentary stabilization technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(3):599-605. DOI: 10.1007/s00167-012-1958-x.
  41. Heusdens CHW. ACL Repair: A Game Changer or Will History Repeat Itself? A Critical Appraisal. *J Clin Med.* 2021;10(5):912. Published 2021 Feb 26. DOI: 10.3390/jcm10050912.
  42. Kohl S, Evangelopoulos DS, Ahmad SS, Kohlhof H, Herrmann G, Bonel H, et al. A novel technique, dynamic intraligamentary stabilization creates optimal conditions for primary ACL healing: a preliminary biomechanical study. *Knee.* 2014;21(2):477-80. DOI: 10.1016/j.knee.2013.11.003.
  43. Kösters C, Glasbrenner J, Spickermann L, Kittl C, Domnick C, Herbort M, et al. Repair With Dynamic Intraligamentary Stabilization Versus Primary Reconstruction of Acute Anterior Cruciate Ligament Tears: 2-Year Results From a Prospective Randomized Study. *Am J Sports Med.* 2020;48(5):1108-16. DOI: 10.1177/0363546520905863.

44. Kohl S, Evangelopoulos DS, Schär MO, Bieri K, Müller T, Ahmad SS. Dynamic intraligamentary stabilisation: initial experience with treatment of acute ACL ruptures. *Bone Joint J.* 2016;98-B(6):793-8. DOI: 10.1302/0301-620X.98B6.35040.8.
45. Mahapatra P, Horriat S, Anand BS. Anterior cruciate ligament repair - past, present and future. *J Exp Orthop.* 2018;5(1):20. Published 2018 Jun 15. DOI: 10.1186/s40634-018-0136-6.
46. Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S. Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med.* 1991;19(3):217-25. DOI: 10.1177/036354659101900303.
47. Hamner DL, Brown CH Jr, Steiner ME, Hecker AT, Hayes WC. Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament: biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 1999;81(4):549-57. DOI: 10.2106/00004623-199904000-00013.
48. Cooper DE, Deng XH, Burstein AL, Warren RF. The strength of the central third patellartendon graft. A biomechanical study. *Am J Sports Med.* 1993;21(6):818-24. DOI: 10.1177/036354659302100610.
49. Stäubli HU, Schatzmann L, Brunner P, Rincón L, Nolte LP. Quadriceps tendon and patellar ligament: cryosectional anatomy and structural properties in young adults. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1996;4(2):100-10. DOI: 10.1007/BF01477262.
50. Gifstad T, Sole A, Strand T, Uppheim G, Grøntvedt T, Drogset JO. Long-term follow-up of patellar tendon grafts or hamstring tendon grafts in endoscopic ACL reconstructions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(3):576-83. DOI: 10.1007/s00167-012-1947-0.
51. Magnussen RA, Carey JL, Spindler KP. Does autograft choice determine intermediate-term outcome of ACL reconstruction?. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(3):462-72. DOI: 10.1007/s00167-010-1277-z.
52. Li S, Chen Y, Lin Z, Cui W, Zhao J, Su W. A systematic review of randomized controlled clinical trials comparing hamstring autografts versus bone-patellar tendon-bone autografts for the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(9):1287-97. DOI: 10.1007/s00402-012-1532-5.
53. Xie X, Liu X, Chen Z, Yu Y, Peng S, Li Q. A meta-analysis of bone-patellar tendon-bone autograft versus four-strand hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee.* 2015;22(2):100-10. DOI: 10.1016/j.knee.2014.11.014.
54. Poehling-Monaghan KL, Salem H, Ross KE, Secrist E, Ciccotti MC, Tjoumakaris F, et al. Long-Term Outcomes in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review of Patellar Tendon Versus Hamstring Autografts. *Orthop J Sports Med.* 2017;5(6):2325967117709735. Published 2017 Jun 14. DOI: 10.1177/2325967117709735.
55. Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A, Bach BR Jr. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med.* 2003;31(1):2-11. DOI: 10.1177/03635465030310011501.
56. Kartus J, Movin T, Karlsson J. Donor-site morbidity and anterior knee problems after anterior cruciate ligament reconstruction using autografts. *Arthroscopy.* 2001;17(9):971-80. DOI: 10.1053/jars.2001.28979.
57. Stein DA, Hunt SA, Rosen JE, Sherman OH. The incidence and outcome of patella fractures after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2002;18(6):578-83. DOI: 10.1053/jars.2002.30658.
58. Lee GH, McCulloch P, Cole BJ, Bush-Joseph CA, Bach BR Jr. The incidence of acute patellar tendon harvest complications for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2008;24(2):162-6. DOI: 10.1016/j.arthro.2007.08.020.
59. Leys T, Salmon L, Waller A, Linklater J, Pinczewski L. Clinical results and risk factors for reinjury 15 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study of hamstring and patellar tendon grafts. *Am J Sports Med.* 2012;40(3):595-605. DOI: 10.1177/0363546511430375.
60. Mohtadi NG, Chan DS, Dainty KN, Whelan DB. Patellar tendon versus hamstring tendon 2011;2011(9):CD005960. Published 2011 Sep 7. DOI: 10.1002/14651858.CD005960.pub2.
61. Paschos NK, Howell SM. Anterior cruciate ligament reconstruction: principles oftreatment. *EFORT Open Rev.* 2017;1(11):398-408. Published 2017 Mar 13. DOI: 10.1302/2058-5241.1.160032.
62. Papageorgiou CD, Ma CB, Abramowitch SD, Clineff TD, Woo SL. A multidisciplinary study of the healing of an intraarticular anterior cruciate ligament graft in a goat model. *Am J Sports Med.* 2001;29(5):620-6. DOI: 10.1177/03635465010290051501.
63. Krupa S, Królikowska A, Reichert P. Postoperative Knee Joint Stability Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using the Ligament Advanced Reinforcement System. *Polim Med.* 2016;46(2):155-61. DOI: 10.17219/pim/68646.
64. Prodromos C, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of stability of autografts compared to allografts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(7):851-6. DOI: 10.1007/s00167-007-0328-6.
65. Sun K, Tian S, Zhang J, Xia C, Zhang C, Yu T. Anterior cruciate ligament reconstruction with BPTB autograft, irradiated versus non-irradiated allograft: a prospective randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009;17(5):464-74. DOI: 10.1007/s00167-008-0714-8.

## Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injuries: Modern Strategy of Surgical Treatment (Review)

Skobenko Ye.O.<sup>1</sup>, Kvasba V.P.<sup>2</sup>, Kuprii V.O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Scientific Institution "Center for Innovative Medical Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv

<sup>2</sup>Bogomolets National Medical University, Kyiv

**Summary.** *Of all knee injuries, the most common one is the anterior cruciate ligament (ACL) injury. The ACL plays a key role in the stability of the knee joint: it limits the anterior dislocation of the tibia and ensures the stability of rotational movements. In physically active patients, surgical reconstruction of the ACL injury is the gold stan-*

*standard of treatment. The development of biomechanical, biological, clinical research, and tissue engineering provides the basis for disagreement about the methods of reconstruction of ACL injuries. This review outlines modern approaches to the surgical treatment of the ACL.*

**Key words:** *anterior cruciate ligament injuries; anteromedial instability; autograft; reconstruction; recovery.*

### **Повреждения передней крестообразной связки (ПКС): современная стратегия оперативного лечения (Обзор)**

Скобенко Е.А.<sup>1</sup>, Кваша В.П.<sup>2</sup>, Куприй В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Центр инновационных медицинских технологий НАН Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Национальный медицинский университет имени А.А. Богомольца МЗ Украины, г. Киев

**Резюме.** Среди всех травм коленного сустава наиболее часто встречается повреждение передней крестообразной связки (ПКС). ПКС играет ключевую роль в стабильности коленного сустава: ограничивает переднюю дислокацию большеберцовой кости и обеспечивает стабильность ротационных движений. У физически активных пациентов хирургическая реконструкция повреждения ПКС является “золотым стандартом” лечения. Развитие биомеханических, биологических, клинических исследований и тканевой инженерии создает основу для разногласий насчет способа реконструкции повреждений ПКС. В этом обзоре кратко рассмотрены современные подходы к оперативному лечению ПКС.

**Ключевые слова:** *травмы передней крестообразной связки; переднемедиальная нестабильность; аутотрансплантат; реконструкция; восстановление.*