

DOI: 10.29413/ABS.2019-4.6.14

## Однопучковая и двухпучковая артроскопические реконструкции передней крестообразной связки (обзор литературы)

Бальжинимаев Д.Б., Михайлов И.Н., Монастырев В.В.

ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии» (664003, г. Иркутск, ул. Борцов Революции, 1, Россия)

Автор, ответственный за переписку: Бальжинимаев Доржи Баирович, e-mail: dorji45@mail.ru

### Резюме

Данные исследований, проведённых учёными за последние 20 лет, свидетельствуют о необходимости реконструкции передней крестообразной связки как основной стабилизирующей структуры сустава наиболее анатомичным способом в сочетании с восстановлением по показаниям других повреждённых структур коленного сустава, которые так или иначе влияют на исходы лечения. Анатомичность расположения трансплантата приносят в жертву его изометричности как основополагающему принципу реконструкции связочного аппарата любого сустава. Трансплантату придадут более вертикальное положение, дублируя лишь переднемедиальный пучок связки.

В связи с этим основным механизмом такого совершенствования на сегодняшний день является применение анатомичного трансплантата, по подобию этой связки состоящего из переднемедиального и заднелатерального пучков и ориентированного в косом положении в отношении суставных поверхностей большеберцовой кости. С точки зрения биомеханики каждый пучок сам по себе «неизометричен», но «изометрична» связка в целом как комплексная структура. Главным недостатком этого трансплантата является значительное техническое усложнение такой операции со всеми вытекающими из этого последствиями. Сложность заключается в том, что площадь контакта передней крестообразной связки широкая при небольшой площади сечения на протяжении полости сустава. Подробное изучение учёными топографической анатомии передней крестообразной связки позволило объяснить этот феномен, приблизившись к решению проблемы.

Нормальная анатомия передней крестообразной связки представлена двумя пучками – переднемедиальным и заднелатеральным. В этой связи можно говорить о том, что двухпучковая пластика передней крестообразной связки восстанавливает анатомию до уровня, близкого к нативному, хотя в настоящее время наиболее часто используемой является однопучковая пластика как более простая в техническом исполнении. Тем не менее, консенсус в выборе вида пластики при восстановлении передней крестообразной связки до сих пор не был достигнут.

В обзорной статье представлены различные взгляды на основные методы артроскопического восстановления передней крестообразной связки коленного сустава на современном этапе развития хирургии.

**Ключевые слова:** передняя крестообразная связка, коленный сустав, однопучковая пластика передней крестообразной связки, двухпучковая пластика передней крестообразной связки, анатомия, изометричность

**Для цитирования:** Бальжинимаев Д.Б., Михайлов И.Н., Монастырев В.В. Однопучковая и двухпучковая артроскопические реконструкции передней крестообразной связки (обзор литературы). *Acta biomedica scientifica*. 2019; 4(6): 95-100. doi: 10.29413/ABS.2019-4.6.14.

## Single and Double Bundle Arthroscopic Reconstruction of Anterior Cruciate Ligament (Review of Literature)

Balzhinimaev D.B., Mikhaylov I.N., Monastirev V.V.

Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology (Bortsov Revolyutsii str. 1, Irkutsk 664003, Russian Federation)

Corresponding author: Dorzhi B. Balzhinimaev, e-mail: dorji45@mail.ru

### Abstract

Researches performed in the past 20 years show the necessity of the restoration of anatomic position of anterior cruciate ligament as the main stabilizing structure of the joint in combination with the restoration of other injured elements and correction of deformities, which affect the outcomes of the treatment.

Complexity of the restoration of anatomic position of torn anterior cruciate ligament is caused by its wide area of contact in combination with relatively small sectional area through the joint cavity. More detailed study of topographic anatomy of anterior cruciate ligament allowed the researchers to explain this phenomenon, which pushed them closer to the solution of the problem.

Systemic anatomy of anterior cruciate ligament include two bundles – anteromedial bundle and posterolateral bundle. Double bundle plasty of anterior cruciate ligament restored anatomy to its nearly normal condition, but single bundle plasty is used much more often because of its simpler technique. However, the researchers still cannot reach a consensus in the choosing of single or double beam plasty at the restoration of anterior cruciate ligament.

**Key words:** anterior cruciate ligament, knee joint, single bundle anterior cruciate ligament plasty, double bundle anterior cruciate ligament plasty, anatomy, isometry

**For citation:** Balzhinimaev D.B., Mikhaylov I.N., Monastirev V.V. Single and Dual Bundle Arthroscopic Reconstruction of anterior cruciate Ligament (Review of Literature). *Acta biomedica scientifica*. 2019; 4(6): 95-100. doi: 10.29413/ABS.2019-4.6.14.

## ВВЕДЕНИЕ

Разрыв передней крестообразной связи (ПКС) чаще всего происходит в результате занятий спортом. Последствия повреждений ПКС влияют не только на возможность человека продолжать свою спортивную деятельность, но и на возможность прекращения дальнейшей трудовой деятельности [1, 2, 3].

В настоящее время при полных разрывах ПКС общепринятой считается ее артроскопическая реконструкция. Существует множество различных методик артроскопической реконструкции ПКС. Выбор методики зависит от предпочтений и опыта хирурга [4].

Поиск оптимальной техники восстановления ПКС представляет большой интерес для хирургов.

Восстановление одного пучка технически выполняется путём формирования одного бедренного канала и одного большеберцового канала. Однопучковая реконструкция восстанавливает, главным образом, переднемедиальный пучок. В двух современных исследованиях было показано, что восстановление только переднемедиального пучка оставляет неисправной ротационную нестабильность коленного сустава [5, 6]. Биомеханические исследования трупов человека показали, что заднелатеральный пучок ПКС играет важную роль при разгибании коленного сустава, принимая при этом нагрузку на себя [7, 8].

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представить обзор оригинальных исследований, посвящённых артроскопической реконструкции однопучковым и двухпучковым методами.

### ОБЗОР МЕТОДИК РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ

Однопучковая пластика передней крестообразной связки выдержала испытание временем и показала отличные результаты, но некоторые исследователи отмечают, что у пациентов наблюдаются остаточная нестабильность и неудовлетворённость результатами лечения после операции [9]. В последние годы все большую популярность приобретает двухпучковая пластика передней крестообразной связки. Это связано с лучшим восстановлением кинематики коленного сустава, так как реконструируется каждый пучок – и переднемедиальный (ПМ), и заднелатеральный (ЗЛ). Оба пучка функционируют под разными углами сгибания. Переднемедиальный пучок обеспечивает переднюю стабильность коленного сустава, а заднелатеральный отвечает за ротационную стабильность [2, 3, 10].

Исследование кинематики коленного сустава *in vivo* показало, что однопучковая пластика ПКС имитирует реконструкцию ПМ пучка, восстанавливая переднюю стабильность коленного сустава, но в недостаточной степени восстанавливая ротационную стабильность [11].

В настоящее время анатомической называют только двухпучковую пластику ПКС, которая, по мнению многих авторов, близка к топографической анатомии неповрежденной связки, так как общепринятая однопучковая пластика восстанавливала только её основной, переднемедиальный, пучок. Поэтому стабилизировать сустав в полной мере удавалось не всегда [12, 13]. Н. Vjornsson et al., анализируя отдалённые результаты подобных операций, в ходе мануального тестирования пациентов

в 49% случаев выявили спонтанный передний подвывих латерального мыщелка большеберцовой кости, именуемый положительным тестом ротационной стабильности коленного сустава [12]. Но в результате проведённых в последнее время биомеханических исследований было доказано, что, располагая трансплантат в центре «footprint», можно выполнить анатомическую однопучковую пластику ПКС, которая в функциональном плане не уступает известной двухпучковой анатомической пластике, а в отношении технической простоты и доступности значительно её превосходит [11].

Общими принципами при восстановлении передней крестообразной связки считаются анатомичность, изометричность трансплантата, который имеет высокую прочность, простота и техническая доступность хирургического вмешательства, обеспечивающие минимальный риск послеоперационных осложнений [15, 16].

Не проанализированы в достаточном объёме результаты клинического применения современных двухпучковых реконструкций ПКС, внедряемых в клиническую практику в последние годы [17, 18]. Анализ как отечественных, так и зарубежных литературных источников по спортивной травматологии за последние 5 лет показал, что повреждения передней крестообразной связки по-прежнему остаются ведущей патологией коленного сустава, возникающей в результате спортивных травм [19, 20]. Основным моментом при восстановлении стабильности и биомеханики повреждённого коленного сустава является восстановление оторванной ПКС как основной стабилизирующей структуры коленного сустава в сочетании, при необходимости, с коррекцией прочих повреждённых элементов [9]. В настоящее время широко внедряется в клиническую практику двухпучковая реконструкция ПКС, которая представляет собой качественно новый этап развития данного направления лечения пациентов молодого и среднего возраста с высокими функциональными запросами [21].

Нами был проведён поиск и проанализированы 9 рандомизированных контролируемых исследований, где сравниваются однопучковая и двухпучковая реконструкции передней крестообразной связки.

Первое исследование было проведено N. Adachi et al. в 2004 году [22]. В исследовании приняли участие 55 пациентов в группе с однопучковой реконструкцией и 53 пациента в группе с двухпучковой реконструкцией, со сроком наблюдения от 24 до 36 месяцев. При двухпучковой реконструкции формировался один канал на плато большеберцовой кости и два канала на латеральном мыщелке большеберцовой кости с использованием транстибиальной техники формирования бедренного канала, поэтому двухпучковая реконструкция ПКС не была анатомичной. При выполнении однопучковой реконструкции также использовалась транстибиальная техника формирования бедренного канала; статистически значимых различий в группах авторы не выявили.

T. Muneta et al. опубликовали свои результаты в 2007 году [23]. В исследовании участвовали по 34 пациента в обеих группах, сроки наблюдения составляли от 18 до 40 месяцев (в среднем 25 месяцев). Исследователями также была использована транстибиальная техника формирования бедренного канала. Они пришли к выводу, что в группе, где выполнялась двухпучковая реконструкция ПКС, выявлены статистически лучшие результаты в ча-

сти ротационной и передней стабильности коленного сустава.

R. Siebold et al. [24] сообщили о результатах лечения 70 пациентов со сроками наблюдения от 13 до 24 месяцев (в среднем 19 месяцев). Главным выводом в их исследовании было то, что в группе, где была использована двухпучковая реконструкция ПКС, отмечалась лучшая ротационную стабильность и объективная оценка состояния коленного сустава. Сообщалось также, что передняя стабильность была лучше в группе с двухпучковой реконструкцией ПКС, но разница не была статистически значимой.

S.A. Ibragim et al. [25] провели исследование, в котором участвовали 200 пациентов. 50 пациентам выполнена двухпучковая реконструкция ПКС, 48 пациентам – однопучковая реконструкция с использованием системы фиксации Endobutton, 52 пациентам – однопучковая реконструкция с использованием системы фиксации RigidFix и 50 пациентам – однопучковая реконструкция с использованием биодеградируемого винта Transfix. Сроки наблюдения составили от 25 до 38 месяцев (в среднем 29 месяцев). Авторы пришли к выводу, что лучшая передняя и ротационная стабильность была в группе с двухпучковой реконструкцией.

N.A. Streich et al. [26] провели исследование 50 пациентов мужского пола со сроками наблюдения от 23 до 25 месяцев (в среднем 24 месяца). Главным выводом было то, что вопреки их гипотезе не было статистически значимой разницы между обеими группами. M. Sastre et al. [27] имели аналогичные результаты в своем исследовании в течение двухлетнего периода наблюдения.

P.B. Lewis et al. оценили результаты лечения 1024 пациентов после однопучковой пластики передней крестообразной связки и выявили, что у 59 % пациентов тест Lachman был положительным, и в 16 % случаев симптом переднего выдвигающего ящика был более 5 мм [28]. С точки зрения восстановления стабильности и возвращения пациентов к прежнему уровню физической активности многие хирурги-ортопеды не удовлетворены клиническими результатами однопучковой пластики ПКС. В связи с этим многие исследователи приложили усилия для улучшения результатов лечения пациентов с полным изолированным разрывом ПКС [29, 30, 31].

Самое длительное исследование с пятилетним сроком наблюдения, опубликованное на сегодняшний день, выполнено Suomalainen et al. [32]. В данном исследовании было три группы по 30 пациента в каждой: 1. однопучковая реконструкция ПКС с биодеградируемыми винтами; 2. однопучковая реконструкция ПКС с металлическими винтами; 3. двухпучковая реконструкция с биодеградируемыми винтами. Основные выводы в этом исследовании заключались в том, что измерения стабильности были одинаковыми во всех трех группах.

С 2008 г. было опубликовано девять метаанализов, опубликованных по данной теме, проведенных в США [33], из них было отобрано 3 метаанализа с высоким уровнем доказательности. В каждом из этих трёх метаанализов было доказано, что двухпучковая пластика ПКС обеспечивает лучшую стабильность коленного сустава, в сравнении с однопучковой [34, 35]. Несмотря на преимущества, доказанные исследователями из США, двухпучковая пластика ПКС редко используется в клинической практике как в России, так и в зарубежных странах.

Meredick et al. [36] опубликовали метаанализ реконструкций ПКС в 2008 году, где сравнивались однопучковая и двухпучковая реконструкции. Они пришли к выводу, что нет никаких доказательств того, что двухпучковая реконструкция лучше, чем однопучковая. Однако с тех пор было опубликовано несколько высококачественных проспективных рандомизированных исследований с разными выводами (см. выше).

Последний метаанализ был сделан Zhu et al. [37]. В отличие от Meredick, они пришли к выводу, что метод двухпучковой реконструкции ПКС превосходит метод таковой с одним пучком. Они отметили, что методика двухпучковой реконструкции ПКС показала более лучшие результаты относительно передней и ротационной стабильности коленного сустава. Кроме того, по шкале оценки состояния коленного сустава IKDC после реконструкции ПКС был значительно лучше в группе с использованием методики двухпучковой реконструкции.

В недавно проведенном опросе спортивных травматологов Национальной ассоциации студенческого спорта колледжей США и Канады только один из 137 хирургов отдал предпочтение двухпучковой пластике ПКС [38]. Из шведского национального реестра реконструкций ПКС известно, что только 3 % из более чем 16 000 реконструкций ПКС были проведены с использованием двухпучковой пластики [39].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный обзор литературы показывает, что метод двухпучковой реконструкции ПКС даёт лучшие результаты или по крайней мере аналогичные результатам, получаемым при использовании традиционного однопучкового метода, даже при пятилетнем наблюдении. Тем не менее, необходимы более длительные последующие исследования, чтобы увидеть отдалённые результаты и выяснить, может ли двухпучковая реконструкция ПКС в конечном итоге предотвратить остеоартроз коленного сустава.

### Сведения о финансировании

Работа выполнялась в соответствии с планом научных исследований ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии». Финансовой поддержки со стороны кампаний-производителей лекарственных препаратов авторы не получали.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kondo E, Merican AM, Yasuda K, Amis AA. Biomechanical comparison of anatomic double-bundle, anatomic single-bundle, and nonanatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med.* 2011; 39(2): 279-288. doi: 10.1177/0363546510392350
2. Song EK, Oh LS, Gill TJ, Li G, Gadikota HR, Seon JK. Prospective comparative study of anterior cruciate ligament reconstruction using the double-bundle and single-bundle techniques. *Am J Sports Med.* 2009; 37(9): 1705-1711. doi: 10.1177/0363546509333478
3. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H. Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy.* 2004; 20: 1015-1025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2004.08.010>
4. Ahldén M, Samuelsson K, Sernert N, Forssblad M, Karlsson J, Kartus J. The Swedish National Anterior Cruciate Ligament Register: A report on baseline variables and outcomes of surgery

for almost 18,000 patients. *Am J Sports Med.* 2012; 40: 2230-2235. doi: 10.1177/0363546512457348

5. Woo SL, Kanamori A, Zeminski J, Yagi M, Papageorgiou C, Fu FH. The effectiveness of reconstruction of the anterior cruciate ligament with hamstrings and patellar tendon. A cadaveric study comparing anterior tibial and rotational loads. *J Bone Joint Surg Am.* 2002; 84-A: 907-914.

6. Kanamori A, Zeminski J, Rudy TW, Li G, Fu FH, Woo SL. The effect of axial tibial torque on the function of the anterior cruciate ligament: a biomechanical study of a simulated pivot shift test. *Arthroscopy.* 2002; 18: 394-398. doi: 10.1053/jars.2002.30638

7. Mae T, Shino K, Miyama T, Shinjo H, Ochi T, Yoshikawa H, Fujie H. Single- versus two-femoral socket anterior cruciate ligament reconstruction technique: biomechanical analysis using a robotic simulator. *Arthroscopy.* 2001; 17: 708-716. doi: 10.1053/jars.2001.25250

8. Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Yagi M, Debski RE. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res.* 2004; 22: 85-89. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00133-5

9. 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: 975-983. doi:10.1177/0363546503261709

10. Van Eck CF, Kopf S, Irrgang JJ, Blankevoort L, Bhandari M, Fu FH, Poolman RW. Single-bundle versus double-bundle reconstruction for anterior cruciate ligament rupture: A meta-analysis – does anatomy matter? *Arthroscopy.* 2012; 28: 405-424. doi: 10.1016/j.arthro.2011.11.021

11. Rosa BB, Asperti AM, Helito CP, Demange MK, Fernandes TL, Hernandez AJ. Epidemiology of sports injuries on collegiate athletes at a single center. *Acta Ortop Bras.* 2014; 22: 321-324. doi: 10.1590/1413-78522014220601007

12. Bjornsson H, Andernord D, Desai N, Norrby O, Forssblad M, Petzold M, Karlsson J, Samuelsson K. No difference in revision rates between single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a comparative study of 16,791 patients from the Swedish national knee ligament register. *Arthroscopy.* 2015; 31(4): 659-664. doi: 10.1016/j.arthro.2014.11.030

13. Fu FH, Bennett CH, Ma CB, Menetrey J, Lattermann C. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part II. Operative procedures and clinical correlations. *Am J Sports Med.* 2000; 28(1): 124-130. doi: 10.1177/03635465000280010801

14. Ayeni OR, Evaniew N, Ogilvie R, Peterson DC, Denkers MR, Bhandari M. Evidence-based practice to improve outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med.* 2013; 32: 71-80. doi: 10.1016/j.csm.2012.08.008

15. Erickson BJ, Harris JD, Fillingham YA, Frank RM, Bush-Joseph CA, Bach BR Jr, Cole BJ, Verma N. Anterior cruciate ligament reconstruction practice patterns by NFL and NCAA football team physicians. *Arthroscopy.* 2014; 30: 731-738. doi: 10.1016/j.arthro.2014.02.034

16. Li YL, Ning GZ, Wu Q, Wu QL, Li Y, Hao Y, Feng SQ. Single-bundle or double-bundle for anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis. *Knee.* 2014; 21: 28-37. doi: 10.1016/j.knee.2012.12.004

17. Shen W, Forsythe B, Ingham SM, Honkamp NJ, Fu FH. Application of the anatomic double-bundle reconstruction concept to revision and augmentation anterior cruciate ligament surgeries. *J Bone Joint Surg Am.* 2008; 90: 20-34. doi: 10.2106/JBJS.H.00919

18. Zelle BA, Vidal AF, Brucker PU, Fu FH. Double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: anatomic and biomechanical rationale. *J Am Acad Orthop Surg.* 2007; 15(2): 87-96. doi: 10.5435/00124635-200702000-00003

19. Mifune Y, Matsumoto T, Ota S. The authors should site some references listed below therapeutic potential of anterior cruciate ligament-derived stem cells for anterior cruciate ligament reconstruction. *Cell Transplant.* 2012; 21: 1651-1665. doi: 10.3727/096368912X647234

20. Moses B, Orchard J, Orchard J. Systematic review: Annual incidence of ACL injury and surgery in various populations. *Res Sports Med.* 2012; 20: 157-179. doi: 10.1080/15438627.2012.680633

21. Harilainen A, Sandelin J. A prospective comparison of 3 hamstring ACL fixation devices – Rigidfix, BioScrew, and Intrafix – randomized into 4 groups with 2 years of follow-up. *Am J Sports Med.* 2009; 37(4): 699-706. doi: 10.1177/0363546508328109

22. Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Kuriwaka M, Ito Y. Reconstruction of the anterior cruciate ligament. Single- versus double-bundle multistranded hamstring tendons. *J Bone Joint Surg Br.* 2004; 86: 515-520.

23. Muneta T, Koga H, Mochizuki T, Ju YJ, Hara K, Nimura A, Yagishita K, Sekiya I. A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques. *Arthroscopy.* 2007; 23: 618-628. doi: 10.1016/j.arthro.2007.04.010

24. Siebold R, Dehler C, Ellert T. Prospective randomized comparison of double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2008; 24: 137-145. doi: 10.1016/j.arthro.2007.11.013

25. Ibrahim SA, Hamido F, Al Misfer AK, Mahgoob A, Ghafar SA, Alhran H. Anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstring double bundle graft compared with single bundle procedures. *J Bone Joint Surg Br.* 2009; 91: 1310-1315. doi: 10.1302/0301-620X.91B10.21886

26. Streich NA, Friedrich K, Gotterbarm T, Schmitt H. Reconstruction of the ACL with a semitendinosus tendon graft: a prospective randomized single blinded comparison of double-bundle versus single-bundle technique in male athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008; 16: 232-238. doi: 10.1007/s00167-007-0480-z

27. Sastre S, Popescu D, Nunez 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: 32-36. doi: 10.1007/s00167-009-0844-7

28. Lewis PB, Parameswaran AD, Rue J-PH. Systematic review of single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction outcomes – a baseline assessment for consideration of double-bundle techniques. *Am J Sports Med.* 2008; 36: 2028-2036. doi: 10.1177/0363546508322892

29. Рикун ОВ, Хомянец ВВ, Федотов АО. Современные тенденции в хирургическом лечении пациентов с разрывами передней крестообразной связки (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2017; 23(4): 134-145. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-4-134-145

30. Mascarenhas R, Cvetanovich GL, Sayegh ET, Verma NN, Cole BJ, Bush-Joseph C, Bach BR Jr. Does double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction improve postoperative knee stability compared with single-bundle techniques? A systematic review of overlapping meta-analyses. *Arthroscopy.* 2015; 31: 1185-1196. doi: 10.1016/j.arthro.2014.11.014

31. Xu M, Gao S, Zeng C. Outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction using single-bundle versus double-bundle technique: meta-analysis of 19 randomized controlled trials. *Arthroscopy.* 2013; 29 (2): 357-365. doi: 10.1016/j.arthro.2012.08.024

32. Suomalainen P, Jarvela T, Paakkala A, Kannus P, Jarvinen M. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized study with 5-year results. *Am J Sports Med.* 2012; 40: 1511-1518. doi: 10.1177/0363546512448177

33. Li YL, Ning GZ, Wu Q, Wu QL, Li Y, Hao Y, Feng SQ. Single-bundle or double-bundle for anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis. *Knee.* 2014; 21: 28-37. doi: 10.1016/j.knee.2012.12.004

34. Li YL, Ning GZ, Wu Q. Single-bundle or double-bundle for anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis. *Knee.* 2014; 21(1): 28-37. doi: https://doi.org/10.1016/j.knee.2012.12.004

35. Tiamklang T, Sumanont S, Foocharoen T, Laopaiboon M. Double-bundle versus single-bundle reconstruction for anterior

cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012; 11: CD008413. doi: 10.1002/14651858.CD008413

36. Meredick RB, Vance KJ, Appleby D, Lubowitz JH. Outcome of single-bundle versus double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2008; 36: 1414-1421. doi: 10.1177/0363546508317964.

37. Zhu Y, Tang RK, Zhao P, Zhu SS, Li YG, Li JB. Double-bundle reconstruction results in superior clinical outcome than single-bundle reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013; 21(5): 1085-1096. doi: 10.1007/s00167-012-2073-8

38. Desai N, Alentorn-Geli E, van Eck CF, Musahl V, Fu FH, Karlsson J, Samuelsson K. A systematic review of single- versus double-bundle ACL reconstruction using the anatomic anterior cruciate ligament reconstruction scoring checklist. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016; 24(3): 862-872. doi: 10.1007/s00167-014-3393-7

39. Adachi N, Ochi M, Uchio Y. Anterior cruciate ligament augmentation under arthroscopy – a minimum 2-year follow-up in 40 patients. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2000; 120: 128-133. doi: 10.1007/s004020050028

## REFERENCES

1. Kondo E, Merican AM, Yasuda K, Amis AA. Biomechanical comparison of anatomic double-bundle, anatomic single-bundle, and nonanatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med.* 2011; 39(2): 279-288. doi: 10.1177/0363546510392350

2. Song EK, Oh LS, Gill TJ, Li G, Gadikota HR, Seon JK. Prospective comparative study of anterior cruciate ligament reconstruction using the double-bundle and single-bundle techniques. *Am J Sports Med.* 2009; 37(9): 1705-1711. doi: 10.1177/0363546509333478

3. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H. Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy.* 2004; 20: 1015-1025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2004.08.010>

4. Ahldén M, Samuelsson K, Sernert N, Forssblad M, Karlsson J, Kartus J. The Swedish National Anterior Cruciate Ligament Register: A report on baseline variables and outcomes of surgery for almost 18,000 patients. *Am J Sports Med.* 2012; 40: 2230-2235. doi: 10.1177/0363546512457348

5. Woo SL, Kanamori A, Zeminski J, Yagi M, Papageorgiou C, Fu FH. The effectiveness of reconstruction of the anterior cruciate ligament with hamstrings and patellar tendon. A cadaveric study comparing anterior tibial and rotational loads. *J Bone Joint Surg Am.* 2002; 84-A: 907-914.

6. Kanamori A, Zeminski J, Rudy TW, Li G, Fu FH, Woo SL. The effect of axial tibial torque on the function of the anterior cruciate ligament: a biomechanical study of a simulated pivot shift test. *Arthroscopy.* 2002; 18: 394-398. doi: 10.1053/jars.2002.30638

7. Mae T, Shino K, Miyama T, Shinjo H, Ochi T, Yoshikawa H, Fujie H. Single- versus two-femoral socket anterior cruciate ligament reconstruction technique: biomechanical analysis using a robotic simulator. *Arthroscopy.* 2001; 17: 708-716. doi: 10.1053/jars.2001.25250

8. Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Yagi M, Debski RE. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res.* 2004; 22: 85-89. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00133-5

9. 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: 975-983. doi: 10.1177/0363546503261709

10. Van Eck CF, Kopf S, Irrgang JJ, Blankevoort L, Bhandari M, Fu FH, Poolman RW. Single-bundle versus double-bundle reconstruction for anterior cruciate ligament rupture: A meta-analysis – does anatomy matter? *Arthroscopy.* 2012; 28: 405-424. doi: 10.1016/j.arthro.2011.11.021

11. Rosa BB, Asperti AM, Helito CP, Demange MK, Fernandes TL, Hernandez AJ. Epidemiology of sports injuries on

collegiate athletes at a single center. *Acta Ortop Bras.* 2014; 22: 321-324. doi: 10.1590/1413-78522014220601007

12. Björnsson H, Andernord D, Desai N, Norrby O, Forssblad M, Petzold M, Karlsson J, Samuelsson K. No difference in revision rates between single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a comparative study of 16,791 patients from the Swedish national knee ligament register. *Arthroscopy.* 2015; 31(4): 659-664. doi: 10.1016/j.arthro.2014.11.030

13. Fu FH, Bennett CH, Ma CB, Menetrey J, Lattermann C. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part II. Operative procedures and clinical correlations. *Am J Sports Med.* 2000; 28(1): 124-130. doi: 10.1177/03635465000280010801

14. Ayeni OR, Evaniew N, Ogilvie R, Peterson DC, Denkers MR, Bhandari M. Evidence-based practice to improve outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med.* 2013; 32: 71-80. doi: 10.1016/j.csm.2012.08.008

15. Erickson BJ, Harris JD, Fillingham YA, Frank RM, Bush-Joseph CA, Bach BR Jr, Cole BJ, Verma N. Anterior cruciate ligament reconstruction practice patterns by NFL and NCAA football team physicians. *Arthroscopy.* 2014; 30: 731-738. doi: 10.1016/j.arthro.2014.02.034

16. Li YL, Ning GZ, Wu Q, Wu QL, Li Y, Hao Y, Feng SQ. Single-bundle or double-bundle for anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis. *Knee.* 2014; 21: 28-37. doi: 10.1016/j.knee.2012.12.004

17. Shen W, Forsythe B, Ingham SM, Honkamp NJ, Fu FH. Application of the anatomic double-bundle reconstruction concept to revision and augmentation anterior cruciate ligament surgeries. *J Bone Joint Surg Am.* 2008; 90: 20-34. doi: 10.2106/JBJS.H.00919

18. Zelle BA, Vidal AF, Brucker PU, Fu FH. Double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: anatomic and biomechanical rationale. *J Am Acad Orthop Surg.* 2007; 15(2): 87-96. doi: 10.5435/00124635-200702000-00003

19. Mifune Y, Matsumoto T, Ota S. The authors should site some references listed below therapeutic potential of anterior cruciate ligament-derived stem cells for anterior cruciate ligament reconstruction. *Cell Transplant.* 2012; 21: 1651-1665. doi: 10.3727/096368912X647234

20. Moses B, Orchard J, Orchard J. Systematic review: Annual incidence of ACL injury and surgery in various populations. *Res Sports Med.* 2012; 20: 157-179. doi: 10.1080/15438627.2012.680633

21. Harilainen A, Sandelin J. A prospective comparison of 3 hamstring ACL fixation devices – Rigidfix, BioScrew, and Intrafix – randomized into 4 groups with 2 years of follow-up. *Am J Sports Med.* 2009; 37(4): 699-706. doi: 10.1177/0363546508328109

22. Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Kuriwaka M, Ito Y. Reconstruction of the anterior cruciate ligament. Single- versus double-bundle multistranded hamstring tendons. *J Bone Joint Surg Br.* 2004; 86: 515-520.

23. Muneta T, Koga H, Mochizuki T, Ju YJ, Hara K, Nimura A, Yagishita K, Sekiya I. A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques. *Arthroscopy.* 2007; 23: 618-628. doi: 10.1016/j.arthro.2007.04.010

24. Siebold R, Dehler C, Ellert T. Prospective randomized comparison of double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2008; 24: 137-145. doi: 10.1016/j.arthro.2007.11.013

25. Ibrahim SA, Hamido F, Al Misfer AK, Mahgoob A, Ghafar SA, Alhran H. Anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstring double bundle graft compared with single bundle procedures. *J Bone Joint Surg Br.* 2009; 91: 1310-1315. doi: 10.1302/0301-620X.91B10.21886

26. Streich NA, Friedrich K, Gotterbarm T, Schmitt H. Reconstruction of the ACL with a semitendinosus tendon graft: a prospective randomized single blinded comparison of double-bundle versus single-bundle technique in male athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008; 16: 232-238. doi: 10.1007/s00167-007-0480-z

27. Sastre S, Popescu D, Nunez 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: 32-36. doi: 10.1007/s00167-009-0844-7
28. Lewis PB, Parameswaran AD, Rue J-PH. Systematic review of single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction outcomes – a baseline assessment for consideration of double-bundle techniques. *Am J Sports Med.* 2008; 36: 2028-2036. doi: 10.1177/0363546508322892
29. Rikun OV, Khominets VV, Fedotov AO. Modern trends in surgical treatment of patients with anterior cruciate ligament ruptures (review of literature). *Travmatologiya i ortopediya Rossii.* 2017; 23(4): 134-145. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-4-134-145. (In Russ.)
30. Mascarenhas R, Cvetanovich GL, Sayegh ET, Verma NN, Cole BJ, Bush-Joseph C, Bach BR Jr. Does double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction improve postoperative knee stability compared with single-bundle techniques? A systematic review of overlapping meta-analyses. *Arthroscopy.* 2015; 31: 1185-1196. doi: 10.1016/j.arthro.2014.11.014
31. Xu M, Gao S, Zeng C. Outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction using single-bundle versus double-bundle technique: meta-analysis of 19 randomized controlled trials. *Arthroscopy.* 2013; 29 (2): 357-365. doi: 10.1016/j.arthro.2012.08.024
32. Suomalainen P, Jarvela T, Paakkala A, Kannus P, Jarvinen M. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized study with 5-year results. *Am J Sports Med.* 2012; 40: 1511-1518. doi: 10.1177/0363546512448177
33. Li YL, Ning GZ, Wu Q, Wu QL, Li Y, Hao Y, Feng SQ. Single-bundle or double-bundle for anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis. *Knee.* 2014; 21: 28-37. doi: 10.1016/j.knee.2012.12.004
34. Li YL, Ning GZ, Wu Q. Single-bundle or double-bundle for anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis. *Knee.* 2014; 21(1): 28-37. doi: https://doi.org/10.1016/j.knee.2012.12.004
35. Tiamklang T, Sumanont S, Foocharoen T, Laopaiboon M. Double-bundle versus single-bundle reconstruction for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012; 11: CD008413. doi: 10.1002/14651858.CD008413
36. Meredith RB, Vance KJ, Appleby D, Lubowitz JH. Outcome of single-bundle versus double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2008; 36: 1414-1421. doi: 10.1177/0363546508317964.
37. Zhu Y, Tang RK, Zhao P, Zhu SS, Li YG, Li JB. Double-bundle reconstruction results in superior clinical outcome than single-bundle reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013; 21(5): 1085-1096. doi: 10.1007/s00167-012-2073-8
38. Desai N, Alentorn-Geli E, van Eck CF, Musahl V, Fu FH, Karlsson J, Samuelsson K. A systematic review of single- versus double-bundle ACL reconstruction using the anatomic anterior cruciate ligament reconstruction scoring checklist. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016; 24(3): 862-872. doi: 10.1007/s00167-014-3393-7
39. Adachi N, Ochi M, Uchio Y. Anterior cruciate ligament augmentation under arthroscopy – a minimum 2-year follow-up in 40 patients. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2000; 120: 128-133. doi: 10.1007/s004020050028

#### Сведения об авторах

**Бальжинмаев Доржи Баирович** – аспирант, ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», e-mail: dorji45@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3486-0688>

**Михайлов Иван Николаевич** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научно-клинического отдела травматологии, врач травматолого-ортопедического отделения, ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», e-mail: auto\_mih@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3215-4736>

**Монастырев Василий Владимирович** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научно-клинического отдела травматологии, врач травматолого-ортопедического отделения № 1, ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», e-mail: vasyliy.monastyrev@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-4711-9490>

#### Information about the authors

**Dorzi B. Balzhinmaev** – Postgraduate, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, e-mail: dorji45@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3486-0688>

**Ivan N. Mikhaylov** – Cand. Sc. (Med.), Senior Research Officer at the Scientific Clinical Department of Traumatology, Traumatologist at the Unit of Traumatology and Orthopedics N 1, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, e-mail: auto\_mih@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3215-4736>

**Vasily V. Monastyrev** – Cand. Sc. (Med.), Senior Research Officer at the Scientific Clinical Department of Traumatology, Traumatologist at the Unit of Traumatology and Orthopedics, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, e-mail: vasyliy.monastyrev@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-4711-9490>

Статья получена: 9.09.2019. Статья принята: 14.10.2019. Статья опубликована: 26.12.2019.  
Received: 9.09.2019. Accepted: 14.10.2019. Published: 26.12.2019.