

DOI: 10.23934/2223-9022-2017-6-3-233-237

РАСШИРЕНИЕ КОСТНЫХ ТОННЕЛЕЙ ПОСЛЕ АУТОПЛАСТИКИ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ ТРАНСПЛАНТАТАМИ ИЗ СУХОЖИЛИЙ ПОДКОЛЕННЫХ МЫШЦ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В.В. Сластинин*, А.М. Файн, А.Ю. Ваза

ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы», Москва, Российская Федерация

* Контактная информация: Сластинин Владимир Викторович, младший научный сотрудник отделения неотложной травматологии опорно-двигательного аппарата НИИ СП им. Н.В.Склифосовского. E-mail: slastinin@gmail.com

РЕЗЮМЕ

Такой феномен, как расширение костных тоннелей после пластики передней крестообразной связки с использованием сухожилий подколенных мышц, известен на протяжении 30 лет. Несмотря на длительную историю данной проблемы, этиология остается до конца не изученной. На процесс расширения костных тоннелей влияет множество факторов, таких как метод фиксации трансплантата, особенности хирургической техники, протокол реабилитации, а также различные биологические факторы. Считается, что на функциональные результаты лечения данный феномен не влияет, но может создать серьезные проблемы при ревизионной пластике передней крестообразной связки. Учитывая возрастающий интерес к использованию трансплантатов из сухожилий подколенных мышц для пластики передней крестообразной связки, увеличение количества данных операций и, как следствие, ревизионных вмешательств, поиск методов профилактики расширения костных тоннелей становится все более актуальным.

Ключевые слова:

расширение костных тоннелей, пластика передней крестообразной связки, осложнения, обзор литературы

Ссылка для цитирования

Сластинин В.В., Файн А.М., Ваза А.Ю. Расширение костных тоннелей после аутопластики передней крестообразной связки трансплантатами из сухожилий подколенных мышц (обзор литературы). Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь. 2017; 6(3): 233–237. DOI: 10.23934/2223-9022-2017-6-3-233-237

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Благодарности

Исследование не имеет спонсорской поддержки

О расширении костных тоннелей в бедренной и большеберцовой костях после пластики передней крестообразной связки с использованием сухожилий подколенных мышц (полусухожильной и нежной мышц) известно на протяжении нескольких десятков лет. На процесс расширения костных тоннелей влияет множество факторов, таких как метод фиксации трансплантата, особенности хирургической техники, протокол реабилитации, а также различные биологические факторы. Большинство современных исследований показывают, что на функциональные результаты лечения данный феномен не влияет, но расширение костных тоннелей может создать серьезные проблемы при ревизионной пластике передней крестообразной связки. Нередко в данной ситуации требуются несколько этапов оперативного лечения — костная пластика с последующей пластикой крестообразной связки. Учитывая возрастающий интерес к использованию трансплантатов из сухожилий подколенных мышц для пластики передней крестообразной связки, увеличение количества данных операций и, как следствие, ревизионных вмешательств, поиск методов профилактики расширения костных тоннелей становится все более актуальным.

Имеются биомеханические исследования, доказывающие лучшие прочностные характеристики трансплантата из сухожилий подколенных мышц по сравнению с трансплантатом из связки надколенника диаметром 10 мм. Использование сухожилий

подколенных мышц для пластики передней крестообразной связки наращивает свою популярность из-за значительного травмирования донорской зоны при заборе трансплантата связки надколенника. Данные исследования подтверждают рациональность использования сухожилий подколенных мышц в качестве трансплантата для пластики передней крестообразной связки [1, 2].

Интеграция сухожилия и кости при использовании для пластики передней крестообразной связки сухожилий подколенных мышц является основной проблемой. Биологические процессы, протекающие на границе сухожильный трансплантат — костный тоннель, остаются до конца не изученными [3].

Наибольшее число авторов едины во мнении, что феномен расширения костных тоннелей не имеет четкой взаимосвязи с клиническими результатами пластики передней крестообразной связки [4–7]. В то же время он создает значительные проблемы при ревизионных операциях, что может потребовать дополнительного этапа лечения в виде костной пластики [8].

За последние 25 лет опубликовано множество статей, посвященных такому феномену, как расширение костных тоннелей после пластики передней крестообразной связки. Частота этого осложнения в случае использования сухожилий подколенных мышц на бедренной кости оценивается различными авторами от 25 до 100%, а на большеберцовой кости — от 29 до 100%. Расширение оценивается как разница между

диаметром использованного для формирования тоннеля сверла и размером наиболее широкой части тоннеля, оцененного по стандартным рентгенограммам (расстояние между внутренними границами склерозированного слоя костного тоннеля). Однако точные измерения по стандартным рентгенограммам затруднительны из-за эффекта увеличения и дивергенции рентгеновских лучей. Эти проблемы можно решить, используя компьютерную томографию [9].

Согласно исследованию *Chen B. et al.*, опубликованному в 2007 г., расширение тоннелей происходит обычно в течение 3–6 мес после операции и остается неизменным через 12–24 мес после операции [10]. Оценка степени расширения костных тоннелей по рентгенограммам наиболее информативна на сроках не ранее 6 мес после операции, когда склероз стенок канала становится отчетливым [8].

Расширение костного тоннеля может произойти по всей его длине или только в одной его части. В литературе описаны три типа расширения: конический тип, линейный (или цилиндрический) и полостной тип [11]. При этом для бедренного тоннеля наиболее характерным является коническое расширение с наибольшим диаметром ближайшего к межмышечковой зоне участка. Для большеберцового тоннеля наиболее типичным является цилиндрическое расширение. Форма тоннеля зависит от типа фиксации — при наибольшем удалении точки фиксации трансплантата от сустава формируется конический тоннель. Цилиндрический тип расширения наиболее часто возникает при фиксации интерферентными винтами [9].

Этиология расширения костных тоннелей многофакторна, при этом выделяют биомеханические и биологические факторы. По мнению некоторых авторов, биомеханические факторы в расширении костных тоннелей после пластики передней крестообразной связки играют ключевую роль [12]. В то же время в ряде исследований обнаружено, что большинство бедренных и большеберцовых тоннелей имеют веретенообразные расширения в центральной их части, что можно объяснить более значимым влиянием биологических, а не механических факторов [13].

Среди основных механических факторов можно выделить особенности техники и методов фиксации трансплантата, а также техники расверливания каналов.

Расверливание каналов в бедренной и большеберцовой костях без направляющей спицы, жесткая фиксация сверла могут привести к созданию тоннеля большего диаметра [9]. Убедительной разницы в степени расширения тоннелей при сравнении использования экстракционных и компактирующих сверел нет [14].

Очень важно, чтобы диаметр тоннеля точно соответствовал диаметру трансплантата. Имплантация очень тонкого относительно тоннеля трансплантата приводит к образованию так называемого мертвого пространства, в котором возможны дополнительные движения, а это является главным механическим фактором в этиологии расширения тоннелей. Многие авторы утверждают, что использование очень прочной и жесткой интраканальной фиксации со смещением точки фиксации максимально близко к суставной линии способствует уменьшению вероятности расширения костных каналов. Идеальное анатомическое расположение костных тоннелей является необходимым

условием для достижения физиологической нагрузки на трансплантат, что позволяет избежать чрезмерного растяжения трансплантата и обеспечить хорошую интеграцию на границе кость–трансплантат [9].

В настоящее время доказана зависимость расширения большеберцового костного тоннеля от расстояния между интерферентным винтом и линией сустава — чем ближе к линии сустава интерферентный винт расположен в канале, тем ниже частота расширения костного тоннеля [15]. Расширение костного тоннеля происходит в области наибольшего давления трансплантата [16].

Использование кортикальных фиксаторов (фиксаторов-застежек) приводит к подвижности трансплантата в костном канале, с другой стороны, применение интерферентных винтов также способствует расширению тоннелей. В одном из исследований, сравнивающих накостную (фиксация на бедре *Endobutton*, на голени — кортикальный винт с шайбой) и анатомическую (интерферентные винты) фиксацию, выявлено, что расширение костных тоннелей происходит и в том, и в другом случае, только при фиксации винтами это происходит сразу за счет сминания стенки канала винтами, а при накостной фиксации расширение происходит в течение первых 6 мес, а затем оно уменьшается. В этом же исследовании выявлено, что расширение костных тоннелей никак не влияло на стабильность сустава и клинический результат за период наблюдения 2 года [17].

Широко известны связанные с использованием кортикальных фиксаторов «эффект подтяжек» и «эффект стеклоочистителя». Под первым феноменом подразумеваются движения трансплантата в костном канале в продольном направлении за счет относительно большого расстояния между областью фиксации и линией сустава. Второй феномен связан с движениями трансплантата в костном канале в поперечном направлении. Чем больше расстояние между областью фиксации трансплантата и суставной поверхностью, тем больше степень подвижности трансплантата в тоннеле. Оба эффекта затрудняют интеграцию сухожилия и кости [9].

Во время сверления канала возникает высокая температура, которая оказывает негативное действие на окружающие ткани. Возникающий локальный некроз может увеличить диаметр тоннеля и уменьшить регенеративный потенциал [9].

Не последнюю роль в расширении костных тоннелей играют и биологические факторы. Синовиальная жидкость содержит факторы воспаления, такие как *TNF- α* , *IL-1beta*, *IL-6*, *IL-8*, которые могут привести к остеолиту. После фиксации трансплантата может возникнуть так называемый эффект синовиальной ванны, который заключается в попадании синовиальной жидкости в те области, где трансплантат неплотно прилегает к стенкам костного канала. При этом создается агрессивная среда, препятствующая интеграции трансплантата и кости, а также стимулируются остеокласты, которые способствуют резорбции кости [18].

Имеет место прямая зависимость расширения костных тоннелей от скорости реабилитации при использовании сухожилий подколенных мышц — чем агрессивнее реабилитация, тем выраженнее расширение костного тоннеля большеберцовой кости [19]. Более сдержанная реабилитация на протяжении по крайней мере первых 6 нед после операции (ограничение

амплитуды движений на первые 3 нед от 0 до 60°, на последующие 3 нед — от 0 до 90° с разрешением полной нагрузки через 6 нед) дает возможность более полноценной интеграции трансплантата и костного тоннеля, что предотвращает расширение костного тоннеля [20].

Иммобилизация коленного сустава в течение 2 нед после пластики передней крестообразной связки трансплантатом из сухожилий подколенных мышц позволяет защитить область трансплантат–кость в первой и наиболее важной фазе интеграции трансплантата, уменьшая риск расширения костных тоннелей без влияния на конечный объем движений в коленном суставе [21].

При сохранении культи передней крестообразной связки ускоряется биологическая интеграция трансплантата. Более того, ткани культи за счет адгезии между ними и трансплантатом препятствуют затеканию синовиальной жидкости в костный канал, что предотвращает негативное действие цитокинов [22]. По данным некоторых авторов, сохранение культи передней крестообразной связки при ее пластике позволяет уменьшить расширение костного большеберцового тоннеля [8].

В одном из исследований обнаружено, что плотная установка цилиндра из губчатой кости между трансплантатом и стенкой костного тоннеля уменьшает проксимальное расширение костного тоннеля и улучшает контакт между костью и сухожильным трансплантатом [23]. В другом исследовании отмечается, что основными преимуществами установки костного блока между трансплантатом и стенкой костного тоннеля являются предотвращение затекания суставной жидкости в область контакта трансплантат–кость, уменьшение движения трансплантата в тоннеле в продольном и поперечном направлениях и улучшение контакта трансплантат–кость. Отсутствие инородных фиксирующих материалов в тоннеле исключает проблемы, связанные с ними, облегчает ревизионные вмешательства и уменьшает стоимость операции [24].

В настоящее время ведется поиск средств, в основном в экспериментах на животных, позволяющих уменьшить негативное влияние внутрисуставной жидкости и усилить регенеративный потенциал на

границе трансплантат–кость. Для уменьшения влияния провоспалительных цитокинов в экспериментах на кроликах описано внутрисуставное применение альфа-2-макроглобулина, в результате чего уменьшается активность металлопротеиназ в суставной жидкости, что улучшает процессы интеграции трансплантата и окружающих тканей [25]. Обнадёживающие результаты получены в результате использования клеток-предшественников надкостницы в эксперименте на кроликах [26]. В других исследованиях на крысах обнаружено, что клетки CD34 (+), полученные из разорванной передней крестообразной связки человека, способствуют улучшению регенеративных процессов на границе сухожилие–кость за счет усиления ангиогенеза и остеогенеза, что также способствует увеличению биомеханической прочности [27].

Одним из наиболее доступных в настоящее время в клинической практике методов биологического воздействия на область сухожильный трансплантат–кость является использование надкостницы. В надкостнице содержатся мультипотентные мезодермальные клетки, а также клетки-предшественницы костной и хрящевой ткани, благодаря чему ткань надкостницы может использоваться для улучшения интеграции сухожилия и кости. Более того, надкостница способствует быстрому заполнению пространства между трансплантатом и стенками костного тоннеля, препятствуя попаданию внутрисуставной жидкости между ними, за счет чего может быть уменьшено расширение костных тоннелей после пластики. Надкостницу несложно получить из области прикрепления сухожилий подколенных мышц на голени во время забора сухожилий [3].

На сегодняшний день проблема расширения костных тоннелей после пластики передней крестообразной связки с использованием сухожилий подколенных мышц остается до конца не изученной. Основными путями решения данной проблемы являются модификация методов фиксации трансплантата и хирургической техники, увеличение сроков послеоперационной иммобилизации коленного сустава, а также применение клеточных технологий, способствующих уменьшению агрессивности внутрисуставной жидкости и ускорению процессов интеграции трансплантата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hamner D.L., Brown C.H. Jr., Steiner M.E., et al. 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): 549–557. PMID: 10225801.
2. Schimoler P.J., Braun D.T., Miller M.C., et al. Quadrupled Hamstring Graft Strength as a Function of Clinical Sizing. *Arthroscopy.* 2015; 31(6): 1091–1096. DOI: 10.1016/j.arthro.2015.01.015.
3. Chen C.H. Strategies to enhance tendon graft-bone healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Chang Gung. Med. J.* 2009; 32(5): 483–493. PMID: 19840505.
4. Lind M., Feller J., Webster K.E. Bone tunnel widening after anterior cruciate ligament reconstruction using EndoButton or EndoButton continuous loop. *Arthroscopy.* 2009; 25(11): 1275–1280. DOI: 10.1016/j.arthro.2009.06.003.
5. Iorio R., Di Sanzo V., Vadalà A., et al. ACL reconstruction with hamstrings: how different technique and fixation devices influence bone tunnel enlargement. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 2013; 17(21): 2956–2961. PMID: 24254567.
6. Weber A.E., Delos D., Oltean H.N., et al. Tibial and Femoral Tunnel Changes After ACL Reconstruction: A Prospective 2-Year Longitudinal MRI Study. *Am. J. Sports Med.* 2015; 43(5): 1147–1156. DOI: 10.1177/0363546515570461.
7. Lind M., Feller J., Webster K.E. Tibial bone tunnel widening is reduced by polylactate/hydroxyapatite interference screws compared to metal screws after ACL reconstruction with hamstring grafts. *Knee.* 2009; 16(6): 447–451. DOI: 10.1016/j.knee.2009.04.003.
8. Zhang Q., Zhang S., Cao X., et al. The effect of remnant preservation on tibial tunnel enlargement in ACL reconstruction with hamstring autograft: a prospective randomized controlled trial. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2014; 22(1): 166–173. DOI: 10.1007/s00167-012-2341-7.
9. Stolarz M., Ficek K., Binkowski M., Wróbel Z. Bone tunnel enlargement following hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive review. *Phys Sportsmed.* 2016; 45(1): 31–40. DOI: 10.1080/00913847.2017.1253429.
10. Chen B.C., Sun R., Wang X.F., et al. The incidence and variation of tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2007; 45(2): 78–81. PMID: 17418030.
11. Höher J., Möller H.D., Fu F.H. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 1998; 6(4): 231–240. DOI: 10.1007/s001670050105.
12. Jagodzinski M., Foerstemann T., Mall G., et al. Analysis of forces of ACL reconstructions at the tunnel entrance: is tunnel enlargement a biomechanical problem? *J. Biomech.* 2005; 38(1): 23–31. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2004.03.021.

13. Dave L.Y., Leong O.K., Karim S.A., Chong C.H. Tunnel enlargement 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a radiographic and functional evaluation. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2014; 24(2): 217–223. DOI: 10.1007/s00590-013-1175-4.
14. Siebold R., Kiss Z.S., Morris H.G. Effect of compaction drilling during ACL reconstruction with hamstrings on postoperative tunnel widening. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2008; 128(5): 461–468. PMID: 17899135.
15. Giron F., Aglietti P., Cuomo P., et al. Anterior cruciate ligament reconstruction with double-looped semitendinosus and gracilis tendon graft directly fixed to cortical bone: 5-year results. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2005; 13(2): 81–91. DOI: 10.1007/s00167-004-0553-1.
16. Xu Y., Ao Y., Wang J., et al. Relation of tunnel enlargement and tunnel placement after single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2011; 27 (7): 923–932. DOI: 10.1016/j.arthro.2011.02.020.
17. Buelow J.U., Siebold R., Ellermann A. A prospective evaluation of tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings: extracortical versus anatomical fixation. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2002; 10(2): 80–85. DOI: 10.1007/s00167-001-0267-6.
18. Iorio R., Vadalà A., Di Vavo I., et al. Tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction in patients with post-operative septic arthritis. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2008; 16(10): 921–927. DOI: 10.1007/s00167-008-0575-1.
19. Yu J.K., Paessler H.H. Relationship between tunnel widening and different rehabilitation procedures after anterior cruciate ligament reconstruction with quadrupled hamstring tendons. *Chin. Med. J. (Engl).* 2005; 118(4): 320–326. PMID: 15740671.
20. Hantes M.E., Mastrokalos D.S., Yu J., Paessler H.H. The effect of early motion on tibial tunnel widening after anterior cruciate ligament replacement using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy.* 2004; 20(6): 572–580. PMID: 15241306.
21. Vadalà A., Iorio R., De Carli A., et al. The effect of accelerated, brace free, rehabilitation on bone tunnel enlargement after ACL reconstruction using hamstring tendons: a CT study. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2007; 15(4): 365–371. DOI: 10.1007/s00167-006-0219-2.
22. Ahn J.H., Wang J.H., Lee Y.S., et al. Anterior cruciate ligament reconstruction using remnant preservation and a femoral tensioning technique: clinical and magnetic resonance imaging results. *Arthroscopy.* 2011; 27(8): 1079–1089. DOI: 10.1016/j.arthro.2011.03.002.
23. Geiges B., von Falck C., Knobloch K., et al. Biodegradable screw versus a press-fit bone plug fixation for ACL reconstruction: a prospective randomized study. *Unfallchirurg.* 2013; 116(2): 109–117. DOI: 10.1007/s00113-011-2060-4.
24. Paessler H.H., Mastrokalos D.S. Anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendons, bone patellar tendon, or quadriceps tendon-graft with press-fit fixation without hardware. A new and innovative procedure. *Orthop. Clin. North Am.* 2003; 34(1): 49–64. PMID: 12735201.
25. Demirag B., Sarisozen B., Ozer O., et al. Enhancement of tendon-bone healing of anterior cruciate ligament grafts by blockage of matrix metalloproteinases. *J. Bone Joint Surg. Am.* 2005; 87(11): 2401–2410. DOI: 10.2106/JBJS.D.01952.
26. Chang C.H., Chen C.H., Liu H.W., et al. Bioengineered periosteal progenitor cell sheets to enhance tendon-bone healing in a bone tunnel. *Biomed. J.* 2012; 35(6): 473–480. DOI: 10.4103/2319-4170.104412.
27. Mifune Y., Matsumoto T., Ota S., et al. Therapeutic potential of anterior cruciate ligament-derived stem cells for anterior cruciate ligament reconstruction. *Cell. Transplant.* 2012; 21(8): 1651–1665. DOI: 10.3727/096368912X647234.

REFERENCES

1. Hamner D.L., Brown C.H. Jr., Steiner M.E., et al. 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): 549–557. PMID: 10225801.
2. Schimoler P.J., Braun D.T., Miller M.C., et al. Quadrupled Hamstring Graft Strength as a Function of Clinical Sizing. *Arthroscopy.* 2015; 31(6): 1091–1096. DOI: 10.1016/j.arthro.2015.01.013.
3. Chen C.H. Strategies to enhance tendon graft-bone healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Chang Gung Med J.* 2009; 32(5): 483–493. PMID: 19840505.
4. Lind M., Feller J., Webster K.E. Bone tunnel widening after anterior cruciate ligament reconstruction using EndoButton or EndoButton continuous loop. *Arthroscopy.* 2009; 25(11): 1275–1280. DOI: 10.1016/j.arthro.2009.06.003.
5. Iorio R., Di Sanzo V., Vadalà A., et al. ACL reconstruction with hamstrings: how different technique and fixation devices influence bone tunnel enlargement. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2013; 17(21): 2956–2961. PMID: 24254567.
6. Weber A.E., Delos D., Oltean H.N., et al. Tibial and Femoral Tunnel Changes After ACL Reconstruction: A Prospective 2-Year Longitudinal MRI Study. *Am J Sports Med.* 2015; 43(5): 1147–1156. DOI: 10.1177/0363546515570461.
7. Lind M., Feller J., Webster K.E. Tibial bone tunnel widening is reduced by polylactate/hydroxyapatite interference screws compared to metal screws after ACL reconstruction with hamstring grafts. *Knee.* 2009; 16(6): 447–451. DOI: 10.1016/j.knee.2009.04.003.
8. Zhang Q., Zhang S., Cao X., et al. The effect of remnant preservation on tibial tunnel enlargement in ACL reconstruction with hamstring autograft: a prospective randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014; 22(1): 166–173. DOI: 10.1007/s00167-012-2341-7.
9. Stolarz M., Ficek K., Binkowski M., Wróbel Z. Bone tunnel enlargement following hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive review. *Phys Sportsmed.* 2016; 45(1): 31–40. DOI: 10.1080/00913847.2017.1253429.
10. Chen B.C., Sun R., Wang X.F., et al. The incidence and variation of tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2007; 45(2): 78–81. PMID: 17418030.
11. Höher J., Möller H.D., Fu F.H. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? *Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc.* 1998; 6(4): 231–240. DOI: 10.1007/s001670050105.
12. Jagodzinski M., Foerstemann T., Mall G., et al. Analysis of forces of ACL reconstructions at the tunnel entrance: is tunnel enlargement a biomechanical problem? *J Biomech.* 2005; 38(1): 23–31. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2004.03.021.
13. Dave L.Y., Leong O.K., Karim S.A., Chong C.H. Tunnel enlargement 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a radiographic and functional evaluation. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014; 24(2): 217–223. DOI: 10.1007/s00590-013-1175-4.
14. Siebold R., Kiss Z.S., Morris H.G. Effect of compaction drilling during ACL reconstruction with hamstrings on postoperative tunnel widening. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008; 128(5): 461–468. PMID: 17899135.
15. Giron F., Aglietti P., Cuomo P., et al. Anterior cruciate ligament reconstruction with double-looped semitendinosus and gracilis tendon graft directly fixed to cortical bone: 5-year results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005; 13(2): 81–91. DOI: 10.1007/s00167-004-0553-1.
16. Xu Y., Ao Y., Wang J., et al. Relation of tunnel enlargement and tunnel placement after single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2011; 27 (7): 923–932. DOI: 10.1016/j.arthro.2011.02.020.
17. Buelow J.U., Siebold R., Ellermann A. A prospective evaluation of tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings: extracortical versus anatomical fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2002; 10(2): 80–85. DOI: 10.1007/s00167-001-0267-6.
18. Iorio R., Vadalà A., Di Vavo I., et al. Tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction in patients with post-operative septic arthritis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008; 16(10): 921–927. DOI: 10.1007/s00167-008-0575-1.
19. Yu J.K., Paessler H.H. Relationship between tunnel widening and different rehabilitation procedures after anterior cruciate ligament reconstruction with quadrupled hamstring tendons. *Chin Med J (Engl).* 2005; 118(4): 320–326. PMID: 15740671.
20. Hantes M.E., Mastrokalos D.S., Yu J., Paessler H.H. The effect of early motion on tibial tunnel widening after anterior cruciate ligament replacement using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy.* 2004; 20(6): 572–580. PMID: 15241306.
21. Vadalà A., Iorio R., De Carli A., et al. The effect of accelerated, brace free, rehabilitation on bone tunnel enlargement after ACL reconstruction using hamstring tendons: a CT study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007; 15(4): 365–371. DOI: 10.1007/s00167-006-0219-2.
22. Ahn J.H., Wang J.H., Lee Y.S., et al. Anterior cruciate ligament reconstruction using remnant preservation and a femoral tensioning technique: clinical and magnetic resonance imaging results. *Arthroscopy.* 2011; 27(8): 1079–1089. DOI: 10.1016/j.arthro.2011.03.002.
23. Geiges B., von Falck C., Knobloch K., et al. Biodegradable screw versus a press-fit bone plug fixation for ACL reconstruction: a prospective randomized study. *Unfallchirurg.* 2013; 116(2): 109–117. DOI: 10.1007/s00113-011-2060-4.
24. Paessler H.H., Mastrokalos D.S. Anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendons, bone patellar tendon, or quadriceps tendon-graft with press-fit fixation without hardware. A new and innovative procedure. *Orthop Clin North Am.* 2003; 34(1): 49–64. PMID: 12735201.
25. Demirag B., Sarisozen B., Ozer O., et al. Enhancement of tendon-bone healing of anterior cruciate ligament grafts by blockage of matrix metalloproteinases. *J Bone Joint Surg Am.* 2005; 87(11): 2401–2410. DOI: 10.2106/JBJS.D.01952.

26. Chang C.H., Chen C.H., Liu H.W., et al. Bioengineered periosteal progenitor cell sheets to enhance tendon–bone healing in a bone tunnel. *Biomed J.* 2012; 35(6): 473–480. DOI: 10.4103/2319–4170.104412.
27. Mifune Y., Matsumoto T., Ota S., et al. Therapeutic potential of anterior cruciate ligament–derived stem cells for anterior cruciate ligament reconstruction. *Cell Transplant.* 2012; 21(8): 1651–1665. DOI: 10.3727/096368912X647234.

Received on 02.03.2017

Поступила 02.03.2017

BONE TUNNEL WIDENING AFTER ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT AUTOPLASTY WITH HAMSTRINGS (LITERATURE REVIEW)

V.V. Slastinin*, A.M. Fain, A.Y. Vaza

N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Healthcare Department, Moscow, Russian Federation

* **Contacts:** Vladimir Victorovich Slastinin, Junior Researcher of the Department for Emergency Traumatology of Musculoskeletal System, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Healthcare Department. E-mail: slastinin@gmail.com

ABSTRACT Such a phenomenon as bone tunnel widening after anterior cruciate ligament autoplasty with hamstrings has been known for 30 years. Despite the long history of this issue, the etiology is still not fully understood. The process of expansion of the bone tunnels is influenced by many factors such as graft fixation technique, surgical technique and rehabilitation protocol, as well as various biological factors. It is believed that this phenomenon has no influence on a functional result, but may create serious problems in revision anterior cruciate ligament surgery. Given the growing interest in the use of hamstring tendon grafts for anterior cruciate ligament reconstruction, increasing number of these operations and as a result, of revision procedures, the search for methods of bone tunnel widening prevention is becoming more urgent.

Keywords: bone tunnel widening, anterior cruciate ligament reconstruction, complications

For citation Slastinin V.V., Fain A.M., Vaza A.Y. Bone tunnel widening after anterior cruciate ligament autoplasty with hamstrings (literature review). *Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care.* 2017; 6(3): 233–237. DOI: 10.23934/2223-9022-2017-6-3-233-237 (In Russian)

Conflict of interest Authors declare lack of the conflicts of interests

Acknowledgments The study had no sponsorship