



CrossMark

Ersatzplastik des vorderen Kreuzbands in „All-inside“-Technik

Technik, Vor-, Nachteile und Outcome

Das vordere Kreuzband (VKB) gehört zu den am häufigsten verletzten Strukturen bei Sportlern [5, 14, 16, 25, 31]. Allein in den USA wird von einer jährlichen Inzidenz zwischen 250.000 und 300.000 sportassoziierten VKB-Rupturen berichtet [8, 12, 16]. Die Inzidenz ist bei weiblichen Sportlern im Verhältnis deutlich höher als bei männlichen [11].

Eine große Zahl an Risikofaktoren ist bekannt und findet in entsprechenden Präventionsprogrammen Berücksichtigung [2, 5, 10, 16, 27].

Bereits 1895 wurde die erste operative Intervention am rupturierten VKB beschrieben [21]. Aus dieser Veröffentlichung stammt die berühmte Beschreibung eines Patienten nach primärer Naht eines femoral rupturierten VKB, sein Knie sei „perfectly strong“.

Seit dieser ersten Intervention gehören Eingriffe am Kreuzband zu den weltweit häufigsten Operationen. Die VKB-Ersatzplastik hat die Naht als Therapie der VKB-Ruptur bei Weitem überflügelt und unterliegt weiterhin stetigen Änderungen. Diese sind auf technische Neuerungen, wie die der Arthroskopie in den 1970er- und 1980er-Jahren zurückzuführen [7]. Ebenso führte ein verbessertes anatomisches [6, 24, 32] bzw. physiologisches [24] Verständnis zu Veränderungen des operativen Vorgehens. Die konservative Therapie hingegen hat aufgrund unbefriedigender Ergebnisse allenfalls eine Bedeutung als Sonderindikation [14].

Seit Mitte der 1990er-Jahre steht die sog. All-inside-Technik zur Verfügung.

Das Prinzip dieser Methode ist, neben der minimalinvasiven Durchführung, die freie Wählbarkeit des femoralen Bohrkanals, der hierbei als „Sackloch“ oder „socket“ beschrieben wird [22]. Damit können nun nicht nur aktuelle Erkenntnisse der Physiologie und Anatomie, sondern auch technische Weiterentwicklungen umgesetzt werden.

Im Folgenden werden neben der Technik Vor- und Nachteile dieses Vorgehens beleuchtet sowie erste Teilergebnisse der eigenen VKB-Chirurgie dargestellt werden.

Anatomie

Trotz seiner intraartikulären Lage verläuft das VKB extrasynovial. Die femorale Insertionsstelle hat einen Abstand vom dorsalen und inferioren Gelenkknorpel von etwa 2,5 mm [23]. Das Zentrum des femoralen Ansatzes findet sich etwa zwischen 43 % und 51 % des a.-p.-Durchmessers des lateralen Anteils der „notch“, direkt oberhalb der „lateral bifurcate ridge“ [9]. Von dort nimmt das VKB seinen Verlauf anterolateral des hinteren Kreuzbands (HKB) zum medialen Anteil der vorderen interkondylären Region der Tibia. Hier wird der Insertionspunkt auf Höhe des Außenmeniskusvorderhorns beschrieben, etwa bei 40 % des mediolateralen Kondylenabstands [13]. Einzelne Fasern des VKB strahlen bisweilen in das Außenmeniskusvorderhorn ein [20].

Verletzungsmechanismus/ Risikofaktoren

Zur Ruptur des VKB kommt es vorwiegend durch eine Distorsion mit Valgusstress und/oder Innenrotation des Kniegelenks. Dieser Pathomechanismus wird z. B. durch schnelle Richtungswechsel, schnelles Beschleunigen oder Abbremsen sowie Drehbewegungen z. T. mit fixiertem Unterschenkel unterstützt. Daher sind Aktive bei Sportarten wie Hand-, Fuß-, Basketball oder Football [16], aber auch Skifahrer im Abfahrtslauf besonders gefährdet. Obwohl es sich vorrangig um Mannschaftssportarten handelt, kommt es in bis zu 75 % der Fälle ohne Fremdeinwirkung zur VKB-Ruptur [4].

Der Rupturmechanismus wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Umweltfaktoren wie Witterungsverhältnisse und Schuhwerk gehören ebenso hierzu wie das Impingement des Kreuzbands in der interkondylären Notch [30] als anatomischer Faktor. Ebenso sind hormonelle Faktoren zu nennen. So wurden bereits in den 1990er-Jahren sowohl Östrogen- als auch Progesteronrezeptoren in Kreuzbandpräparaten nachgewiesen [17]. Hier wurde über einen hormonellen Einfluss auf die Dehnungseigenschaften des Kreuzbands berichtet. Außerdem wurden Scherkräfte, hervorgerufen durch M.-quadriceps-Kontraktion, als Risikofaktor beschrieben [5].

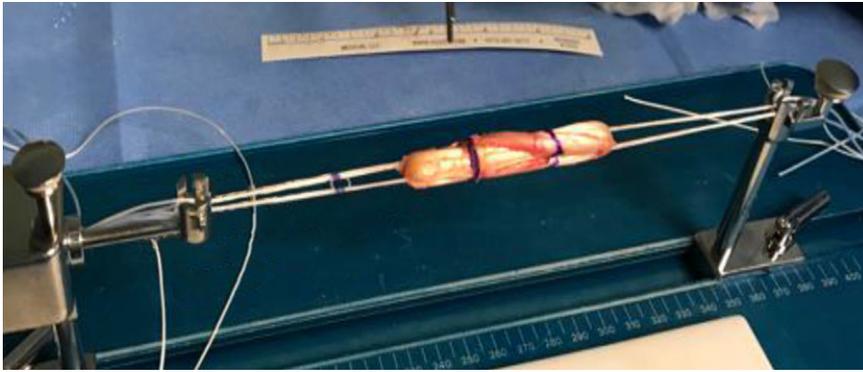


Abb. 1 ▲ Präpariertes Semitendinosustransplantat, vierfach gelegt, mit einliegenden TightRope®-Fäden (Fa. Arthrex, Naples, FL, USA)

Diagnostik

Grundlage der Diagnostik ist die klinische Untersuchung. Neben einem intraartikulären Erguss besteht eine anteriore Kniegelenkinstabilität. Das Ausmaß der Instabilität wird durch die Provokation eines vorderen Schubladenphänomens eingeschätzt. Je nach Unfallmechanismus und Begleitverletzungen können weitere Funktionstests des Kniegelenks einen pathologischen Befund ergeben.

Die Grundlage der bildgebenden Diagnostik besteht in der nativradiologischen Darstellung des Kniegelenks in 2 Ebenen. Auf diese Weise kann bereits in der Notfalldiagnostik eine knöcherne Beteiligung ausgeschlossen werden. Entscheidend für die Diagnostik der VKB-Ruptur ist jedoch die Magnetresonanztomographie (MRT). Im eigenen Haus erfolgt die Darstellung in der T1-Wichtung sowie sagittal als PDW (Protonendichte-Wichtung) SPAIR („spectral attenuated inversion recovery“). Zusätzlich werden Rekonstruktionen als PDW-SPAIR-Wichtung in 3 Kippungen, 15°, 25° und 35°, koronar entlang des Verlaufs des VKB erstellt.

Auf diese Weise lässt sich nicht nur die Diagnose einer VKB-Ruptur stellen, sondern auch die Lokalisation der Verletzung genau eingrenzen.

Indikation/Ziele

Die Hauptindikation ist die anteriore Kniegelenkinstabilität; das Hauptziel ist entsprechend die Wiederherstellung der Kniegelenkstabilität und der physiologi-

schen Kniekinematik [14]. Darüber hinaus sind individuelle Patientenwünsche zu berücksichtigen. So ist die Indikation beim jungen Patienten großzügiger zu stellen als beim alten; der sportliche Anspruch kann auch im höheren Lebensalter ein zusätzlicher Aspekt der Indikation sein.

Das Ziel der VKB-Ersatzplastik ist die Vermeidung einer Sekundärarthrose bei möglichst uneingeschränkter sportlicher Aktivität.

All-inside-Technik

Prinzip

Die All-inside-Technik wurde erstmals 1997 beschrieben [29]. Das Prinzip ist die Etablierung des femoralen Tunnels unabhängig von der Lage des tibialen Kanals. In der im Folgenden beschriebenen Technik ist selbst das Anlegen eines durchgehenden tibialen Kanals nicht mehr notwendig [18]. Ursprünglich wurde das All-inside-Vorgehen mithilfe des femoralen Sacklochs über den medialen Arthroskopie-Port möglich. Auf diese Weise war die Möglichkeit zur anatomischen, frei gewählten femoralen Insertion der VKB-Plastik gegeben. Das tibiale Sackloch wurde über einen superioren Port angelegt. Die unterschiedlichen Vorgehensweisen der All-inside-Technik spiegeln sich auch in den unterschiedlichen Fixierungsmethoden wider. Hierbei werden neben „endobuttons“ auch unterschiedliche Interferenzschrauben genutzt. Selbst die Implantation einer „Double-bundle“-Plastik

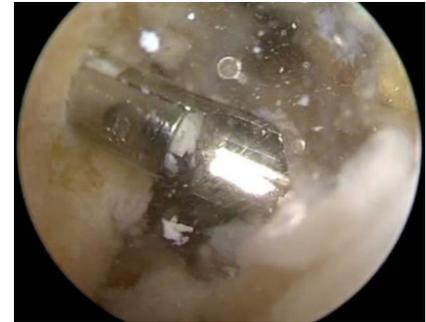


Abb. 2 ▲ „Notch“-seitiger Anteil der lateralen Femurkondyle; der FlipCutter® (Fa. Arthrex, Naples, FL, USA) ragt an regelrechter Insertionsstelle des vorderen Kreuzbands in das Kniegelenk

wäre technisch möglich. Im Folgenden wird eine vollständiges All-inside-Vorgehen dargestellt, bei der die Transplantatfixierung gelenkfern mithilfe von Endobuttons erfolgt. Bevor der eigentliche VKB-Ersatz vorgenommen wird, wird das Kniegelenk arthroskopisch untersucht, um etwaige Begleitpathologien zu diagnostizieren und entsprechende therapeutische Schritte durchführen zu können.

Präparation der VKB-Ersatzplastik

Die autologe Semitendinosussehne hat sich inzwischen als Standardimplantat etabliert [26]. Über einen etwa 1,5–2 cm langen Schnitt oberhalb der tastbaren Sehne am medialen Rand der Kniekehle erfolgt die Entnahme. Die Sehne wird sowohl nach proximal als auch nach distal zum Pes anserinus präpariert und auf ganzer Länge entnommen. Anschließend wird anhaftendes Muskelgewebe entfernt und die Sehne vierfach gelegt. Bei diesem Manöver werden Schlaufen von 2 TightRope®-Fäden (Fa. Arthrex, Naples, FL, USA) in das Transplantat eingebracht (■ Abb. 1).

Anlage der Bohrkanäle

Arthroskopisch wird der femorale „footprint“ des VKB identifiziert. Mithilfe eines Zielgeräts mit frei wählbarem Winkel erfolgt das transfemorale Einbringen eines retrograden, ausklappbaren Bohrers (FlipCutter®, Fa. Arthrex, Naples, FL, USA; ■ Abb. 2).

Nachdem seine korrekte retrograde Lage sichergestellt ist, wird der Bohrer in der gewünschten Größe ausgeklappt („geflipt“; **Abb. 3**), und es kann nun ein Sackloch in der individuellen Länge angelegt werden.

Die Etablierung des tibialen Bohrkannals erfolgt analog zum femoralen Vorgehen. Auch hier wird das Insertionsgebiet des VKB arthroskopisch identifiziert. Anschließend wird über ein Zielgerät mit frei wählbarem Winkel ein FlipCutter® positioniert, um ein Sackloch von individueller Tiefe anzulegen. Das Einbringen des Zielgeräts erfolgt über den medialen Arthroskopie-Port sowie über eine prätibiale Stichinzision, die tibiale Kortikalis wird lediglich im Rahmen des Vorbohrens des FlipCutter®, nicht jedoch im gesamten Durchmesser des Sacklochs, perforiert.

Über die Bohrkanäle wird sowohl femoral als auch tibial jeweils ein „Shuttle“-Faden eingezogen. Diese dienen im weiteren Verlauf zum Einziehen der TightRope®-Fäden in die Bohrkanäle sowie damit zum Einziehen und wechselseitigen Spannen des Transplantats in Streckstellung des Kniegelenks. Die Fixierung der VKB-Ersatzplastik findet gelenkfern mithilfe der Endobuttons statt (**Abb. 4**).

Vorteile

Bereits aus dem Vorgenannten werden die erheblichen Vorteile der dargestellten All-inside-Technik deutlich. Zunächst bietet dieses Vorgehen die Möglichkeit, die komplette Präparation über 2 Standardportale (anteromedial, -lateral) bei 90° gebeugtem Knie und hängendem Unterschenkel durchzuführen.

Außerdem ist bisher kein anderes Verfahren beschrieben worden, dass eine höhere Präzision, insbesondere zur Anlage des femoralen Bohrkannals, ermöglicht [6, 19]. Im Vergleich zur transtibialen Anlage des femoralen Bohrkannals ist mit der All-inside-Technik der femorale Eintrittspunkt des Bohrkannals frei wählbar und folgt so den individuellen anatomischen Gegebenheiten. Bei der Nutzung des anteromedialen Arthroskopieportals als Zugang des femoralen Bohrers sind, bedingt durch die „High-flex“-Stellung

Trauma Berufskrankh 2018 · 20 (Suppl 4):S232–S236

<https://doi.org/10.1007/s10039-018-0380-0>

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

M. Auerswald · D. Rundt · S. Breer · O. Dannenberg · S. Fuchs · B. Kienast

Ersatzplastik des vorderen Kreuzbands in „All-inside“-Technik. Technik, Vor-, Nachteile und Outcome

Zusammenfassung

Die Ruptur des vorderen Kreuzbands (VKB) hat umfangreiche Konsequenzen für den Betroffenen. Mit der aufgehobenen anterioren Stabilität des Kniegelenks geht häufig ein rapider Gelenkverschleiß einher. Um diesen Pathomechanismus zu durchbrechen, ist die Wiederherstellung der Gelenkstabilität essenziell, was durch die Implantation einer VKB-Ersatzplastik zu bewerkstelligen ist. Seit der ersten beschriebenen operativen Intervention am VKB hat sich die Kreuzbandchirurgie ständig weiterentwickelt. Inzwischen stehen komplett minimalinvasive Verfahren zur Verfügung, die eine frühzeitige Rehabilitation und damit baldige Wiederaufnahme des

Leistungsniveaus von vor der Verletzung ermöglichen. Der vorliegende Beitrag stellt Vor- und Nachteile einer Form der All-inside-Technik vor, in der auf die Anlage der klassischen, insbesondere des transtibialen Knochentunnels verzichtet wird. Bei diesem Vorgehen werden minimalinvasiv gebohrte Sacklöcher als Implantatlager verwendet, deren Lage nach arthroskopischem Befund frei wählbar ist und die so einen anatomischen Verlauf der VKB-Plastik ermöglichen.

Schlüsselwörter

Kniegelenk · Gelenkinstabilität · Arthroskopie · Sackloch · Minimalinvasiv

Reconstruction of the anterior cruciate ligament in all-inside technique. Technique, advantages, disadvantages and outcome

Abstract

Rupture of the anterior cruciate ligament (ACL) has extensive consequences for those affected. The lack of stability is often accompanied by rapid abrasion of the joint. In order to counteract this pathomechanism restoration of joint stability is essential, which can be accomplished by implantation of an ACL. Since the first description of an operative intervention on the ACL the surgical technique has continuously developed. Currently, completely minimally invasive procedures are available, which enable early rehabilitation and therefore a quicker return to the performance level prior to injury.

This article presents the advantages and disadvantages of a form of the all-inside technique in which the placement of the classical, in particular the transtibial bone tunnel is redundant. With this approach sockets are bored as implant positions by a minimally invasive procedure. The position is freely selectable according to the arthroscopic findings and so enables an anatomical course of the ACL reconstruction.

Keywords

Knee joint · Joint instability · Arthroscopy · Socket · Minimally invasive

des Kniegelenks, die Auswahlmöglichkeiten eingeschränkt, und die Bohrung ist erschwert.

Auch der tibiale Bohrkannal kann anatomisch gewählt [6] und in der beschriebenen Technik angelegt werden. Hierdurch wird die Gefahr der Belastungsinsuffizienz durch Schmerzen auf Höhe des Bohrkannals tibial minimiert, da insbesondere das tibiale Periost intakt bleibt. Ein weiterer Vorteil ist, dass kein zusätzlicher Port zur Anlage des tibialen Bohrkannals notwendig wird, wie z. B. beim superomedialen Zugang [26]. Vor allem der frei wählbare tibiale Insertionspunkt ver-

einfacht das Vermeiden eines Impingements und Notching in Streckstellung [26].

Darüber hinaus ist eine frühe Rückkehr sowohl zur alltäglichen als auch zur sportlichen Aktivität durch das minimalinvasive Vorgehen möglich [1]. Dies ist insbesondere in der erheblich verringerten Schmerzhaftigkeit nach All-Inside-VKB-Plastik begründet [3]. Als zusätzlicher Vorteil ist der nur minimale Verlust an Knochensubstanz zu erwähnen.



Abb. 3 ▲ „Notch“-seitiger Anteil der lateralen Femurkondyle, ausgeklappte retrograde Klinge, 9 mm Durchmesser



Abb. 4 ▲ a.-p.-Röntgenbild mit Darstellung der Endobuttons, ordnungsgemäß der Kortikalis anliegend

Nachteile

Die Nachteile der All-inside-Technik liegen zum einen in der erzwungenen, gelenkfernen Fixationstechnik der Ersatzplastik, zum anderen in den Eigenschaften des Transplantats.

Hinsichtlich der Fixationsalternativen ist bei der oben dargestellten Technik bislang nur die gelenkferne Möglichkeit mithilfe des Endobutton vorgesehen. Trotz biomechanisch nachgewiesener Vorteile dieser Fixierung im Vergleich zur Fixierung mit Interferenzschrauben [28] erscheint die Stabilität im eigenen Patientengut bei gelenknaher Fixierung höher. Dieser Eindruck wird durch ältere Veröffentlichungen unterstützt; hier wurde der Vergleich unterschiedlicher Transplantate gezogen („hamstring“ vs. „bone-patellar tendon-bone“, BPTB, [15]). Jedoch wiesen die Hamstring-Transplantate ein höheres Ausweiten der Bohrkanäle auf („windshield wiper effect“). Die eigenen Erfahrungen ergeben ein etwas anderes Bild. Hier zeigte sich bei gleichem Transplantat („hamstring“) im Rahmen der All-inside-Technik im Vergleich mit der Fixierung mithilfe des Rigidfix® Cross Pin System (Fa. DepuySynthes, Warsaw, IN, USA) kein vermehrtes „tunnel widening“.

Eine bislang nichtbeschriebene Beobachtung betrifft das Transplantat bzw. dessen Fixierung mithilfe von TightRope®-Fäden. Arthroskopisch ließ sich beim Spannen der „Hamstring“-Ersatzplastik ein Spannungsnachlass eines Sehnenzügels des Vierfachtrans-

plantats darstellen. Bislang konnte dem keine eindeutige klinische Bedeutung (Impingement, Instabilität) zugeordnet werden. Im eigenen Patientengut war jedoch eine geringere Stabilität nicht eindeutig auszuschließen. Hier besteht jedoch weiterer Untersuchungsbedarf, da selbst das Einschneiden der TightRope®-Fäden in das Transplantat als Ursache infrage kommt.

Fazit für die Praxis

- Die VKB-Ersatzplastik in All-inside-Technik stellt die aktuellste Weiterentwicklung in der VKB-Chirurgie dar.
- Der Verzicht auf Knochentunnel bringt verschiedene Vorteile mit sich. Diese bestehen v. a. in der verkürzten Rehabilitationszeit und der damit einhergehenden früheren Wiederherstellung der Aktivitätsniveaus vor dem Unfall.
- Durch die frei wählbare Positionierung, sowohl des femoralen als auch des tibialen Sacklochs, ist eine anatomisch bessere Lage der VKB-Plastik möglich, die eine geringe Rate an posttraumatischen arthrotischen Veränderungen verspricht.
- Als nachteilig kann sich jedoch die gelenkferne Fixierung der Ersatzplastik über Endobuttons erweisen. Erste Studienergebnisse deuten auf eine geringere Primärstabilität der Plastik und damit ein schlechteres klinisches Outcome hin. Hierzu müssen weitere klinische Studien erfolgen.

Korrespondenzadresse

Dr. M. Auerswald

Abteilung für Unfallchirurgie, Orthopädie und Sporttraumatologie, BG-Klinikum Hamburg Bergedorfer Str. 10, 21033 Hamburg, Deutschland
m.auerswald@bgk-hamburg.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Auerswald, D. Rundt, S. Breer, O. Dannenberg, S. Fuchs und B. Kienast geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Literatur

1. Aboalata M, Elazab A, Halawa A et al (2017) The crossing internal suture augmentation technique to protect the all-inside anterior cruciate ligament reconstruction graft. *Arthrosc Tech* 6:e2235–e2240. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2017.08.038>
2. Alentorn-Geli E, Mendiguchía J, Samuelsson K et al (2014) Prevention of anterior cruciate ligament injuries in sports. Part I: systematic review of risk factors in male athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:3–15. <https://doi.org/10.1007/s00167-013-2725-3>
3. Benea H, d'Astorg H, Klouche S et al (2014) Pain evaluation after all-inside anterior cruciate ligament reconstruction and short term functional results of a prospective randomized study. *Knee* 21:102–106. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2013.09.006>
4. Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE (2000) Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 23:573–578
5. Boden BP, Sheehan FT, Torg JS, Hewett TE (2010) Noncontact anterior cruciate ligament injuries: mechanisms and risk factors. *J Am Acad Orthop Surg* 18:520–527
6. Burnham JM, Malempati CS, Carpioux A et al (2017) Anatomic femoral and tibial tunnel placement during anterior cruciate ligament reconstruction: anteromedial portal all-inside and outside-in techniques. *Arthrosc Tech* 6:e275–e282. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2016.09.035>
7. Chambat P, Guier C, Sonnerly-Cottet B et al (2013) The evolution of ACL reconstruction over the last fifty years. *Int Orthop* 37:181–186. <https://doi.org/10.1007/s00264-012-1759-3>
8. Erickson BJ, Harris JD, Cvetanovich GL et al (2013) Performance and return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in male major league soccer players. *Orthop J Sports Med.* <https://doi.org/10.1177/2325967113497189>
9. Ferretti M, Ekdahl M, Shen W, Fu FH (2007) Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy* 23:1218–1225. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2007.09.008>

10. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ et al (2000) Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg* 8:141–150
11. Gwinn DE, Wilckens JH, McDevitt ER et al (2000) The relative incidence of anterior cruciate ligament injury in men and women at the United States Naval Academy. *Am J Sports Med* 28:98–102. <https://doi.org/10.1177/03635465000280012901>
12. Hootman JM, Dick R, Agel J (2007) Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train* 31:142:311–319
13. Hwang MD, Piefer JW, Lubowitz JH (2012) Anterior cruciate ligament tibial footprint anatomy: systematic review of the 21st century literature. *Arthroscopy* 28:728–734. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.11.025>
14. Kim HS, Seon JK, Jo AR (2013) Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Relat Res* 25:165–173. <https://doi.org/10.5792/ksrr.2013.25.4.165>
15. L'Insalata JC, Klatt B, Fu FH, Harner CD (1997) Tunnel expansion following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of hamstring and patellar tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 5:234–238. <https://doi.org/10.1007/s001670050056>
16. Laible C, Sherman OH (2014) Risk factors and prevention strategies of non-contact anterior cruciate ligament injuries. *Bull Hosp Joint Dis* 72:70–75
17. Liu SH, al-Shaikh R, Panossian V et al (1996) Primary immunolocalization of estrogen and progesterone target cells in the human anterior cruciate ligament. *J Orthop Res* 14:526–533. <https://doi.org/10.1002/jor.1100140405>
18. Lubowitz JH, Amhad CH, Anderson K, Anderson K (2011) All-inside anterior cruciate ligament graft-link technique: second-generation, no-incision anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 27:717–727. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.02.008>
19. Lubowitz JH, Schwartzberg R, Smith P (2013) Randomized controlled trial comparing all-inside anterior cruciate ligament reconstruction technique with anterior cruciate ligament reconstruction with a full tibial tunnel. *Arthroscopy* 29:1195–1200. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.04.009>
20. Markatos K, Kaseta MK, Lalloos SN et al (2013) The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 23:747–752. <https://doi.org/10.1007/s00590-012-1079-8>
21. Mayo Robson AW (1902) Ruptured crucial ligaments and their repair by operation. *Ann Surg* 37:716–718
22. Morgan CD, Kalman VR, Grawl DM (1995) Definitive landmarks for reproducible tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 11:275–288
23. Piefer JW, Pflugner TR, Hwang MD, Lubowitz JH (2012) Anterior cruciate ligament femoral footprint anatomy: systematic review of the 21st century literature. *Arthroscopy* 28:872–881. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.11.026>
24. Reda W, Khedr A (2017) Stump incorporation for anterior cruciate ligament reconstruction: a step towards a more anatomical reconstruction. *Arthrosc Tech* 6:e1303–e1307. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2017.05.007>
25. Rupp S, Kohn D (2002) The anterior cruciate ligament as focus of interest. *Orthopäde* 31:701
26. de Sa D, Shanmugaraj A, Weidman Metal (2018) All-inside anterior cruciate ligament reconstruction – a systematic review of techniques, outcomes, and complications. *J Knee Surg*. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1627446>
27. Schiffner E, Latz D, Grassmann JP et al (2018) Anterior cruciate ligament ruptures in German elite soccer players: epidemiology, mechanisms, and return to play. *Knee*. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2018.01.010>
28. Smith PA, Stannard JP, Pfeiffer FM et al (2016) Suspensory versus interference screw fixation for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction in a translational large-animal model. *Arthroscopy* 32:1086–1097. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.11.026>
29. Stähelin AC, Weiler A (1997) All-inside anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus tendon and soft threaded biodegradable interference screw fixation. *Arthroscopy* 13:773–779
30. Uhorchak JM, Scoville CR, Williams GN et al (2003) Risk factors associated with Noncontact injury of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 31:831–842. <https://doi.org/10.1177/03635465030310061801>
31. Vaishya R, Agarwal AK, Ingole S, Vijay V (2015) Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction: a review. *Cureus* 7(378):e378. <https://doi.org/10.7759/cureus>
32. Wan C, Hao Z, Li Z, Lin J (2017) Finite element simulations of different hamstring tendon graft lengths and related fixations in anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Biol Eng Comput* 55:2097–2106. <https://doi.org/10.1007/s11517-017-1637-7>