

パーフェクト

前十字靭帯再建術 (ACL)

編集

石橋恭之 弘前大学大学院 医学研究科 整形外科科学講座教授

黒田良祐 神戸大学大学院 医学研究科 外科系講座整形外科科学教授

前 達雄 大阪大学大学院 医学系研究科 運動器スポーツバイオメカニクス学共同研究講座特任教授

 Kinpodo

著者一覧 (掲載順)

- 山本 祐司 弘前大学大学院医学研究科 整形外科科学講座 准教授
- 鈴木 大輔 北海道千歳リハビリテーション大学 健康科学部 教授
- 藤江 裕道 東京都立大学大学院システムデザイン研究科 教授 同大学医工連携研究センター センター長
- 前 達雄 大阪大学大学院医学系研究科 運動器スポーツバイオメカニクス学共同研究講座 特任教授
- 新井 祐志 京都府立医科大学大学院医学研究科 スポーツ・障がい者スポーツ医学 准教授
- 原 邦夫 JCHO 京都鞍馬口医療センター整形外科 主任部長 兼 スポーツ整形外科 センター長
- 井上 裕章 京都府立医科大学大学院医学研究科 運動器機能再生外科学 学内講師
- 三浦 和知 弘前大学大学院医学研究科 リハビリテーション医学講座 講師
- 古賀 英之 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科 運動器外科学分野 教授
- 中瀬 順介 金沢大学大学院 整形外科 助教
- 土屋 弘行 金沢大学大学院 整形外科 教授
- 木村 由佳 弘前大学大学院医学研究科 整形外科科学講座 助教
- 石橋 恭之 弘前大学大学院医学研究科 整形外科科学講座 教授
- 松下 雄彦 神戸大学大学院医学研究科 整形外科 講師
- 荒木 大輔 神戸大学大学院医学研究科 整形外科 助教
- 星野 祐一 神戸大学大学院医学研究科 整形外科 助教
- 中前 敦雄 広島大学病院整形外科 准教授
- 安達 伸生 広島大学大学院医系科学研究科 整形外科科学 教授
- 橘 優太 大阪労災病院スポーツ 整形外科 医長
- 史野 根生 行岡病院スポーツ 整形外科 センター長
- 入内島 崇紀 上牧温泉病院 整形外科
- 相川 淳 北里大学医学部 整形外科 講師
- 東山 礼治 茅ヶ崎中央病院 整形外科 部長 兼 北里大学医学部 整形外科科学 助教
- 近藤 英司 北海道大病院 スポーツ医学診療センター 教授・センター長
- 安田 和則 八木整形外科病院 名誉院長 兼 附属スポーツ医学・関節鏡センター センター長
- 佐々木 静 弘前大学大学院医学研究科 整形外科科学講座 助教
- 田代 泰隆 九州労災病院 スポーツ整形外科 副部長
- 武富 修治 東京大学大学院医学系研究科 整形外科科学 講師
- 中川 匠 帝京大学医学部 整形外科講座 教授
- 古松 毅之 岡山大学病院 整形外科 講師
- 石川 正和 広島大学大学院医系科学研究科 人工関節・生体材料学 准教授
- 出家 正隆 愛知医科大学医学部 整形外科科学講座 主任教授
- 野崎 正浩 名古屋市立大学 整形外科 講師
- 中山 寛 兵庫医科大学 整形外科教室 講師
- 大西 慎太郎 兵庫医科大学 整形外科教室 助教
- 熊橋 伸之 松江赤十字病院 整形外科 部長
- 相澤 純也 順天堂大学保健医療学部 理学療法学科 先任准教授
- 木村 佳記 大阪大学医学部附属病院 リハビリテーション部
- 小柳 磨毅 大阪電気通信大学医療健康科学部 理学療法学科 教授
- 伊藤 郁恵 弘前大学大学院医学研究科 リハビリテーション医学講座 理学療法士
- 津田 英一 弘前大学大学院医学研究科 リハビリテーション医学講座 教授
- 大見 頼一 日本鋼管病院 リハビリテーション技術科 副科長
- 川島 達宏 いちはら病院 リハビリテーション科 理学療法士長

はじめに

膝前十字靭帯（ACL）は、スポーツ活動において高い頻度で損傷し、膝関節の安定性と機能を改善するために手術が行われる。整形外科の一般的な変性疾患に対する治療では、日常生活における疼痛改善と生活レベルの向上が目標となる。しかし、スポーツ外傷に対する治療は日常生活動作を目標とするのではなく、元のスポーツレベルへの復帰が期待されるため、当然、治療する側に高い技術と多くの知識が要求される。また、半月板損傷、軟骨損傷や他の靭帯損傷等を合併することも多く、正確な診断能力と合併損傷に対する適切な治療能力、さらにはスポーツ復帰までの術後リハビリテーションに関する知見や復帰時期の判断力も必要となる。したがって、ACL 損傷を治療するスポーツ整形外科医は、包括的な知識を持ってその治療を行う必要がある。

本分野に関する研究は昔から多くなされ、中でも ACL 付着部の解剖学的研究は再建術式に大きな影響を与え、正常 ACL の機能に近似した ACL が再建可能となっている。従来の ACL 再建術は、術後の再建靭帯への過負荷を嫌い、屈曲伸展運動にて靭帯の伸張が少ない等尺性再建術が行われてきたが、付着部の肉眼的・組織学的研究の成果により解剖学的再建術へと変遷した。さらに、太い 1 本の靭帯を再建する一束法から複数本の線維束を再建する二・三重束法や長方形の骨孔を作製する長方形骨孔法など、ACL の線維配列や付着部を模した再建術が行われるようになった。

海外では、未だ ACL 再建術を行っても変形性関節症への進行は止められないと考えている整形外科医が多くいるが、正しい知識を持ち、適切な時期に解剖学的な再建術を行えば、変形性関節症性変化を防ぐことができると確信している。本領域において日本は間違いなく世界をリードしている。日本の第一線で活躍されている先生方が ACL に関する最新の知識を凝集させた本書が、ACL 再建術並びに術前・術後リハビリテーションに携わる医療従事者のバイブルとなることを切に願う。

石橋 恭之
黒田 良祐
前 達雄

目次

第1章 解剖と機能	1
1. ACL 歴史的背景 (山本祐司)	2
2. ACL の解剖 (鈴木大輔)	9
3. 靭帯のバイオメカニクス (藤江裕道)	19
4. ACL のバイオメカニクス (前 達雄)	29
5. 靭帯修復・再建の基礎 (新井祐志, 原 邦夫, 井上裕章)	36
6. 再建膝の安定性の変化 (前 達雄)	42
第2章 疫学・受傷機転・自然経過	47
1. ACL 損傷の疫学 (三浦和知)	48
2. 受傷機転 (古賀英之)	52
3. ACL 損傷の危険因子 (中瀬順介, 土屋弘行)	65
4. ACL 損傷膝の自然経過 (木村由佳, 石橋恭之)	70
第3章 ACL 損傷の診断・評価	75
1. ACL 損傷の診断・評価 (松下雄彦)	76
2. ACL 損傷の画像診断 (荒木大輔)	80
3. ACL 損傷膝・再建膝の定量的評価法, 機能的評価法 (星野祐一)	91
第4章 治療	105
1. ACL 損傷膝の保存治療 (中前敦雄, 安達伸生)	106
2. ACL 再建の適応と再建法の概要 (中前敦雄, 安達伸生)	109
3. 膝蓋腱による ACL 再建 (橘 優太, 史野根生, 前 達雄)	117
4. ハムストリング腱による ACL 再建 (松下雄彦)	125
5. その他の自家腱による ACL 再建 (入内島崇紀)	133

6. 同種腱による ACL 再建 (相川 淳, 東山礼治)	138
7. 遺残組織を温存した再建術 (近藤英司, 安田和則)	145
8. 小児 ACL 損傷の治療 - 小児 ACL 再建術の適応と手術方法 - (佐々木 静, 石橋恭之)	152
9. ACL 修復術 (田代泰隆)	164
第 5 章 合併症とその対策	167
1. ACL 損傷再受傷の現状 (木村由佳, 石橋恭之)	168
2. ACL 再損傷・不全膝の治療 (武富修治)	174
3. 骨欠損に対する対応 (中川 匠)	189
4. 半月板損傷に対する治療 (古松毅之)	196
5. 軟骨損傷に対する治療 (石川正和)	207
6. MCL 損傷の治療 (保存か手術か) (出家正隆)	214
7. 複数回手術例への対応 (野崎正浩)	221
8. 二次性関節症に対する治療 (中山 寛, 大西慎太郎)	226
9. ACL 再建後の感染の治療 (熊橋伸之)	230
第 6 章 リハビリテーション	239
1. 術前リハビリテーション (相澤純也)	240
2. 術後リハビリテーション (木村佳記, 小柳磨毅)	246
3. 動作評価の基本 (伊藤郁恵, 津田英一)	262
4. 再受傷予防を目指したリハビリテーション (大見頼一, 川島達宏) ...	272
索引	284

1 ACL損傷再受傷の現状

木村由佳, 石橋恭之

はじめに

ACL再建術の成績向上には手術手技, 移植腱の選択や固定方法, 術後のリハビリテーションなど多数の因子が関連する。近年, ACL再建術や術後リハビリテーションには種々の改良が加えられ, 安定した術後成績が期待できるようになった。しかし, 再受傷や再再建術の頻度を抑制し得るかについては明らかになっていない。手術成績の改善に伴い, アスリートの術後スポーツ復帰率は向上すると予想され, 再受傷の機会も増大すると考えられる。再受傷は最も頻度の高い合併症の一つであり, 再受傷に関する正しい知識やそれに基づいたリハビリテーションは, アスリートが安全にスポーツ復帰するために不可欠である。再受傷研究の問題点として, 単一施設では症例数の確保が困難であること, スポーツ種目や競技レベル, 復帰率の影響を受けること, 経過観察期間やフォローアップ率の影響を受けることがあげられている。また再受傷に関与する多因子を網羅した研究デザインが必要になることも, エビデンスの確立を困難にしている要因の一つである。

移植腱損傷の原因として, 外傷性の断裂 (traumatic rupture), 骨孔位置や移植腱の固定といった不適切な手術手技に伴う機能不全 (technical failure), 外傷や手術手技に明らかでない問題がないが, 移植腱の機能不全や断裂が生じる生物学的治癒不全 (biological failure) が挙げられ, これらの原因が組み合わさって再受傷が生じている¹⁾(**図1**)。過去には手術手技に起因したfailureが多かったと考えられているが, 近年では外傷による再受傷が多いとされている²⁾。再受傷には手術を行った側の膝を再度損傷する「移植腱損傷 (graft rupture)」と, 反対側のACLを受傷する「対側損傷 (contralateral injury)」があ

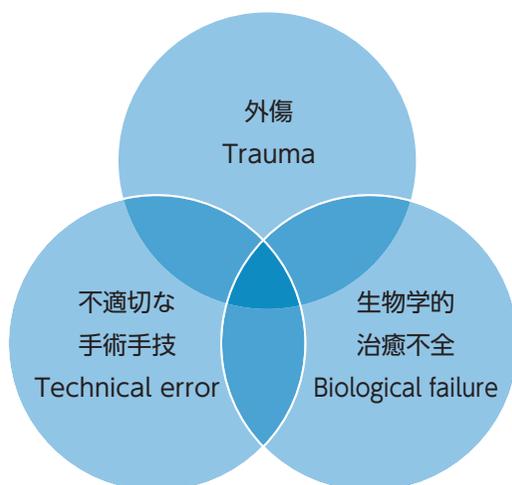


図1 ACL再受傷のメカニズム
(文献1を改変)

り、両者を合わせて second ACL injury として報告されている。本項では移植腱損傷と対側損傷を併せた second ACL injury を「再受傷」と定義することとした。

1 再受傷の頻度

システマティックレビューによると、移植腱損傷の発生頻度は約7%、対側損傷は約8%と報告されている³⁾。Salmon ら⁴⁾は術後5年の移植腱損傷は6%、対側損傷は6%で、これらを合わせた再受傷率は12%であったと報告している。フォローアップ率が高く、追跡期間が長期であるほど再受傷頻度は増加し、同一症例を対象とした研究では、術後10年で27%⁵⁾、15年では31%⁶⁾であった。わが国では、術後2年の移植腱損傷は5.3%、対側損傷は4%⁷⁾、術後3年以上の中期成績では移植腱損傷は5.7%、対側損傷は3.8%⁸⁾と報告されているが、症例数が限られている。

2 再受傷の時期

移植腱損傷は術後1～2年、特に1年以内の受傷が多く、対側損傷は術後約2～4年で受傷することが多いとされている^{5, 9, 10)}。移植腱損傷と対側損傷の発生時期が異なる原因については明らかになっていない。術後6か月以内の早期に生じた移植腱損傷のなかには、コンプライアンス不良などのために術後早期にスポーツ活動を行って受傷するものがある。移植腱損傷が対側損傷より早期に生じる原因として、移植腱の成熟不足も一因と考えられている¹¹⁾。

POINT

- 移植腱損傷は術後1～2年に多く、対側損傷は術後2～4年で受傷することが多い。

3 ACL 再受傷の危険因子

再受傷に至るメカニズムは明らかにはなっていないが、初回 ACL 損傷の危険因子と同様に内因性、外因性を含めた複数の要因が関与していると考えられる。初回 ACL 再建時の年齢はその後の再再建や再受傷の危険因子であるという報告は多い^{2, 3, 9, 10, 12-15)}。過去の再受傷の危険因子としては年齢、活動レベル、再建術前の待機期間、移植腱の種類が挙げられている。再受傷の危険因子を調査したシステマティックレビューでは、初回手術時の年齢が25歳未満、またスポーツ復帰率が高率であることが再受傷の危険因子であるとされている。25歳以下の若年者の再受傷は21%、スポーツ復帰した症例では20%で、これらの危険因子を組み合わせた25歳以下のスポーツ復帰後の再受傷は23%であり、全体の15%より高率であった³⁾(**図2**)。若年者では、中学・高校など競技期間が限られていること

から、より早期にスポーツ活動へ復帰を希望する症例が多いことも再受傷が高率に発生する一因であると考えられる。

初回損傷の性差に関しては、多くの研究で女性の発生率が高いことが報告されているが、再受傷については、性差がないとする報告が多い^{2, 13, 16, 17)}。一方、男性は移植腱損傷のリスクが高く⁹⁾、女性は対側損傷のリスクが高いとする報告もあり¹⁵⁾、一定の見解は得られていない。移植腱損傷については再再建術を end point として算出している報告も多くあるが、再受傷後に再再建術を受けていない症例もあるため、過小評価している可能性がある。

スポーツ種目については、当科で初回再建術を行った 212 例の調査によると、初回損傷の頻度が高いバスケットボールやスキー、サッカーで再受傷も多く発生していた(図3)。受傷メカニズムは再受傷時も初回受傷と同様に非接触型損傷が大部分を占めており、カッティングやジャンプ着地時に受傷するとされている¹⁾。また、再建術後にピボッティング

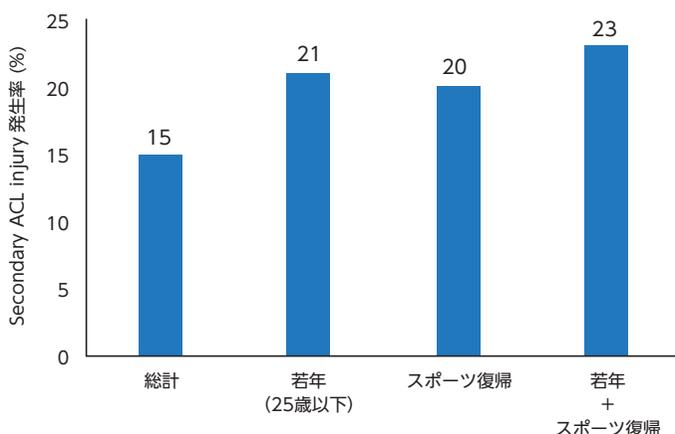


図2 ACL再受傷の発生率(文献2を改変)

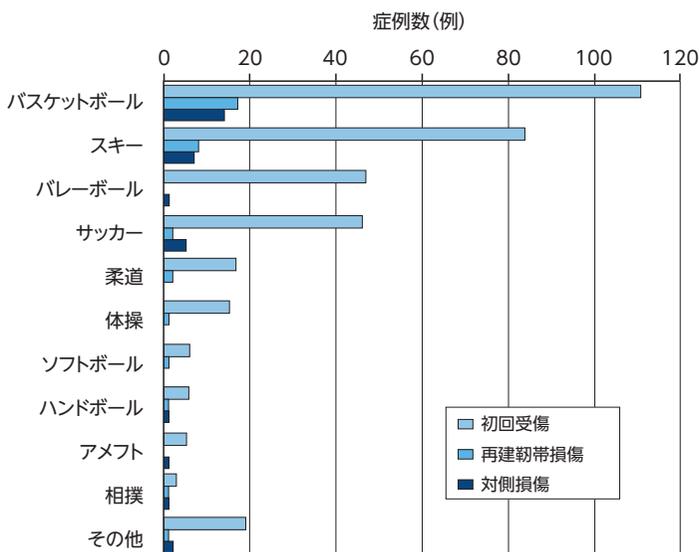


図3 初回ACL再建を施行した434例の初回受傷、移植腱損傷、対側損傷のスポーツ別割合(2003~2011年, 弘前大学医学部附属病院)

またはカッティングスポーツに復帰した症例の術後2年以内の再受傷率は29.5%と高率であり、初回受傷と比較して6倍高率に発生していた¹⁶⁾。

家族歴と再受傷の関連についても報告されており、家族歴を有する症例では、術後3～15年の調査で移植腱損傷は1.8～3.6倍高率に、対側損傷は1.7～2.2倍高率に発生していた^{9, 10, 18)}。何らかの遺伝的な要素や活動性の高いライフスタイルといった複数の因子が関連していると考えられている。

移植腱の種類については、自家膝蓋腱と比較してハムストリング腱で移植腱断裂率が高いという報告もある一方¹³⁾、両者で差はないとする報告もある^{7, 9)}。移植腱径と移植腱損傷の関連では、自家ハムストリング腱を用いて一束再建術を行った症例において、移植腱径と再再建に至った率に有意差はなかった¹²⁾とする報告もある。一方で径7mmから10mmの移植腱では、径が0.5mm大きくなると、再再建に至る頻度が0.86倍低下するとされている¹⁹⁾。半腱様筋腱を用いた二重束再建術における移植腱径、長さとも再再建の調査では、前内側線維束（AM束）、後外側線維束（PL束）ともに再再建へ至る率と関連はなかった¹⁴⁾。実際の臨床では、移植腱径が極端に小さい場合や長さが十分でない場合には薄筋腱を追加する、あるいは一束再建選択するなどの工夫がなされているため、これを検証することは困難である。

動作解析により再受傷の危険因子を調査した研究もいくつか報告されている。Paternoら²⁰⁾は再建術を行いスポーツ復帰前のアスリート56例を対象に、drop vertical jumpの三次元動作解析を行わせ、その後1年間の追跡調査を行った。その結果、13例（23.2%）が移植腱損傷または対側損傷を受傷しており、手術側と反対側の股関節内旋モーメントの増大、膝外反角度の増大、膝関節伸展・屈曲モーメントの非対称、片脚立位における安定性の低下が再受傷の危険因子であったと報告している。また、再建術を行いスポーツ復帰前の女性アスリート61例を対象とした調査では、1年の追跡で14例（23%）が再受傷しており、片脚立位における股関節一足関節協調運動が不良であったと報告している²¹⁾。術後に残存する神経筋コントロールの不良をリハビリテーションの中で改善することが、リスクの高いアスリートを安全にスポーツ復帰させ、再受傷を抑制させることに有効であると考えられる。

POINT

- 初回再建術時の年齢とスポーツ復帰は再受傷の危険因子である。

4 再受傷の問題点

移植腱損傷に対しては再再建術が選択されるが、システマティックレビューによると再再建術ではLysholm score, IKDC scoreが劣り、変形性膝関節症の発生が高率になるとされている²²⁾。また、多数回の手術例では活動レベルの低下を余儀なくされ、競技が継続できなくなることが報告されている²³⁾。これらの問題は未だ解決されておらず、再受傷の予防を行うことは非常に重要と考えられ早急な解決が望まれる。しかしながら、再受傷の危

危険因子に関する研究はまだまだ少なく、エビデンスの蓄積が必要である。特に介入が可能な危険因子の解明は重要であり、スポーツ復帰を反映した分析、リハビリテーションを含めた治療の質を均一化した対称群の設定、スポーツ復帰基準の設定や検証が今後の課題である。

参考文献

1. Wright RW, et al: Descriptive epidemiology of the Multicenter ACL Revision Study (MARS) cohort. *Am J Sports Med.* 2010; 38:1979-1986.
2. 津田英一, 他: 二重束前十字靭帯再建術後に再再建術に至った要因の検討. *日整会誌.* 2013; 87:227-232.
3. Wiggins AJ, et al: Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2016; 44:1861-1876.
4. Salmon L, et al: Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2005; 21:948-957.
5. Pinczewski LA, et al: A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial. *Am J Sports Med.* 2007; 35:564-574.
6. Leys T, et al: Clinical results and risk factors for reinjury 15 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study of hamstring and patellar tendon grafts. *Am J Sports Med.* 2012; 40:595-605.
7. Sasaki S, et al: Prospective randomized study of objective and subjective clinical results between double-bundle and single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016; 44:855-864.
8. Koga H, et al: Mid- to long-term results of single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: randomized controlled trial. *Arthroscopy.* 2015; 31:69-76.
9. Bourke HE, et al: Survival of the anterior cruciate ligament graft and the contralateral ACL at a minimum of 15 years. *Am J Sports Med.* 2012; 40:1985-1992.
10. Webster KE, et al: Younger patients are at increased risk for graft rupture and contralateral injury after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2014; 42:641-647.
11. Pauzenberger L, et al: "Ligamentization" in hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of the literature and a glimpse into the future. *Arthroscopy.* 2013; 29:1712-1721.
12. Kamien PM, et al: Age, graft size, and Tegner activity level as predictors of failure in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft. *Am J Sports Med.* 2013; 41:1808-1812.
13. Persson A, et al: Increased risk of revision with hamstring tendon grafts compared with patellar tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction: a study of 12,643 patients from the Norwegian Cruciate Ligament Registry, 2004-2012. *Am J Sports Med.* 2014; 42:285-291.
14. 木村由佳, 他: 二重束前十字靭帯再建術後に再断裂に至った要因の検討。- 移植腱サイズとの関連-。 *スポーツ傷害.* 2015; 20:13-15.
15. Maletis GB, et al: Age-related risk factors for revision anterior cruciate ligament reconstruction: A cohort study of 21,304 patients from the Kaiser permanente anterior cruciate ligament registry. *Am J Sports Med.* 2016; 44:331-336.
16. Paterno MV, et al: Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2014; 42:1567-1573.
17. Tan SH, et al: The importance of patient sex in the outcomes of anterior cruciate ligament reconstructions: A systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2016; 44:242-254.
18. Morgan MD, et al: Fifteen-year survival of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction in

- patients aged 18 years and younger. *Am J Sports Med.* 2016; 44:384-392.
19. Snaebjörnsson T, et al: Graft diameter as a predictor for revision anterior cruciate ligament reconstruction and KOOS and EQ-5D values: A cohort study from the Swedish national knee ligament register based on 2240 Patients *Am J Sports Med.* 2017; 45:2092-2097.
 20. Paterno MV, et al: Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2010; 38:1968-1978.
 21. Paterno MV, et al: Prospectively identified deficits in sagittal plane hip-ankle coordination in female athletes who sustain a second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2015; 30:1094-1101.
 22. Grassi A, et al: Does revision ACL reconstruction measure up to primary surgery? A meta-analysis comparing patient-reported and clinician-reported outcomes, and radiographic results. *Br J Sports Med.* 2016; 50:716-724.
 23. Webster KE, et al: Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Outcomes in Younger Patients: Medial Meniscal Pathology and High Rates of Return to Sport Are Associated With Third ACL Injuries. *Am J Sports Med.* 2018; 46:1137-1142.

1 術前リハビリテーション

相澤純也

Key Point

- ACL 再建術の待機期間や予定術式を考慮し、術後に生じうる合併症および機能的問題を想定してケア、指導をする。
- 炎症コントロールと二次損傷予防に努めながら、膝や腰椎骨盤股関節複合体の機能的問題を改善させる。
- 術後の再損傷予防指導に向けて、代償性・習慣性アライメント不良をコントロールさせる。

1 炎症と痛みのコントロール

膝可動域制限や関節原性筋萎縮につながる関節腫脹は、再建術までに消失しているのが理想である。受傷後数日間の急性炎症期は松葉杖での部分免荷、装具による固定、歩行距離のセーブによって膝関節への負荷量をコントロールさせる。また、安静、アイシング、圧迫、挙上により炎症症状の軽減を促す。関節腫脹の程度は膝蓋跳動テストに加えてストロークテストで段階付けし、痛みの強さは特定動作時の程度を Numerical rating scale や Visual rating scale で定期的に確認し、これらを指標にしながら活動をコントロールする。エクササイズ前後や長距離歩行後の関節腫脹増大をセルフチェックできるよう膝蓋跳動テストやストロークテストの方法を指導しておく。

2 受傷状況、損傷要因の共有

再損傷予防に向けた指導を術前から計画する。一般的な ACL 損傷メカニズム¹⁻⁴⁾をイメージしながら、選手個々の受傷状況を確認し、接触、プレー・判断、膝崩れ時のアライメント、靴とサーフェイス、疲労などの情報を選手と共有する。受傷時の動画があれば必ずチェックし受傷機序の理解に活用する。選手の性格や理解力に合わせて「いつもと違ったことはなかった?」、「どうすれば防げたと思う?」などと問いかけて損傷要因や予防戦略への理解が深まるよう支援する。

3 靭帯不安定性、合併損傷の把握と、二次損傷の予防

靭帯不安定性や膝周囲筋活動不良による膝崩れの繰り返しは残存靭帯や半月板などの二次損傷につながり、炎症症状や痛み、精神的不安を長引かせ、術後の症状や機能にも影響

しうる。診療記録内の検査・診断結果を確認した上で必要に応じて、靭帯不安定性や半月板症状を徒手検査で確認する。MRI では ACL に加えて内側側副靭帯 (MCL)、半月板、軟骨の損傷、骨挫傷の有無や程度を把握する。単純 X 線画像では関節裂隙狭小化や骨棘などの関節症変化を確認しておく。

杖や装具を適時使用しながら、荷重位での膝安定性をサポートし、関節機能の回復に合わせて段階的に補装具を除去する。半月板、軟骨・骨などの合併損傷が明らかなケースでは補装具の除去時期や、活動性を上げるタイミングをより慎重に判断する。膝の過度な外反や、脛骨の過度な前方移動・回旋が生じやすい運動・動作を回避もしくはコントロールさせる⁵⁾。

ACL 損傷患者は数週間から数か月の経過で、軽い直進走行やジャンプ着地が可能になることが多い。しかし、高強度のダッシュ、ストップ、ジャンプ着地、ピボットイング、カッティングで膝の不安定感や怖さを訴え、膝崩れが生じる危険性も高まる。再建術の適応について患者の理解を得るために、これらの動作の強度を段階的に上げて患者の訴えを確認する過程を踏む場合がある。しかし、既に再建術が予定されているケースでは膝崩れによる二次損傷を予防するために高強度のスポーツ動作は基本的には控えるよう指導する。

4 膝機能障害の改善

術式や術後管理による合併症 (表 1) を想定して、膝の機能障害を術前から積極的に予防・改善し、術後の関節可動域制限、筋活動低下、筋萎縮への影響を最小限に留める。急性期の膝伸展制限に対しては、防御性に過活動状態にあるハムストリングや腓腹筋を弛緩させながら持続的に伸張し伸展制限の消失を目指す (図 1)。非受傷側の膝に明らかな過伸展を認めるケースでは受傷側を含めて基本姿勢やエクササイズ中に膝が過伸展しないようにコントロールさせる。伸展制限が損傷半月板のロックングによるものでないことは必ず確認する。膝の屈曲可動域は長座位や端座位で大腿後面や下腿前面をサポートしながら踵を大腿後面に近づける自動介助運動 (ヒールスライド) で増大させる (図 2)。膝蓋跳動テスト陽性かつストロークテスト 3+ の重度の関節腫脹があり、膝屈曲時の膝前部の緊満感とともに明らかな角度制限を認める場合は関節穿刺の適応を含めて医師に相談する。膝の可動域をより効果的に増大させるために膝蓋骨、内外側支帯、膝蓋下脂肪体、腸脛靭帯、膝

表 1 ACL 再建術の術式や術後管理による合併症

- ・術創部痛 (関節鏡挿入部、骨孔作製部)
- ・採腱部痛 (半腱様筋腱、薄筋腱、膝蓋腱)
- ・関節腫脹 (血腫) とこれによる四頭筋活動低下、屈曲可動域制限
- ・膝伸展可動域制限
- ・術側下肢荷重能力低下
- ・膝蓋下脂肪体の硬さ
- ・術後部分荷重、運動制限による廃用

蓋上囊，膝窩筋，腓腹筋などを直接モビライゼーションする。

ACL 損傷急性期では痛み，恐怖心，関節腫脹，伸展制限，廃用などにより大腿四頭筋の活動低下や萎縮が生じやすい。長座位や背臥位での大腿四頭筋セッティングエクササイズにより，靭帯などの関節構成体に過度なストレスを与えずに四頭筋の活動を促す。正しい運動パターンでのセッティングエクササイズは膝伸展制限の改善にも役立つ。外側広筋や大腿筋膜張筋の過活動による下肢内旋などが習慣化されないようにエラーパターンを修正する。膝蓋骨の移動量や内側広筋の筋電位をチェックし患者さんへフィードバックする(図3)。下肢伸展挙上時の extension lag 角度や，下肢内旋アライメントによっても四頭筋，特に内側広筋の活動度を推察できる。立位，起立着座，スクワットなどの基本的な荷重動作での膝安定性を高めるために，受傷後早期から，端座位で四頭筋とハムストリングの同時収縮を促す(図4)。



図1 膝伸展制限改善のためのエクササイズ

膝前部を押して強制的に伸展させるのではなく，ハムストリングや腓腹筋の硬度の左右差を確認し，本人にも触知させて筋の過活動状態を認識させながら弛緩させる。膝窩部にタオルなどを敷き，患者が恐怖心なく伸展できる角度でサポートすると弛緩が得られやすい。この状態で愛護的に大腿骨顆部を両手掌で包み込むようにして下に押し込み伸展させる。膝窩部のタオルは伸展角度の増大に伴って減らしていく。骨盤を後傾させると膝を伸展しやすい。



A



B



C

図2 膝屈曲エクササイズ(ヒールスライド)

長座位で踵部を前後にスライドさせる。大腿二頭筋の過大活動を避けて内側ハムストリングの収縮を促す(A)。股関節内旋および下腿外旋(B)，足の底屈(C)などの過度な代償運動をコントロールさせる。



図3 四頭筋セッティング時の筋活動フィードバック

内側広筋に電極を貼付し、収縮中の活動電位を発光ランプ数によって確認・フィードバックしている。



図4 内側広筋と内側ハムストリングの同時収縮トレーニング

高めの台上の端座位で膝角度や荷重量をコントロールしながら内側広筋と内側ハムストリングスを同時収縮させる。股関節や下腿の内外旋，足部の内外転をコントロールさせる。スクワットの準備エクササイズとして有用である。

5 腰椎・骨盤・股関節複合体機能の向上

再建術後の再損傷予防やパフォーマンス向上に重要な役割を果たす腰椎骨盤股関節複合体の筋機能や安定性を術前の段階から向上させておく（図5, 6）。



図5 腹横筋活動エクササイズ

端座位で骨盤中間位保持を学習させるとともに，上前腸骨棘の挙上や下腹部の引き込みを指示して腹横筋の活動を促す。



図6 股関節外転筋エクササイズ

股関節外転・外旋・伸展位を保持させ，中殿筋の硬度や活動タイミングを確認する。骨盤回旋，腰椎伸展，股関節屈曲などの代償運動をコントロールさせる。

6 代償性筋活動・運動のコントロール

受傷後急性期では基本動作やエクササイズにおいて不安・恐怖、痛みを回避するために代償性の筋活動や運動（立位，歩行時のハムストリングス過緊張による膝軽度屈曲位 / スクワットでの非受傷側重心・荷重偏位，骨盤受傷側回旋・非受傷側傾斜など）が生じやすい。これらの代償性パターンが習慣化され術後まで残存することがないように受傷後急性期で活動性を落としている段階から修正し始める。起立・着座やスクワットで重心位置・荷重が非受傷側へ偏位し，骨盤が受傷側に回旋し，対側に傾斜しているケースでは，口頭や徒手，鏡を用いてフィードバックしながら修正する（図7）。ACL 損傷急性期では脛骨の前方移動を抑制するためにハムストリングの活動が過大になり，歩行周期を通じて膝伸展の角度およびモーメントが低下し，二重膝機構が出現しにくい四頭筋活動回避戦略を呈しやすい^{6,7)}。正常歩行の獲得に向けて，膝の過伸展や膝崩れへの不安を訴えない範囲で，歩行周期全般にわたって受傷側のハムストリングの過活動をコントロールさせ，四頭筋活動を促すことで膝伸展角度を増大させる。遊脚期のスムーズな膝屈曲も促す。これらの歩容指導は松葉杖やロフトランドクラッチを使用している段階から免荷量や膝関節負荷を考慮しながら開始する。

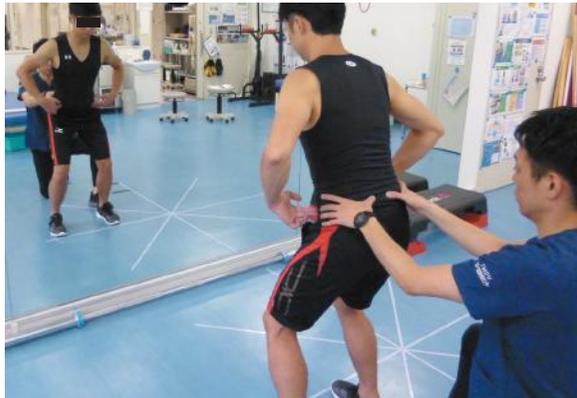


図7 スクワットでの代償性運動パターンの修正

鏡，触知・徒手誘導，器具を利用してアライメントを修正する。腸骨稜や腸骨棘を患者に触知させ，膝の前後位置を目視させてアライメント異常を認識させる。

7 再損傷要因としての筋活動・運動パターン不良のコントロール

受傷後に非受傷側を含めた機能を評価し，受傷前状態と受傷機転に関する情報を統合しながら ACL 損傷・再損傷要因としてのアライメント異常（膝の外反，内外反動揺，屈曲不足 / 股関節の過内旋，屈曲不足 / 体幹の側方・後方傾斜 / 足部の過度な内外転など）を確認する^{1-4, 8, 9)}。認められたアライメント不良は患者と共有し，可能な範囲でコントロールを促し，理想的な姿勢・動作パターンに近づける。膝関節にストレスがかかりにくい臥位，座位，立位などの基本姿勢や，ミニスクワットなどにおいて腰椎骨盤股関節複合体を含めたアライメントや筋活動をコントロールさせる。再建術後数週間は手術侵襲による痛みや不安感のために正しい運動パターンが障害されやすい。受傷後急性期から理想的な運動パターンの学習を促し，術後リハビリテーションのスムーズな進行につなげる。

8 基本スポーツ動作の再獲得

炎症症状や膝不安定性の程度や推移に合わせて、スクワット、スプリットスクワット、片脚スクワット、ランジなどの基本的かつ軽負荷なスポーツ動作を再獲得させる。炎症症状増大や膝崩れに十分に注意し、アライメント不良を修正しながら、ポジションのキープから開始して、関節運動範囲や荷重量を段階的に高める。

POINT

- 再建術の待機期間や予定術式を考慮し、術後に生じうる合併症および機能的問題を想定して術前リハビリテーションを計画する。
- 膝関節機能に加えて、腰椎骨盤股関節複合体機能の問題を改善させつつ、代償性・習慣性アライメント不良を術前からコントロールさせる。

SUMMARY

- 周期や術後数か月を見据えた患者教育によって自己管理能力を高める。
- 炎症と痛みをコントロールし、受傷状況や損傷要因を患者と共有する。
- 靭帯不安定性や合併損傷を把握し、二次損傷を予防する。
- 運動連鎖を考慮して膝に加えて、隣接部位・関節の機能を向上させる。
- 再損傷予防に向けてアライメントや運動パターンの不良の修正を術前から試みる。

- 参考文献
1. Koga H, et al: Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med.* 2010; 38:2218-2225.
 2. Koga H, et al: Hip and Ankle Kinematics in Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury Situations: Video Analysis Using Model-Based Image Matching. *Am J Sports Med.* 2018; 46:333-340.
 3. Meyer EG, et al: Anterior cruciate ligament injury induced by internal tibial torsion or tibiofemoral compression. *J Biomech.* 2008; 41:3377-3383.
 4. Cerulli G, et al: In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement: case report. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003; 11: 307-311.
 5. Escamilla RF, et al: Anterior cruciate ligament strain and tensile forces for weight-bearing and non-weight-bearing exercises: a guide to exercise selection. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012; 42:208-220.
 6. Berchuck M, et al: Gait adaptations by patients who have a deficient anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1990; 72:871-877.
 7. Beard DJ, et al: Gait and electromyographic analysis of anterior cruciate ligament deficient subjects. *Gait & Posture.* 1996; 4:83-88.
 8. Paterno MV, et al: Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2010; 38:1968-1978.
 9. Aizawa J, et al: Correlations between sagittal plane kinematics and landing impact force during single-leg lateral jump-landings. *J Phys Ther Sci.* 2016; 28:2316-2321.

パーフェクト 前十字靱帯再建術 (ACL)

2020年10月15日 第1版第1刷 ©

編集 石橋 恭之 ISHIBASHI, Yasuyuki
黒田 良祐 KURODA, Ryosuke
前 達雄 MAE, Tatuo

発行者 宇山閑文
発行所 株式会社金芳堂
〒606-8425 京都市左京区鹿ヶ谷西寺ノ前町34番地
振替 01030-1-15605
電話 075-751-1111(代)
<https://www.kinpodo-pub.co.jp/>

組版 HATA
印刷・製本 シナノ書籍印刷株式会社

落丁・乱丁本は直接小社へお送りください。お取替え致します。

Printed in Japan
ISBN978-4-7653-1841-9

JCOPY

< (社) 出版者著作権管理機構 委託出版物 >

本書の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に、(社) 出版者著作権管理機構 (電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp) の許諾を得てください。

●本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内の利用でも著作権法違反です。