

Keywords【リハビリテーション：rehabilitation、傷害：injury、アスリート：athlete、手術後：post-surgery、  
膝関節：knee joint】

# 前十字靭帯損傷後のスポーツへの復帰： 研究と現場の橋渡しとして

## Return to Sport After an Anterior Cruciate Ligament Tear: Bridging the Gap Between Research and Practice

Roberto Arias,<sup>1</sup> Jerry Monaco,<sup>2</sup> Brad J. Schoenfeld,<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Exercise Science and Recreation, CUNY Lehman College, Bronx, New York

<sup>2</sup> Department of Physical Therapy, Seton Hall University, School of Health and Medical Sciences, Nutley, New Jersey

### 要約

前十字靭帯(ACL)の損傷は、あらゆるレベルのアスリートが経験する可能性のある、最も発生頻度の高い傷害のひとつである。非常に多くの変数がかかわっているため、どのように、そしてなぜ損傷が生じるのかについては多くの論争がある。さらに、できるだけ早く、かつ安全にスポーツに復帰するために取るべき適切な手段についても、様々な提案がある。しかし、傷害からの回復とスポーツへの実際の復帰における大きな問題は、ACL損傷後にアスリートが実行すべきゴールドスタンダードや、一貫した活動指針がないことである。したがって、本稿の目的は、ACL再建術後の競技への復帰に関して、エビデンスに基づく方法を決定するための文献レビューを行ない、復帰のプロセスを導く実践的な助言を提供することである。

### はじめに

下肢の損傷は、バスケットボール、サッカー、テニス、スキーなど、カッティング(切り返し)やピボット(旋回)の動作を伴うスポーツでしばしば起こる(73,92)。最も多く記録されている下肢の傷害は、膝関節急性外傷(前十字靭帯と半月板の損傷)、急性ハムストリングス外傷、鼠径部損傷、アキレス腱損傷などである(6)。これらの傷害の発生には、年齢、性別、バイオメカニクス、経験年数、運動処方、スポーツにかかわる身体的特徴など、複数の要因が関与している(53)。どの程度重い傷害であるかにかかわらず、アスリートは大抵、回復を強く望む。回復すれば、再び競技に参加できるからである(72)。

傷害が発生すると、アスリートは通常、競技レベルでスポーツやワークアウトプログラムに復帰するためには、休養と回復が絶対必要な過程であると考え(62,88)。下肢傷害の重症度によって、完全回復までの期間は数週間～数ヵ月、ときには数年に及ぶこともある(91)。通常のトレーニングが途絶えれば、万全の体調を維持する能力が損なわれる可能性がある。さらに、回復を促進するための選択肢は無数にあり、どの選択がより優れた方法なのかを判断することは難しい。現代医学と手術法の進歩のおかげで、数年前であれば選手生命を絶たれたかもしれない下肢の傷害も、現在では治療が可能になっている。負傷後のスポーツへの復帰(RTS: return to sport)に心理的要因が関与することはよく知られているが、大多数の専門職にとって本来見るべき部分はアスリートの身体能力、すなわち、再受傷することなく、競技レベルでスポーツに復帰できる能力である(5)。

アメリカでは年間10万件以上の前十字靭帯(ACL: anterior cruciate ligament)再建術が行なわれている(22)。ACLは、屈曲および伸展時に脛骨が前方移動しないように制御し、また内旋および外旋時の回旋負荷に耐えて脛骨を安定させる働きがある。ACL損傷は通常、急激な方向転換、ランニング中の急な停止や減速、ジャンプからの誤った着地パターン、膝への直接接触や衝突などによって起こる(69)。ラグビー選手を対象とした研究によると、ACL損傷の57%は、他の選手との接触をきっかけに発生している(66)。最も多く発生する2つの重要なシチュエーションは、オフenseのランニング時とタックルされた場合であり、ボールの保持者がACLを損傷しやすいことが示唆されている(66)。ほとんどの非接触型ACL

損傷は、サイドステップまたはヒールストライクと呼ばれる接地初期で起こる(66)。かかとが最初に接地した場合とそうでない場合を統計的に比較したところ、傷害の有無に有意差があり、ヒールストライクの傷害リスクがより高いことが明らかになった(66)。非接触型のACL損傷では、対照群と比較した場合、競技中の膝関節の屈曲角度の中央値が小さく(膝関節屈曲10°：範囲10~20°)、足関節の背屈角度の中央値が大きかった(足関節背屈10°：範囲-10~10°)(66)。

専門職による取り組みが最も大きく異なるのは、ACL再建術後のアスリートがいつRTSが可能になるのか、その時期とタイミングの理解である(4,38)。さらにエビデンスによると、アスリートが高いモチベーションのあまりRTSを急ぐと、傷害が再発する可能性が大幅に高まることが明らかになっている(68)。傷害の回復とRTSの慣例における大きな問題点は、下肢の損傷後にアスリートが従うべきゴールドスタンダードや一貫性のある活動指針が存在しないことである。したがって、本稿の目的は、ACL再建術後のRTSに関して、エビデンスに基づく方法を決定するための文献レビューを行ない、復帰のプロセスを導くための実践的な助言を提供することである。

## 前十字靭帯の解剖学と機能

人体には、膝関節の骨を安定させるために、4つの主要な靭帯がある。膝の側面にある1対の側副靭帯は、内側が内側側副靭帯、外側が外側側副靭帯である。膝関節の内側にあるもう1対の靭帯は、後十字靭帯(PCL：posterior cruciate ligament)とACLである。「cruciate(十字)」という言葉は「交差する」という意味であり、PCLとACLは膝関節の内側で「X」の形で交差しているため、「十字靭帯」は相応しい名称といえる(30)。

ACLは、脛骨から大腿骨を連結する高密度の帯状の結合組織である。ACLは、複雑な機能的相互作用を有するタンパク質や糖タンパク質、弾性系線維やグリコサミノグリカンのネットワークで構成されている。ACLの微細構造は、数種類のコラーゲン束(主にタイプI)で構成されている。ACLには、小さいほうの前内側線維束と大きいほうの後外側線維束の2つの構成要素があり、両線維束が合流する部位は脛骨プラトと命名されている。前内側線維束は屈曲時に負荷がかかり、後外側線維束は伸展時に負荷がかかる(74)。伸展位では両束は平行だが、屈曲位では後外側束の大腿骨挿入点が前方に滑り、両束は交差し、前内側束が収縮して後外側束は弛緩する。ACLは、脛骨の前方移動に対抗する抑止力の約85%を担っている(20)。ACLはまた、脛骨の内側および外側への過度な回旋、ならびに内反と外反の圧力を制御している(20)。ACLによる伸展と過伸展の調節は、より軽度である。ACLとPCLは、膝の瞬間的な回転中心を調節することにより、関節

の運動特性を制御している。後外側線維束は、特に回旋負荷を受けた際に膝を完全伸展位付近で安定させ、一方、前内側線維束は、脛骨の前方移動に対する主要なブレーキとして機能する(74)。

## 前十字靭帯の損傷

ACLの最もよく起こる傷害は捻挫で、1度から3度に分類される。1度の捻挫では、靭帯の損傷は軽度で、膝関節はまだ安定しているため、保存療法で治療可能である(82)。2度の捻挫には靭帯の過度な伸長が含まれ、靭帯が不安定になり、部分断裂と診断される。2度の捻挫は、保存療法が理想的ではあるが、手術が必要な場合もある(82)。3度の捻挫は、靭帯が2つに分裂し、完全断裂と分類される。この場合、膝関節が著しく不安定になるため、多くは修復手術が必要である(82)。

ACL損傷は、男性よりも女性に発生しやすい(61,82)。男性と比べると、女性のACL損傷の発生率は、バスケットボールで3.5倍、サッカーで2.8倍に上る(1)。この現象は、身体コンディショニング、筋力、神経筋コントロール、骨盤と下肢のアライメント、靭帯の特性に対するエストロゲンの影響などの男女差に起因するとされる(61)。構造的にインスリンやインスリン様成長因子に類似しているホルモンであるリラキシンは(23)、ACL損傷にも関与していると考えられる。リラキシンは、複数のシグナル伝達経路を通じて様々な組織で受容体に結合することにより、筋骨格系やその他の組織を制御している(23)。リラキシンはコラゲナーゼという酵素を活性化し、軟骨や腱の性質を変化させる(23)。リラキシンはまた、骨の再形成および骨格筋や靭帯の損傷から回復を助ける(23)。ヒトの女性のACLにはエストロゲンとリラキシンの受容体がある(31)。ヒトのACLの力学特性に関する研究によると、リラキシン濃度の高いACLは、靭帯の完全性が低く、損傷を受けやすいとされる(26,85)。この結果は動物モデルでも確認されており、リラキシン投与を受けたウサギは、対照群に比べ、ACLの機能がかなり低下していた(23)。リラキシンを投与した動物では、X線検査による脛骨の前方変位も顕著であり、ACLが過度に弛緩していることを示していた(25)。

ACLの損傷と月経周期には、おそらく関連性があると思われる。研究によると、ACL損傷は黄体期よりも排卵期(月経中期)に多く発生することが示されているが、これはおそらく、この期間はエストロゲンとリラキシンの濃度が高く、エストロゲンとリラキシン受容体の活性化が促進されるためと推測される(36,65,80)。リラキシンはコラーゲン分解系を刺激し、コラゲナーゼの合成を促進し、最終的には細胞外基質の組成に損傷を与える(90)。プロの女子アスリートを対象とした前向き研究では、血清リラキシン濃度が高い選手は低い選手よ

りもACL損傷の可能性が高いことが報告されている(26)。すなわち、リラキシン濃度が1mL当たり6.0ピコグラム以上の選手は、ACLを損傷する可能性が4倍以上高かった(26)。

## 手術前の段階

診察では通常、ACLの完全性を評価するための検査が行なわれる。ACL損傷は、膝の靭帯損傷の中で最も多い傷害のひとつであり、病態の早期診断は、最善の治療方針を決定する上できわめて重要である(67)。Lachmanテストは、ACLの状態を判断するための最も直接的で決定的な方法である。このテストは、患者に疼痛や浮腫、防御的筋萎縮が生じる前に行なうのが理想的である(67)。Lachmanテストでは、患者を仰臥位にし、膝を20~30°屈曲させ、脛骨をわずかに外旋させる。次に検者は、一方の手で大腿骨遠位部を安定させながら、もう一方の手で脛骨近位部を握り、大腿骨を安定させたまま脛骨を前方に亜脱臼させる方向に力を加える(44)。陽性の場合、脛骨近位部の前方移動が損傷していない場合よりも過大であり、エンドポイント(骨の動きが靭帯で停止する感覚)が明確ではない。

ACL損傷は画像診断なしでも診断できるが、さらに確認の目的で、X線撮影や磁気共鳴画像(MRI)などの検査が行なわれる可能性がある(12)。ACL損傷を診断するには、詳細な病歴と身体検査が必要であり、医師が問題を見極めるレベルを上げることができる。X線写真は、膝の関連損傷を除外するためにきわめて重要であるが、MRIは、感度や特異度および精度(それぞれ95.45、91.67、94.87%)が優れているため、ACLの損傷を診断する際のゴールドスタンダードである(47,94)。骨折の可能性を完全に排除するためにX線写真を撮影した上で、MRIを用いて靭帯、腱、骨、軟骨のより詳細な画像を入力することにより、さらに適切な手術計画を立てることができる。

アメリカでは、ACL損傷の約65%が再建術により治療されている(49)。受傷後は、正式な診断や回復のための計画など、最善の治療を受けるために、医療専門職の診察を受けることが必要不可欠である(33)。ACLの完全断裂は手術なしでは治らないが、活動レベルが低い患者や高齢の患者では、非外科的治療も選択肢となる。非外科的治療には、膝の安定性を高めるための装具の使用や、膝の機能と筋力を回復させるための理学療法などがある(39)。膝の装具を正しい位置に装着することで、装具を装着しない場合に比べ、ACLの捻挫を最低限に抑えることができることを示すエビデンスがある。しかし、装具を正しく装着しないと、ACLの捻挫のリスクを高められる(39)。バイオメカニクス研究および臨床研究によると、現在の機能的装具による解決策では、ACLが損傷した膝のバイオメカニクスを正常かつ十分に回復させることは

できないし、また、回復したACLを保護することも、患者の長期的な転帰を向上させることもできない(81)。

ACL損傷後に、一部のアスリートは驚くべき動的安定性を示すことがあり、ACL再建術を受けずにリハビリテーションだけでRTSが可能となるような症例は「copers」とみなされる(84)。一方、「non-copers」とは、リハビリテーションを行なったにもかかわらず不安定性が持続し、外科的に安定性を確保することが必要な症例である(84)。ACL損傷の急性期に装具を用いた非外科的治療を行なうことは、臨床的に有効な結果を得るために有用かつ現実的であると思われる(71)。

手術前と手術後を含め、ACL損傷のすべての段階で基準を設定することが重要である。手術前の基準としては、膝を完全に伸展でき、滲出液が全くないかほぼない状態で、ストレートレッグレイズで膝を能動的に完全伸展できる患者は、できない患者に比べて成功率が高い傾向がある(21)。もうひとつの指標は、大腿四頭筋の著しい筋力低下であり、これは等尺性または等速性ダイナモメータの検査で確認できる(52)。このような理由から、手術の成功の可能性を高めるために、患者に手術前の治療が処方されることもある。このことは、患側と非患側の筋力差(大腿四頭筋指数)が大きい場合は特に重要であり、術前リハビリテーションによって筋力を強化することができる(28)。

患者の手術後の転帰向上のために、術前リハビリテーションが推奨される。術前リハビリテーションでは、腫脹の軽減と膝関節の受動的完全伸展、および大腿四頭筋の筋力向上を優先すべきであるが、これらは術後の転帰不良に関連するからである(87)。膝の完全伸展は十分に回復しないことが多い。完全伸展を達成するためには、患者は筋群を十分に活性化できなければならない。これは長期的な影響を及ぼす可能性があり、患者は漸進的回復に苦勞すると思われ、例えば、ストライドパターンや大腿四頭筋の筋力、全身の機能にも影響を及ぼすおそれがある。手術を受けた膝は、リハビリテーション後には、手術をしない膝の大腿四頭筋とハムストリングスの筋力の少なくとも90%を維持する必要があるが、さらに高い回復率を示唆するエビデンスもある(14)。左右の筋力のアンバランスを縮小することにより、手術後にACLを損傷する可能性はかなり低下する(70)。ストレングストレーニングは段階的に実施するべきで、現場の専門職は、スポーツの身体的要求がどの程度かを考慮して、選択したスポーツの身体的要求を満たすために、選手の準備が十分に整っていることを確認しなければならない(70)。

## 外科的治療

一般的な手術法は、関節鏡を用いたACLの修復である。この方法は回復が早く痛みも少ないため、長期間入院する可能

性は低い。断裂したACLを再び繋ぐことはできないため、切除して再建する必要がある。中膝動脈は十字靭帯への主要な血液供給源である。外側および内側下膝動脈は、両十字靭帯の遠位部に血液を供給している。靭帯周囲の血管網は中膝動脈と下膝動脈の末端枝によって形成され、滑膜のひだで囲まれている(86)。血管は滑膜鞘から靭帯を水平に貫通し、縦方向に配向している靭帯内の血管網と繋がっている。靭帯内の血管密度は均一ではない。ACL前部の線維軟骨内には血管のない領域があり、そこでは靭帯が顆間窩前部に接している。線維軟骨の存在と血管分布の乏しさは、圧縮圧力を受ける位置で滑走する腱でも明らかである。これらの複合的要因が、ACLの治癒能力が低い原因となっていることは間違いない(32)。

移植片を用いることで、新たな靭帯の成長が促進される。移植片の入手元はいくつかある(78)。多くの場合、外科医は患者自身の膝蓋腱、ハムストリングスの腱、または大腿四頭筋腱から採取した自家移植片を使用する。他の方法としては、同種移植片、すなわちヒトの解剖用死体から採取した腱を用いて手術を行なうこともある。ある移植片が他の移植片より特に優れているということはないが、それぞれに長所と短所があるため、整形外科医と相談し、どの移植片が患者にとって理想的かを判断すべきである(54)。同種移植片ではなく自家移植片を選択する際の主な配慮として、移植片による患部の回復時間は短くなるかもしれないが、患者は、ACLの手術からの回復だけでなく、腱の採取からも回復する必要があることである。一方、同種移植片が死体から採取されることを考慮すると、遺伝的に完全に同一とはいえない。これにより、患者の身体が拒絶反応を起こす可能性がある。

整形外科医が患者について考慮する要因としては、年齢、活動レベル、組織の質や厚さがあり、さらに外科医の好む術式もある(58)。患者が比較的若い場合、免疫系が強力であるために、傾向として、同種移植片に対する拒絶反応の可能性が高いと考えられる(93)。そのため活動的な患者や競技スポーツに参加する患者に対しては、自家移植がより優れた選択肢となることが多い(63)。移植片の質と厚さは、患者の解剖学的構造を可能なかぎり再現する必要がある。したがって、移植片は厚すぎても薄すぎても不適切である。若年者に同種移植片を使用すると、移植片破断のリスクが著しく増加する。さらに、ACLの同種移植片を用いた患者では、手術後の活動レベルがより活発な患者ほど手術の失敗率が高くなった(10,48)。

最もよく用いられる自家移植片は、膝蓋腱とハムストリングスの腱である(24)。どちらの自己移植も軽度の合併症を伴うが、どちらも患者の転帰は良好で、術後の等速性筋力も同程度に優れている(57)。より成功しやすいと考える移植片に関して、外科医の個人的な好みがあるかもしれないが、理想

的には、回復を成功させるための最良の手術法を推奨するために、上記のすべての要素を考慮すべきである(58)。

ACLには、大腿骨と脛骨を繋ぐ2本の主要な束があり、前内側束(AM束：anteromedial bundle)と後外側束(PL束：posterolateral bundle)と呼ばれている。従来、外科医は、移植片を前内側束のみに移植する一重束再建術を行なうことが一般的であった(3,15)。一重束再建術では、大腿骨と脛骨に骨トンネルを作り、そこで固定具(通常はスクリュー)を使って移植片を固定する。現在では、二重束再建術がより広く用いられている。この手術では、小さな移植片を2つ使い、両方の束をそれぞれ再建して移植するが(3,15)、2つの骨トンネルを作るため、さらに切開する必要がある。二重束再建術は、通常、時間もより長くかかるが、再建された靭帯がより正常に機能する傾向があるため、一重束再建術よりも利点があることが示されている。二重束再建術は新しい術式であるため、その長期的な有効性や、本当に利点があるのかについては、今後さらに研究が必要である(3,15)。

#### 術後段階

ACL手術が成功した後、回復段階ごとに満たすべき一連の臨床的基準がある。各段階の完了には予想される時間枠があるが、重要なのは時間よりもむしろ、次の段階に進む前に、基準を適切に実行し達成できるかである(2)。個人の進歩にかかわらず、理学療法士からストレングス&コンディショニング(S&C)の専門職に対応を移すことは、単なる機能的目標に留まらず、アスリートの継続的な進歩を促し、選択したスポーツの要求に備えさせるために有益である。

#### 急性期

手術直後の回復期の主な目標は、能動的、受動的な膝関節可動域の0~90°までの膝関節屈曲可動域回復、大腿四頭筋の再活性化、術後浮腫の軽減、および膝蓋骨の可動化である(33)。術後の介入として通常行なわれるのは、膝関節固定具を使用して、膝関節の可動域を伸展0°から屈曲90°に制限して膝関節の保護を図ること、膝関節の完全伸展を強化すること、および大腿四頭筋の活性化を促すことである(60)。しかし、最近のエビデンスによると、4年後の追跡調査では、ACL置換術後に安定化装具を用いた術後療法は、固定装具を用いない術後療法や転帰に比べて利点はないことが示されている(60)。

また、通常、術後には膝関節の完全伸展可動域が3~5°低下するが、これは将来の競技の成功に悪影響を及ぼす可能性があるため(59)、急性期に膝関節の完全伸展まで可動域を改善することが必須である。これは、術後に膝を完全に伸展させるために、伏臥位で負荷をかけて膝をストレッチすること

で改善できる(55)。さらに、大腿四頭筋の継続的な筋力向上は神経筋電気刺激によって補強できるが、この方法は、大腿四頭筋の強化に役立つ運動ニューロンの動員を助けることが示されている(51)。治療対策には、ウォールスライド、痛みを伴わないステップアップ、椅子立ち上がり(sit-to-stand)などの自重エクササイズが含まれる(64)。

この段階の後半では、バランスと固有感覚のエクササイズを導入できる。これらの介入は悪影響を及ぼさないことが明らかになっているからである(18)。この段階の終了時点の基準となる目標は、正常な歩行パターン、膝関節の完全可動域の確保、大腿四頭筋の筋力回復などである(33)。さらに、膝関節屈曲可動域が正常範囲内であること、松葉杖を使わず歩行できること、膝関節の伸展に遅れがなくストレートレッグレイズを完遂できること、階段昇降や自転車漕ぎを違和感なく行なえることが必要である(2)。

### 亜急性期

次の段階では、動的ストレッチングと動的姿勢制御、および筋パフォーマンスの向上と関節可動域の拡大を目的としたストレングスエクササイズを行なう(43)。具体的なエクササイズの例としては、ダイナミックシングルレッグバランス、スクワット、シングルレッグスクワット、多方向ランジ、デッドリフトなどのクローズドキネティックチェーンエクササイズがある(2)。低負荷血流制限(LL-BFR:Light-load blood flow restriction)トレーニングは、これらの方法の有効な補助手段であり、高負荷トレーニングに比べ、膝の関節痛や滲出液を減少させながら、筋力と筋肥大を促進できる(42)。この方法では、患肢の最も近位部に空気圧カフを装着し、遠位関節に軽い負荷(通常は約20~30%1RM)を用いて、動的なレジスタンスエクササイズを行なう(42)。しかし、LL-BFRを同程度の努力強度で実施した場合に、血流制限なしで実施する従来の低負荷のレジスタンスエクササイズよりもさらに有益な効果をもたらすかはまだ明らかではない。LL-BFRに特有のメカニズムがACLのリハビリテーションの過程に役立つかについては、さらなる研究が必要である。

ほとんどのスポーツが通常ランニングを含むため、この段階では、ランニングへの復帰プロトコルを実施することができる。したがって、すべての患者に対し、片側の筋力を向上させるために、ランニングの漸進トレーニングを用いることを奨励すべきである(2)。標準的なランニングの漸進プログラムでは、ウォーキングとランニングを交互に2マイル(3.2km)行なうことから始め(14)、時間とともに、距離やペースを上げるだけでなく、ウォーキングに対するランニングの比率を増やしていく必要がある。Rambaudら(75)によるスコーピングレビューによると、1981~2016年までの研究のうち、臨床

的、筋力的、またはパフォーマンスに基づくランニングの復帰基準を記録した研究の割合は5件に1件以下であり、その中で最も多く報告された基準はタイムであった。したがって、ACL再建後のランニングプロトコルの開始には、パフォーマンスに基づく基準とタイムに基づく基準の両方を用いることが賢明である(75)。

患者の回復が進むにつれて、通常、両側の対称性を改善するために、筋力および神経筋のエクササイズを含む術後リハビリテーションプログラムが処方される。自宅でのエクササイズプログラムの遵守率が低い傾向にあることを考慮すると、スポーツ選手は、競技者としての活動を継続中は、監督者が指導する二次傷害予防プログラムに週2回以上参加することが推奨される(13)。

亜急性期の終わりに、患者は「膝関節アウトカム調査-日常生活活動尺度(KOS-ADL:Knee Outcome Survey-Activities of Daily Living)」に記入する必要がある(17)。この自己記入式の質問票では、日常生活や競技中の身体的障害の割合が示され、得点比率(%)が低いほど障害の程度が大きいことを意味する(17)。次の段階や基準目標に進むためには、患者のスコアが65%以上あることが推奨される(16,64)。KOS-ADLと膝機能の国際評価スコア(GRS:global rating score of knee function)は、どちらもRTSの基準として定評があるため(56)、GRSの利用も推奨される。

### 機能回復段階

この時点で、スポーツへの復帰を希望しない患者のほとんどは退院し、外科医や臨床医による定期的な経過観察の対象となる。しかし、この段階は、競技への復帰を目指すアスリートにとっては、競技能力を回復するために非常に重要である。最終的に、どのレベルの競技に参加したいかを決めるのは患者である(27)。高いレベルの競技への復帰を望む場合は、適切な予防措置を講じなければ再受傷する可能性があることを認識し、リハビリテーションのガイドラインに継続して従う必要がある。ACL再建術を受けた患者に対しては、術後にレベルI(ジャンプ、カット、ピボット)の競技に参加することにより、膝の再受傷のリスクが2年間で4倍以上になることを忠告すべきである(38)。しかし、レベルIのスポーツへの復帰がより遅ければ、また復帰前の大腿四頭筋の左右筋力がより対称的であれば、再受傷の割合は大幅に減少する(74)。

### スポーツとプレーへの復帰

この段階の終盤に向けて、動的安定性の機能的評価を実施することが推奨される(8,33)。RTSに必要な重要要素をすべて網羅した唯一の評価法は確立されていない。しかし、よく知られているテストには、シングルレッグホップ(距離)、ク

ロスオーバーホップ(距離)、トリプルホップ(距離)、6mタイムホップなどがある(2,34)。また、競技スポーツへの復帰前に、患者が、方向転換、加速、減速などを用いたスキルを練習することも有益である(76)。患者がこれらのより高度な活動を単独で行なえるように、専門職は適切なテクニックを実演し監督する必要がある。再受傷のリスクを避けるためには、動作の質が重要である。

リハビリテーションを終了したアスリートは、レベルIのスポーツへの復帰を強く望むかもしれないが、焦って時期尚早に復帰してはならない。2年間の前向き研究によると、RTSの基準を満たさなかった選手の38.2%が再受傷したのに対し、基準に合格した選手の再受傷率は5.6%であった(38)。RTSの基準を満たした患者は、膝の再受傷率が84%も低いと推定されている(38)。RTS後の傷害リスクを低減するための適切な目標値としては、大腿四頭筋の等速性および等尺性筋力の左右対称性が90%、ホップテスト(シングル、トリプル、クロスオーバー、6mタイム)が基準の90%、KOS-ADLSのスコアが90%、および術後の滲出液が0であることが挙げられる(13)。

### エクササイズの実施に関する留意点

過去10年間、ACL再建術後のリハビリテーションは、クローズドキネティックチェーン(CKC)エクササイズに重点を置いてきたが、これは等速性オープンキネティックチェーン(OKC)エクササイズに比べ、移植片への負担が少ないと推測されるためである(64)。ACLに病変がある場合にOKCエクササイズを用いると、CKCエクササイズを用いるよりも膝前方の剪断力が大きくなり、ACLにより大きな負荷がかかることが示唆されている(37)。しかし、最近のエビデンスでは、CKCとOKCのいくつかのエクササイズにおいては、ACLにかかる負荷の値にわずかな差しかないことが示されている(64)。Mikkelsenら(64)は、どちらか一方を単独で実施するよりも、両タイプのエクササイズを組み合わせて実施するほうが、実質的な利益があることを明らかにした(CKC+OKC>CKC)。CKCエクササイズの目的は、ACLへの引張ストレスを最小限に抑えながら、大腿四頭筋の筋力と筋パワー、コーディネーションおよび固有感覚を向上させることである(37)。CKCエクササイズは膝蓋大腿関節にとってより安全であると認識されている。そのため、ACLのリハビリテーションでは、前脛骨の変位リスクを増加させない機能的運動の再現がより頻繁に用いられている(37)。

再受傷のリスクを抑えるためには、選手はスクワット、ジャンプの着地、減速、方向転換などの動作を、正しい動作で完遂できなければならない。時間をかけて自信をつけるためには、リハビリテーションの後期に、これらの競技動作に徐々に

に触れる必要がある。競技特異的なスキルを再現するために、アスリートは構造化されたクローズド型の練習動作から開始して、徐々にランダム化されたオープン型の練習動作に移行するべきである(79)。リハビリテーションでは、自信をもって競技に復帰できるように、固有感覚も鍛えなければならない(50)。従来の術後療法を上回る介入を行なうことは、受傷前の活動に戻り、機能的な成果を高めることに役立つ。二次予防のもうひとつの形態として、摂動トレーニングがあるが、この方法が回復に実質的な違いをもたらすことを裏づけるエビデンスは少数しかない(7)。表1は、The University of Delawareの理学療法クリニックが開発したチェックリストで、競技に復帰するために推奨される、漸進的な回復過程を概説している。

### 現場への応用

ACL損傷後のRTSについて、現時点では「ゴールドスタンダード」は存在しないが、患者は通常、6ヵ月を目途にリハビリテーションを終える(7)。ただし、膝関節の機能の改善は手術の2年後まで続く。したがって、このリハビリテーションの段階で、エビデンスに基づく方法に裏づけられた、プレーの基準を満たす介入を実施することが重要である。また、25歳未満のアスリートは、ACLを再び損傷する確率が25%高いことも報告されている(89)。これは、年長のアスリートと比べると、若いアスリートはスポーツへの復帰を試みる際、高い能力を発揮しようと努力する傾向があり、それが傷害リスクを高めることに関係しているのかもしれない(11)。ACLが損傷した膝に対して、「copers」は「non-copers」よりも耐えることができるため、手術を行なうか否かの決定には、患者の目標と厳しいリハビリテーションに耐える能力とに重点を置き、十分な情報に基づいて話し合うことが必要である(45)。高齢で活動量の少ない患者は、早期カウンセリング、装具の装着、活動の調節などを含む非外科的治療を好むことが多い(45)。

エビデンスによると、術前の予測因子として、膝関節の完全伸展と大腿四頭筋の筋力不足が、術後の転帰不良の指標となることが示唆されている(28)。リハビリテーションの効果は、医療提供者による監督だけでなく、患者の意欲によっても左右され、さらに、4ヵ月以上続く長期間のプログラムの効果は、短期間のプログラムの効果と同じであった(38)。CKCとOKCのエクササイズに関しては、どちらか一方を行なうよりも両方行なうことが効果的であることが示されており、術後の第1週から実施すべきである(64)。

RTSの準備状態を判断するために機能的な能力測定を実施する必要があるが、予測妥当性に見合う検査バッテリーはまだ確立されていない(29)。プロスポーツ選手以外では、受傷前

表1 ACL損傷後の競技復帰のために推奨される回復過程のチェックリスト

理学療法クリニックによる競技への復帰(9~12ヵ月、同種移植片では12ヵ月以上) The University of Delaware—Tara Manal、理学療法学科

競技復帰までの漸進:

- 非接触での練習
- 接触を含むミニゲーム(1対1、2対2、3対3)
- 完全練習
- 運動負荷を制限して競技に復帰
- 制限を設けずに競技に復帰
- \*すべての段階で不安、痛み、不安定性、滲出液、代償運動がないこと

ACLの二次的損傷の予防プログラム:

- トレーニングを週2回行なう
- 大腿四頭筋の筋力を維持し、プレシーズンおよびポストシーズンにニーエクステンション1RMテストで定期的に筋力を評価する
- 膝の傷害予防の臨床診療ガイドラインとビデオ事例を参照する
- 下肢損傷リスクの低減策として、コペンハーゲンブランクとノルディックハムストリングカールを長期間実施することを検討する
- \*機能的ACL装具を用いる場合は、1年後に使用を中止してよい

さらなる留意事項:

- 競技特異的なトレーニングや練習の進行に伴い、滲出液や疼痛、また不安があってはならない
- 負傷前のコンディショニングレベルまで戻す
- ジャンプおよび着地に伴う膝関節の動的な外反は最小限とする
- ハムストリングス対大腿四頭筋の筋力比に注意する
- バーティカルホップの対称性を評価する

著者らの書面による同意を得て転載

ACL=前十字靭帯

のレベルでプレーに復帰する割合は65%である(35)。また、再受傷に対する心理的な不安は、リハビリテーションの過程やRTSの可能性にも影響を及ぼす(41)。患肢の対側肢のACL損傷リスクは、移植片の再損傷よりも10%高い(77)。最後に、神経筋機能とバイオメカニクスの変化は、対側肢の靭帯損傷と移植片の再損傷の危険因子となりうる(83)。

ACLの二次損傷リスクは、適切な治療が施されることで著しく減少する。ACLの二次損傷は、ACL再建術を受けた患者の約20~35%で起こる(9,19)。また、リハビリテーションを9ヵ月に延長しRTSを延期すると、再受傷率が51%減少した(33)。競技復帰前的大腿四頭筋の筋力不足は、膝の再負傷の主要な予測因子であることが明らかになっており、大腿四頭筋の筋力が1%向上するごとに、再受傷の割合は3%減少する(33)。

別のACL損傷リスクは、股関節および体幹と膝関節の代償動作に対処する神経筋トレーニングによっても軽減される(40,87)。神経筋エクササイズには、ダイナミックシングルレッグバランスや動揺、およびプライオメトリックスなどがある。手術した膝と手術していない膝の筋力差を縮小するためには、標準的なプログラムのほうが効果的であったが、両膝の筋持久力の差を縮小するには、神経筋コントロールエクササイズがより効果的であることが明らかとなっている(50)。ACLの手術後には、膝の固有感覚を改善するための神経筋コ

ントロール活動を行なうべきである(50)。

おわりに

本稿の目的は、ACL再建術後のRTSに関する研究レビューを行ない、エビデンスに基づく方法を決定することであった。過去の研究を精査した結果、リハビリテーションの利点として、患者が手術後の外傷に備えることにも役立つことも示された。また、術後の回復を成功させるには、綿密に計画されたリハビリテーション過程と、外科医とリハビリテーションチームとのコミュニケーションがきわめて重要である。

臨床医にとって、時間重視のリハビリテーションよりも目標重視のリハビリテーションに焦点を合わせるべきであるという、意思決定における転換が起きている。患者は、リハビリテーションにおいて時間はひとつの要素であり、RTSを目指すよりも、まずテストバッテリーの完了を優先すべきであると認識する必要がある。研究によると、テストを実施することにより、あやふやな推測によるRTSのリスクを取り除き、再受傷率を84%低下させることが示されている(38,46)。また、ACLの再受傷のリスクを確認できる、決定的なエビデンスに基づいた、より統一されたRTSのテストバッテリーも必要である。しかし、専門家の間では、なんらかの基準に基づくテスト方法を用いることは有益であり、アスリートのリハビリテーションに取り入れるべきであるとの合意がある。し

たがって、RTSを段階的に進めるための詳細な計画を策定する必要がある。

再受傷の可能性を最小限に抑えることに関しては、動作やトレーニングの神経筋への、またバイメカニクスの影響を十分に考慮すべきである。心理的な準備については既に広範囲に研究が行なわれており、RTSの成功に直結することが証明されている。アスリートは肉体的にも精神的にも十分準備が整っていなければならない、RTSを躊躇したり、予防措置を講じたりしてはならない。治療全体を通して、RTSの万全な準備に取り組むべきである。◆

## REFERENCES

1. The female ACL: Why is it more prone to injury? *J Orthop* 13: A1-A4, 2016.
2. Adams D, Logerstedt DS, Hunter-Giordano A, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Current concepts for anterior cruciate ligament reconstruction: A criterion-based rehabilitation progression. *J Orthop Sports Phys Ther* 42: 601-614, 2012.
3. Anandan V, Goh TC, Zamri KS. Single-bundle versus double-bundle arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: Comparison of long-term functional outcomes. *Cureus* 12: e12243, 2020.
4. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: Two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery. *Am J Sports Med* 39: 538-543, 2011.
5. Ardern CL. Anterior cruciate ligament reconstruction-not exactly a one-way ticket back to the preinjury level: A review of contextual factors affecting return to sport after surgery. *Sports Health* 7: 224-230, 2015.
6. Ardern CL, Glasgow P, Schneiders A, et al. 2016 consensus statement on return to sport from the first world congress in sports physical therapy, bern. *Br J Sports Med* 50: 853-864, 2016.
7. Arundale AJH, Cummer K, Capin JJ, Zarzycki R, Snyder-Mackler L. Report of the clinical and functional primary outcomes in men of the ACL- SPORTS trial: Similar outcomes in men receiving secondary prevention with and without perturbation training 1 and 2 years after ACL reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 475: 2523-2534, 2017.
8. Barber SD, Noyes FR, Mangine R, DeMaio M. Rehabilitation after ACL reconstruction: Function testing. *Orthopedics* 15: 969-974, 1992.
9. Barber-Westin S, Noyes FR. One in 5 athletes sustain reinjury upon return to high-risk sports after ACL reconstruction: A systematic review in 1239 athletes younger than 20 years. *Sports Health* 12: 587-597, 2020.
10. Barrett GR, Lubert K, Replogle WH, Manley JL. Allograft anterior cruciate ligament reconstruction in the young, active patient: Tegner activity level and failure rate. *Arthroscopy* 26: 1593-1601, 2010.
11. Beischer S, Gustavsson L, Senorski EH, et al. Young athletes who return to sport before 9 months after anterior cruciate ligament reconstruction have a rate of new injury 7 times that of those who delay return. *J Orthop Sports Phys Ther* 50: 83-90, 2020.
12. Benjaminse A, Gokeler A, van der Schans CP. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: A meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther* 36: 267-288, 2006.
13. Brinlee AW, Dickenson SB, Hunter-Giordano A, Snyder-Mackler L. ACL reconstruction rehabilitation: Clinical data, biologic healing, and criterion-based milestones to inform a return-to-sport guideline. *Sports Health* 14: 770-779, 2021.
14. Buckthorpe M, Tamisari A, Villa FD. A ten task-based progression in rehabilitation after acl reconstruction: From post-surgery to return to play—a clinical commentary. *Int J Sports Phys Ther* 15: 611-623, 2020.
15. Chen H, Chen B, Tie K, Fu Z, Chen L. Single-bundle versus double-bundle autologous anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis of randomized controlled trials at 5-year minimum follow-up. *J Orthop Surg Res* 13: 50-018, 2018.
16. Christensen JC, Miller CJ, Burns RD, West HS. Effect of physical therapy visits on clinical outcomes following anterior cruciate ligament reconstruction with and without concurrent meniscal repair. *J Sport Rehabil* 28: 24-32, 2019.
17. Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Roos EM. Measures of knee function: International knee documentation committee (IKDC) subjective knee evaluation form, knee injury and osteoarthritis outcome score (KOOS), knee injury and osteoarthritis outcome score physical function short form (KOOS-PS), knee outcome survey activities of daily living scale (KOS-ADL), lysholm knee scoring scale, oxford knee score (OKS), western ontario and McMaster universities osteoarthritis index (WOMAC), activity rating scale (ARS), and tegner activity score (TAS). *Arthritis Care Res (Hoboken)* 63(Suppl 11): S208-S228, 2011.
18. Cooper RL, Taylor NF, Feller JA. A systematic review of the effect of proprioceptive and balance exercises on people with an injured or reconstructed anterior cruciate ligament. *Res Sports Med* 13: 163-178, 2005.
19. Costa GG, Perelli S, Grassi A, Russo A, Zaffagnini S, Monllau JC. Minimizing the risk of graft failure after anterior cruciate ligament reconstruction in athletes. A narrative review of the current evidence. *J Exp Orthop* 9: 26-022, 2022.
20. Dargel J, Gotter M, Mader K, Pennig D, Koebke J, Schmidt-Wiethoff R. Biomechanics of the anterior cruciate ligament and implications for surgical reconstruction. *Strateg Trauma Limb Reconstr* 2: 1-12, 2007.
21. de Jong SN, van Caspel DR, van Haef MJ, Saris DB. Functional assessment and muscle strength before and after reconstruction of chronic anterior cruciate ligament lesions. *Arthroscopy* 23: 21-28, 2007.
22. Dean RS, LaPrade RF. ACL and posterolateral corner injuries. *Curr Rev Musculoskelet Med* 13: 123-132, 2020.
23. Dehghan F, Haerian BS, Muniandy S, Yusuf A, Dragoo JL, Salleh N. The effect of relaxin on the musculoskeletal system. *Scand J Med Sci Sports* 24: e220-e229, 2014.
24. Dhammi IK, Rehan-Ul-Haq, Kumar S. Graft choices for anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian J Orthop* 49: 127-128, 2015.
25. Dragoo JL, Padrez K, Workman R, Lindsey DP. The effect of relaxin on the female anterior cruciate ligament: Analysis of mechanical properties in an animal model. *Knee* 16: 69-72, 2009.
26. Dragoo JL, Castillo TN, Braun HJ, Ridley BA, Kennedy AC, Golish SR. Prospective correlation between serum relaxin concentration and anterior cruciate ligament tears among elite collegiate female athletes. *Am J Sports Med* 39: 2175-2180, 2011.
27. Dunn WR, Spindler KP; MOON Consortium. Predictors of activity level 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR): A multicenter orthopaedic outcomes network (MOON) ACLR cohort study. *Am J Sports Med* 38: 2040-2050, 2010.
28. Eitzen I, Holm I, Risberg MA. Preoperative quadriceps strength is a significant predictor of knee function two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med* 43: 371-376, 2009.
29. Faleide AGH, Magnussen LH, Strand T, et al. The role of psychological readiness in return to sport assessment after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 49: 1236-1243, 2021.



30. Fanelli GC, Fanelli DG. Multiple ligament knee injuries. *J Knee Surg* 31: 399–409, 2018.
31. Faryniarz DA, Bhargava M, Lajam C, Attia ET, Hannafin JA. Quantitation of estrogen receptors and relaxin binding in human anterior cruciate ligament fibroblasts. *In Vitro Cel Dev Biol Anim* 42: 176–181, 2006.
32. Fenwick SA, Hazleman BL, Riley GP. The vasculature and its role in the damaged and healing tendon. *Arthritis Res* 4: 252–260, 2002.
33. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament(ACL)rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 33: 33–47, 2019.
34. Fitzgerald GK, Lephart SM, Hwang JH, Wainner RS. Hop tests as predictors of dynamic knee stability. *J Orthop Sports Phys Ther* 31: 588–597, 2001.
35. Flagg KY, Karavatas SG, Thompson S, Bennett C. Current criteria for return to play after anterior cruciate ligament reconstruction: An evidence-based literature review. *Ann Transl Med* 7: S252, 2019.
36. Garibay-Tupas JL, Okazaki KJ, Tashima LS, Yamamoto S, Bryant-Greenwood GD. Regulation of the human relaxin genes H1 and H2 by steroid hormones. *Mol Cel Endocrinol* 219: 115–125, 2004.
37. Glass R, Waddell J, Hoogenboom B. The effects of open versus closed kinetic chain exercises on patients with ACL deficient or reconstructed knees: A systematic review. *N Am J Sports Phys Ther* 5: 74–84, 2010.
38. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: The Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med* 50: 804–808, 2016.
39. Hacker SP, Schall F, Ignatius A, Dürselen L. The effect of knee brace misalignment on the anterior cruciate ligament: An experimental study. *Prosthet Orthot Int* 43: 309–315, 2019.
40. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Quatman CE. Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: Cut risk with three sharpened and validated tools. *J Orthop Res* 34: 1843–1855, 2016.
41. Hsu CJ, Meierbachtol A, George SZ, Chmielewski TL. Fear of reinjury in athletes. *Sports Health* 9: 162–167, 2017.
42. Humes C, Aguero S, Chahla J, Foad A. Blood flow restriction and its function in post-operative anterior cruciate ligament reconstruction therapy: Expert opinion. *Arch Bone Jt Surg* 8: 570–574, 2020.
43. Iwata M, Yamamoto A, Matsuo S, et al. Dynamic stretching has sustained effects on range of motion and passive stiffness of the hamstring muscles. *J Sports Sci Med* 18: 13–20, 2019.
44. Jackson JL, O' Malley PG, Kroenke K. Evaluation of acute knee pain in primary care. *Ann Intern Med* 139: 575–588, 2003.
45. Jenkins SM, Guzman A, Gardner BB, et al. Rehabilitation after anterior cruciate ligament injury: Review of current literature and recommendations. *Curr Rev Musculoskelet Med* 15: 170–179, 2022.
46. Joreitz R, Lynch A, Popchak A, Irrgang J. Criterion- based rehabilitation program with return to sport testing following acl reconstruction: A case series. *Int J Sports Phys Ther* 15: 1151–1173, 2020.
47. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries. *Clin Sports Med* 36: 1–8, 2017.
48. Kaeding CC, Aros B, Pedroza A, et al. Allograft versus autograft anterior cruciate ligament reconstruction: Predictors of failure from a MOON prospective longitudinal cohort. *Sports Health* 3: 73–81, 2011.
49. Kakavas G, Malliaropoulos N, Bikos G, et al. Periodization in anterior cruciate ligament rehabilitation: A novel framework. *Med Princ Pract* 30: 101–108, 2021.
50. Kaya D, Guney-Deniz H, Sayaca C, Calik M, Doral MN. Effects on lower extremity neuromuscular control exercises on knee proprioception, muscle strength, and functional level in patients with ACL reconstruction. *Biomed Res Int* 2019: 1694695, 2019.
51. Kim KM, Croy T, Hertel J, Saliba S. Effects of neuromuscular electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction on quadriceps strength, function, and patient-oriented outcomes: A systematic review. *J Orthop Sports Phys Ther* 40: 383–391, 2010.
52. Lesnak J, Anderson D, Farmer B, Katsavelis D, Grindstaff TL. Validity of hand-held dynamometry in measuring quadriceps strength and rate of torque development. *Int J Sports Phys Ther* 14: 180–187, 2019.
53. Lin CY, Casey E, Herman DC, Katz N, Tenforde AS. Sex differences in common sports injuries. *PM R* 10: 1073–1082, 2018.
54. Lin KM, Boyle C, Marom N, Marx RG. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rev* 28: 41–48, 2020.
55. Logerstedt D, Sennett BJ. Case series utilizing drop-out casting for the treatment of knee joint extension motion loss following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 37: 404–411, 2007.
56. Logerstedt D, Di Stasi S, Grindem H, et al. Self- reported knee function can identify athletes who fail return-to-activity criteria up to 1 year after anterior cruciate ligament reconstruction: A Delaware-Oslo ACL cohort study. *J Orthop Sports Phys Ther* 44: 914–923, 2014.
57. Macaulay AA, Perfetti DC, Levine WN. Anterior cruciate ligament graft choices. *Sports Health* 4: 63–68, 2012.
58. Manning BT, Bohl DD, Saltzman BM, et al. Factors influencing patient selection of an orthopaedic sports medicine physician. *Orthop J Sports Med* 5: 2325967117724415, 2017.
59. Mauro CS, Irrgang JJ, Williams BA, Harner CD. Loss of extension following anterior cruciate ligament reconstruction: Analysis of incidence and etiology using IKDC criteria. *Arthroscopy* 24:146–153, 2008.
60. Mayr HO, Stüeken P, Münch E, et al. Brace or no- brace after ACL graft? Four-Year results of a prospective clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22: 1156–1162, 2014.
61. McLean SG, Lucey SM, Rohrer S, Brandon C. Knee joint anatomy predicts high-risk in vivo dynamic landing knee biomechanics. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 25: 781–788, 2010.
62. Mendiguchia J, Martinez-Ruiz E, Edouard P, et al. A multifactorial, criteria-based progressive algorithm for hamstring injury treatment. *Med Sci Sports Exerc* 49: 1482–1492, 2017.
63. Merola M, Affatato S. Materials for hip prostheses: A review of wear and loading considerations. *Materials (Basel)* 12: 495, 2019.
64. Mikkelsen C, Werner S, Eriksson E. Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: A prospective matched follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8: 337–342, 2000.
65. Min G, Sherwood OD. Identification of specific relaxin-binding cells in the cervix, mammary glands, nipples, small intestine, and skin of pregnant pigs. *Biol Reprod* 55: 1243–1252, 1996.
66. Montgomery C, Blackburn J, Withers D, Tierney G, Moran C, Simms C. Mechanisms of ACL injury in professional rugby union: A systematic video analysis of 36 cases. *Br J Sports Med* 52: 994– 1001, 2018.
67. Mulligan EP, Harwell JL, Robertson WJ. Reliability and diagnostic accuracy of the Lachman test performed in a prone position. *J Orthop Sports Phys Ther* 41: 749–757, 2011.
68. Nagelli CV, Hewett TE. Should return to sport be delayed until 2 Years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and

functional considerations. *Sports Med* 47: 221-232, 2017.

69. Osternig LR, James CR, Bercades D. Effects of movement speed and joint position on knee flexor torque in healthy and post-surgical subjects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 80: 100-106, 1999.
70. Padua DA, DiStefano LJ, Hewett TE, et al. National athletic trainers' association position statement: Prevention of anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train* 53: 5-19, 2018.
71. Park YG, Ha CW, Park YB, et al. Is it worth to perform initial non-operative treatment for patients with acute ACL injury?: A prospective cohort prognostic study. *Knee Surg Relat Res* 33: 11-021, 2021.
72. Patel NK, Sabharwal S, Hadley C, Blanchard E, Church S. Factors affecting return to sport following hamstrings anterior cruciate ligament reconstruction in non-elite athletes. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 29: 1771-1779, 2019.
73. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of second ACL injuries 2 Years after primary ACL reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med* 42: 1567-1573, 2014.
74. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res* 454: 35-47, 2007.
75. Rambaud AJM, Ardern CL, Thoreux P, Regnaud JP, Edouard P. Criteria for return to running after anterior cruciate ligament reconstruction: A scoping review. *Br J Sports Med* 52: 1437-1444, 2018.
76. Risberg MA, Holm I. The long-term effect of 2 postoperative rehabilitation programs after anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized controlled clinical trial with 2 years of follow-up. *Am J Sports Med* 37: 1958-1966, 2009.
77. Salmon L, Russell V, Musgrove T, Pinczewski L, Refshauge K. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 21: 948-957, 2005.
78. Samuelsen BT, Webster KE, Johnson NR, Hewett TE, Krych AJ. Hamstring autograft versus patellar tendon autograft for ACL reconstruction: Is there a difference in graft failure rate? A meta-analysis of 47,613 patients. *Clin Orthop Relat Res* 475: 2459-2468, 2017.
79. Sanborn RM, Badger GJ, Yen YM, et al; BEAR Trial Team. Psychological readiness to return to sport at 6 Months is higher after bridge-enhanced ACL restoration than autograft ACL reconstruction: Results of a prospective randomized clinical trial. *Orthop J Sports Med* 10: 232596712111070542, 2022.
80. Slaughterbeck JR, Hardy DM. Sex hormones and knee ligament injuries in female athletes. *Am J Med Sci* 322: 196-199, 2001.
81. Smith SD, Laprade RF, Jansson KS, Arøen A, Wijdicks CA. Functional bracing of ACL injuries: Current state and future directions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22: 1131-1141, 2014.
82. Sutton KM, Bullock JM. Anterior cruciate ligament rupture: Differences between males and females. *J Am Acad Orthop Surg* 21: 41-50, 2013.
83. Swärd P, Kostogiannis I, Roos H. Risk factors for a contralateral anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18: 277-291, 2010.
84. Thoma LM, Grindem H, Løgerstedt D, et al. Coper classification early after anterior cruciate ligament rupture changes with progressive neuromuscular and strength training and is associated with 2-year success: The Delaware-oslo ACL cohort study. *Am J Sports Med* 47: 807-814, 2019.
85. Toth AP, Cordasco FA. Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete. *J Gen Specif Med* 4: 25-34, 2001.

86. Toy BJ, Yeasting RA, Morse DE, McCann P. Arterial supply to the human anterior cruciate ligament. *J Athl Train* 30: 149-152, 1995.
87. van Melick N, van Cingel RE, Brooijmans F, et al. Evidence-based clinical practice update: Practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med* 50: 1506-1515, 2016.
88. Weiler R, Monte-Colombo M, Mitchell A, Haddad F. Non-operative management of a complete anterior cruciate ligament injury in an English premier league football player with return to play in less than 8 weeks: Applying common sense in the absence of evidence. *BMJ Case Rep* 2015. doi: 10.1136/bcr-2014-208012.
89. Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med* 44: 1861-1876, 2016.
90. Wojtys EM, Huston LJ, Boynton MD, Spindler KP, Lindenfeld TN. The effect of the menstrual cycle on anterior cruciate ligament injuries in women as determined by hormone levels. *Am J Sports Med* 30: 182-188, 2002.
91. Zaffagnini S, Grassi A, Marcheggiani Muccioli GM, et al. Return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction in professional soccer players. *Knee* 21: 731-735, 2014.
92. Zago M, Esposito F, Bertozzi F, et al. Kinematic effects of repeated turns while running. *Eur J Sport Sci* 19: 1072-1081, 2019.
93. Zein AMN, Ali M, Zenhom Mahmoud A, Omran K. Autogenous hamstring-bone graft preparation for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc Tech* 6: e1253-e1262, 2017.
94. Zhao M, Zhou Y, Chang J, et al. The accuracy of MRI in the diagnosis of anterior cruciate ligament injury. *Ann Transl Med* 8: 1657-1720, 2020.

From Strength and Conditioning Journal  
Volume 45, Number 6, pages 674-682.

#### 著者紹介



**Roberto Arias :**

Lehman High School 教育キャンパスの教師で、24 時間フィットネスのトレーナーとスパルタン SGX のコーチを務める。



**Jerry Monaco :**

Seton Hall University の理学療法の講師で、整形外科理学療法の認定臨床スペシャリストである。



**Brad J. Schoenfeld :**

ニューヨーク市ブロンクスの Lehman College ヒューマンパフォーマンス & フィットネス学科の運動科学担当教授で、大学院プログラムのディレクターを務める。