

2. 動作解析からACL再損傷を予防する

Prevention for ACL re-injury from a view point of motion analysis

浅枝 諒*1, 出家正隆*2, 中前敦雄*3, 安達伸生*3

●はじめに

前十字靭帯（ACL）再建術後の再損傷リスクは多岐に渡るが、動作解析の結果からエビデンスを持ったACL再損傷リスクの判明には至っていないのが現状である。単一施設で十分なサンプルサイズが得られないこともその要因ではあるが、技術的な側面として動作解析にACL再建術の現状と課題、その有用性と限界を反映していないことも考慮する必要がある。本稿ではACL再建術後の最新の知見と自験例から、「再損傷を予防する」適切な動作解析を検討する。

●ACL再損傷リスクと動作解析

ACL再建術後の動作解析に関して、ランニング¹⁾やジャンプ着地課題^{2,3)}においては、再建術後では膝関節屈曲角度と膝関節伸展モーメントが反対側や対照群よりも小さくなることが明らかとなっている。また片脚ジャンプの距離に関係なく再建膝モーメントが減少するため⁴⁾、ACL再建術後は質的要素である運動学、運動力学が正常膝から逸脱していると考えることが一般的である。我々は術後成績で広く用いられている等速性膝関節周囲筋力と動作解析結果との関係性を調査し、ランニング時最大膝伸展モーメントは男性、女性ともに大腿四頭筋筋力と有意な相関関係があることを報告した⁵⁾（術後6か月、12か月時）。ジャンプ着地においても同様に、大腿四頭筋の筋力によっ

て運動様式が異なることが報告されており、片脚ドロップジャンプにおいて大腿四頭筋左右差が85%未満の患者は屈曲角度と伸展モーメントが小さくなり、さらに回帰分析においてシメトリな大腿四頭筋筋力は屈伸変化量とモーメントを予測するとされるため⁶⁾、矢状面上の運動制御には膝関節周囲筋の筋力増強が必要であることが明らかである。また同側のACL再損傷リスクを導いた研究として、Paternoらは46名のACL再建術後患者に両側ドロップジャンプを実施させ、その12か月後にフォローアップを行い、前額面上（2次元）での膝関節外反角度が増大すると再損傷の危険率が約3.5倍になると報告している（オッズ比：3.5, 95%信頼区間：1.3–9.9）⁷⁾。この研究から再損傷を予防するためには再建術後においても初回損傷と同様に膝関節外反を減弱させる必要があると再確認できる。

●ジャンプ着地における外反角度は予測できるか

動作解析を臨床に応用するために、特定のキネマティクスが臨床所見から予測できるかを検討することは重要である。23名の女子サッカー選手を対象にした片脚ジャンプ動作（着地、カッティング、ダッシュ）において、前額面上の股関節可動域（23.4°、初期接地から最大膝屈曲まで）と股関節外旋筋力（0.41Nm/kg）に有意な相関関係を認め⁷⁾。また女性サッカー選手279名を対象とし両脚ドロップジャンプの膝外反角度と解剖学的因子の関係性を検討した研究では、対象者の身長と静的膝外反角度が膝外反の予測因子として抽出された⁸⁾。以上のように股関節周囲筋力やアライメント

*1 和歌山県立医科大学附属病院リハビリテーション部門

*2 愛知医科大学整形外科講座

*3 広島大学大学院医系科学研究科整形外科

表1

	Spearman's rank correlation values (ρ)	P value
Age	0.29	0.19
Gender	-0.46	0.03
Body height	0.60	<0.01
Body weight	-0.08	0.69
Body mass index	-0.45	0.04
FTA	0.61	<0.01
Side-to-side difference in ATT	-0.11	0.65
Maximal torque of knee extension	0.13	0.55
Maximal torque of knee flexion	0.25	0.24

等で膝外反運動を予測する可能性はあるが、ACL再建術後で着地時膝外反角度を予測できるかは明らかではない。

我々はACL再建術後患者を対象に片側ジャンプ着地動作を実施させ、臨床で一般的に評価されているレントゲン画像、膝周囲筋筋力、脛骨前方移動量との関係を明らかにし、さらに多変量解析を行い着地時膝外反運動を予測する因子を抽出した。その結果、外反角度と相関関係を認めた要素は、性別、身長、BMI、大腿脛骨角 (femorotibial angle ; FTA) であり、また膝関節周囲筋力、脛骨前方移動量とは有意な相関関係を認めなかった (表1)。また多変量解析の結果、膝外反角度を予測する因子として対象者の身長とFTAが抽出された。以上の結果からACL再建術後の着地時外反角度の予測には解剖学的因子が重要であると示唆された。

●再損傷を予防するための動作解析方法

ACL再損傷を予防する動作解析は、再損傷と関係のある膝外反運動に着目する必要があること、膝外反運動は膝関節周囲筋力では予測できず、下肢アライメントが予測因子であることが明らかとなった。下肢アライメントがジャンプ着地時運動に影響する報告として、Nguyenら⁹⁾は大腿骨前捻が強い股関節内旋+膝関節外反群、および脛骨捻転が大きい膝関節外旋+膝外反群は、ニュートラルなアライメントをもつものよりも着地時外反角度が大きいと述べている。このことから前額面上だけでなく大腿骨—脛骨間の回旋運動を含めた三次元的なアライメントを評価する必要性があるとわかる。現在までにACL再損傷予防に効果的である術後リハビリテーションや介入方法は明らか

ではなく、その要因の一つとして冒頭に述べたようにACL再建術の現状と課題を踏まえた動作解析の報告がないことが考えられる。ACL再損傷を予防するための動作解析で最も重要な点は、再損傷リスクの1つに膝外反運動や膝回旋運動 (回旋運動に関しては十分なデータが不足しているが) を加えられるほどのエビデンスを導くことである。さらに膝外反・回旋運動を構成するアライメントや股関節や足関節を含めた多関節運動をターゲットとする介入研究まで繋げることがACL再損傷を予防するための動作解析の理想的な形であると考えられる。

文 献

- 1) Pairet-de-Fontenay B, Willy RW, Elias ARC, et al. Running Biomechanics in Individuals with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Sports Med.* 2019; 49(9): 1411-1424.
- 2) Johnston PT, McClelland JA, Webster KE. Lower Limb Biomechanics During Single-Leg Landings Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2018; 48(9): 2103-2126.
- 3) Lepley AS, Kuenze CM. Hip and Knee Kinematics and Kinetics During Landing Tasks After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Athl Train.* 2018; 53(2): 144-159.
- 4) Wren TAL, Mueske NM, Brophy CH, et al. Hop Distance Symmetry Does Not Indicate Normal Landing Biomechanics in Adolescent Athletes With Recent Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2018; 48(8):

2. 動作解析から ACL 再損傷を予防する

- 622-629.
- 5) Asaeda M, Deie M, Kono Y, et al. The relationship between knee muscle strength and knee biomechanics during running at 6 and 12 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol.* 2018; 16: 14-18.
 - 6) Ithurburn MP, Paterno MV, Ford KR, et al. Young athletes with quadriceps femoris strength asymmetry at return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction demonstrate asymmetric single-leg drop-landing mechanics. *Am J Sports Med.* 2015; 43(11): 2727-2737.
 - 7) Malloy PJ, Morgan AM, Meinerz CM, et al. Hip external rotator strength is associated with better dynamic control of the lower extremity during landing tasks. *J Strength Cond Res.* 2016; 30(1): 282-291.
 - 8) Nilstad A, Krosshaug T, Mok KM, et al. Association between anatomical characteristics, knee laxity, muscle strength, and peak knee valgus during vertical drop-jump landings. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2015; 45(12): 998-1005.
 - 9) Nguyen AD, Shultz SJ, Schmitz RJ. Landing biomechanics in participants with different static lower extremity alignment profiles. *J Athl Train.* 2015; 50(5): 498-507.