

3. ACL再損傷ハイリスク患者に対する 前外側構成体補強術併用の試み

中川裕介*^{1,2}, 植木博子*¹, 片倉麻衣*¹
片桐洋樹*^{1,2}, 大原敏之*², 古賀英之*^{1,2}

●はじめに

ACL再建術後の再損傷に対するアプローチは様々であるが、膝関節外科医の立場からは、最適な手術を行うことと考える。最適なACL再建術の定義は様々であるが、膝関節の安定性を得ることが重要であることは異論の余地がないであろう。ACL損傷、再建術後の膝関節の安定性はLachman手技やKT-1000などにより評価される前方安定性と、Pivot shift test, N testで評価される前外側安定性の二つがある。前外側安定性の再獲得は前方安定性よりも機能的、自覚的評価およびOAの進行に相関するという報告がある¹⁾。我々は前外側安定性の確実な制動がACL再建術の成績の向上、再損傷リスクの軽減に寄与すると考えている。そのために前外側安定性を定量的に評価可能な3軸加速度計KiRA (Kinematic Rapid Assessment; Orthokey)を術中に用いて、ACL再建術における前外側安定性を得ることのできるgraftにかかる初期張力の検討や²⁾、ACL再建術に合併した半月板縫合が前外側安定性に与える影響について検討し³⁾、ACL再建後の前外側不安定性を残存させないことを目指している。近年前外側安定性に対するsecondary restraintとして前外側構成体 (anterolateral structure; ALS)が注目されているが、ALS補強術の是非や適応は、諸家の報告で異なる。本稿ではALS補強術の我々の適応、その手術手技、術中計測による前外側安定

性制動効果の検討及び臨床成績について述べる。

なお2013年にClaesらが膝の前外側には前外側靭帯 (anterolateral ligament; ALL) という新たな靭帯が存在すると報告した⁴⁾。その後フランスの多施設研究であるSANTI groupなど諸家から、ACL再建術単独と比較しALL再建術の併用は術後の再断裂率や遺残不安定性を減少させるとする良好な臨床成績が報告されている⁵⁾。しかしながら我々の解剖学的検討では、ALLといわれている構造物は靭帯ではなく関節包の肥厚であり、肩関節という下関節上腕靭帯のような関節包靭帯に近い成分であった⁶⁾。近年のALC (anterolateral complex) consensus groupによるstatementでも、前外側構成体は靭帯様組織ではないとされた⁷⁾。このようにALLという存在自体が議論され、またその手術名が様々に呼称されている状況であるが、本稿ではALS補強術として統一して表記する。

●ALS補強術の適応

我々は2013年8月からACL再建、半月板手術患者を対象とした多施設研究 (TMDU MAKs study) を行っている⁸⁾。そのうち膝屈筋建を用いたACL再建術を施行した368例を対象とし、術後1年時にpivot shiftが残存する因子を多変量解析で検討した⁹⁾。目的変数を術後1年時にpivot shift testが健側と比べIKDC gradeで1以上の差があるものとした。368例中48例で13%の症例でpivot shift testで患健差が存在した。説明変数を年齢、性別、手術手技 (1重束か2重束)、外側半月板損傷有無、外側半月板損傷部位 (前節、中節、後節)、内側半月板損傷有無、内側半月板損傷部位 (前節、中節、後節)、術前麻酔下KT-1000

*1 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

*2 東京医科歯科大学医学部附属病院整形外科

表 1 ALS 補強術の適応

| | Sonnery-Cottet ⁵⁾ (SANTI study group) | Vundelinckx ¹⁰⁾ | Chahla ¹¹⁾ | ALC consensus ⁷⁾ | Ueki ¹⁶⁾ (東京医科歯科 大学) |
|----------------------------|--|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Big pivot shift | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ACL 損傷慢性例 | ○ | | | | |
| 若年者 (25 例) | △ | ○ | | | |
| Pivoting sports | ○ (ハイレベル競技者) | ○ | | ○ (若年者) | |
| KT 差 >7mm | △ | | | | |
| Segond 骨折 | ○ | | | | |
| Lateral femoral notch sign | △ | | | | |
| 過伸展膝 | | ○ | | ○ | ○ |
| 全身弛緩性 | | ○ | | ○ | |
| ACL 再建後 ALRI 遺残 | | | ○ | | |
| Revision | ○ | ○ | | ○ | ○ |

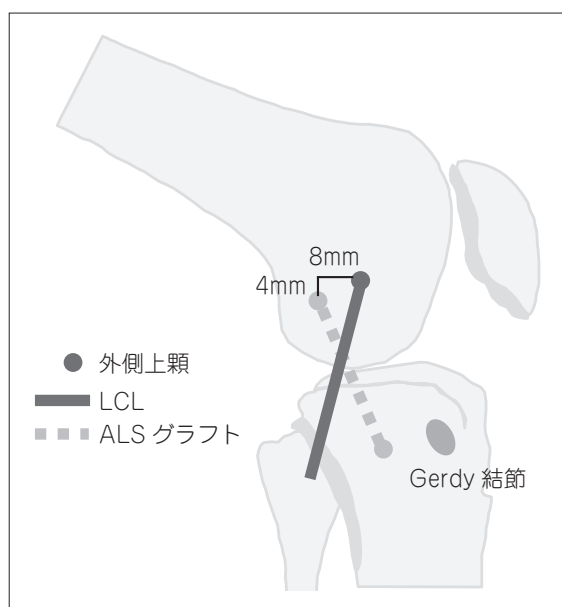


図 1 ALS グraftの骨孔位置
大腿骨骨孔は外側上顆の 8mm 近位, 4mm 後方を
目安としている。脛骨骨孔は腓骨頭と Gerdy 結節
の間としている (文献 16 改変)。

患健差, 術前麻酔下 Lachman, 術前麻酔下 pivot shift test, 過伸展 ($\geq 10^\circ$) とした。結果は過伸展膝 (OR=3.2, $p=0.025$) と術前 pivot shift test grade が大きいこと (OR=1.5, $p=0.04$) が危険因子であった。

ALS 補強術の適応は諸家の報告により異なる (表 1) が術前の pivot shift test grade が大きい, 過伸展膝や全身の弛緩性を有する症例を適応としていることが多い^{5,7,10,11}。また再再建例は初回再建例よりも再損傷のリスクが 3-4 倍とする報告があ

り¹²、また自験例でも初回再建例よりも再再建症例の再損傷リスクが高かった。過去の報告や、上述の ACL 再建術後の pivot shift 遺残の危険因子の検討から、我々の ALS 補強術の適応は以下の通りとしている。

1. ACL 再々建術例

初回再建例では competitive athlete かつ

2. 7段階評価 (grade 0-6) による術前麻酔下 pivot shift test で grade 5 以上

3. X 線計測上の伸展角度が患健側のいずれかでも 15° 以上

この適応は ALC consensus group の statement とおおむね一致している。

●我々の ALS 補強術の手術手技

ALS 補強術には原則二重折の自家薄筋腱を用いている。同時に施行する ACL 再建術では自家骨付き膝蓋腱を膝蓋腱内縁から 10mm 幅で採取し, Shino らの方法に準じた Anatomical rectangular tunnel reconstruction を行う¹³。はじめに ACL 再建のための骨孔を作成する。大腿骨側は Outside-in 法で解剖学的位置に長方形型の骨孔を作成する。脛骨側も同様に長方形型の骨孔を作成, その後グラフトパッシング用の糸のみ通し, グraftは通さないでおく。Outside-in の皮切から大腿骨骨孔に鈍棒をいれておく。これにより ALS 大腿骨孔作成の際に ACL 骨孔との干渉を防止することができる。ALS 補強術の大腿骨孔は大腿骨外側上顆の近位, 後方に作成する (図 1)。我々は cadaver を用いた検討で, 外側上顆の近位, 後方に

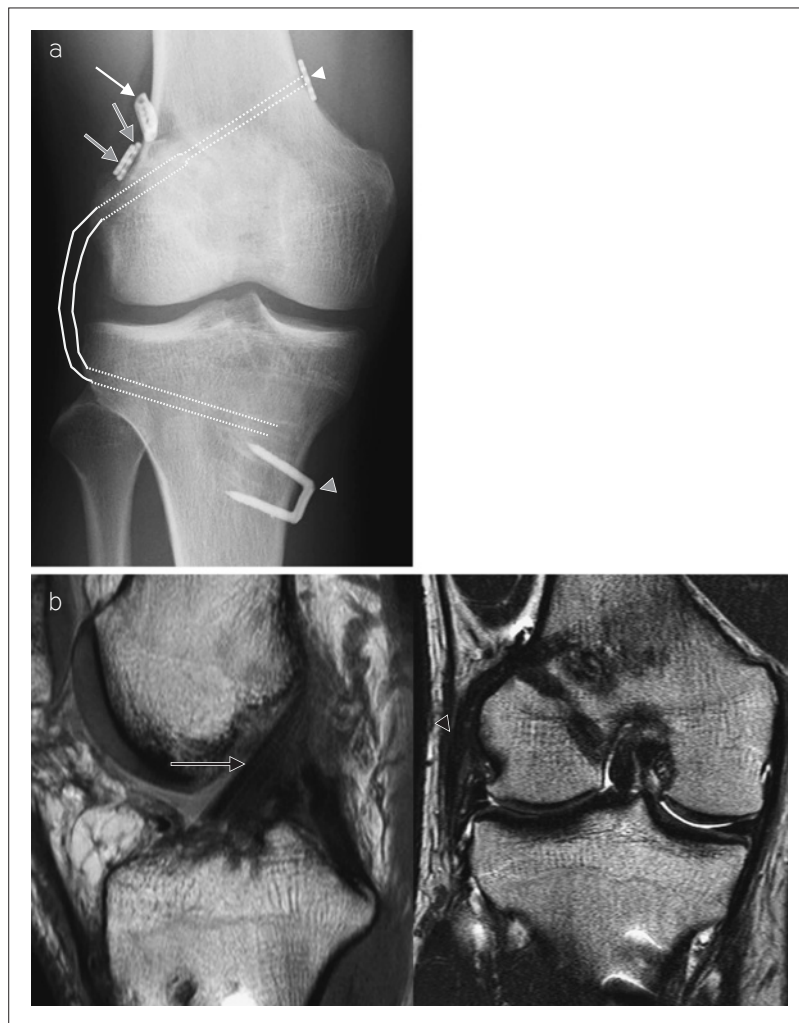


図 2 症例の術後画像

21 歳男性，大学柔道選手．5 年前に当院で右 ACL 損傷に対して半腱様筋腱，薄筋腱を用いた ACL2 重束再建術を施行している．柔道練習中に技をかけられ右膝を外反して再損傷した．手術は患側の骨付き膝蓋腱による ACL 再建術と健側の薄筋腱による ALS 補強術を施行した．a 術後 X 線．白矢印：ACL グraftのエンドボタン．白矢頭：ALS グraftを固定したエンドボタン 点線：ALS グraftの骨孔 実線：ALS グraftの走行．灰色矢印：初回 ACL 再建術時のエンドボタン．灰色矢頭：ACL，ALS グraftを固定したステープラー b 術後 1 年 MRI プロトン強調画像 (左；矢状断 右；冠状断)．黒矢印：ACL グraft 黒矢頭：ALS グraft．ACL，ALS グraftとも描出は良好である．術後 1 年で pivot shift grade は 0 で fear なし．Lysholm score は膝前面の痛みが軽度残存し 95 点．柔道に復帰し，試合にも出場している．

骨孔を作成するとグラフトの張力変化は伸展位でごく軽度増加するほぼ張力が変化しないパターンを取り，かつ pivot shift test 手技において前外側不安定性を制動することを報告した^{14,15)}．外側上顆より遠位，前方に作成すると，グラフトの張力は屈曲に従って増加し，屈曲制限の原因となることが危惧される．脛骨骨孔は腓骨頭と Gerdy 結節の中間部に作成する．

ACL グraftを 20 度屈曲位 40N で固定後，ALS グraftを 20 度屈曲位かつ中間回旋位，20 N で固定する．外旋位で固定すると過緊張となり，術後の屈曲制限や外側コンパートメントの関節症変化などの発生が過去の報告より危惧される．代表症例の術後 X 線，MRI を示す (図 2)．

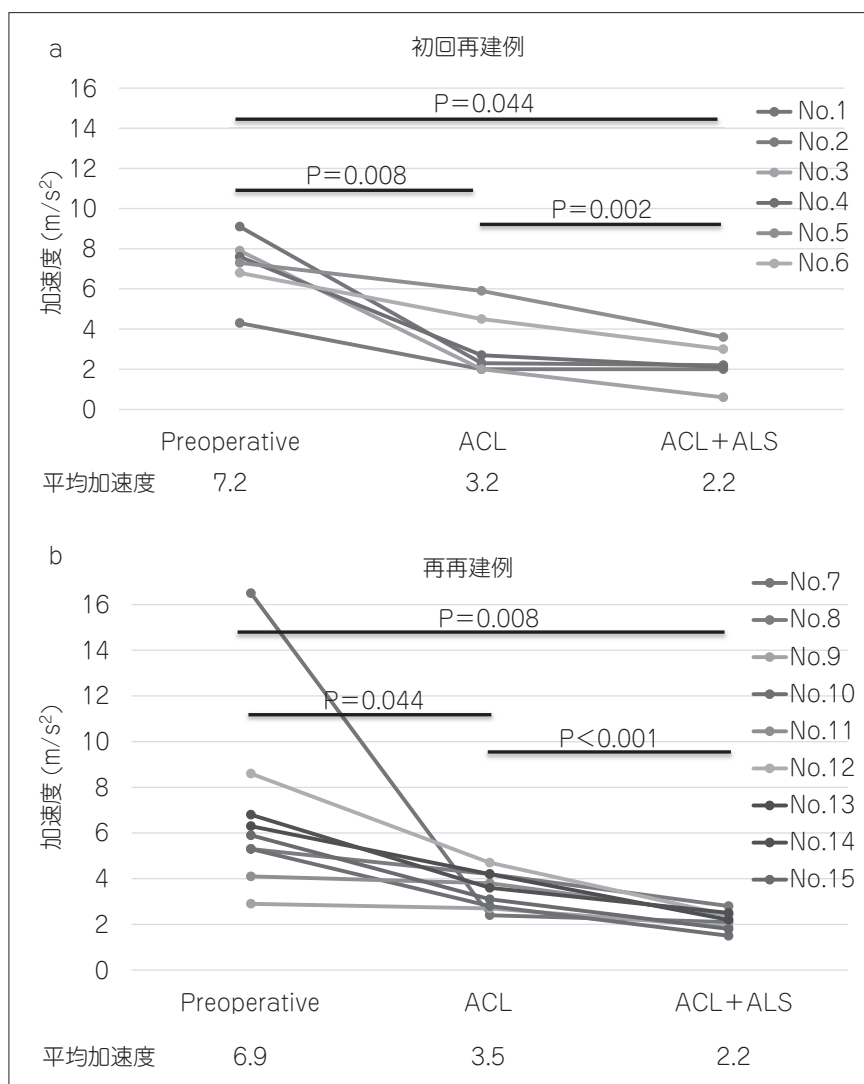


図3 Pivot shift testでの脛骨加速度の術前、ACL再建後、ALS補強術後の変化（文献16より改変）
 a：初回再建術例6例の結果 b：再再建術例9例の結果
 初回再建術例、再再建術例ともACL再建術により脛骨加速度は術前に比べ有意に減少するが、ALS補強術を加えることでさらに脛骨加速度は減少した。

●ALS補強術のバイオメカニカルな検討

我々はALS補強術のpivot shift制動効果を検討するため、上述の適応に合致したACL初回再建術6例、再再建術9例にALS補強術を加えた計15症例を対象とし、術前麻酔下、ACL再建、ACL再建+ALS補強の3条件下で3軸加速度計(KiRA)を用いて術中pivot shift testの際の脛骨加速度を測定した¹⁶⁾。またテンショニングデバイス(Stress Equalization Graft Tensioning System; Linvatec)を用いて屈曲0度から120度でのグラフトにかかる張力、および膝屈曲30度、90

度における内旋、外旋の際のグラフトにかかる張力を計測した。

初回再建術ではACL再建により脛骨加速度が有意に減少したが、ALS補強術を加えることによりさらなる減少がみられた(図3a)。再再建術でも同様にALS補強術によりACL再建単独と比べ有意に脛骨加速度が減少する結果であった(図3b)。健側の脛骨加速度と比較すると、初回再建術では6例中3例がACL再建のみでは健側よりも加速度が大きく、ALS補強を加えることでそのうちの2例は健側を下回る制動が得られた(表2)。一方、再再建症例では驚くべきことに9例中7例でACL再建のみでは健側よりも脛骨加速度が大

表 2 Pivot shift test での脛骨加速度の健側，術前，ACL 再建後，ALS 補強術後の比較（文献 16 より改変）

| | 初回再建/ 再再建 | 健側 | 術前 | ACL 再建 | ACL 再建 + ALS 補強術 |
|-------|--------------|-----|------|------------|---------------------|
| No.1 | 初回再建 | 2.8 | 9.1 | 2.3 | 2.2 |
| No.2 | 初回再建 | 3.5 | 4.3 | 2.0 | 2.0 |
| No.3 | 初回再建 | 6.1 | 7.9 | 2.0 | 0.6 |
| No.4 | 初回再建 | 2.1 | 7.6 | 2.7 | 2.1 |
| No.5 | 初回再建 | 2.5 | 7.3 | 5.9 | 3.6 |
| No.6 | 初回再建 | 4.0 | 6.8 | 4.5 | 3.0 |
| No.7 | 再再建 | 2.8 | 16.5 | 2.4 | 2.1 |
| No.8 | 再再建 | 3.4 | 5.3 | 4.2 | 2.8 |
| No.9 | 再再建 | 1.1 | 2.9 | 2.7 | 1.9 |
| No.10 | 再再建 | 1.7 | 5.3 | 2.8 | 1.5 |
| No.11 | 再再建 | 2.6 | 4.1 | 3.8 | 2.4 |
| No.12 | 再再建 | 3.9 | 8.6 | 4.7 | 2.4 |
| No.13 | 再再建 | 2.1 | 6.3 | 4.2 | 2.2 |
| No.14 | 再再建 | 3.5 | 6.8 | 3.6 | 2.5 |
| No.15 | 再再建 | 4.3 | 5.9 | 3.1 | 1.8 |

太字は健側よりも加速度が大きいことを示す。

表 3 ACL 再損傷例に対する骨付き膝蓋腱を用いた ACL 再再建単独群（ACLR）と ALS 補強術併用群（ACLR+ALS）の術後 1 年の臨床成績

| | ACLR | ACLR+ALS | P 値 |
|--|---------------|---------------|-------|
| 5 度以上伸展制限 あり：なし | 0：10 | 0：7 | 0.99 |
| 10 度以上屈曲制限 あり：なし | 0：10 | 1：6 | 0.22 |
| KT-1000 患健差 | 0.4±1.1 | -0.1±1.1 | 0.71 |
| Pivot shift test (7 段階 0/1/2/3/4/5/6) | 7/4/2/0/0/0/0 | 9/0/0/0/0/0/0 | 0.046 |
| Lysholm score | 95±4 | 96±5 | 0.69 |

(伸展制限，屈曲制限，KT-1000 は両側例除外)

大きく，前外側不安定性が残存していた。ALS 補強を加えることでそのうちの 5 例で脛骨加速度が健側を下回った。また屈曲・伸展動作によるグラフにかかる張力変化は，ACL が伸展により張力が大きくなるのに対して，ALS は cadaver 研究と同様に伸展位でごく軽度増加するほど張力が変化しないパターンをとった¹⁴⁾(図 4a)。また内旋・外旋において ALS は外旋で減少，内旋で増加するパターンをとり，特に屈曲 30 度における内旋では ACL とフォースシェアリングをしていると考えられた(図 4b)。

●ALS 補強術の短期成績

ALS 補強術の臨床成績を評価するため，ACL 再再建症例のうち自家骨付き膝蓋腱を用いた ACL 再再建術単独例(12 人 13 膝)と ALS 補強術を併用した例(9 人 9 膝)の 1 年成績を比較した。

患者背景(年齢，性別，術前 Tegner，半月板処置の有無)に差は認めなかった。術後 1 年の成績は 5 度以上の伸展制限，10 度以上の屈曲制限を認めた例，KT-1000 患健差，Lysholm score に差はなかったが，ALS 補強併用群は ACL 再建単独群に比べて有意に術後 1 年時の pivot shift grade (7 段階評価)が低かった(p=0.046)(表 3)。Lee らは ACL 再再建症例に対する ACL 再建術単独と ALS 補強併用群を比較して，Lysholm，IKDC score に有意差はなかったが pivot shift test 陰性率が有意に高い(54% vs 91%)ことを報告している¹⁷⁾。今後長期的な経過観察を行い，再断裂率や他の患者立脚型評価などで治療成績を評価していく予定である。

●まとめ

ACL 再建術後の遺残する前外側不安定性を軽

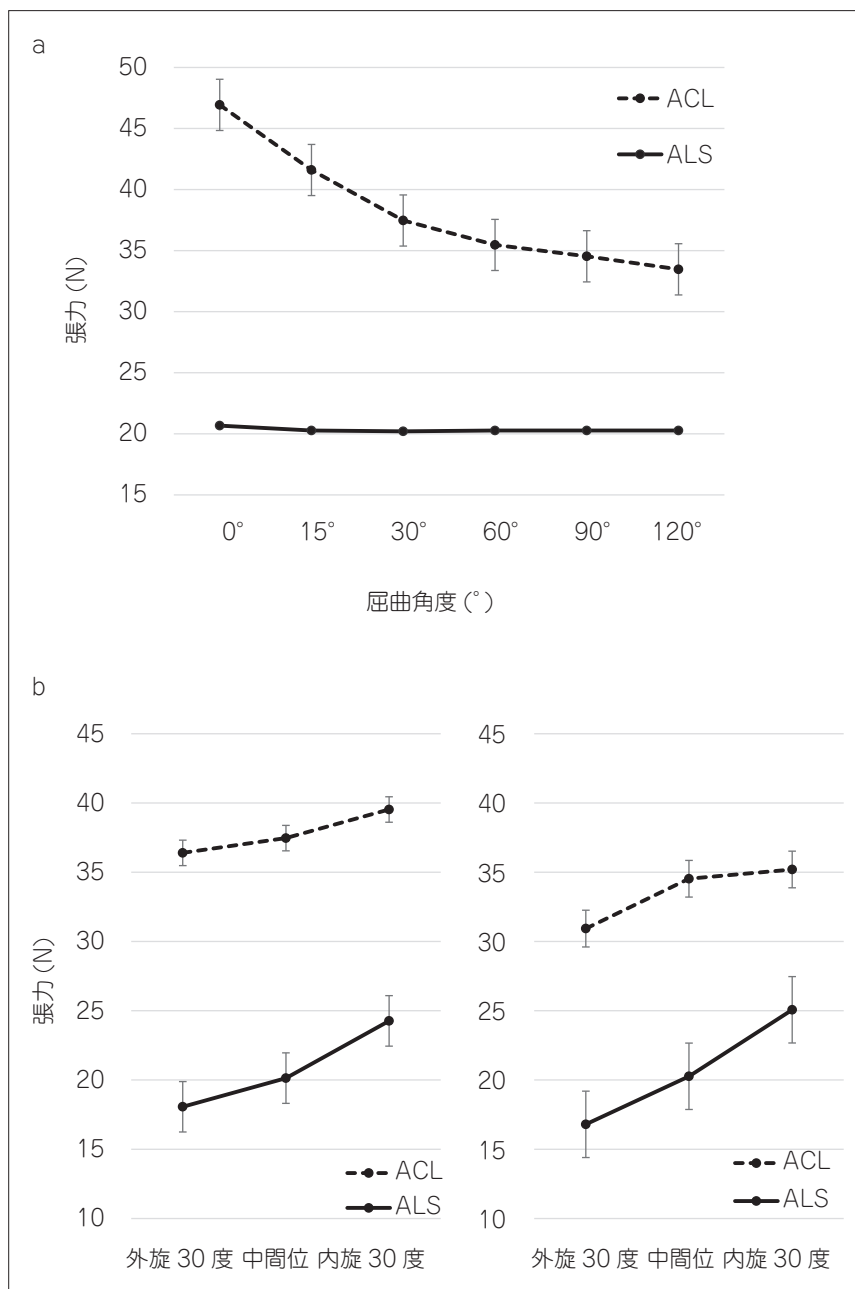


図4 ACL グラフトと ALS グラフトの張力変化 (文献 16 より改変)
 a: 屈曲0度から120度における張力変化. b: 左; 屈曲30度における最大内
 外旋時の張力変化. 右; 屈曲90度における最大内外旋時の張力変化.

減し、再損傷を予防するための我々の ALS 補強術について概説した。ALS 補強術の適応は再再建症例ならびに初回再建例では前外側不安定性遺残の危険因子である術前 high grade pivot shift test 症例と過伸展膝症例としている。ALS 補強により ACL 再建術単独に比べ pivot shift test による脛骨の加速度は抑制され、臨床成績でも pivot shift test の陽性率が減少していた。ALS 補強術は ACL 再建術のみでは膝関節の安定性が得られな

い症例に対して有用な手術方法の一つと考えられた。

文 献

- 1) Jonsson H, Riklund-Ahlstrom K, Lind J. Positive pivot shift after ACL reconstruction predicts later osteoarthritis: 63 patients followed 5-9 years after surgery. Acta Orthop Scand. 2004; 75(5): 594-599.
- 2) Nakamura K, Koga H, Sekiya I, et al. Dynamic

- Evaluation of Pivot-Shift Phenomenon in Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Triaxial Accelerometer. *Arthroscopy*. 2016; 32(12): 2532-2538.
- 3) Katakura M, Horie M, Watanabe T, et al. Effect of meniscus repair on pivot-shift during anterior cruciate ligament reconstruction: Objective evaluation using triaxial accelerometer. *Knee*. 2019; 26(1): 124-131.
 - 4) Claes S, Vereecke E, Maes M, et al. Anatomy of the anterolateral ligament of the knee. *J Anat*. 2013; 223(4): 321-328.
 - 5) Sonnery-Cottet B, Saithna A, Blakeney WG, et al. Anterolateral Ligament Reconstruction Protects the Repaired Medial Meniscus: A Comparative Study of 383 Anterior Cruciate Ligament Reconstructions From the SANTI Study Group With a Minimum Follow-up of 2 Years. *Am J Sports Med*. 2018; 46(8): 1819-1826.
 - 6) Nasu H, Nimura A, Sugiura S, et al. An anatomic study on the attachment of the joint capsule to the tibia in the lateral side of the knee. *Surgical and radiologic anatomy: SRA*. 2018; 40(5): 499-506.
 - 7) Getgood A, Brown C, Lording T, et al. The anterolateral complex of the knee: results from the International ALC Consensus Group Meeting. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019; 27(1): 166-176.
 - 8) Hiyama K, Nakagawa Y, Ohara T, et al. Anterior cruciate ligament injuries result in a larger functional deficit in fighting sport athletes: comparison of functional status among different sport types. *Journal of ISAKOS: Joint Disorders & Orthopaedic Sports Medicine*. 2018; 3(3): 128-133.
 - 9) Ueki H, Nakagawa Y, Ohara T, et al. Risk factors for residual pivot shift after anterior cruciate ligament reconstruction: data from the MAKS group. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018; 26(12): 3724-3730.
 - 10) Vundelinckx B, Herman B, Getgood A, et al. Surgical Indications and Technique for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Combined with Lateral Extra-articular Tenodesis or Anterolateral Ligament Reconstruction. *Clin Sports Med*. 2017; 36(1): 135-153.
 - 11) Chahla J, Menge TJ, Mitchell JJ, et al. Anterolateral Ligament Reconstruction Technique: An Anatomic-Based Approach. *Arthrosc Tech*. 2016; 5(3): e453-457.
 - 12) Wright RW, Gill CS, Chen L, et al. Outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am*. 2012; 94(6): 531-536.
 - 13) Shino K, Mae T, Nakamura N. Surgical technique: revision ACL reconstruction with a rectangular tunnel technique. *Clin Orthop Relat Res*. 2012; 470(3): 843-852.
 - 14) Katakura M, Koga H, Nakamura K, et al. Effects of different femoral tunnel positions on tension changes in anterolateral ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017; 25(4): 1272-1278.
 - 15) Katakura M, Koga H, Nakamura T, et al. Biomechanical Effects of Additional Anterolateral Structure Reconstruction With Different Femoral Attachment Sites on Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2019; 47(14): 3373-3380.
 - 16) Ueki H, Katagiri H, Otabe K, et al. Contribution of Additional Anterolateral Structure Augmentation to Controlling Pivot Shift in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2019; 47(9): 2093-2101.
 - 17) Lee DW, Kim JG, Cho SI, et al. Clinical Outcomes of Isolated Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction or in Combination With Anatomic Anterolateral Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*. 2019; 47(2): 324-333.