

平成 30 年 5 月 7 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350568

研究課題名(和文) 膝前十字靭帯再建術後に早期スポーツ復帰を行うための新しい多角的評価体系

研究課題名(英文) Multifaceted evaluation system for early return to sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction.

研究代表者

中前 敦雄 (NAKAMAE, Atsuo)

広島大学・医歯薬保健学研究科(医)・助教

研究者番号：60444684

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：膝前十字靭帯(ACL)再建または補強術を行った216例について、術後に関節内の再鏡視を行った。移植腱への滑膜被覆は1束・2重束再建術を行った群と比較し、ACL補強術群で有意に良好であること、滑膜被覆が良好な群では術後の膝関節固有感覚の改善も良好なことが分かった。またACL再建後のスポーツ復帰の障害となる関節軟骨損傷進行の危険因子についてロジスティック回帰分析を行い、半月板切除が最も大きな軟骨損傷進行の危険因子であることを示した。早期スポーツ復帰を希望するACL再建後症例の3次元動作解析では、等速性膝伸展/屈曲筋力や性別、年齢は、動作解析での外反群と内反群の間において有意差を認めなかった。

研究成果の概要(英文)：We reported the clinical outcome and findings at second-look arthroscopy of 216 patients who underwent anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction or augmentation. Arthroscopy showed significantly better synovial coverage of the graft in the augmentation group than in the reconstruction groups. In patients with good synovial coverage, three of the four measurements used revealed significant improvement in proprioceptive function. Risk factors for progression of cartilage damage after ACL reconstruction was also investigated. Partial meniscectomy was found to be strongly associated with the progression of cartilage damage. We measured single-leg forward jumps in the ACL reconstructed leg using three-dimensional motion analysis systems. There were no significant differences in gender, age, BMI, knee flexion and extension muscle strength between the knee varus and knee valgus groups. However, the FTA in the knee valgus group tended to be lower than that in the knee varus group.

研究分野：整形外科

キーワード：膝 前十字靭帯 スポーツ復帰 関節固有感覚 動作解析 リハビリテーション 生体力学

1. 研究開始当初の背景

(1) 膝の前十字靭帯（以下 ACL）損傷はスポーツ外傷において最も大きな問題の1つである。ACL 再建後のスポーツ復帰についてはその時期や評価法が確立しておらず、スポーツ復帰後の再断裂も散見される。ACL 再建術においては、靭帯の生体力学的機能の再建と、生物学的リモデリングの促進が重要である。また ACL 再建後の重要な評価項目としては、一般的に行われている膝前方不安定性や筋力の測定に加え、回旋不安定性、さらに膝関節の運動覚をはじめとした膝関節固有感覚が挙げられる。

(2) ACL 再建後のスポーツ復帰時期についての信頼できる基準はなく、術後半年で筋力が約 80%以上回復すればスポーツ復帰を許可している施設も多い。しかしそのような基準で早期スポーツ復帰している例では、ACL 機能不全を来している症例も少なからず見られる。スポーツ復帰が可能な時期を判断するための多角的な評価基準の作成や、スポーツ復帰の障害となる因子の特定、ACL 再建後の再断裂や弛緩を生じる危険因子の解明が望まれる。

(3) ACL 再建後のスポーツ復帰やパフォーマンスレベルに最も大きな影響を与えるのは、膝関節安定性ではなく関節軟骨損傷の程度であるとされており、ACL 再建後の関節軟骨損傷の進行防止はスポーツ外傷における重要なテーマである。

2. 研究の目的

(1) ACL 再建術後に安全に早期スポーツ復帰を行うための新しい多角的評価体系を確立すること。

(2) 早期スポーツ復帰の安全性の指標として、再建靭帯の再断裂の危険性が少なく比較的安全にスポーツ復帰が行えるとされる、術後1年経過してからスポーツ復帰を行った群に対する各種評価（膝関節安定性、関節固有感覚、再鏡視など）を行うこと。

(3) 早期スポーツ復帰した群が、術後1年以降にスポーツ復帰した群と比較し、膝関節不安定性の経時的変化、再鏡視検査での再建靭帯の状態、スポーツ動作の主観的評価と最終的な復帰レベルにおいて悪影響を受けていないかどうかを調査すること。

(4) 悪影響を受けていると判定された群においては、どの評価項目が最も強く関与していたのかを後ろ向きに評価すること。

(5) スポーツ復帰の障害となる膝関節軟骨損傷進行のリスクファクターを調査すること。

3. 研究の方法

(1) 患側の自家組織（半腱様筋腱または骨付き大腿四頭筋腱・膝蓋腱）を用いて ACL 再建を行った症例を対象とする。

(2) 術前後で膝の主観的評価や徒手検査のほか、Kneelax-3 による膝前方安定性評価、Biodex による下肢筋力評価、膝関節固有感覚検査、重心動揺検査、脛骨関節面形状評価を行う。抜釘と関節鏡検査を希望した症例に対しては、関節鏡による再建靭帯・半月板・関節軟骨評価を行う。

(3) 早期スポーツ復帰を希望し、術後6か月の時点で膝関節安定性や下肢筋力回復が良好など、一定の基準を満たした症例に対しては、術後8か月の時点で光学式三次元動作解析システムを用いた動作解析を行う。

4. 研究成果

(1) 当院では ACL 損傷後の遺残組織の状態などに応じ、主に3種類の解剖学的 ACL 再建術（解剖学的1束再建、2重束再建、ACL augmentation）を行っている。ACL augmentation は ACL 損傷後の遺残組織である remnant を温存したまま ACL 再建（補強）を行う方法である。これらの術後の臨床評価や再鏡視所見の検討を行ったところ、再鏡視時の移植腱の弛緩あるいは部分断裂は ACL augmentation 群で5%、2重束再建群で16%、1束再建群で5%に見られたが、3群間に有意差はなかった。移植腱への滑膜の被覆は1束・2重束再建術を行った群と比較し、ACL augmentation 群で有意に良好（good: 82%, fair: 14%, poor: 4%）であった。滑膜被覆が良好な群では術後の膝関節固有感覚（運動覚）の改善も良好であった。術後脛骨前方移動量の患健側差は ACL augmentation 群で最も小さかった（ACL augmentation 群: 0.4 mm、2重束再建群: 0.9 mm、1束再建群: 1.3 mm）。滑膜被覆の程度と膝関節安定性には有意な相関は認めなかった。3つの術式間で、膝の臨床スコア（Lysholm score）や回旋不安定性（Pivot-shift test）に有意な差はなかった。「主な発表論文等 雑誌論文 Bone Joint J. 2014; 96-B(10):1325-32.ほか」

(2) スポーツ復帰の障害となる膝関節軟骨損傷進行のリスクファクターを調査するため、ACL 再建術後の174例（解剖学的1束再建; 43例、2重束再建; 72例、ACL augmentation; 59例）に対して、術後1.5年から3年の間に抜釘とともに関節鏡検査を行い評価した。ロジスティック回帰分析の結果、膝関節内側での関節軟骨損傷進行のリスクファクターは、半月板部分切除（調整オッズ比; 6.82）、ピボットシフトテスト陽性（調整オッズ比; 3.53）、半月板縫合（調整オッズ比; 3.19）、BMI 高値（調整オッズ比; 1.15）であった。また膝関節外側での関節軟骨損傷

進行のリスクファクターは、半月板部分切除（調整オッズ比；10.94）のほか、KT 値患健側差が小さい（術後に膝関節が過制動されている）ことも軟骨損傷進行の危険因子であった（調整オッズ比；0.63）。膝関節外側では半月板縫合は有意な危険因子として挙げられなかった。ACL 再建法、年齢、性別、術後活動性は関節軟骨損傷の進行に有意な影響を与えなかった。よって、適切な ACL 再建術を行うことは当然重要であるが、半月板に対する処置も重要性は同等と考えられる結論であった。「主な発表論文等 雑誌論文 Bone Joint J. 2018; 100-B(3):285-293. ほか」

また半月板正常例のみにおける ACL 再建後の関節軟骨損傷進行のリスクファクターの評価も行った。外側コンパートメントでの関節軟骨損傷進行の有意なリスクファクターは、BMI 高値（調整オッズ比：1.2）と、最終調査時の脛骨前方移動量患健側差（KT 値患健側差）低値（調整オッズ比：0.7）であった。内側コンパートメントでは有意なリスクファクターはなかったが、BMI と最終調査時 KT 値患健側差の調整オッズ比はそれぞれ 1.2（ $P=0.07$ ）と 0.8（ $P=0.08$ ）であった。術式や性別、年齢、受傷から手術までの期間、最終調査時の Pivot shift test やスポーツ活動レベルは、両側のコンパートメントにおいて有意なリスクファクターではなかった。「主な発表論文等 学会発表」

(3) ACL 再建術用のナビゲーションシステムを用いて、2 重束 ACL 再建での前内側線維束（AM 束）と後外側線維束（PL 束）の脛骨前方あるいは回旋制動性における機能の評価した。その結果、脛骨前方移動量については、AM 束のみ固定した場合は膝の各屈曲角度において比較的一定であった（2.4-3.2mm）。PL 束のみ固定した場合は、膝屈曲 20° から 35° までは AM 束と同様の移動量であった（2.2-3.3mm）が、40° 以降は移動量が増加した（3.7-4.6mm）。脛骨総回旋角度については、膝屈曲 20° から 60° まで全てにおいて、AM 束のみ固定した場合と PL 束のみ固定した場合の回旋制動性に有意差はなかった。「主な発表論文等 学会発表」

またこの研究対象において、両線維束の術中前方制動パターンと術後の前方安定性との関連を検討した。その結果、術後 3 カ月の KT 値は、術中の膝屈曲 20° における両線維束の前方制動性に差があるほど大きい値を示した（相関係数 0.53、 $P=0.049$ ）。術後 6、12 カ月では有意差はなかったが、相関係数はそれぞれ 0.50、0.40 であった。膝伸展位近くで両線維束の前方制動性に差が大きいと、一方の線維束に過度の負担がかかり、術後に膝前方制動性が低下する可能性が示唆された。

(4) ACL 再建術後患者 15 名を対象として、片

脚前方ジャンプを実施し、光学式三次元動作解析システムを用いた動作解析を行った。再建側での着地時内外反角度と膝関節筋力との関係を検討した。対象は当院整形外科にて片側 ACL 再建術を受け、術後 8~12 か月を経過したものとした。課題動作は身長 50% の距離の前方ジャンプとし、床反力が 10N を超えた着地時の内外反角度を算出した。その結果、15 名中 8 名が膝関節外反を呈した。等速性膝伸展/屈曲筋力や性別、年齢は外反群と内反群の間において有意差を認めなかった。外反群の 1 名が再建術後 12 か月後に再損傷を認めた。有意差はなかったが、外反群のほうが内反群より FTA が小さい傾向にあった（ $P=0.07$ ）。本研究により ACL 再損傷リスクとして片脚前方ジャンプ着地時の膝外反が考えられ、着地時外反を防ぐためには筋力以外の要因を検討する必要性が示された。「主な発表論文等 学会発表」

(5) ACL 再建後の膝関節固有感覚の改善に関するシステムティックレビューを行った。396 件の論文がヒットし、42 件が一次選択、14 文献が二次選択された。7 文献が関節運動覚を、10 文献が関節位置覚を用いて評価を行っていた。関節運動覚、関節位置覚ともに、ACL 再建後の膝は健常者の膝と比較して有意差がないレベルにまで改善していたとする文献が過半数であったが、検査条件において同一の設定がほとんどなく、術後経過期間も様々であり統合は困難であった。ACL 再建後に膝関節固有感覚は改善することが確認されたが、今後は検査条件や術後経過期間に関して統合したアウトカムによる、より多くの臨床研究が望まれた。「主な発表論文等 雑誌論文 J ISAKOS. 2017; 2(4):191-199.」

また、ACL 再建術に合併する半月板損傷は治療にかかわらず膝固有感覚の回復を遅延させる可能性が示唆された。「主な発表論文等 学会発表」

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 8 件）

Nakamae A, Adachi N, Deie M, Ishikawa M, Nakasa T, Ikuta Y, Ochi M. Risk factors for progression of articular cartilage damage after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: a second-look arthroscopic evaluation. Bone Joint J. 査読あり 2018; 100-B(3):285-293. doi:10.1302/0301-620X.100B3.BJJ-2017-0837.R1.

Nakamae A, Adachi N, Ishikawa M, Nakasa T, Ochi M. No evidence of impaired proprioceptive function in subjects with anterior cruciate ligament reconstruction:

a systematic review. J ISAKOS. 査読あり
2017; 2(4):191-199. DOI:
10.1136/jisakos-2016-000087

中前 敦雄、安達 伸生. レムナントを温
存する膝前十字靭帯補強術. 査読なし
Monthly Book Orthopaedics Vol.30, 73-79,
2017.

中前敦雄、越智光夫、安達伸生. レムナ
ントを温存した前十字靭帯再建術 半腱様
筋腱を用いた1束 ACL augmentation. 査読
なし. 整形外科 Surgical technique Vol. 5,
663-668, 2015.

Nakamae A, Ochi M, Deie M, Adachi N,
Shibuya H, Ohkawa S, Hirata K. Clinical
outcomes of second-look arthroscopic
evaluation after anterior cruciate ligament
augmentation: comparison with single- and
double-bundle reconstruction. 査読あり.
Bone Joint J. 2014; 96-B(10):1325-32. doi:
10.1302/0301-620X.96B10.34282.

〔学会発表〕(計 26 件)

Nakamae A, Adachi N, Ochi M. Risk
Factors for Progression of Articular
Cartilage Damage after Anatomic Anterior
Cruciate Ligament Reconstruction: A
Second-Look Arthroscopic Evaluation.
2018 ACL Study Group meeting, 2018.

Nakamae A, Adachi N, Ishikawa M,
Suga N, Yoshikawa M, Hayashi S, Sumida
Y, Tsuyuguchi Y, Ochi M. Risk factors for
progression of cartilage damage after ACL
reconstruction in cases of normal meniscus.
2017 Asia-Pacific Knee, Arthroscopy and
Sports Medicine Society (APKASS)
Summit, 2017.

平田和彦、中前敦雄、浅枝諒、山本光希、
木村浩彰、安達伸生、越智光夫. 膝前十字靭
帯再建術に伴う半月板治療は膝固有感覚の
回復に影響する. 第9回日本関節鏡・膝・ス
ポーツ整形外科学会, 2017.

Asaeda M, Hirata K, Nakamae A,
Kimura H, Ochi M, Adachi N. Comparing
characteristics of valgus and varus landing
group in single leg jump after anterior
cruciate ligament reconstruction. Asia
Conference on Kinesiology, 2017.

Nakamae A, Ochi M, Adachi N. Knee
function after ACL reconstruction:
Proprioception after ACL reconstruction.
17th ESSKA Congress, 2016.

Nakamae A, Ochi M, Adachi N, Deie M,

Ishikawa M, Nakasa T. Risk factors for
progression of articular cartilage damage
after anatomic anterior cruciate ligament
reconstruction: A second-look arthroscopic
evaluation. 17th ESSKA Congress, 2016.

Nakamae A, Adachi N, Ishikawa M,
Ikuta Y, Suga N, Yoshikawa M, Hayashi S,
Deie M, Ochi M. Intraoperative Kinematic
Evaluation of Double-bundle Anterior
Cruciate Ligament Reconstruction Using a
Navigation System. 2016 Asia-Pacific Knee,
Arthroscopy and Sports Medicine Society
(APKASS) Congress, 2016.

Nakamae A, Ochi M, Adachi N, Deie M.
Association between Progression of
Articular Cartilage Damage and Meniscal
Surgery in Conjunction with ACL Surgery.
2015 Summit of Asia-Pacific Knee,
Arthroscopy and Sports Medicine Society
(APKASS), 2015.

Nakamae A, Ochi M, Adachi N, Deie M,
Ishikawa M. Association between the
Progression of Articular Cartilage Damage
and Meniscal Surgery in Conjunction with
Anterior Cruciate Ligament
Reconstruction: A Second-Look
Arthroscopic Evaluation. 10th Biennial
ISAKOS Congress, 2015.

Nakamae A, Ochi M, Deie M, Adachi N.
Central anatomic single-bundle anterior
cruciate ligament reconstruction versus
single-bundle augmentation: Clinical and
second-look arthroscopic study. 16th
ESSKA Congress, 2014.

中前敦雄、越智光夫、出家正隆、安達伸
生. Treatment of ACL injury: future
strategy. Clinical outcomes and findings of
second-look arthroscopic evaluation after
anterior cruciate ligament augmentation:
Comparison with single- and
double-bundle reconstruction. 第87回日本
整形外科学会学術総会, 2014.

〔図書〕(計 5 件)

Ochi M, Dejour D, Nakamae A,
Ntagiopoulos PG. Springer; Diagnosis of
Partial ACL Rupture. (Controversies in the
Technical Aspects of ACL Reconstruction).
2017; 301-312.

Ochi M, Georgoulis AD, Nakamae A.
Springer; ACL Augmentation.
(Controversies in the Technical Aspects of
ACL Reconstruction). 2017; 313-324.

Nakamae A, Ochi M. Springer; Second-look arthroscopic evaluation after ACL reconstruction. (ACL Injury and Its Treatment). 2016; 235-246.

Ochi M, Nakamae A. Springer; History and advantages of ACL augmentation. (ACL Injury and Its Treatment). 2016; 335-348.

中前敦雄、越智光夫、安達伸生. メジカルビュー社; 遺残組織を温存した ACL 再建術. (OS NEXUS No.5 スポーツ復帰のための手術 膝). 2016; 36-45.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

中前 敦雄 (NAKAMAE, Atsuo)
広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・助教
研究者番号：6 0 4 4 4 6 8 4

(2)研究分担者

越智 光夫 (OCHI, Mitsuo)
広島大学・その他部局等・学長
研究者番号：7 0 1 7 7 2 4 4

出家 正隆 (DEIE, Masataka)
愛知医科大学・医学部・教授
研究者番号：3 0 3 6 3 0 6 3

安達 伸生 (ADACHI, Nobuo)
広島大学・大学院医歯薬保健学研究科・教授
研究者番号：3 0 2 9 4 3 8 3