

膝前十字靭帯損傷に対する再建術について —— 私の経験と今後の展望 ——

健康科学部医学教育センター 岡田尚之, 橋本俊彦

Anterior Cruciate Ligament Reconstruction — Our Experience and the Future of This Operation —

〔要旨〕

前十字靭帯再建術は解剖的な背景をもとに徐々に進歩してきた。自家腱を用いた再建術では、適切な骨孔を開孔することで、ほぼ満足した成績が得られている。

筆者らが経験した現在主流となっているハムストリングを用いた手法でも満足すべき結果が得られていた。前内側線維と後外側線維束を考慮した大腿骨側と脛骨側に各々2本の骨孔を開孔したdouble-bundle法と従来の大腿骨側と脛骨側に各々1本の骨孔を開孔したsingle-bundle法の比較では、Lysholm score、Lachmanテスト、術後筋力の改善、患者満足度では差はなかったが、pivot-shiftテスト、関節可動域ではdouble-bundle法でより良好な傾向があった。さらにTelos-SEを用いたX線による客観的な評価においては、両術式の平均値では差はなかったが、正常範囲内の改善例ではdouble-bundle法でより良好であり有意差がみられていた。

今後も前十字靭帯再建術は、より良い手術成績のため解剖学的方法が追求されていくと考えられる。残された課題もあるが、種々の基礎的・臨床的研究と術後長期成績を評価し、スポーツ競技、患者の生活に応じた治療が望まれる。

キーワード: 前十字靭帯、再建術、解剖的再建

〔Abstract〕

This paper is based on our experience and aims to make suggestions about the future of ACL reconstruction. Many knee surgeons research the anatomy of the ACL, and change the method of ACL reconstruction to regain true anatomical structure and improve the results of the operations.

The materials for ACL reconstruction are autografts of, for example, patella tendons, hamstring tendons, quadriceps tendons, ilio tibial tracts, etc. We think the most commonly-used graft in Japan is hamstring tendons.

We tried two methods using hamstring tendons. We thought the double-bundle procedure was better than single-bundle procedure because the former closely resembles the property of the ACL anatomy. We conducted ACL reconstruction for sixty-five patients with the single-bundle procedure and for sixty patients with the double-bundle procedure using hamstring tendons. Significant differences were not noted between the two groups in Lysholm score, Lachman tests, improvement of muscle strength or patient satisfaction, but in pivot-shift tests and range of motion, the double-bundle group showed better

stability and acquisition of full range of motion compared to the single-bundle group. In objective anterior-posterior laxity, the mean difference in the two groups showed almost equal improvement. However, when we consider only cases in which normal difference range was improved, there was a statistically significant difference between the two groups. We think our ACL reconstruction with hamstring tendons yielded satisfactory results.

Many attempts of the ACL reconstructions are performed by many knee surgeons to improve the results. For the improvement of the ACL reconstruction in the future, we will need more thorough-going researches and better clinical results which last long after the treatment.

Keywords: anterior cruciate ligament, reconstruction, anatomical procedure

I. はじめに

膝前十字靭帯は自然治癒能力が低く、50%を超える損傷を受けるとほとんどの症例で断端が退縮し、前十字靭帯不全膝・欠損膝と呼ばれる不安定膝となる。現在のところ、保存的に損傷靭帯の治療をほぼ確実に得る方法は確立されていない¹⁾。しかし、その再建術については、近年目覚ましい進歩があり、長期経過も含めて90%以上で満足すべき治療成績が得られている²⁾⁴⁾。特に本邦では解剖学的な研究に基づいた治療がなされ、治療成績は満足すべきものである。また、日本整形外科学会からは、前十字靭帯損傷のガイドラインも出版され⁵⁾、手術を含めた治療については徐々に確立されつつある。今回、過去の私の臨床経験も例示しつつ、前十字靭帯再建術の現況や今後の展望について述べたいと考えている。

過去の前十字靭帯再建術と我々の経験

前十字靭帯（以下ACL）は、後十字靭帯と並び膝関節内で大腿骨と脛骨間をつなぐ靭帯の1つである。その機能は膝前方不安定性を制御しており、脛骨の前方移動に対しての抑制力の80%以上を占める primary restraint（一次抑制因子）とされる。また、回旋不安定性も制御しており、固有感覚受容器としての機能などがある。そのため、その機能が失われると、後に二次損傷として半月板損傷を起こすことや、関節軟骨にも影響を与え、比較的早期にOA変化を生じることが周知の事実となっている。したがって、二次損傷の予防のために優れた再建術の必要性があると考えられる。実際、再建術のポイントとして中田らが、

1. 解剖学的付着部を正しく術中に認識して、正確な位置と方向に骨孔を作成すること
 2. 移植腱に適切な初期張力を与え、適切な初期固定材料を用いて固定すること
- であると指摘している⁶⁾。これをふまえた手術方法が望まれると我々も考えている。

ACL損傷の再建材料については、大きく分類すると自家腱、同種腱、人工腱などがあるが、現在本邦では自家腱が一般に用いられる。自家腱には、腸脛靭帯-大腿筋膜、大腿四頭筋腱などもあるが、半腱様筋などのハムストリング腱や骨付き膝蓋腱が主流となっている。特に半腱様筋などのハムストリング腱については、骨付き膝蓋腱との比較の報告で成績に差がなく⁷⁾¹¹⁾、その手術侵襲が低いという点からわが国では頻用されていると考えられる。

手術方法については、解剖学的研究をふまえて、変遷がみられる。ACL線維には、肉眼上脛骨の付

着部位により前内側束線維anteromedial bandと後外側束線維posterolateral bandがある。健常な膝MRIにおいても、スライスによりその線維束が明瞭に観察されることもある(Figure1)。各々が捻じれながら前内側束線維は大腿骨の上方に後外側束線維は大腿骨の下方に付着している。その機能分担・線維の緊張のパターンも基礎的実験・臨床的なデータとして報告されている¹²⁾¹³⁾。ハムストリング腱を用いた方法においては、以前には1本の再建靭帯を骨孔を開孔せずに固定する方法があった¹⁴⁾。また、現在も施行される大腿骨と脛骨各々に骨孔を1本ずつ開孔したsingle bundle 法がある¹⁵⁾¹⁷⁾。さらに脛骨側の骨孔をを2本としたbi-socket法も施行され¹⁸⁾、近年では2本の線維束の特徴を再現・近似させるために大腿骨と脛骨各々に骨孔を2本ずつ開孔したdouble bundle 法が新しい方法として用いられることが多くなっている²⁾¹⁹⁾²⁰⁾。以上述べた各方法の手術成績についても良好な報告が散見されている。

ここで、我々の経験したハムストリング腱を用いたsingle bundle 法とdouble bundle 法の成績について述べる (第20回日本膝関節学会にて発表)。

以前、我々の在籍した膝スポーツ関連施設においては、より有効な方法を追求するために、ACL再建の術式は、1979年より腸脛靭帯、1991年より骨付き膝蓋腱、1996年9月よりハムストリング腱のsingle-bundle法、1998年3月よりbi-socket法、2000年4月よりdouble-bundle法と術式を変えていた。今回、2000年4月より施行した2重折屈筋腱を2束としたdouble bundle法 (以下D法) とそれ以前に施行していた4重折屈筋腱を用いたsingle bundle法 (以下S法) との臨床成績を比較検討した結果を報告する。本D法は、Rosenbergらや宗田らが報告した方法である¹⁹⁾²⁰⁾。

II. 対象・症例 (Table1)

1998年5月から2001年10月までに施行したS群65膝 (男30膝 女35膝)、平均年齢26歳 (14~50歳)、D群60膝 (男36膝 女24膝) 平均年齢29歳 (17歳~44歳)、を対象とした。

合併損傷は、S群はMM 19例、LM 11例、MM・LM 11例、MCL 6例、MCL・LCL 1例であった。D群はMM 15例、LM 12例、MM・LM 15例、MCL 8例であった。

(手術方法) (Figure2)

半腱様筋腱を用いて、S法では4重折り1束とし、大腿骨、脛骨に骨孔を開け、エンドボタンとステープルを用いて固定した。D法では2重折りの2束を前内側束と後外側束とし、大腿骨と脛骨に各々2本の骨孔を開け、エンドボタンとステープルを用いて固定した。靭帯径は平均でS法8.4mm、D法はAM 6.4mm、PL 6.4mm、薄筋腱との併用はS群が16例、D群が4例であった。後療法については、S群D群ともに同様とした。関節可動域訓練は、術後2日よりCPM訓練、術後3週までは屈曲制限5度とし、自動運動を中心に施行した。荷重は、術後2週で1/3部分荷重、4週で1/2部分荷重、5週で全荷重とした。術後8週間で装具を使用し、ジョギングは術後4ヶ月より、スポーツ復帰は筋力に応じて8-9ヶ月とした。

(評価方法)

JOA score・Lysholm score、徒手不安定性テストLachman test、N-test、テロス-SEを用いたストレスX線評価、膝関節可動域、Cybexによる筋力評価、患者満足度とした。

III. 結果

JOA scoreは平均値で、S法で術前43点から術後93点に、D法で術前45点から術後91点と改善が見られた。Lysholm scoreは平均値で、S法で術前55点から術後96点に、D法で術前63点から術後96点と改善

が見られた (Table2)。徒手不安定テストにおいて、Lachman testではS法は陽性1膝、陰性64膝 (98%)、D法は陰性60膝で全例であった。N-testではS法は陰性が55膝で84.6%、D法は陰性が57膝で95.0%であった (Table3)。健患差5mm未満を正常範囲内とするテロス-SEを用いたストレスX線評価²¹⁾では、平均値はS法が術前9.2mmから4.0mmに改善、D法が7.9mmから3.0mmに改善が見られた。また、正常範囲内への改善例に限ると、S法が35膝で53.8%、D法が45膝で75.0%であり、その改善には統計学的に有意差が認められた (Table4)。関節可動域は、S法では、伸展制限が4膝、屈曲伸展制限が4膝、屈曲制限が4膝で、計12膝で可動域制限を認め、制限なしが81.5%であった。D法では、伸展制限を4膝で認め、制限なしが93.3%であった (Table5)。Cybexによる筋力評価では、伸筋群・屈筋群ともに1年経過での筋力の回復に差はみられなかった (Table6)。患者満足度は、満足とほぼ満足の割合はS法が95%、D法が94%でほぼ同様であった。

Figure1 MRI

This image is showed an ACL has two- bundles clearly.



Figure 2 Anteroposterior and lateral radiograph of the single-bundle (left) and double-bundle(right) ACL reconstruction techniques using hamstring tendons



Table 1 Preoperative data of patients in two groups

Variable	S-group	D-group
Number of patients	65	60
Age(years)	26(14-50)	29(17-44)
Sex(female/male)	30/35	36/24
Meniscus injury		
MM	19 resection 11 repair 2	15 resection 9 repair 4
LM	11 resection 5 repair 1	12 resection 2
MM/LM	11 MM/LM resection 5 MM resection 2	15 MM/LM resection 3 MM resection 2 MM repair 4 MM repair/LM resection 2
Other ligament injuries		
MCL	6	8
MCL/LCL	1	0

Table 2 Clinical results of improving Lysholm scores in the two groups

	S-group		D-group	
	Preoperatively	2 years postoperatively	Preoperatively	2 years postoperatively
Lysholm score	55±16.8	96±6.9	63±18.1	96±4.3

Table 3 Clinical results of manual knee joint stability tests postoperatively

Variable	S-group	D-group
Lachman test (positive/negative)	1/64	0/60
Pivot-shift test (positive/negative)	10/55	3/57

Table 4 Clinical results of objective anterior-posterior laxity measured with telos-SE

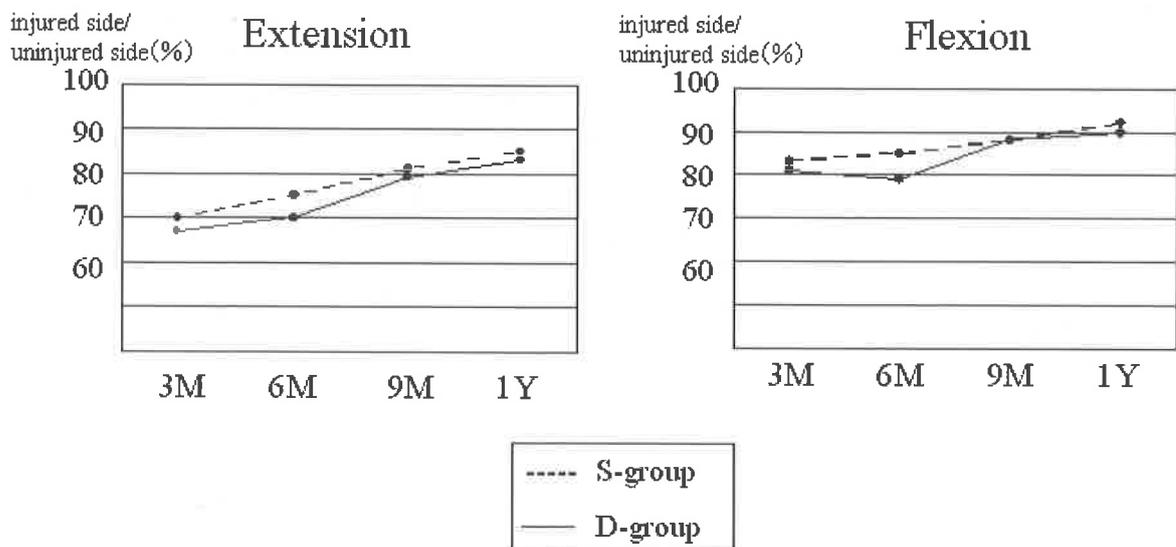
Variable	S-group		D-group	
	Preoperatively	2 years postoperatively	Preoperatively	2 years postoperatively
The mean difference in anteroposterior knee stability,	9.2±4.5	4.0±3.1	7.9±4.5	3.0±2.6
Cases of improving normal range; within 5mm	35/65 * (53.8%)		45/60* (75.0%)	

*P<0.05 The Mann-Whitney U-test

Table 5 Recovery of range of motion postoperatively

	S-group	D-group
Cases which regained full range of motion	53/65 (81.5%)	56/60 (91.3%)
	4 patients had extension loss (greater than 5 degree = 3 patients) 4 had extension and flexion loss (greater than 5 degrees = 3 patients less than 140 degrees = 1 patient) 4 had flexion loss (less than 140 degrees = 3 patients)	4 patients had extension loss (greater than 5 degree = 2 patients)

Table 6 Muscle strength ratio (injured side/uninjured side) measured as peak torque at 60 deg/sec (pounds/square inch) in extension and flexion, postoperatively



IV. 考察

JOA score、Lysholm score、Lachman test、ストレスX線評価の平均値、筋力評価、患者満足度については、大きな差はみられなかったが、N-test陰性例、可動域制限陰性例にわずかに差が見られたこと、ストレスX線評価の正常範囲内への改善で統計学的有意差がみられたことより、D法でやや良好な傾向が得られたと考えている。D法については、S法に比して正常なACL近い形態をとることより解剖学的な配列が再現されること、2束の本来の機能分担の期待もできること、移植腱・骨の接触面積が増加するため治癒に有利といった利点がある。欠点としては、操作がやや複雑となり、手術時間が少し長くなること、手術材料の費用が高額になるという懸念もある。術式間の長期成績の報告が望まれると考えられた。

V. 最新のACL再建術と今後の展望

我々の報告以降も、さらにACL再建術は発展してきていると考えられる。

まずは、ハムストリング腱によるdouble bundle 法はさらに解剖学的手法を追求している。安田らが基礎的研究をもとに報告したanatomic double bundle 法²⁾は、Rosenbergら¹⁹⁾や宗田ら²⁰⁾が施行した方法をふまえて、大腿骨骨孔をより解剖学的な位置とした方法である。その2年成績で従来のdouble bundle法よりも、明らかな有意差がみられたとその優位性を報告している。また、朝雲ら³⁾も従来法とanatomic double bundle 法との比較の報告をしている。結果は、後者がやや良好であるが有意差はなかったとしている。今後は長期経過や症例数を増やし、その臨床成績が待たれるところである。さらに史野らにより、脛骨側をより正常に近く模倣したtriple bundle 法²²⁾といった靭帯を完全な正常に近似させるように再現する方法も試みられている。

前十字靭帯の大腿骨付着部については、解剖学的にresident ridgeの存在が明らかになったことが手術方法に影響を与えている²³⁾²⁴⁾。resident ridgeはHutchinsonら²³⁾が報告し、その後も研究が散見される。実際に関節鏡視下手術中に全例で確認することができたと報告されている²⁵⁾。骨孔位置は、resident ridgeを明らかにすることで、より正確に正常付着部を再現する解剖学的手法が施行可能となっている。

ハムストリングに次いで使用されることの多い自家腱の骨付き膝蓋腱によるBTB法でも、その解剖学的構造を考慮した方法がとられている。大腿骨・脛骨の付着部の骨孔を単円形にしたものが一般的であったが、大腿骨側・脛骨側ともに長方形とし、再建靭帯の線維走行を再現する方法が史野らにより施行されている²⁶⁾。関節鏡視下手術用器械の進歩も、貢献していると思われる。

ACL再建術の進歩は目覚しく満足すべき成績が得られるようになってきていると考えられる。しかし、更なる手術成績の向上のためには課題もある。スポーツ競技や患者の生活をふまえた手術方法、再建材料の選択、適切な初期張力、固定法、固定材料の選択の問題などが挙げられる。また、術後のリハビリテーションの方法等も施設によって差が見られるため、確立された方法が待たれると考えている。具体的な手段については、基礎的な研究や臨床研究をもとに、長期経過観察した臨床成績の検討が必要である。

VI. 文献

- 1) 史野根生： スポーツ膝の臨床、金原出版、東京：13-30, 2008
- 2) Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H et al: Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy* 20:1015-1025, 2004
- 3) Asagumo H, Kimura M, Kobayashi Y et al: Anatomic reconstruction of the anterior cruciate ligament using double-bundle hamstring tendons: surgical techniques, clinical outcomes, and complications. *Arthroscopy* 23:602-609, 2007
- 4) Shelbourne KD, Gray T: Minimum 10-year results after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 37:471-480, 2009
- 5) 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会 ACL ガイドライン策定委員会：前十字靭帯（ACL）損傷診療ガイドライン. 南江堂、東京、2006
- 6) 中田研ほか：解剖学的再建術のポイントとリハビリテーション. *臨床スポーツ医学* 26：749-755, 2009
- 7) Freedman KB, D' Amoto MJ, Nedeff DD, et al: Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: Metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med* 31:2-7, 2003
- 8) Beynon BD, Johnson RJ, Fleming BC, et al: Anterior cruciate ligament replacement: comparison of bone-patella tendon-bone grafts with two-strand hamstring grafts. *J Bone Joint Surg* 84A：1503-1513, 2002
- 9) Ejerhed L, Kartus J, Sernert N, et al: Patella tendon or semitendinosus tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction? A prospective randomized study with a two-year follow-up. *Am J Sports Med* 31:19-25, 2003
- 10) Jansson KA, Linko E, Sandelin J, et al: A prospective randomized study of patellar versus hamstring tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 31:12-18, 2003
- 11) Shaieb MD, Kan DM, Chang SK, et al: A prospective randomized comparison of patella tendon versus semitendinosus and gracilis tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 30:214-220, 2002
- 12) Grigis FG, Marshall JL, Monajem ARS: The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop* 106：216-231, 1975
- 13) Yagi M, Erick KW, Kanamori A, et al: Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 30:660-666, 2002
- 14) Cho KO: Reconstruction of the anterior cruciate ligament by semitendinosus tenodesis. *J Bone Joint Surg* 57A:608-612, 1975
- 15) Lipscomb AB, Johnston RK, Snyder RB: The technique of cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 9:77-81, 1981
- 16) Marder RA, Raskind JR, Carroll AM, et al: Prospective evaluation of arthroscopically assisted

- anterior cruciate ligament reconstruction; patella tendon versus semitendinosus and gracilis tendons. *Am J Sports Med* 19:478-484, 1991
- 17) Maeda A, Shino K, Horibe S, et al: Anterior cruciate ligament reconstruction with multistranded autogenous semitendinosus tendon. *Am J Sports Med* 24:504-509, 1996
 - 18) Hamada M, Shino K, Horibe S, et al: Single-versus bi-socket anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous multiple-stranded hamstring tendons with endobutton femoral fixation: a prospective study. *Arthroscopy* 17 : 801-807, 2001
 - 19) Rosenbeg TD, Graf B: Techniques for ACL reconstruction with Multi-Trac drill guide. Mansfield, MA: Acufex Microsurgical, 1994
 - 20) Muneta T, Sekiya I, Yagishita K, et al: Two-Bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament using semitendinosus tendon with endobuttons: operative technique and preliminary results. *Arthroscopy* 15:618-624, 1999
 - 21) Rijke AM, Tegtmeier CJ, Weiland DJ et al: Stress examination of the cruciate ligaments: a radiologic Lachman test. *Radiology* 165 : 867-869, 1987
 - 22) Shino K, Nakata K, Nakamura N et al: Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction using two double-looped hamstring tendon grafts via twin femoral and triple tibial tunnels. *Oper Tech Orthop.* 15:130-134, 2005
 - 23) Hutchinson MR, Ash SA: Resident's ridge: assessing the cortical thickness of the lateral wall and roof of the intercondylar notch. *Arthroscopy* 19:931-935, 2003
 - 24) Ferretti M, Ekdahl M, Shen W et al: Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study. 23:1218-1225, 2007
 - 25) Shino K, Suzuki T, Iwahashi T, et al: The resident's ridge as an arthroscopic landmark for anatomical femoral tunnel drilling in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy.* Nov 14, 2009
 - 26) Shino K, Nakata K, Nakamura N et al : Anatomically oriented anterior cruciate ligament reconstruction with a bone-patellar tendon-bone graft via rectangular socket and tunnel: a snug-fit and impingement-free grafting technique. *Arthroscopy* 21:1402.e1-1402.e5, 2005