

# スポーツ外傷及び障害に対する競技復帰後の パフォーマンス差異の検証

淡 路 靖 弘

## 要 旨

本研究は ACL 再建術で採用される BTB 法 (Bone- Tendon-Bone : BTB) と STG 法 (Semitendinosus/Gracilis : STG) の術後の経過及びパフォーマンス差異を検証したものである。多くのアスリートは競技中に膝関節の安定をもたらすのに重要な役割を果たす前十字靭帯を断裂させている。前十字靭帯の断裂によりアスリートは再び競技復帰するのに 6～12 か月もの時間をかけリハビリテーションに励んでいる。より早くアスリートを競技復帰させるために医師は 2 つの術法を選択する。一つは膝蓋腱を用いる BTB 法で、もう一つは半腱様筋腱及び薄筋を用いた STG 法である。筆者は 2 つの術法を経過と共に観察し疼痛レベル、筋力、下肢周囲径、下肢パフォーマンスに有意な差異を明らかにした。

キーワード：疼痛レベル、筋力、下肢周囲径、バランス機能、下肢パフォーマンス機能

## 1. 緒言

人間の膝関節に安定性を齎す靭帯は主に 4 つある。則ち、前十字靭帯 (Anterior Cruciate ligament :ACL)、後十字靭帯 (Posterior Cruciate Ligament :PCL)、内側側副靭帯 (Medial Collateral Ligament :MCL) と外側側副靭帯 (Lateral Collateral Ligament :LCL) である。この 4 つの靭帯とも膝安定に対して重要な役割を果たしているが、ACL、PCL は大腿骨と脛骨を結ぶ強靭な紐で ACL は脛骨の前方偏位、PCL は脛骨の後方偏位を制限し、MCL は大腿骨内側顆と脛骨を結ぶ紐、LCL は大腿骨外側顆と腓骨頭を結びそれぞれ膝関節への内反、外反ストレスに対して膝の安定に寄与している。スポーツ活動中に発生しうる外傷としての 1 つは ACL の断裂である。

ACL 損傷は若年層やスポーツ競技者にとっては手術による再建が適応となる [14]。手術を行わず保存的療法で処置した場合、受傷後 5 年後には、半月板損傷を起こす症例が 80% 以上あり、長期的見地からは変形性関節症を引き起こすとされている [13]。医師による ACL 損傷の診断は膝関節を 20～30° の屈曲位にし、下腿を前方に引き出し、健側脚との比較で過度の前方偏位量及びエンドポイントの欠如を測る Lachman test [15]、ACL 損傷によって起こる脛骨前方亜脱臼及び内旋転移を評価する N test, Pivot shift test, Jerk test [12] などの徒手診断により診断される。

ACL 断裂の受傷機転の多くは膝関節に対して外側部から過度の直達外力が加わることによって発生する接触型と、足部からの着地時の重心後方偏位や方向転換時に膝関節に対して過度の捻転力が加わることによって発生する非接触型損傷に分類される。接触型による ACL 断裂はコンタクトスポーツ（アメリカンフットボール、ラグビー、柔道など）に多く発生する [9]。受傷機転は相手選手にタックルされるなどにより膝関節に対して極度の外反ストレスが生じることによる受傷であり、もう一方の非接触型による ACL 断裂は繰り返し動作にみられる方向転換などによっての膝関節への捻転力によって発生する。非接触型損傷ではサッカーやバスケットボールなど足部が固定されている状態での膝関節の捻じれ動作に起因する場合が殆どである [9]。今日数多くのスポーツ選手が ACL 断裂のために手術を余儀なくされ、長期間のメディカル・アスレチックリハビリテーションに取り組んでいる。一方、スポーツ医学の面では日々進歩を遂げ、受傷者を医学の見地から支えている。医師による術後、医師を中心とし理学療法士、アスレチックトレーナー、選手がそれぞれの責任において早期に競技復帰することが出来るように努力している。そのため、ACL 再建術方法による術後の復帰力も重要視されつつある。

ACL 再建術は 1917 年に Dr. Hey-Groves によって最初実施された。当時の手術法は腸脛靭帯を用い関節外再建（オープンサージェリー）であり、1920 年には 14 例の術後成績が報告されている [11]。1930 年代に入ると、Willis Campbell は前十字靭帯を繋ぐ脛骨骨孔内と大腿骨に再建靭帯である膝蓋腱を通した前十字靭帯再建術を報告した [10]。当時は関節鏡による術式もなく、術式が明確では無かったため、術後の経過も安定していなかった。80 年代に入ると関節鏡による術式が確立し、関節切開を避け、鏡視下手術を行うことによって手術侵襲を極力抑えることが可能となり、競技復帰のためのアスレチックリハビリテーションの見地からも早期復帰に向けて有益になった [5, 8]。また人工靭帯の術式（Leed-keio）も開発されたが良好な報告例もあるものの、耐久性などの見地から症例に限られていた [5, 8]。そして当時の術式の主流となったのは鏡視下による膝蓋靭帯移植（Bone-Tendon -Bone: BTB）であり、90 年代には BTB 法以外の術式である膝関節屈曲筋の半腱様筋腱 / 薄筋腱移植（Semitendinosus/Gracilis : STG）移植による方式も確立された [5, 8]。

BTB と STG 手術法の以前は腸脛靭帯（IT band）を用いての手術法がよく使われたが、当時の術式である自家組織の腸脛靭帯による術後の経過は必ずしも良好とは言えず、症例では腸脛靭帯による二重支持再建術による術後 2 年以上の経過報告では、再建術 21 例中競技レベルを維持できたものはわずか 7 例しかなかったとの報告がある [7]。これに対し、今日において、多くの ACL 再建術では膝蓋靭帯移植（BTB）又は半腱様筋腱 / 薄筋腱移植（STG）のいずれかが採用されるようになった。BTB による術式は膝蓋骨と脛骨に付着している約 3cm 程度の膝蓋腱の真ん中、1cm 程度の上下骨をつけたまま移植する術法である。一方 STG による術式はハムストリングスの一つである半腱様筋腱及び薄筋腱を移植する手術で 2 重束再建術を用いた内側線維束（AMB）と後外側線維束（PLB）と呼ばれる 2 方向に靭帯を移植し ACL を再建する術法

である [5]。

BTB 及び STG の手術法にはそれぞれ長所と短所があるとされている。BTB における長所は腱の部分が丈夫であり、腱を上下骨ごと移植するので大腿骨部、脛骨部の骨融合が早期に実現できる。BTB の短所は STG と比べ手術による傷が大きく、骨の採取部に疼痛が残存し膝の伸展筋力（大腿四頭筋）が一時的に低下すると報告されている [5]。一方、STG の長所として、BTB に比べ手術による傷跡が小さく済み二重束再建術によって正常靭帯に近い機能が得られ腱の採取部への疼痛の残存が少ないとされている。STG の短所は膝屈曲筋力（ハムストリングス）が一時的に低下すると報告されている [5]。また、水田らによると、膝伸展筋力の患側 / 健側比では術後競技復帰には 0.8 が目安とされているが、12 ヶ月で目標達成できたのは 11 膝中 2 膝のみであったとの報告もある [7]。毎年世界的には年間 25 万症例の ACL 再建術が行われている。2004 年の術式分類として、BTB は 70%、STG 法は 25%、その他が 5%であった [1]。

以上の ACL 再建術の歴史を踏まえ、本研究は ACL 再建術にて主流である自家組織による BTB 法、STG 法それぞれの手術を行ったスポーツ選手に対して術後から競技復帰までまたは競技復帰後におけるパフォーマンスの差異を疼痛、筋力、周囲径、バランス機能、下肢機能（プライオメトリック機能）、スピード能力を術後直後から 5 年に渡り明らかにすることを目的とした。

## 2. 調査及び分析方法

分析対象者、調査内容と分析方法は以下の通りである。

(1) 分析対象者：競技中に ACL を断裂し再建術が必要であった大学体育会ラグビー部に所属する部員の中で BTB 及び STG の手術を行った 10 名の部員 (BTB 法の手術を受けた 5 名と STG 法を受けた 5 名)；

(2) 調査内容：それぞれ BTB 法及び STG 法の手術を受けた 10 名の部員の術後から 5 年間（術後 6 か月～60 か月）における競技復帰後の腱採取部の疼痛、ACL 受傷前と ACL 再建術後 6 ヶ月～60 ヶ月後の膝伸展筋力、膝屈曲筋力の比較、周囲径、及び下肢機能パフォーマンステストの評価である。腱採取部の疼痛の評価については選手からの主観的主張を元にスケールで 6 段階評価 (0 は無痛～3～圧を加えると痛みが誘発される～5 非常に疼痛が強い) をした。そして、膝伸展位及び膝屈曲位の筋力の評価はレッグエクステンション、レッグカールでの等張性筋収縮による筋力評価を行い、周囲径は膝蓋骨から 5cm、10cm、最大膨隆部の 3 点、下肢機能パフォーマンスにおいてはシングルレッグホップ、シングルレッグトリプルテストでの距離、及びバランス片足たちと 50m 走の測定を実施した。

(3) 分析方法：本研究では、ACL 再建術を受け BTB 法の手術を行った選手 5 名（それぞれ A, B, C, D, E とする）と STG 法の手術を行った 5 名（それぞれ F, G, H, I, J とする）について、それぞれ 6 ヶ月後、9 ヶ月後、12 ヶ月後、18 ヶ月後、24 ヶ月後、36 ヶ月、48 ヶ月と

60ヶ月において、(i) 競技復帰後の腱採取部の疼痛、(ii) 膝伸展筋力、(iii) 膝屈曲筋力、(iv) 周囲径、(v) 下肢機能パフォーマンステスト（シングルレッグホップテスト、シングルレッグトリプルホップテスト、バランス片足たちと50m走のテスト）についての評価を行い、(i)～(iv)は術後の「筋力回復力」を、(v)はその「パフォーマンスの回復力」を示す。更に手術後の回復効果をみるために、(ii)～(v)について、新しい変数である受傷前と術後（各時期）との差、即ち「受傷前の値－術後の値（各時期）」（平均、以下ではこの指標を「回復力」と定義する）を作成し、BTB法を受けたグループとSTG法を受けたグループについての平均値の差の統計検定を行った。

### 3. 結果

#### (1) 分析結果 I：「回復力」についてのデータ分析

図1では、BTB法を受けたA～Eと、STG法をF～Jの術後6ヶ月～60ヶ月経過後の疼痛の変化を示している。

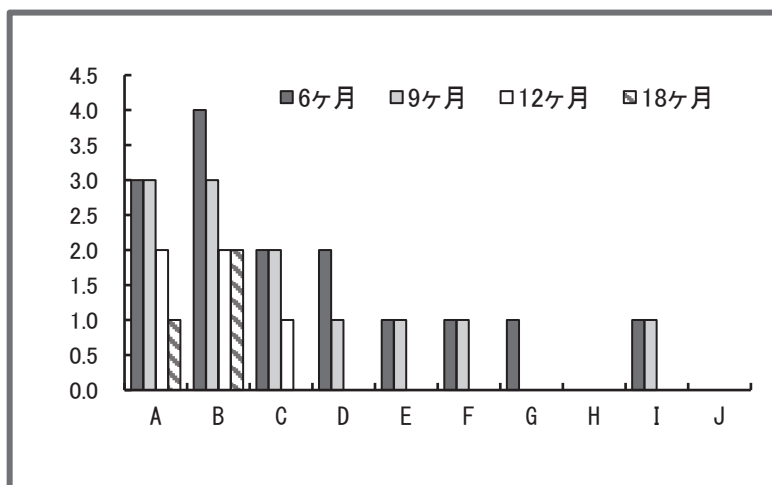


図1 競技復帰後の腱採取部の疼痛スケール（6段評価）

注：縦軸は疼痛の度合を表す。0は無痛～3～圧を加えると痛みが誘発される疼痛であり、4～5は圧を加えなくても非常に疼痛が強い。

図1で示した通り、疼痛の変化では術後BTB法を実施した選手の疼痛の残存が長く残っていた（AとBは18ヶ月、Cは12ヶ月、DとEは9ヶ月）。一方、STG法による手術では疼痛の残存は比較的軽度で術後9ヶ月で疼痛は殆ど消失している。この結果はBTB法とSTG法の術後の疼痛に関する一般的な認識と同様であった。

次に手術後の回復効果をみるため、(ii)～(v)について、新しい変数である受傷前と術後

(各時期)との差、即ち「受傷前の値－術後の値（各時期）」を各表で示す。表1は5年間におけるBTB法とSTG法を受けた選手の筋力の「回復力」を示している。「受傷前の値－術後の値（各時期）」が正で大きければ、競技復帰後の筋力の回復力が遅いことを意味し、「受傷前の値－術後の値（各時期）」の値が負であれば、リハビリやトレーニング等により術後の筋力が前より良くなることを意味する。表1により、膝伸展筋力について、BTB法に比べてSTG法を実施した選手の方が術後一年を越えてから急激に筋力が回復し受傷前よりも筋力が増強している（その負の値はそれを表している）ことが示された。一方、膝屈曲筋力について、手術の直後ではSTG法の筋力の低下が顕著であるが、術後の36ヶ月以降ではBTB法での筋力との差は殆どなくなり、48ヶ月以降は逆転することが見られる。これらの観察と前述のBTBとSTGの手術方法の違いを総合すると、術後の膝伸展筋力においてはSTG法、膝屈曲筋力ではBTB法の方が相対的に回復は早いと示された。

表1 競技復帰後の筋力の受傷前後の比較

(単位：kg)

	BTB			STG		
	受傷前	受傷前－手術後		受傷前	受傷前－手術後	
		平均	標準偏差		平均	標準偏差
膝伸展筋力：6ヶ月	54.6	16.8	2.4	57	18	3.8
：9ヶ月	〃	15.6	2.9	〃	7.2	4.5
：12ヶ月	〃	9.6	2.9	〃	4.8	4.5
：18ヶ月	〃	6.0	3.8	〃	-1.2	2.4
：24ヶ月	〃	1.2	2.4	〃	-3.6	2.9
：36ヶ月	〃	1.2	2.4	〃	-3.6	2.9
：48ヶ月	〃	-1.2	2.4	〃	-6.0	3.8
：60ヶ月	〃	-1.2	2.4	〃	-6.0	3.8
膝屈曲筋力：6ヶ月	43.8	10.8	2.4	40.2	13.2	2.4
：9ヶ月	〃	6.0	0.0	〃	8.4	2.9
：12ヶ月	〃	1.2	2.4	〃	6.0	0.0
：18ヶ月	〃	-2.4	4.8	〃	1.2	2.4
：24ヶ月	〃	-3.6	2.9	〃	0.0	0.0
：36ヶ月	〃	-4.4	3.2	〃	-2.4	2.9
：48ヶ月	〃	-4.4	3.3	〃	-6.0	3.8
：60ヶ月	〃	-5.0	3.0	〃	-7.2	2.4

表2は過去5年間におけるBTB法及びSTG法を受けた選手の大腿部周囲径「回復力」を示している。膝上5cmの周囲径は術後BTB法、STG法ともに内側広筋のアτροφイが見られるため、周囲径の低下は見られるが、24ヶ月以降は徐々に回復している。膝上10cmの周囲径は両術ともに術後ともに術後18ヶ月までは周囲径の低下は見られるが、その以降は受傷前と同程度まで回復するか、それ以上に回復している。一方、大腿部最大膨隆部の周囲径についてはBTB

術後24ヶ月でも受傷前のレベルまで回復には至っていないが、STG法は24ヶ月以降で回復が早くなっている。そして、回復の度合いについて、STG法はBTB法より早いことが示された。膝上5cmと膝上10cmは24ヶ月まではBTB法の値がSTG法の値に近づいていたが、その後、再び離れていく。大腿部最大膨隆部の周囲径についてはSTG法がBTB法よりずっと結果が良いことが示された。

表2 競技復帰後の大腿部周囲径の受傷前後の比較

(単位: cm)

	BTB			STG		
	受傷前	受傷前-手術後		受傷前	受傷前-手術後	
		平均	標準偏差		平均	標準偏差
大腿部周囲径膝蓋骨上5cm(6ヶ月)	49.9	3.92	1.1	47.4	2.32	1.4
5cm(9ヶ月)	〃	3.26	1.4	〃	1.76	1.2
5cm(12ヶ月)	〃	2.28	1.3	〃	1.38	1.1
5cm(18ヶ月)	〃	1.70	0.9	〃	0.96	0.8
5cm(24ヶ月)	〃	0.70	0.8	〃	0.30	0.3
5cm(36ヶ月)	〃	0.56	0.8	〃	0.06	0.3
5cm(48ヶ月)	〃	0.58	0.7	〃	-1.24	0.5
5cm(60ヶ月)	〃	0.46	0.8	〃	-1.76	0.3
大腿部周囲径膝蓋骨上10cm(6ヶ月)	57.7	3.46	1.5	56.1	2.56	0.3
10cm(9ヶ月)	〃	3.02	1.1	〃	2.12	0.4
10cm(12ヶ月)	〃	2.26	0.8	〃	1.48	0.4
10cm(18ヶ月)	〃	1.30	0.7	〃	1.18	0.2
10cm(24ヶ月)	〃	0.52	0.3	〃	0.40	0.2
10cm(36ヶ月)	〃	0.40	0.4	〃	-0.06	0.2
10cm(48ヶ月)	〃	0.18	0.5	〃	-0.24	0.24
10cm(60ヶ月)	〃	0.08	0.5	〃	-0.70	0.6
大腿部最大膨隆部周囲径(6ヶ月)	66.3	5.28	1.0	64.8	2.92	0.5
(9ヶ月)	〃	4.68	0.7	〃	2.44	0.6
(12ヶ月)	〃	4.02	0.9	〃	2.00	0.6
(18ヶ月)	〃	3.30	0.4	〃	1.60	0.32
(24ヶ月)	〃	2.50	0.4	〃	0.840	0.2
(36ヶ月)	〃	2.10	0.6	〃	0.60	0.3
(48ヶ月)	〃	1.66	0.8	〃	0.30	0.3
(60ヶ月)	〃	1.44	1.0	〃	0.10	0.5

表3は過去5年間におけるBTB法とSTG法を受けた選手のパフォーマンステストの「回復力」を示している。シングルレッグホップテストでは、STG法が安定的に回復しているのに対し、BTB法は12ヶ月までは不安定であることが見られた。一方、シングルレッグトリプルホップテストでは、STG法もBTB法も順序に回復しているが、回復力についてはSTG法の方がBTB法に比べて早いことが示された。

表3 競技復帰後の下肢機能テストの受傷前後の比較

(単位：m)

	BTB			STG		
	受傷前	受傷前－手術後		受傷前	受傷前－手術後	
		平均	標準偏差		平均	標準偏差
シングルレッグホップテスト距離測定 (6ヶ月)	1.78	0.194	0.1	1.83	0.254	0.1
(9ヶ月)	〃	0.172	0.1	〃	0.206	0.1
(12ヶ月)	〃	-2.814	5.0	〃	0.146	0.1
(18ヶ月)	〃	0.116	0.1	〃	0.086	0.1
(24ヶ月)	〃	0.06	0.0	〃	0.036	0.0
(36ヶ月)	〃	0.01	0.1	〃	0.018	0.0
(48ヶ月)	〃	0.05	0.1	〃	0.014	0.0
(60ヶ月)	〃	0.03	0.0	〃	-0.022	0.0
シングルレッグトリプルホップテスト 距離測定 (6ヶ月)	5.25	0.53	0.2	4.98	0.15	0.1
(9ヶ月)	〃	0.48	0.2	〃	0.12	0.1
(12ヶ月)	〃	0.32	0.2	〃	0.07	0.0
(18ヶ月)	〃	0.23	0.1	〃	0.02	0.0
(24ヶ月)	〃	0.19	0.1	〃	0.02	0.0
(36ヶ月)	〃	0.15	0.1	〃	-0.03	0.0
(48ヶ月)	〃	0.13	0.1	〃	-0.10	0.0
(60ヶ月)	〃	0.06	0.2	〃	-0.15	0.0

表4は過去5年間におけるBTB法とSTG法を受けた選手の下肢機能パフォーマンステスト「回復力」を示している。このテストでは48ヶ月まで、STG法よりBTB法の方が、回復が早いことが示された。

表4 競技復帰後のバランス片足たちの受傷前後の比較

(単位：秒)

	BTB			STG		
	受傷前	受傷前－手術後		受傷前	受傷前－手術後	
		平均	標準偏差		平均	標準偏差
バランス片足たち (6ヶ月)	43	3.8	3.6	47	5.2	2.2
(9ヶ月)	〃	2.0	3.0	〃	5.4	1.9
(12ヶ月)	〃	0.2	2.1	〃	4.6	1.5
(18ヶ月)	〃	-0.8	1.7	〃	3.0	0.9
(24ヶ月)	〃	0.2	1.9	〃	1.6	1.4
(36ヶ月)	〃	-0.4	2.6	〃	0.4	3.4
(48ヶ月)	〃	0.6	2.2	〃	-0.6	1.6
(60ヶ月)	〃	-0.8	1.5	〃	-1.8	0.8

表5は過去5年間に於いてACL再建術のBTB法及びSTG法を受けた選手の受傷前と競技復帰後の下肢機能パフォーマンステスト(v)における「50m走」の「回復力」と標準偏差をまとめている。このテストではBTB, STG共にリハビリテーションやストレングストレーニング等により受傷前より走りのスピードが早くなっている事を示しているが、受傷前との差が徐々に縮まっていることがわかる。なお、18ヶ月以降はBTB法よりSTG法の方がパフォーマンスは良いことが観察される。

表5 競技復帰後の50m走の受傷前後の比較 (単位: 秒)

	BTB			STG		
	受傷前	受傷前-手術後		受傷前	受傷前-手術後	
		平均	標準偏差		平均	標準偏差
50m走 (6ヶ月)	6.1	-0.156	0.1	6.0	-0.118	0.1
(9ヶ月)	〃	-0.122	0.0	〃	-0.124	0.1
(12ヶ月)	〃	-0.086	0.1	〃	-0.090	0.1
(18ヶ月)	〃	-0.072	0.1	〃	-0.050	0.0
(24ヶ月)	〃	-0.060	0.0	〃	-0.084	0.1
(36ヶ月)	〃	-0.050	0.0	〃	-0.056	0.1
(48ヶ月)	〃	-0.054	0.0	〃	-0.062	0.1
(60ヶ月)	〃	-0.026	0.0	〃	-0.036	0.0

## (2) 分析結果Ⅱ: 「回復力」についての統計分析

表6～表14は平均値の差の検定によるこの調査における(i)競技復帰後の腓採取部の疼痛, (ii)膝伸展筋力, (iii)膝屈曲筋力, (iv)周囲径, (v)下肢機能パフォーマンステストについてのSTG法とBTB法の術後回復力を統計的に比較している。表における各変数の値はBTB法とSTG法の各指標の平均値であり, combined Obs. は観察数,  $\Pr(|T| > |t|)$  は平均値の差の検定用P値である。

表6と表7では表1で示されている膝伸展筋力と膝屈曲筋力の両データの性質にフィットしているように、膝伸展筋力についてはSTG法、膝屈曲筋力についてはBTB法の方が術後の回復力が良いことを示している。但し、膝伸展筋力については調査期間全般的に見られるものであり、膝屈曲筋力については12ヶ月目と24ヶ月目しか有意な差はみられなかった。



表6 膝伸展筋力 (STG と BTB 再建術後との比較)

	6ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	18ヶ月	24ヶ月	36ヶ月	48ヶ月	60ヶ月
BTB	16.8	15.6	9.6	6	1.2	1.2	-1.2	-1.2
STG	18	7.2	4.8	-1.2	-3.6	-3.6	-6	-6
平均値の差	-1.2	8.4**	4.8	7.2**	4.8**	4.8**	4.8*	4.8*
combined Obs.	10	10	10	10	10	10	10	10
Pr( T  >  t )	0.607	0.013	0.110	0.012	0.031	0.031	0.064	0.064

注：\*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ 1%, 5% と 10% の有意水準を表す。

表7 膝屈筋力 (STG と BTB 再建術後との比較)

	6ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	18ヶ月	24ヶ月	36ヶ月	48ヶ月	60ヶ月
BTB	10.8	6	1.2	-2.4	-3.6	-4.4	-4.4	-5
STG	13.2	8.4	6	1.2	0	-2.4	-6	-7.2
平均値の差	-2.4	-2.4	-4.8**	-3.6	-3.6*	-2	1.6	2.2
combined Obs.	10	10	10	10	10	10	10	10
Pr( T  >  t )	0.188	0.178	0.016	0.223	0.071	0.379	0.537	0.277

注：\*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ 1%, 5% と 10% の有意水準を表す。

表8～表10は表2と同様のデータによる平均値の差のSTG法とBTB法再建術後の比較を示したものである。3つのデータとも足の筋力を表す膝蓋骨から5cm、10cmと最大膨隆部の周囲径を示すものである。それらによれば、大腿部周囲径膝蓋骨上5cmと10cmの周囲径については3年目(36ヶ月)以降ではBTB法とSTG法について統計的に有意な差が示され、いずれもSTG法が良い成績という結果である。これも手術法の違いにより疼痛の影響が術後のリハビリやトレーニングに与える影響によるものだと思われる。これらに対し、膝蓋骨からの最大膨隆部についての検定では、調査期間全般的にSTG法の方が良い結果を示している。

表8 大腿部周囲径膝蓋骨上5cm (STG と BTB 再建術後との比較)

	6ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	18ヶ月	24ヶ月	36ヶ月	48ヶ月	60ヶ月
BTB	3.9	3.26	2.28	1.7	0.7	0.56	0.58	0.46
STG	2.32	1.76	1.38	0.96	0.3	0.06	-1.24	-1.76
平均値の差	1.6	1.5	0.9	0.74	0.4	0.5	1.82***	2.22***
combined Obs.	10	10	10	10	10	10	10	10
Pr( T  >  t )	0.105	0.140	0.317	0.248	0.387	0.271	0.003	0.002

注：\*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ 1%, 5% と 10% の有意水準を表す。

表9 大腿部周囲径膝蓋骨上10cm (STGとBTB再建術後との比較)

	6ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	18ヶ月	24ヶ月	36ヶ月	48ヶ月	60ヶ月
BTB	3.46	3.02	2.26	1.3	0.52	0.4	0.18	0.08
STG	2.56	2.12	1.48	1.18	0.4	-0.06	-0.24	-0.7
平均値の差	0.9	0.9	0.78	0.12	0.12	0.46*	0.42	0.78*
combined Obs.	10	10	10	10	10	10	10	10
Pr(T> t )	0.285	0.181	0.117	0.751	0.579	0.095	0.184	0.075

注：\*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ 1%, 5% と 10% の有意水準を表す。

表10 大腿部最大膨隆部周囲径 (STGとBTB再建術後との比較)

	6ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	18ヶ月	24ヶ月	36ヶ月	48ヶ月	60ヶ月
BTB	5.28	4.6	4.02	3.3	2.5	2.1	1.66	1.44
STG	2.92	2.44	2	1.6	0.84	0.6	0.3	0.1
平均値の差	2.36***	2.24***	2.02***	1.7***	1.66***	1.5***	1.36**	1.34*
combined Obs.	10	10	10	10	10	10	10	10
Pr(T> t )	0.005	0.001	0.007	0.000	0.000	0.004	0.025	0.052

注：\*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ 1%, 5% と 10% の有意水準を表す。

以上はBTB法とSTG法の術後の筋力回復力について統計的に比較した。表11～表14は表3～表5と同様のデータを用いて、BTB法とSTG法の術後のパフォーマンスを示すシングルレッグホップテスト(1回ジャンプ)、シングルレッグトリプルホップテスト(1回ジャンプ)、バランス片足たちと50m走について、平均値の差の検定を行っている。まず、シングルレッグホップテストとシングルレッグトリプルホップテストについての平均値の差の検定では、シングルレッグホップテストでは、BTB法とSTG法の差は殆ど見られず、シングルレッグトリプルホップテストについては調査期間全般的にSTG法の成績が良く、36ヶ月以降はSTG法を受けた選手は手術前より成績が良かった。

表11 シングルレッグホップテスト距離測定 (STGとBTB再建術後との比較)

	6ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	18ヶ月	24ヶ月	36ヶ月	48ヶ月	60ヶ月
BTB	0.194	0.172	-2.814	0.116	0.06	0.058	0.048	0.034
STG	0.254	0.206	0.146	0.086	0.036	0.018	0.014	-0.022
平均値の差	-0.06	-0.034	-2.96	0.03	0.024	0.04	0.034	0.056*
combined Obs.	10	10	10	10	10	10	10	10
Pr(T> t )	0.461	0.662	0.376	0.417	0.326	0.186	0.258	0.081

注：\*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ 1%, 5% と 10% の有意水準を表す。

表 12 シングルレッグトリプルホップテスト距離測定 (STG と BTB 再建術後との比較)

	6ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	18ヶ月	24ヶ月	36ヶ月	48ヶ月	60ヶ月
BTB	0.53	0.48	0.32	0.23	0.186	0.152	0.126	0.056
STG	0.15	0.12	0.074	0.022	0.018	-0.034	-0.102	-0.17
平均値の差	0.38**	0.36**	0.246**	0.208**	0.168*	0.186**	0.228**	0.226*
combined Obs.	10	10	10	10	10	10	10	10
Pr( T  >  t )	0.014	0.021	0.049	0.038	0.051	0.046	0.021	0.057

注：\*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ 1%, 5% と 10% の有意水準を表す。

バランス片足たちの BTB 法と STG 法についての平均値の差の検定では、18ヶ月までは BTB 法の成績が良く、その後は BTB 法と STG 法との差は統計的に見られていない。一方、50m 走については BTB 法と STG 法の差は統計的に有意な差はみられなかった。

表 13 バランス片足たち (STG と BTB 再建術後との比較)

	6ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	18ヶ月	24ヶ月	36ヶ月	48ヶ月	60ヶ月
BTB	3.8	2	0.2	-0.8	0.2	-0.4	0.6	-0.8
STG	5.2	5.4	4.6	3	1.6	0.4	-0.6	-1.8
平均値の差	-1.4	-3.4**	-4.4***	-3.8***	-1.4	-0.8	1.2	1
combined Obs.	10	10	10	10	10	10	10	10
Pr( T  >  t )	0.527	0.021	0.009	0.006	0.268	0.715	0.397	0.265

注：\*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ 1%, 5% と 10% の有意水準を表す。

表 14 50m 走 (STG と BTB 再建術後との比較)

	6ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	18ヶ月	24ヶ月	36ヶ月	48ヶ月	60ヶ月
BTB	0.156	0.122	0.086	0.072	0.06	0.05	0.05	0.026
STG	0.118	0.124	0.09	0.05	0.084	0.056	0.062	0.036
平均値の差	0.038	-0.002	-0.004	0.022	-0.024	-0.006	-0.008	-0.01
combined Obs.	10	10	10	10	10	10	10	10
Pr( T  >  t )	0.459	0.963	0.919	0.499	0.603	0.846	0.775	0.690

注：\*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ 1%, 5% と 10% の有意水準を表す。

以上の結果をまとめると、個別な指標を除けば、全体的に STG 法を受けた選手の術後回復力（「筋力回復力」と「パフォーマンスの回復力」）が早いと見られる。

#### 4. 考察

本研究は前十字靭帯再建術である BTB 法、STG 法のいずれかの前十字靭帯再建術を行い、競技復帰後数年に渡るパフォーマンスの差異を検証することを目的とした。

再建術後に発生する疼痛スケールでは北島らの報告と同様であった〔16〕。彼らの報告によれば、BTB法による術後の自体重でのバランス機能及び筋力トレーニングでの疼痛は、術後から競技復帰までの約8カ月で疼痛残存は全体の24%を占めている〔16〕。本研究でもBTB法のほうがSTG法よりも疼痛が長期間残存しており、術後9ヶ月では5名全員が疼痛を訴えていた。これは術法によるところが大きく、BTB法は膝蓋腱を脛骨粗面の上下骨ごと切除して移植するため、切除部の疼痛が長期間に渡り残存してしまう。一方STG法はハムストリングスの半腱様筋腱と薄筋腱の一部を移植する為、BTB法と比較すると疼痛の消失も早いと推察される。本研究での重要な所見は、これらの疼痛は競技復帰後も数年に渡り永続してしまう点である。北島らの報告は競技復帰までの疼痛レベルの検証であるが、本研究は先行研究から更なる数年後までに及ぶ疼痛レベルを検証しており、疼痛は競技復帰後も数年間残存する為、競技復帰後のパフォーマンスにも強い影響を及ぼすと考えられる。

膝関節伸展の際、主働筋として働くのは大腿四頭筋であり、大腿四頭筋が十分な収縮を行うことによって膝関節は伸展することが出来るが、大腿四頭筋の遠位付着部は膝蓋骨上縁であり、膝蓋骨下縁部ではBTB法により切除された膝蓋腱が付着している。大腿四頭筋が収縮し、それに伴い膝蓋骨も上方へ引き上げられる。この動作により膝蓋腱も伸張されることになり膝蓋腱の下部付着部（骨採取部）にも過度な張力がかかり疼痛も増大してしまう。これにより膝伸展筋力の強化が停滞してしまう要因となっており、BTB法がSTG法よりも膝伸展筋力の回復が遅い原因であると分かった。青木らの研究によると競技復帰の目安は膝伸展筋力の患/健比は術後6ヶ月時で0.4~0.5を目標とし、術後4ヶ月でジョギングを開始し、術後12ヶ月で競技復帰が許可されるとしている〔1〕。また術後6ヶ月で11症例中9例がこの目標を達成しているが〔1〕、本研究ではBTB法による再建術では術後12ヶ月までは疼痛の影響を受け、筋力の回復がまだ不十分であることからジョギングの開始などグランドレベルでのリハビリテーションは時期尚早であると考えられる。

膝関節屈曲の際、主働筋として働くのはハムストリングスであり、ハムストリングスは大腿二頭筋、半膜様筋、半腱様筋で構成されているが、STG法ではハムストリングスの一部である半腱様筋をACLとして移植する。その為、ハムストリングスの筋力回復に時間を要することとなる。BTB法とSTG法の比較ではBTB法は術後18ヶ月で術前と同等以上の筋力が発揮されるが、STG法は術後36ヶ月でようやく術前と同等以上の筋力が発揮されることが分かった。このことは競技復帰後も数年に渡りハムストリングスに対する肉離れなどのリスクを負うことが考えられる。そのためSTG法による前十字靭帯再建術を受けた選手に対しては、傷害予防の観点から競技復帰後も長期に渡りハムストリングスの筋力強化を継続的に行う必要があることが考えられる。

大腿部周囲径及び下肢機能テスト（シングルホップテスト）ではSTG法による再建術の2年後（24ヶ月）では大腿部周囲径及び下肢機能テスト（シングルホップテスト）共に順調に回復

し、競技復帰に支障となることは無いと報告されている [17]。本研究でも STG 法による再建術を受けた5名共に術後24ヶ月で受傷前の筋力と同等までに回復を示した。大腿部周囲径は術後のリハビリテーション及びストレングストレーニングの結果、筋量の増加に比例する。トレーニングによって筋量が増加すれば大腿部の周囲径も必然と増加することとなる。BTB法とSTG法との比較では術後24か月までは有意な差を見られなかったが、術後24か月以降はSTG法が有意な差が示した。これは疼痛の残存との関連が考えられる。BTB法術では、下肢の大筋群である大腿四頭筋の筋量の回復が疼痛により十分に果たせていないことが伺える。一方、STG法では疼痛の残存がBTB法よりも早期に消失するため、より強度の高いトレーニングを早期に開始できることが、筋量の増加つまり大腿部周囲径の増加へと繋がっていることが推察される。またシングルレッグホップテストは疼痛の影響によりSTG法の方が、回復が早いことが推察される。シングルレッグトリプルホップテスト距離測定では、より顕著な有意な差異が見られた。これはSSC(ストレッチショートニングサイクル)の影響が考えられる。SSCではエキセントリック局面で大腿四頭筋の十分な伸張力により弾性エネルギーを蓄え、償却局面を経て最終局面であるコンセントリック局面で爆発的なパワーを発揮する。シングルレッグトリプルホップテスト距離測定では3回の連続した片足でのジャンプの距離を計測するため、BTB法では連続した膝関節の屈曲、伸展時のパワーの蓄積が不十分であると考えられる。一方STG法は術後から順調な回復が見られるため、STG法によるSSCへの直接的影響は少ないと推察される。

50m走のテストでは術後18か月以降はBTB法よりSTG法の方が、パフォーマンスが良いことが確認されたが、BTB法、STG法共に順調な回復を示した。50m走はラグビーの競技特性でもある切り替えし動作や減速・加速の不規則な動作を考慮せず、直線的な走りの速度を計測したが、直線的な走りではBTB法、STG法に有意な差は見られなかったことから術法による影響は少ないことが推察される。

## 5. まとめ

本研究は2つの術法を経過と共に観察し、疼痛レベル、筋力、下肢周囲径、下肢パフォーマンスに有意な差異を明らかにした。その主な結論として、統計分析(平均値の差の検定)では、STG法の方が成績は良いという結果になった。それぞれのテストでは相対的にSTG術法がBTB術法よりも術後のパフォーマンスに有意な差異を示した。これらのテストは競技パフォーマンスの向上に不可欠な要素であり、フィジカル強化の面で基礎となる。ラグビー競技では対人とのコンタクトの局面が非常に多く、筋力、切り返し動作、ステップ動作、減速・加速能力が非常に要求されるスポーツである。このことからラグビー競技者が不幸にも前十字靭帯を断裂し、再建術を受けなければならない際には、術後の長期に渡るパフォーマンスを考慮しSTG術法を選択するべきであると考えられる。

## 参考文献

- [1] 青木幹昌・高橋友明・唐澤達典・川崎桂子・矢貴秀雄・畑幸彦 (2006) 「膝屈筋腱を用いた前十字靭帯再建術後の等速性筋力の推移」第41回日本理学療法学会大会
- [2] 淡路靖弘・大西健 (2016) 「ACL再建術のSTG/BTB法の競技復帰後における経過及びパフォーマンスの差」JAPAN RESEARCH JOURNAL OF RUGBY FORUM No.9
- [3] 石村貞夫・石村光資郎 (2018) 『SPSSによる多変量データ解析の手順』東京図書。
- [4] 内田治 (2013) 『主成分分析の基本と活用』日科技連出版社。
- [5] 嘉手川啓 (2006) 「スポーツによる膝前十字靭帯損傷と再建の歴史」『沖縄医報』
- [6] 岸学 (2009) 『SPSSによるやさしい統計学』オーム社。
- [7] 水田博志・久保田健治・白石稔・甲斐功一・松川昭博・中村英一・高木克公 (1991) 「膝前十字靭帯不全に対する腸脛靭帯を用いた二重支持再建術の術後成績」『整形外科と災害外科』
- [8] 高橋恒存 (2016) 「遺残靭帯組織温存前十字靭帯再建術における自家移植腱の機能再構築に関する生体力学的・免疫組織学的研究：成羊モデルを用いた検討」北海道大学 (博士学位論文)。  
<https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/64802>
- [9] 森口晃一・鈴木裕也・原口和史 (2006) 「膝前十字靭帯損傷の受傷機転調査」第41回日本理学療法学会大会
- [10] Campbell, W. C. (1939). "Reconstruction of the Ligament of the knee." *Am J Surg.* 43, 473-480
- [11] Heygrove, E. W. (1980). "Operation for Repair of the Crucial Ligaments." *Clin. Orthop. Relat. Res* 147, 4-6
- [12] Kitamura N1, Yokota M, Kondo E, Miyatake S, Nagamune K. and Yasuda K. (2013). "Biomechanical characteristics of 3 pivot-shift maneuvers for the anterior cruciate ligament-deficient knee: in vivo evaluation with an electromagnetic sensor system." *AM. J. Sports Med.* 41, 2500-2506
- [13] Matava MJ1, Arciero RA2, Baumgarten KM3, Carey JL4, DeBerardino TM2, Hame SL5, Hannafin JA6, Miller BS7, Nissen CW8, Taft TN9, Wolf BR10, Wright RW11 and MARS Group (2015). "Multirater agreement of the causes of anterior cruciate ligament reconstruction failure: a radiographic and video analysis of the Mars cohort." *Am. J. Sports Med.* 43, 310-319
- [14] Nebelung, W. and Wuschech, H. (2005). "Thirty-five years of follow-up of anterior cruciate ligament-deficient knees in high-level athletes." *Arthroscopy* 21, 696-702
- [15] Torg JS, Conrad W and Kalen V. (1976). "Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete." *Am. J. Sports Med.* 4, 84-93
- [16] 北島正透・松竹裕輝・下川元継・武田寧・西川雄二・今屋健 (2013) 「BTBを用いたACL再建術後の臨床成績の検討：採取側の違いによる比較」理学療法学 supplement
- [17] 飯田晋・渡辺博史・五百川威・古賀良生・佐藤卓・大森豪・田中正栄 (2006) 「半腱様筋腱，薄筋腱を用いた前十字靭帯再建術後2年時の機能について」第41回日本理学療法学会大会

# The inspection of the differences of performance after backing to the field from sports injuries

Yasuhiro AWAJI

## Abstract

This article examines the advantages of bone-patellar tendon surgery of and Semitendinosus-gracilis reconstruction of anterior cruciate ligament (ACL) ruptures. A common injury among athletes is a torn ACL, a ligament which stabilizes the knee joint. This injury forces athletes to spend a lot of time in rehabilitation before returning to competition. Normally, athletes who receive ACL reconstruction surgery require 6 to 12 months for recovery. To reduce this recovery time, doctors have implemented two ways of ACL reconstruction surgery; bone-patellar tendon reconstruction (BTB), and semitendinosus-gracilis reconstruction (STG). BTB reconstruction transplants patella tendon, whereas STG reconstruction transplants semitendinosus-gracilis muscle tendon. In order to determine the effectiveness of these two surgical methods, this study investigated athletes' pain scale, muscle strength, thigh circumferences, balance function and lower limb function.

**Keywords:** pain scale, muscle strength, thigh circumferences, balance function,  
lower limb performance function

