

膝前十字靭帯再建術後の 膝屈曲可動域制限と膝筋力の関係について

Influence of postoperative loss of knee flexion on muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction

田中龍太*¹, 今屋 健*¹, 眞田高起*²
深井 厚*^{2,3}, 本田英三郎*², 稲川未悠*²
藤島理恵子*¹, 中山誠一郎*¹, 志田峻哉*¹

キー・ワード : post Anterior cruciate ligament reconstruction, Knee flexion range of motion, Knee muscle strength

前十字靭帯再建術後, 膝屈曲可動域, 膝筋力

〔要旨〕 本研究の目的は, 膝前十字靭帯 (ACL) 再建術後の膝屈曲可動域制限と膝筋力の関係を検討し, 術後の可動域制限因子を明らかにすることである。

対象は, 当院で片側 ACL 再建術を施行し, 術前から術後 5 カ月 (5M), 8 カ月 (8M), 1 年 (1Y) の調査が行えた 544 例である。5M で左右の踵殿間距離の左右差 (Δ HH) が 0 の良好群 (男性 122 例, 女性 195 例) と 0 でなかった不良群 (男性 110 例, 女性 117 例) を男女別に分類し, 比較検討した。比較項目は, 各々の時期の Δ HH, 膝伸展筋力 (Q)・屈曲筋力 (H) の患側体重比とした。また, Δ HH を従属変数に, 術前可動域や年齢などの患者背景を独立変数にし, 多重比較を行った。

結果は, 男性良好群は 5M と 8M の Q が有意に高く, 女性は術前から 1Y までの Q と 5M の H が有意に高かった。各時期で Δ HH は差があった。男女術後 Δ HH への共通した影響因子は術前 Δ HH であった。

術後屈曲可動域制限は, 男女共に Q の筋力に影響を与えることが示唆された。特に女性ではその傾向が強く術前から Δ HH に留意することが必要である。

はじめに

膝前十字靭帯 (以下 ACL) 再建術後において, Lents ら¹⁾は, 競技復帰には不安感, 疼痛, 腫脹, 関節不安定性, 筋力低下が障害する因子になることを述べている。我々も競技復帰には膝の安定性, 膝筋力, 可動域などの客観的因子と自覚的な回復度, 痛み, 不安などの主観的因子の両因子を十分に改善することが重要であると考え, それらの回復を目標にリハビリテーションを進めている²⁾。その中で临床上, 特に膝伸展筋力の回復が競技復帰

に際して重要な因子であると考えている。これまでの報告では, ACL 再建術後の膝伸展筋力の回復を障害する因子として膝伸展可動域制限の有無に関するものが多い^{2,3)}。一方膝屈曲制限との関係については, 近年, 我々の術後 1 年時の調査では, 特に女性において術後の膝屈曲可動域制限と膝伸展筋力に相関があることがわかった⁴⁾。さらに, 屈曲可動域と筋力の関係性を明らかにするため, 術前の膝屈曲可動域制限と術後の膝筋力との関係を調査したが, 健患比では関係性がみられないことを報告した⁵⁾。しかし臨床では, 術前良好な可動域であっても, 術後可動域が不良になる例も散見され, その際に筋力の回復も遅延している印象がある。また, 健患比のみでの評価では, 健側の筋力の増減に影響を受けるため, 純粋に患側の筋力の

*1 関東労災病院中央リハビリテーション部

*2 関東労災病院スポーツ整形外科

*3 帝京大学スポーツ医科学センター

表 1 当院における ACL 術後の目標屈曲可動域と主なリハビリテーションスケジュール

PO0 ~ 1W : 90° 可及的に HHD : 0 へ
1W ~ 10days : 110 ~ 120° (退院)
4W ~ 8W : 120-130° エアロバイク開始
8W ~ 12W : 140° ジョギング開始
12W ~ 4M : 150° ステップ系開始
4M ~ : 可及的に Δ HH : 0 へ, レッグエクステンション ダッシュ開始
5M : 部分合流 (Biodex にて健患比 70% 以上にてノンコンタクトまで) ステップ&ジャンプ動作などの複合運動の習熟
6.5 ~ 8M : スポーツ復帰へ (Biodex にて健患比 80% 以上, 引退のタイミングなどの事情により復帰のタイミングは考慮)

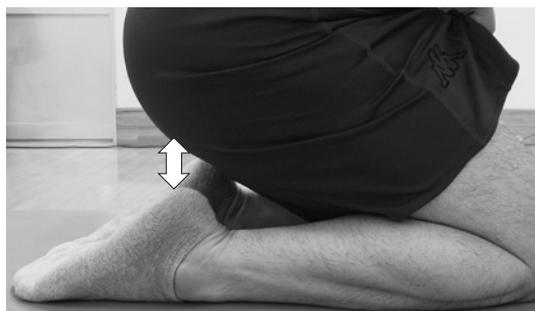


図 1 Heel to Hip の計測方法
踵殿間距離を計測し, 健側との左右差と比較する。
(6) より引用)

回復を評価するには適さない。そこで今回、術後の屈曲可動域制限の有無に着目し、患側膝筋力や可動域、関節内評価、患者背景を比較検討すると共に、術後の膝屈曲可動域の改善に関与する因子を明らかにすることを目的とした。

■ 対 象

2015 年 1 月から 2017 年 12 月までに当院スポーツ整形外科で施行された一側初回 ACL 再建術は 1027 膝であった。このうち、半月板ロッキング後や半月板縫合術後 2 期的に行った手術、複合靭帯損傷に対する手術は除外し、術前から術後 5 カ月 (5M)、術後 8 カ月 (8M)、術後 1 年 (1Y) の調査が行えた 544 例 (平均年齢 29.3 ± 12.8 歳, 男性 : 230 例, 女性 314 例) で、同一のリハビリテーションプロトコルで後療法を実施した対象とし、後ろ向きに調査を行った。

手術方法は、半腱様筋・薄筋腱を用いた trans-tibial 法での二重束 ACL 再建術を実施し、再建靭帯は、膝完全伸展位で徒手最大張力をかけて固定した。

■ リハビリテーション

我々は、手術前外来リハビリテーションにおいて、可能な限り左右差のない膝関節の完全伸展と完全屈曲 (正座肢位) を獲得した状態で手術を受けるように指導している。手術前日の入院日に術前の筋力測定を行い、術翌日から可及的に全荷重下でリハビリテーションを開始する。伸展可動域は可及的に、屈曲可動域は段階的に左右差の改善を目指し、術後 4 カ月以降からの完全屈曲獲得へと進めている。術後 5 カ月で膝の安定性の評価、可動域、筋力測定などの計測評価を行い、スポーツへの部分復帰、術後 6.5~8 カ月の競技復帰を目標としている⁵⁾(表 1)。

■ 調査項目

膝の屈曲可動域は、自重による正座肢位で、踵殿間距離 (Heel to Hip distance) の健患差 (以下、 Δ HH 単位 : cm) で評価する⁶⁾。5M で Δ HH が 0 の良好群 (男性 : 122 例, 32.1 ± 10.6 歳, 女性 : 195 例, 25.4 ± 13.1 歳) と 0 でなかった不良群 (男性 : 110 例, 32.6 ± 10.9 歳, 女性 : 117 例, 29.8 ± 14.2) の 2 群で男女それぞれに分類した (図 1)。

両群間で各時期に測定した以下の調査項目を比較した。

患者背景

- ・年齢 (歳)
- ・手術までの待機期間 (以下待機期間, 単位 : M)
- ・関節内処置の有無の割合 (%)
- ・半月板処置 (切除, 縫合), タナ切除などの処置実施の有無の割合 (%)
- ・術後 1 年時の膝痛の有無の割合

表2 男性における両群の患者背景

	良好群	不良群	P 値	統計
人数 (例)	122	110	—	U
年齢 (歳)	32.1 ± 10.6 32.5 (15.0-66.0)	32.6 ± 10.9 30.5 (10.9-68.0)	0.878	U
体重 (kg)	69.2 ± 9.6 68.0 (46.0-97.0)	71.5 ± 12.6 69.5 (52.0-122.0)	0.366	U
待機期間 (M)	15.3 ± 47.6 3.0 (0.8-336.0)	15.1 ± 43.0 2.5 (0.5-361)	0.680	U
関節内処置の割合 (%)	51.6	52.7	0.868	χ^2
術後1年時の痛みの有無の割合 (%)	9.84	12.7	0.486	χ^2

平均値 ± 標準偏差

中央値 (最小値 - 最大値)

U : Mann-Whitney U 検定

χ^2 : χ^2 検定

P < 0.05

測定項目

・膝屈曲可動域の左右差 (Heel to Hip distance 以下, Δ HH 単位: cm)

膝の屈曲可動域を, 自重による正座肢位で, 踵殿間距離の左右差を計測した。

・膝伸展可動域の左右差 (Heel Height Difference 以下, HHD 単位: cm)

膝伸展可動域を腹臥位にて, 下腿を自然下垂させた状態で踵骨の高さの左右差を計測した。

・脛骨前方移動量の健患差 (単位: mm)

Kneelax 3 (Gatso Special 社製) を用い, 132N で脛骨の前方移動量を測定し, その健患差 (以下, AD 健患差) を計測した。

*測定に際しては, 膝 30° 屈曲位で十分に脱力を確認した上で, 数回の試行後の測定値とした。

・患側膝伸展・屈曲筋力の体重比 (単位: Nm/kg)

Biodex System3 (Biodex 社製) を用い, 患側の膝伸展筋力を角速度 60deg/sec で測定し, 患側のピークトルク値を体重で除した値を算出した。

*筋力測定は, 0~90° の可動範囲で行い, 数回の試行後 5 回行い, そのうちの最大値を用いた。

統計及び検討方法

データ解析は, 統計ソフト SPSS version 25.0 for Windows を使用し, Shapiro-Wilk 検定を用いて正規分布の検討を行った。

①男女を良好群と不良群の 2 群に分類し, 2 群間の差の比較に対して, 正規分布していないもの

を Mann-Whitney の U 検定, 正規分布しているものを対応のない t 検定, 割合の検定に関しては χ^2 を用いて差の比較を行った。

②男女それぞれの術後 5M 時点の Δ HH 改善の要因を明らかにするため, 従属変数を Δ HH の良好群: 1, 不良群: 0 とし, 年齢, 手術までの待機期間, 関節内処置の有無の割合, 術前 Δ HH, 術前 HHD, 術前 AD 健患差を独立変数とした多重ロジスティック回帰分析 (尤度比検定の変数増加法) を行った。それに伴い, 抽出された因子における有効なカットオフ値を「Receiver Operating Characteristic」曲線から求めた。それぞれ有意水準は 5% 未満とした。

倫理的配慮

対象者にはヘルシンキ宣言に則り十分な配慮を行い, 事前に研究目的や方法を書面で説明し, 同意を得て実施した。なお, 関東労災病院倫理委員会の承認の下, 実施した。(承認番号: 2020-8)

結果

①男性の良好群と不良群の比較

・患者背景

両群間で有意な差はなかった (表 2)。

・ Δ HH (cm)

術前から術後各時期において有意に不良群が大きかった (表 3-a)。

・HHD (cm)

術前から術後各時期において 2 群間で有意な差

表 3 男性の良好群と不良群における△HHの比較結果

表 3-a △HH (cm)

	良好群	不良群	P 値	統計
術前	0.6±1.4 0 (0-6.0)	1.6±2.4 0.7 (0-16.0)	0.000*	U
5M	0	3.6±2.5 3.0 (0.5-12.0)	0.000*	U
8M	0.0±0.3 0 (0.0-1.3)	1.3±2.2 0 (0-12.0)	0.000*	U
1Y	0.1±1.0 0 (0-1.0)	1.0±2.3 0 (0-15.0)	0.000*	U

平均値±標準偏差
中央値 (最小値 - 最大値)
U : Mann-Whitney U 検定
* : P<0.05

表 3 男性の良好群と不良群におけるHHDの比較結果

表 3-b HHD (cm)

	良好群	不良群	P 値	統計
術前	0.4±1.0 0 (-1.0-3.0)	0.5±1.0 0 (-2.5-3.0)	0.723	U
5M	0.5±0.9 0.5 (-1.0-2.5)	0.9±1.2 0.5 (-1.5-6.0)	0.065	U
8M	0.4±0.9 0 (0-2.0)	0.8±1.1 0.5 (-1.5-5.5)	0.315	U
1Y	0.4±1.1 0 (-1.2-2.0)	0.8±1.2 0.5 (-1.5-5)	0.237	U

平均値±標準偏差
中央値 (最小値 - 最大値)
U : Mann-Whitney U 検定
P<0.05

表 3 男性の良好群と不良群におけるAD健患差の比較結果

表 3-c AD 健患差 (mm)

	良好群	不良群	P 値	統計
術前	5.1±5.5 5.3 (0.3-13.8)	4.2±2.4 4.0 (-3.1-10.3)	0.002*	U
5M	1.1±1.7 1.2 (-2.3-3.0)	0.6±1.7 0.6 (-5.5-5.5)	0.000*	U
8M	1.2±1.7 1.4 (-2.1-3.1)	0.6±1.5 0.6 (-4.2-4.7)	0.017*	T
1Y	1.3±1.6 1.4 (-1.3-3.9)	0.7±1.4 0.7 (-3-4.2)	0.006*	T

平均値±標準偏差
中央値 (最小値 - 最大値)
U : Mann-Whitney U 検定
T : two samples t 検定
* : P<0.05

表4 男性の良好群と不良群における膝伸展筋力と屈曲筋力の比較の結果

4-a. 患側膝伸展筋力の体重比

	良好群	不良群	P 値	統計
術前	2.2±0.6 2.1 (0.6-3.3)	2.0±0.6 2.0 (0.7-3.3)	0.148	U
5M	2.3±0.6 2.3 (0.6-3.3)	2.0±0.6 2.0 (0.6-3.4)	0.006*	U
8M	2.6±0.6 2.6 (0.6-3.6)	2.3±0.6 2.3 (0.7-4.0)	0.024*	U
1Y	2.7±0.6 2.7 (0.6-3.9)	2.5±0.6 2.5 (0.9-4.1)	0.112	U

平均値±標準偏差
中央値（最小値 - 最大値）
U：Mann-Whitney U 検定
*：P<0.05

4-b. 患側膝屈曲筋力の体重比

	良好群	不良群	P 値	統計
術前	1.0±0.3 0.9 (0.3-1.4)	1.0±0.3 1.0 (0.3-2.1)	0.895	U
5M	1.1±0.3 1.1 (0.3-1.4)	1.2±1.1 1.0 (0.3-1.8)	0.148	U
8M	1.3±0.3 1.3 (0.3-1.7)	1.2±0.3 1.2 (0.5-2.2)	0.674	T
1Y	1.4±0.3 1.4 (0.3-1.9)	1.2±0.3 1.2 (0.7-2.3)	0.463	U

平均値±標準偏差
中央値（最小値 - 最大値）
U：Mann-Whitney U 検定
T：two samples t 検定
P<0.05

表 5-a 男性の多重ロジスティック解析による結果

	B	標準誤差	Wald	自由度	有意確率	オッズ比	95% 信頼区間	
							下限	上限
術前△HH	-0.299	0.119	6.300	1	0.012	0.742	0.587	0.937
術前 AD 健患差	0.166	0.083	3.987	1	0.046	1.181	1.003	1.390
待機期間	-0.028	0.004	41.368	1	0.000	0.972	0.964	0.981

不良群：0 良好群：1
モデル χ^2 検定 p<0.01；Hosmer-Lemeshow 検定 p=0.058；判別の中率 88.2%

はみられなかった（表 3-b）.

・ AD 健患差（mm）

術前から術後各時期において有意に不良群が小さかった（表 3-c）.

・ 膝伸展筋力の患側体重比（Nm/kg）

5M と 8M において良好群が有意に大きかった（表 4-a）.

・ 膝屈曲筋力の患側体重比（Nm/kg）

術前から術後各時期において有意な差はなかった（表 4-b）.

②男性の多重比較による結果

術前の△HH, 術前 AD 健患差, 手術までの待機期間が抽出された（表 5-a）.

それぞれのカットオフ値は, △HH 0.25cm, 術前

表 5-b 男性の ROC 曲線を使用し、算出されたカットオフ値

	カットオフ値	感度	1-特異度	陽性適中率 (%)	陰性適中率 (%)	AUC (%)
術前△HH	0.25cm	0.795	0.473	79.5	51.8	66.3
術前 AD 健患差	4.63mm	0.598	0.391	59.8	60.9	62.8
待機期間	35.5 カ月	0.933	0.127	10.7	87.3	95.6

表 6 女性における両群の患者背景

	良好群	不良群	P 値	統計
人数 (例)	195	117		
年齢 (歳)	25.4 ± 13.2 19.0 (12.0-67.0)	29.8 ± 14.3 25.0 (13.0-67.0)	0.007*	U
体重 (kg)	55.3 ± 7.3 54.0 (42.0-79.0)	55.3 ± 7.3 54.0 (40.0-90.0)	0.887	U
待機期間 (カ月)	10.6 ± 33.1 2.5 (0.5-300)	10.9 ± 45.5 2.5 (0.3-444)	0.794	U
関節内処置の割合 (%)	52.30%	50.4	0.619	χ ²
術後1年時の痛みの有無の割合 (%)	8.72	10.3	0.650	χ ²

平均値 ± 標準偏差

中央値 (最小値 - 最大値)

U : Mann-Whitney U 検定

χ² : χ² 検定

* : P < 0.05

AD 健患差 4.63mm, 手術までの待機期間 35.5 カ月であった (表 5-b).

① 女性の良好群と不良群の比較

・患者背景

不良群が良好群に比べて有意に年齢が高かった。(表 6).

・△HH (cm)

術前から術後各時期において有意に不良群が大きかった (表 7-a).

・HHD (cm)

術前から術後各時期において有意な差はみられなかった (表 7-b).

・AD 健患差 (mm)

術前のみ有意に不良群が小さかった (表 7-c).

・膝伸展筋力の患側体重比 (Nm/kg)

すべての時期において良好群が有意に大きかった (表 8-a).

・膝屈曲筋力の患側体重比 (Nm/kg)

5M のみ有意に良好群が大きかった (表 8-b).

② 女性の多重比較による結果

術前△HH, 術前 HHD, 年齢が抽出された (表 9-a).

それぞれのカットオフ値は, △HH : 0.75cm, 術

前 HHD : 0.95cm, 年齢 : 23.5 歳であった (表 9-b).

■ 考 察

本調査の結果では, 膝伸展筋力は男女ともに不良群で筋力は有意に低下しており, 男性では術後1年で差はなくなるが, 女性では術後1年経過してもその差は変わらないことがわかった. △HH と HHD, 膝屈曲筋力の比較については, 男女ともに良好群と不良群間で, HHD は術前から術後1年のどの時期も差がなく, △HH は術前から有意に不良群が大きく, 膝屈曲筋力は女性の 5M 以外はそのどの時期も差が生じなかったことが明らかとなった. AD 健患差に関して, 男性では術前から 1Y までのどの時期でも不良群が有意に小さく, 女性では術後の AD 健患差に差はなかった. また, 術後△HH 獲得因子は, 男女ともに術前の△HH が小さいことが挙げられ, それに加えて男性は, 術前の AD 健患差が大きく, 待機期間が短いことが, 女性は年齢が低く, 術前 HHD が大きいことが必要であることが明らかとなった.

筋力について, 男女ともに不良群の膝伸展筋力の回復が良好群に比べて遅いことが分かった. 膝

表7 女性の良好群と不良群における a: △HH と b: HHD と c: AD 健患差の比較の結果

表7-a △HH (cm)

	良好群	不良群	P 値	統計
術前	0.6±1.5 0 (0-11.0)	1.1±1.8 0 (0-7.0)	0.000*	U
5M	0	3.3±2.4 2.5 (0.5-10.5)	0.000*	U
8M	0.0±0.1 0 (0-1.0)	1.0±2.0 0 (0-12.0)	0.000*	U
1Y	0.0±1.0 0 (0-1.5)	0.4±1.1 0 (0-6.0)	0.000*	U

平均値±標準偏差
中央値 (最小値-最大値)
U: Mann-Whitney U 検定
*: P<0.05

表7-b HHD (cm)

	良好群	不良群	P 値	統計
術前	0.4±0.9 0 (-2.5-3.5)	0.2±0.9 0 (-3.0-3.0)	0.461	U
5M	0.6±0.9 0.5 (-1.5-4.5)	0.9±1.3 0.5 (-2.0-4.0)	0.071	U
8M	0.5±0.9 0 (-2.5-0)	0.7±1.0 0.5 (-2.0-4.0)	0.167	U
1Y	0.4±0.8 0 (-1.5-5.0)	0.7±1.0 0.5 (-1.5-4.0)	0.306	U

平均値±標準偏差
中央値 (最小値-最大値)
U: Mann-Whitney U 検定
P<0.05

表7-c AD 健患差 (mm)

	良好群	不良群	P 値	統計
術前	5.0±6.8 5.4 (-3.7-12.2)	4.2±2.4 4.9 (-2.0-12.0)	0.013*	U
5M	1.2±1.8 1.2 (-3.7-6.1)	0.9±1.3 1.0 (-2.5-4.2)	0.132	T
8M	1.3±1.8 1.5 (-5.8-6.2)	1.0±1.6 0.9 (-3.3-4.7)	0.134	U
1Y	1.3±1.7 1.4 (-6.4-6.2)	1.1±1.6 1.1 (-3.7-5.2)	0.349	U

平均値±標準偏差
中央値 (最小値-最大値)
U: Mann-Whitney U 検定
T: two samples t 検定
*: P<0.05

筋力の回復には、術前の活動量の低さやリハビリテーションへのモチベーションの低下、痛みに対する耐性の低さ、年齢、などの多くの要因が回復

の遅延を引き起こすとこれまでも報告されている^{8,9)}。また、沖田らは¹⁰⁾は、不動による筋節の減少や線維化、それによる筋の短縮を引き起こすこ

表8 女性の良好群と不良群における膝伸展筋力と屈曲筋力の比較の結果

8-a. 患側膝屈曲筋力の体重比

	良好群	不良群	P 値	統計
術前	1.7±0.5 1.7 (0.4-3.4)	1.6±0.6 1.6 (0.2-3.7)	0.006*	U
5M	2.3±0.6 2.3 (0.4-3.8)	1.6±0.6 1.6 (0.2-3.0)	0.000*	T
8M	2.1±0.6 2.1 (0.6-4.0)	1.9±0.6 1.9 (0.4-3.1)	0.000*	T
1Y	2.2±0.6 2.2 (0.9-3.8)	2.1±0.6 2.1 (0.5-3.5)	0.016*	T

平均値±標準偏差

中央値（最小値 - 最大値）

U：Mann-Whitney U 検定

T：two samples t 検定

*：P<0.05

8-b. 患側膝屈曲筋力の体重比

	良好群	不良群	P 値	統計
術前	0.8±0.2 0.8 (0.1-1.6)	0.8±0.3 0.7 (0.3-1.6)	0.372	U
5M	1.0±0.3 1.0 (0.4-2.3)	0.9±0.3 0.8 (0.2-1.8)	0.035*	U
8M	1.1±0.3 1.1 (0.3-2.2)	1.0±0.3 1.0 (0.4-1.7)	0.349	U
1Y	1.1±0.3 1.1 (0.4-1.9)	1.1±0.3 1.0 (0.4-1.9)	0.251	T

平均値±標準偏差

中央値（最小値 - 最大値）

U：Mann-Whitney U 検定

T：two samples t 検定

*：P<0.05

とを、竹井ら¹¹⁾は、筋とその周囲組織の間には筋膜が存在し、その動きを妨げられることによって、様々な機能障害が惹起されるとしている。今回の結果から、術後の腫れや痛みが残存によりリハビリテーションの遅延から可動域制限が生じ、大腿四頭筋自体の伸張度の低下やそれに関与する筋や筋膜、関節周囲の軟部組織の上下・左右方向への移動を妨げられたことによって、筋力の回復に影響を与えたと考えられる。また、村木ら¹²⁾は、男性筋力は筋の断面積の大きさに依存しているが、女性においては、断面積に依存せず筋の粘弾性に関与しているとする報告もみられる。そのため、ACL 術後の女性の筋力回復においては、筋の量的な改善よりも、収縮形態を考慮した質的な改善が必要である可能性が示唆された。本調査の結果か

ら、女性においては屈曲可動域制限、つまり膝関節の早期からの柔軟性獲得の遅延が大腿四頭筋の筋力回復の遅延要素になることが明らかとなり、またその回復も術後1年経過しても改善される可能性が低いことが示唆された。

膝屈曲筋力に関しては、伸展可動域制限の有無が膝伸展筋力に影響を与える関係とは違い、膝屈曲可動域制限と膝屈曲筋力との間には関係性が生じないことが分かった。今回の筋力評価は0~90°の屈曲角度の範囲であり、本研究の屈曲可動域は深屈曲の評価であるため、大きな関係性が表出しなかったと考えられる。膝屈曲筋力の回復には、これまでの報告のように、術後の採取腱の回復を阻害せず、適切なアプローチをすることが重要であると思われる。

表 9-a 女性の多重ロジスティック解析による結果

	B	標準誤差	Wald	自由度	有意確率	オッズ比	95% 信頼区間	
							下限	上限
術前△HH	-0.205	0.079	6.759	1	0.009	0.815	0.699	0.951
術前HHD	0.349	0.146	5.686	1	0.017	1.418	1.064	1.889
年齢	-0.020	0.009	4.622	1	0.000	3.085	0.963	0.998

不良群：0 良好群：1

モデル χ^2 検定 $p < 0.01$ ；Hosmer-Lemeshow 検定 $p = 0.304$ ；判別的中率 64.2%

表 9-b 女性の ROC 曲線を使用し、算出されたカットオフ値

	カットオフ値	感度	1-特異度	陽性適中率 (%)	陰性適中率 (%)	AUC (%)
術前△HH	0.75cm	0.839	0.655	84.4	35.0	59.9
術前HHD	0.95cm	0.333	0.252	33.3	74.4	55.2
年齢	23.5 歳	0.646	0.457	64.6	54.7	58.3

可動域に対して、△HH は、5M での左右差に関する因子は、男女ともに術前から△HH が大きい症例は術後も△HH が残存することが明らかとなり我々の報告した先行研究と同様の結果であった。

HHD は、当院では、術前・術後早期から可及的に伸展可動域を獲得するリハビリテーションを実施しており、伸展可動域を獲得することを重視した結果であると考えられる⁷⁾。

AD 健患差は、男性では術前から 1Y までのどの時期でも不良群が有意に小さく、多重比較からも屈曲可動域制限の大きい症例は AD 健患差も小さい。これまでに、伸展可動域制限の大きさと AD 健患差の負の関係は報告されてきたが¹³⁾、男性に関しては、特に屈曲可動域制限と AD 健患差にも関係があることが示唆された。これは、膝の全可動域が獲得できていない関節は、関節内外ともに柔軟性が低下している状態であり、それが AD 健患差にも現れた結果であることが推察される。

また、伸展筋力との関係は、5M、8M においては良好群と不良群に差が生じるが術後 1 年では差がなかった。このことから、早期復帰を希望する男性対象者には、膝屈曲可動域の 5M までの完全獲得が必要であり、屈曲可動域制限は早期の良好な伸展筋力獲得への阻害因子の 1 つになることが明らかとなった。男性においては、術後の△HH 獲得不良は、術前からの膝全体の硬さ、AD 健患差の小ささが術後も継続して残存するが、術後 1 年

経過時には、膝筋力に対して大きな影響を起こさない可能性が示唆された。

女性においては、男性とは違い、術後の AD 健患差に差はなく、膝伸展筋力は良好群に比べて不良群で有意に低かった。一般的に男性と比べて、女性の AD の値は大きいため¹⁴⁾、今回評価した深屈曲可動域の制限による関節の硬さと AD 健患差の値に関係性が生じなかった可能性が考えられる。

Nakamae ら¹⁵⁾ は AD 健患差と痛みの出現の有無に関係性があることを報告しているが、本研究では、屈曲可動域制限と痛みに関する関係性はみられなかった。しかし、1 年時の経過しか追えていないため、今後二次的な関節症の出現等の有無を検討課題として考えている。

術後 5M での△HH=0 を獲得することは、術後の膝伸展筋力を改善させる重要な要因であることが示された。その獲得因子として、男女ともに術前からの△HH=0 の獲得が重要であることが多重比較によって示唆された。さらに男性では、△HH 獲得因子は AD 健患差と手術までの待機期間が示された。AD 健患差が小さい症例や手術までの期間が長い症例は△HH が不良になりやすく、結果として膝伸展筋力の回復遅延を引き起こすことが明らかとなった。女性では、年齢と術前の HHD が示された。年齢が 23.5 歳以上で、術前の膝伸展制限が小さい女性は、術後の屈曲制限が残存しやすいことが示唆された。膝伸展制限との因果関係は検討しづらく、年齢と共に社会的な因子

との兼ね合いが女性では多くみられることが考えられるため、今後も検討を重ねる必要がある。しかし、女性においても可動域獲得が術前から術後の全ての時期において重要であり、可動域獲得の遅延が膝伸展筋力の回復の遅延を引き起こし、結果としてスポーツ復帰遅延を招く要因になることは明らかとなった。そのため術前から術後を通して可動域獲得に留意しなければならない。性別によって術後屈曲可動域獲得因子が異なるため、性別でのリスク因子に留意して、Dr や患者とコミュニケーションを図りながら手術時期や術前後のリハビリテーションを進めることが重要である。

本研究の限界は、術後フォローが病院のシステム上1年までしかできていないことや術後の関節内の状態をMRIなどで画像評価ができていないことがあげられる。本研究では△HHでの評価であるが、実際には正座肢位における荷重の可否を評価する必要があるため、今後正座肢位での荷重の可否を加えた評価が必要であると考えている。また、術後5カ月までの腫れや可動域の推移などの臨床変化を追跡できていないため、詳細な経過が不明であることもあげられる。さらに、大腿四頭筋の伸張度の評価としてHeel Buttock Distanceの計測も加え検討する必要がある。

膝屈曲制限は、男女ともに膝伸展筋力の回復に影響を与える可能性が示唆された。しかし、男性は術後経過とともに膝伸展筋力は回復し、術後1年では2群間で筋力差は消失していた。しかし、女性では術後1年においても筋力差は消失せず、膝伸展筋力は残存していた。今後ACL再建術後の膝伸展筋力の回復を考えるにあたって、これまでの報告にある術前後の早期完全伸展の獲得とともに、術前後の屈曲可動域の獲得が女性においては特に重要であることが明らかとなった。

まとめ

術後の深屈曲での可動域制限は、男女とも術前の影響がみられ、術後1年まで残存した。そして可動域制限の残存因子は性別によって異なる。膝筋力に関しては、特に膝伸展筋力に差が生じ、男性では術後8カ月まで有意差が残存し、女性では術後1年でも有意差がみられた。男女共に膝伸展筋力改善に対して、屈曲可動域制限は影響を与えるため、術前後の可動域獲得は非常に重要である。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 1) Lentz TA, Zeppieri G Jr, Tillman SM, et al. Return to Preinjury Sports Participation Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Contributions of Demographic, Knee Impairment, and Self-report Measures. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012; 42: 893-901. doi: 10.2519/jospt.2012.4077.
- 2) 園部俊晴, 今屋 健, 勝木秀治. 第III部 下肢. In: 内山英司, 岩増弘志(監修). 改訂版スポーツ外傷・障害に対する術後のリハビリテーション. 第3版. 神奈川: 運動と医学の出版社; 184-276, 2013.
- 3) Sachs RA, Daniel DM, Stone ML, et al. Patellofemoral problems after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am. J. Sports Med.* 1989; 17: 760-765. doi: 10.1177/036354658901700606.
- 4) 田中龍太, 今屋 健, 深井 厚, 他. 当院におけるACL再建術1年時の競技復帰状況と臨床成績の関係について. *JOSKAS.* 2017; 42: 607-615.
- 5) 田中龍太, 今屋 健, 深井 厚, 他. 膝前十字靭帯再建術前の屈曲可動域制限が膝筋力に与える影響. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2020; 28: 54-59.
- 6) 今屋 健, 田中龍太, 中山誠一郎, 他. 膝前十字靭帯再建術後の正座姿勢獲得を目標とした踵臀間距離の経時的な評価. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2019; 27: 97-102.
- 7) 平田大地, 佐藤謙次, 石山裕暁, 他. 膝関節前十字靭帯再建術後の膝関節伸展可動域および筋力の回復状況. *JOSKAS.* 2013; 38: 128-129.
- 8) 堤康次郎, 水田博志, 中村英一, 他. 膝屈筋腱を用いた前十字靭帯再建術後の膝伸展筋力の回復について. *整形外科と災害外科.* 2002; 51: 287-290.
- 9) 中村憲正, 佐々木聡, 俊成 忍, 他. 女性における膝前十字靭帯再建術後の筋力回復因子の不良因子の検討. *リハビリテーション医学.* 2000; 37: 826-827.
- 10) 沖田 実. 筋による拘縮の発生とメカニズム. In: 望月 久, 山田 茂(編). 筋機能改善の理学療法とそのメカニズム—理学療法の科学的基礎を求めて. 第2版. 東京: ナップ; 123-135, 2007.
- 11) 竹井 仁. 結合組織の(非収縮組織)と筋系. In: 黒澤和生(編). 系統別・治療手技の展開. 改訂第3版. 東京: 協同医学出版社; 114-125, 2015.
- 12) 村木里志, 福田 修, 福元清剛. 超音波粘弾性計測

- 装置を用いた筋力評価の有効性の検討. デザントスポーツ科学. 2009; 30: 105-113.
- 13) 村上裕司, 亀井豪器, 敷佐洋美, 他. 前十字靭帯再建術後の heel-height difference と前方制動性の検討. 膝. 2009; 33: 278-282.
- 14) 今屋 健. 第2章臨床膝タイプの見極め. In: 膝関節運動療法の臨床技術. 第1版. 東京: 文光堂; 40-56, 2018.
- 15) Nakamae A, Adachi N, Deie M, et al. Risk factors for progression of articular artilage damage after anatomical anterior cruciate ligament reconstruction: a second-look arthroscopic evaluation. The Bone & Joint Journal. 2018; 100-B: 285-293. doi: 10.1302/0301-620X.100B3.BJJ-2017-0837.

(受付: 2021年6月28日, 受理: 2022年4月18日)

Influence of postoperative loss of knee flexion on muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction

Tanaka, R.^{*1}, Imaya, T.^{*1}, Sanada, T.^{*2}
 Fukai, A.^{*2,3}, Honda, E.^{*2}, Inagawa, M.^{*2}
 Fujishima, R.^{*1}, Nakayama, S.^{*1}, Shida, S.^{*1}

^{*1} Central Department of Rehabilitation Medicine, Kanto Rosai Hospital

^{*2} Department of Sports Orthopedic Surgery, Kanto Rosai Hospital

^{*3} Sports Science & Medicine, Teikyo University Inst.

Key words: post Anterior cruciate ligament reconstruction, Knee flexion range of motion, Knee muscle strength

[Abstract] This study was aimed to clarify the relationship between limited knee flexion range of motion (ROM) and knee muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR), and to identify factors limiting ROM postoperatively.

Participants were 544 patients who underwent unilateral ACLR at our hospital; their muscle strength was measured preoperatively and at 5 months (5M), 8 months (8M), and 1 year (1Y) postoperatively. At 5M they were classified as either Heel to Hip (Δ HH)=0cm(good group: 122 males, 195 females) or >0cm (poor group: 110 males, 117 females). Extension muscle strength (Q), Δ HH, and flexion muscle strength (H) were compared using peak torque ratio on the affected side as per body weight. Additionally, multiple comparisons were performed using Δ HH as the dependent variable and patient background data (preoperative ROM and age) as independent variables.

At 5M and 8M, Q was significantly higher in the male-good group. In the female-good group, Q preoperatively to 1Y, and H at 5M were high. There was a difference in Δ HH at each measurement. The common factor influencing postoperative Δ HH in both sexes was preoperative Δ HH.

Limited postoperative flexion ROM affected Q in both sexes; this was especially strong in females, and it is necessary to focus on preoperative Δ HH.