

膝前十字靭帯損傷再建術 1 年後の全身バランス機能と 下肢筋の反応時間に関する研究

白木 仁¹⁾, 佃 文子¹⁾, 勝矢まゆり²⁾, 土山裕之³⁾, 宮永 豊¹⁾
下条仁士¹⁾, 福林 徹⁴⁾

The study on functional instability and muscle reaction time of lower extremity
a year after the reconstruction of anterior cruciate ligament

Hitoshi SHIRAKI, Fumiko TSUKUDA, Mayuri KATSUYA, Hiroyuki TSUCHIYAMA,
Yutaka MIYANAGA, Hitoshi SHIMOJYO, Toru FUKUBAYASHI

The purpose of this study was to investigate muscle reaction time of lower extremity to a sudden knee valgus stress and postural control ability by BIODEX STABILITY SYSTEM, as the indicators for neuro-muscular coordination and muscle strength with athletes a year after the reconstruction of anterior cruciate ligament. The results were as follows ;1. In Biceps femoris longus and Semimembranosus, reaction time to sudden knee valgus stress of uninvolved side was lower than involved side. 2. There were significant positive correlation between Vastus medialis reaction time and Stability Index of involved side, and between Semimembranosus reaction time and Stability Index of uninvolved side. 3. Muscle strength of knee extension(60deg/sec) and flexion(60&180deg/sec) of uninvolved side were higher than involved side.

【緒 言】

膝前十字靭帯（以下 ACL と略す）損傷は、バスケットボール、ラグビー、スキーなどの種目での衝突や転倒によって受傷するスポーツ傷害で、スポーツに復帰するためには、ほとんどが手術の適用例で、手術後のリハビリテーションも半年以上かかり、完全復帰するには10カ月から1年を要する。また、重篤な

場合には、スポーツに復帰できない例もあり、スポーツ傷害の中でも重傷例として取り扱われ、手術、治療、アスレチックリハビリテーション、予防などの点から近年注目されているスポーツ傷害の1つである。ACL 損傷は、膝の安定性が損なわれるために、痛みとともに膝崩れや外反強制時の不安定感が増し、これが恐怖感となり全身運動であるスポーツのパフォーマンスに影響してしまうものと考えられている。重度の不安定性を有する選手に対して、現在のところ一番有効であるのが手術による再建とされ、多くの ACL 損傷アスリートが再建術を受けてアスレチックリハビ

-
- 1) 筑波大学体育科学系
 - 2) 筑波大学体育研究科
 - 3) 長崎西高等学校
 - 4) 東京大学総合文化研究科

リテーションを実施している。しかし、再建術を受け、十分にアスレティックリハビリテーションを行っていても満足いくパフォーマンスを発揮することができなかつたり、不安感、恐怖感からなかなか競技復帰できない選手も少なくない。これは、ACL再建術後の膝においては、関節可動域、筋力、膝関節動揺性等の基礎能力が回復しても主観的評価(痛み、恐怖感など)やスポーツに特有な運動能力が必ずしも回復していないためであると考えられており⁴⁾⁶⁾、運動能力に関する総合的な機能評価が求められている¹⁾。本研究では、ACL損傷の総合的機能評価の一つとしての全身バランス機能と突発的刺激に対する下肢の筋の反応時間などの神経筋協調能力及び膝関節等速性筋力に着目して、ACL損傷再建術1年後の各能力の回復状況を明らかにし、再建術後のアスレティックリハビリテーションを実施する上での基礎資料を得ることを目的とし

た。

【方法】

1. 対象

対象は、半腱様筋腱と薄筋腱を用いて ACL再建術を行い、術後1年以上経過したスポーツ競技者21名(男子10名、女子11名)とした。平均年齢は21.3±2.2歳で、平均身長は166.5±8.7cm、平均体重は65.0±11.7kg、患肢は右が12膝、左が9膝であった。19名は競技に復帰あるいは何らかのスポーツ活動を行っており、2名は個人的な理由により運動を継続していなかった。全例とも術後の経過は良好であった。

2. 測定項目

測定は、全身バランス機能、筋反応時間、膝関節等速性筋力について行った。

2-1. 全身バランス機能

全身バランス機能の評価機器は、動的な下

表1 被験者のプロトコール

被験者	年齢	性別	術後(ヶ月)	患側	競技種目	身長	体重
T.N	19	M	16	L	柔道	180	95
K.E	21	M	13	L	サッカー	174	64
W.T	19	M	12	R	野球	170	74
M.F	23	M	12	R	ラグビー	171	67
T.S	20	M	17	R	卓球	168	60
A.T	22	M	15	L	ラグビー	180	82
T.K	19	M	17	R	テニス	171	59
I.H	21	M	17	R	サッカー	169	71
Y.I	19	M	13	L	柔道	165	62
T.Y	20	M	13	R	柔道	172	83
H.A	20	F	16	R	バレーボール	160	58.5
E.M	26	F	18	L	サッカー	155	52.5
M.K	23	F	14	R	体操競技	151	51
H.S	22	F	28	R	体操競技	146	47.5
M.S	20	F	16	R	バスケットボール	171	69.3
N.S	22	F	18	L	柔道	171	69.4
N.O	20	F	11	L	スキー	162	66
E.N	21	F	13	R	ダンス	167	59
H.K	22	F	12	L	バスケットボール	168	65
M.M	22	F	28	L	バスケットボール	168	57
M.M	27	F	15	R	テニス	157	52
平均	21.3	M10	15.9	L9		166.5	65.0
SD	2.2	F11	4.5	R12		8.7	11.6

肢バランス能および不意状況への対応能を訓練・評価する目的で作られた BIODEX 社製 STABILITY SYSTEM を用いた。被検者は、プラットフォーム上にて、片脚立位、開眼、手を腰に当て、その姿勢を保持させた。支持脚の開始肢位は足関節中間位、膝関節伸展位とした。験者がスタートボタンを押すと、5秒間のカウントダウンの終了と同時にプラットフォームが設定された Stability Level にランピングする。すると被験者の前方に表示されたディスプレイターゲットに Stability Test Grid カーソルが被験者の重心の動きに連動して動き始める。験者は、被験者にそのディスプレイターゲットの円の中心にカーソルがくるようにバランスを下肢で調節するよう指示した。以上の試技を、30秒間の練習の後、60秒間の測定を1回行った。STABILITY LEVEL の難易度設定は簡便的に10段階中3番目に難しいランク (LEVEL 3) とした。評価値は重心位置の横断面での偏位を示す Sta-



写真1 全身バランス機能(BIODEX STABILITY SYSTEM) の測定

bility Index (SI) と、内外側および前後方向のみでの重心の偏位を示す M/L Index (ML), A/P Index (AP) をそれぞれ用いた。この評価値は中心位置に対する重心の変位を示しているので小さな値を示すほど安定した状態を表している。

2-2. 筋反応時間

筋反応時間の測定のために膝関節外反ストレスを模擬できるプラットホームを作成した。この装置はプラットホーム場に両足で起立している被験者の片足部分の脛側を急激に25°傾斜できる構造になっており、被験者の膝関節に突発的な外反ストレスを負荷することができる様に工夫したものである。被験筋は、膝関節伸筋として内側広筋、外側広筋を、外側ハムストリングとして大腿二頭筋を、内側ハムストリングとして半膜様筋を用い、それぞれ筋の相当部に表面電極をつけ、筋電図を測定した。測定に先だって、被験者をプラットホーム上に起立させ、前方を向いて両足に均等に体重がかかるように指示した。この姿勢が定まった状態から筋電図の測定を開始し、被験者が十分リラックスしていることを確認の上、装置のスイッチを入れて片側の膝外反ストレスをかけて、そのときに現われる被験筋筋電図の変化を記録した。その波形からそれぞれの筋の反応時間を計測した。ここではプラットホームが傾斜し始めた時間を開始点、筋電図波形の立ち上がりが見られたところを反応点とし、開始点から反応点までの時間を反応時間 Premotor Reaction Time (以下 PRT) と定義し、筋反応時間とした。

2-3. 膝関節等速性筋力

膝関節等速性筋力は、BIODEX 社製 BIODEX を用いて、角速度60, 180deg/sec における膝伸展・屈曲筋力の測定を行った。測定値は、各測定の Peak Torque を用いた。

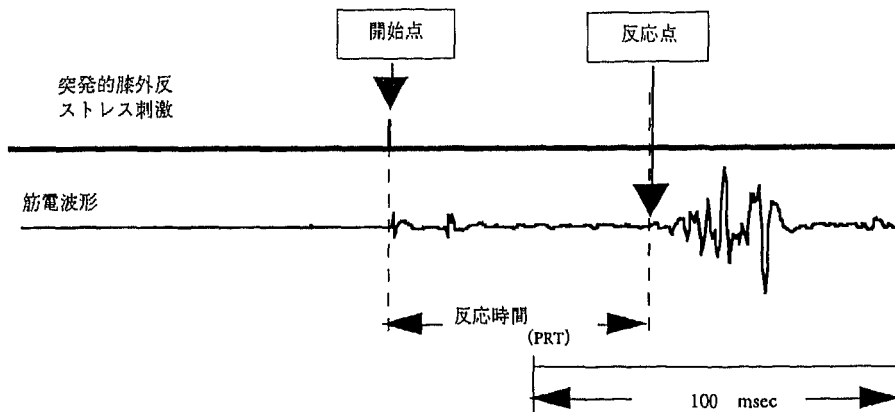


図1 筋反応時間の計測

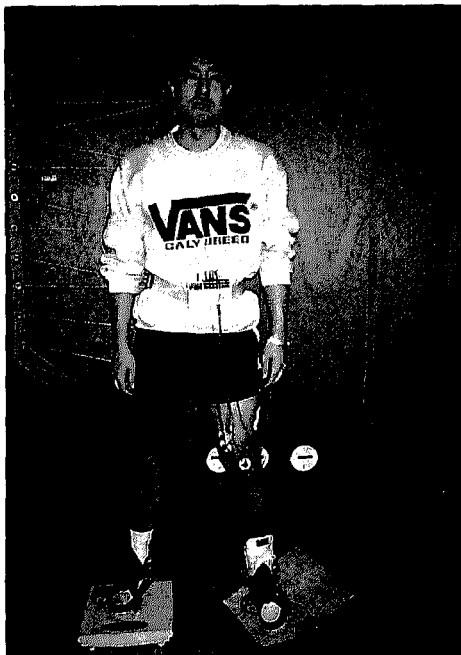


写真2 膝関節外反刺激に対する筋反応時間の測定

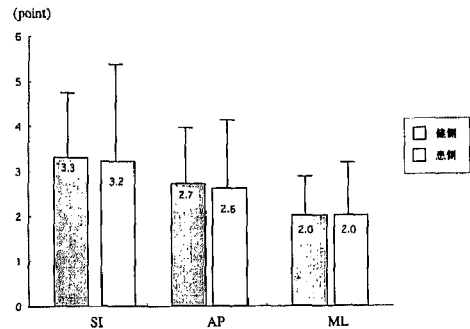


図2 膝前十字靭帯再建1年後のバランス機能

患側 2.0 ± 1.6 ポイントであった。健側と患側の間で有意な差は認められなかった。

2. 筋反応時間

筋反応時間は、内側広筋の PRT は健側 60 ± 17 msec, 患側 55 ± 15 msec で健側と患側の間で有意な差は認められなかった。外側広筋の PRT は健側 60 ± 12 msec, 患側 56 ± 18 msec で健側と患側の間で有意な差は認められなかった。大腿二頭筋長頭の PRT は健側 59 ± 15 msec, 患側 64 ± 15 msec で有意に患側の遅延が認められた ($p < 0.05$)。半膜様筋の PRT は健側 56 ± 12 msec, 患側 67 ± 15 msec で、有意に患側の遅延が認められた ($p < 0.05$)。

3. 膝関節等速性筋力

膝関節等速性筋力は、伸筋筋力 60 deg/sec は健側 $150.3 \pm 43.2 \text{ ft-lbs}$, 患側 $139.3 \pm 39.6 \text{ ft}$

【結果】

1. 全身バランス機能

全身バランス機能は、SI では健側 3.3 ± 1.5 ポイント, 患側 3.2 ± 2.2 ポイントであった。AP は健側 2.7 ± 1.3 ポイント, 患側 2.6 ± 1.6 ポイントであった。ML は健側 2.0 ± 0.9 ポイント,

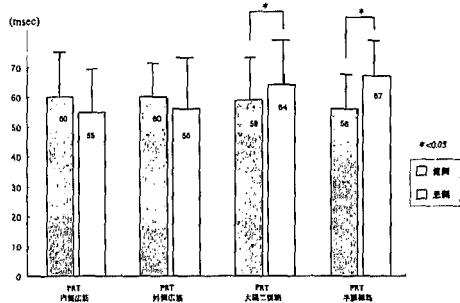


図3 膝前十字靭帯再建1年後の筋反応時間

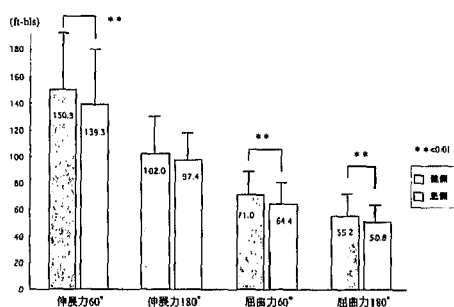


図4 膝前十字靭帯再建1年後の等速性筋力

-lbsであり患側が有意に劣っていた ($p < 0.01$)。伸展筋力180deg/secは健側102.0±26.4ft-lbs, 患側97.4±26.8ft-lbsであり健患側間に有意な差は認められなかった。また, 屈曲筋力60deg/secは健側71.0±19.7ft-lbs, 患側64.4±17.3ft-lbsで有意に患側が劣っていた ($p < 0.01$)。屈曲筋力180deg/secは健側55.2±15.5ft-lbs, 患側50.8±13.7ft-lbsで患側が有意に劣っていた ($p < 0.01$)。

4. 全身バランス機能と筋反応時間との相関関係

全身バランス機能と筋反応時間との相関関係は, 患側の SI, AP, ML の全項目と内側広筋の筋反応時間との間で有意な正の相関関係が認められ, 相関係数はそれぞれ0.55, 0.56, 0.53であった ($p < 0.05$)。また健側の SI, AP, ML の全項目と半膜様筋の筋反応時間との間で有意な正の相関関係が認められ, 相関係数

表2 全身バランス機能と筋反応時間との関係

	SI		AP		ML	
	健側	患側	健側	患側	健側	患側
内側広筋PRT	-	-	0.55	-	0.56	0.53
外側広筋PRT	健側	-	-	-	-	-
	患側	-	-	-	-	-
大腿二頭筋PRT	健側	-	-	-	0.48	-
	患側	-	-	-	-	-
半膜様筋PRT	健側	0.46	0.43	-	0.50	-
	患側	-	-	-	-	-

統計的に有意な相関係数 ($P < 0.05$)

はそれぞれ, 0.46, 0.43, 0.50であった ($p < 0.05$)。また, 健側の ML と大腿二頭筋との間で有意な正の相関関係が認められ, 相関係数は0.48であった ($p < 0.05$)。

5. 全身バランス機能および筋反応時間と筋力との相関関係

全身バランス機能と筋力との相関関係, および筋反応時間と筋力との相関関係では有意な相関関係は認められなかった。

【考 察】

全身バランス機能は, 健側, 患側ともに, 全ての項目で有意な差が認められなかった。これは, アスレチックリハビリテーションあるいは, スポーツ活動を通して全身のバランス能力がほぼ完全に回復したものと見える。土山¹⁰⁾は, BIODEX 社製 STABILITY SYSTEM による全身バランス能力は, 足関節捻挫受傷後約3カ月で患側の不安定性が改善し, 健患側差がなくなると報告しており, 膝関節と足関節との関節部位の違いはあるものの, 本研究の結果もこれを支持するものであった。筋反応時間に関しては, 内側広筋, 外側広筋の膝関節伸筋群においては, 健患側差が認められなかったが, 大腿二頭筋, 半膜様筋のハムストリングスにおいては, 健患側差が認められ, 患側が健側に比し有意に筋の反応が遅延していた。Halata ら³⁾は, ACL にルフィニ終末, パチニ小体, 自由神経終末などのメカノレセプターが存在し, これらのレセプターが多シナプス反射を介して, 筋緊張に影響を与えていると推察している。また, Gottlieb ら²⁾

は、受傷や手術による ACL への侵襲のために、メカノレセプターが損傷され、足底からの刺激を下腿からハムストリングにうまく伝達できなくなると報告している。本研究の対象は、再建術を行ってから 1 年を経過しているが ACL に何らかの損傷が残存しメカノレセプターが正常に機能せず、患側が健側に比し筋反応時間に遅延が認められたものと考えられる。従って、ACL 損傷再建術 1 年後の膝関節の突発的外反刺激に対する筋反応時間は、十分に回復してないといえる。しかし、本研究の被検者の ACL 再建術式が、半腱様筋を使用していることも結果に影響していると考えられるが他の術式による同様の研究結果がないために比較が不可能であり、今後の課題であると考えられる。また、膝の屈伸筋力においては健患側間に有意な差が認められた。多くの報告^{9),11)}においても ACL 損傷再建術後には、3 カ月で健側の 8 割ほど回復し、6 カ月では 9 割の筋力的回復が認められているものの依然として健患側差を残存していたと述べられている。本研究の結果もこれらの報告と同様であった。さらに、全身バランス機能と筋反応時間の相関関係を見てみると、内側広筋においては患側で、半膜様筋においては健側で有意な正の相関関係が認められており、全身バランス機能に対し、筋反応時間が影響していることを察することができ、健側では、全身のバランスをとるためには、膝関節屈筋群の作用によって対処するのにに対し、患側では膝関節伸筋群で対処していると考えられる。この違いがバランス能力に影響し、全身バランス機能としては、患健側差として現われていないが、身体のバランスをとる様式が健患側間で異なると考えられる。これより、ACL 損傷再建術後においては、ハムストリングの筋の使い方を習得することが重要であると思われる。以上のことから、全身バランス機能の回復は筋力、突発的ストレスに対する反射能力の回復と同期するものではなく、全身バラ

ンス機能の回復が認められても円滑に、力強く、かつ素早く動作を遂行できるものではないものと考えられ、ACL 損傷再建術 1 年後における膝関節の機能は、十分には回復していないと考えて良いと思われる。さらに、ACL 損傷再建術後のアスレティックリハビリテーションを実施する上では膝の筋力及び膝への突発的な外力に対する防御反応は、回復しにくい要素としてとらえ、リハビリテーションメニューの中に、筋力的バランストレーニング（特に、ハムストリングのトレーニング）とともに、不安定板や、ステップング等の神経筋協調性トレーニングを効果的に用いることがスポーツに復帰する上での恐怖感、不安定感を取り除くためには極めて重要であるといえる。

【まとめ】

本研究では、膝前十字靭帯損傷再建術後の総合的機能評価としての全身バランス機能と突発的刺激に対する下肢の筋の反応時間及び膝関節等速性筋力に着目して、ACL 損傷再建術 1 年後の各能力の回復状況を明らかにし、再建術後のアスレティックリハビリテーションを実施する上での基礎資料を得ることを目的とし以下の結果を得た。

1. 膝関節の突発的外反刺激に対する筋反応時間は、大腿二頭筋長頭及び半膜様筋における健側に比し患側が遅延していた。
2. 全身バランス能力と筋反応時間との相関関係は、患側の SI,AP,ML の全項目と内側広筋の筋反応時間との間で正の相関関係が認められた。また健側の SI,AP,ML の全項目と半膜様筋の筋反応時間との間で正の相関関係が認められた。
3. 膝関節等速性筋力は、伸展筋力 60deg/sec において健側が患側より高値を示した。また、屈曲筋力 60deg/sec 及び 180deg/sec においては健側が患側より高値を示し

た。

【参考文献】

- 1) Freedman W.et.al : EMG patterns and forces developed during step-down. Am. J.Phys.Med.55 : 275-290, 1976.
- 2) Gottlieb D.J.et.al : The effect of functional knee bracing on the latency of reflex muscle contraction in normal and deficient limb.,Trans.ORS. 21 : 77,1996.
- 3) Halata Z.et.al : The ultrastructure of sensory nerve endings in the human anterior cruciate ligament., Anat. Embryol. 179 : 415-421.1989.
- 4) Hilary B.Greenberger,Mark V.Patorno : Relationship of Knee Extensor Strength and Hopping Test Performance of Lower Extremity Function. ,JOSPT, 22(5):202-206,1995.
- 5) 間田直幹ほか：新生理学 上巻—運動的機能編一，医学書院，東京，1982，pp256-262.
- 6) 久保田健治ほか：前十字靭帯損傷膝の運動能力に及ぼす運動負荷の影響，日本整形外科スポーツ医学会誌，10：387-391,1991.
- 7) 金景美ほか：前十字靭帯再建術後患者における反応時間，理学療法学，17(suppl)：133,1990.
- 8) 中村隆一，斉藤 宏：基礎運動学—第4版—，医歯薬出版(株)，東京，1995，pp297-301.
- 9) 佐々木千佳：膝前十字靭帯再建術後の大腿周囲筋筋体積と筋力について，筑波大学体育研究科研究論文集第18巻：395-400,1996.
- 10) 土山裕之：足関節捻挫と不安定性に関する一考察—下肢のバランス能と腓骨筋反応時間—，筑波大学体育研究科研究論文集第19巻：543-548,1997.
- 11) 安田和則：膝前十字靭帯再建術後の筋力低下に対する早期リハビリテーションの現状と将来の展望，臨床スポーツ医学，12(8)：867-872,1995.