

原 著 膝前十字靭帯損傷後のアスレティック リハビリテーションにおける等速性筋力の評価と特異性

昭和大学医学部整形外科学教室

山本 利春

要約：従来より実施されている等速性筋力評価における欠点を補う新たな方法として、各角速度における健常者の筋力の平均値を基準値とし、基準値に対する割合で各筋力を評価する基準値比による評価法を考案した。本評価法を用い、膝前十字靭帯（以下 ACL と略す）再建術後のスポーツ選手 25 名を対象として、競技復帰に至るまでの筋力回復の推移を経時的に評価した。基準値比の採用により、各角速度における筋力回復度が評価尺度を一定にして明瞭に比較することが可能となった。追跡調査の結果、各角速度とも運動機能レベルの改善に伴い筋力の回復がみられるものの、全ての運動機能レベルに共通して角速度 60 度/秒における値が最も低く、特に競技復帰時の筋力は他の測定速度に比べ、10~28%の回復の遅れが認められた。これらのことから、膝関節損傷後の筋力回復を等速性筋力で評価する場合には、単一の速度のみでなく各速度における回復のバランスを評価することが有効であり、ACL 損傷後のアスレティックリハビリテーションにおいて、特に競技復帰時には、角速度 60 度/秒における低速域の筋力回復不全の存在に留意する必要があることが示唆された。特定の速度域における特異的な筋力低下の原因には、アイソキネティックトレーニングの実施速度による影響や、運動時の損傷膝の不安感残存による影響などが考えられる。

キーワード：筋力評価、等速性筋力、基準値比、アスレティックリハビリテーション、ACL 再建

ACL 損傷をはじめとする膝関節のスポーツ傷害では、術後の筋力回復が早期競技復帰への重要な要因になることが知られている¹⁾。術後のリハビリテーションや筋力トレーニングを処方する上で、あるいは競技復帰の可否を判断する際には、膝機能回復の度合いや運動能力を客観的に把握することが重要であり、そのための確かな筋力評価が要求される^{4,5)}。近年、医療機関及びスポーツ医学関連施設における ACL 機能障害者の筋力評価は、安全性、信頼性が高く、運動速度を規定した筋力の測定が可能である等速性筋力測定機器によって行われることが一般化している。しかしながら、得られた筋力値の評価法に関しては未だ十分な検討がなされていないのが現状である。たとえば、各角速度における筋力値の客観的指標がないためにどの速度域の筋力の回復が遅いのか、またどの程度の回復度なのか、などの評価が困難であった。そのため、各運動速度別にみた筋力評価が可能であるという等速性筋力測定機器の利点を十分に生かすことなく、特定の角速度のみで、目安となる基準値をもたずにあいまいな筋力評価を行っているのが現状であった。また、術後筋力に関する研究の多くは、医療機関におけ

る調査であるため、退院から競技レベルに至るまでの経時的追跡研究が不十分であり、必ずしも競技スポーツ復帰への客観的指標を示していなかった。

そこで、本研究では、各角速度における筋力の目標となる基準値比をもとに、各角速度における筋力の回復度を客観的に評価・検討するとともに、その評価法を用いて、ACL 再建術後の筋力回復過程および競技復帰時の筋出力の特性について検討することを目的とした。

研究 方 法

1. 研究対象

ACL 再建術後にアスレティックリハビリテーションを実施し、競技復帰した体育大学学生 25 名（男 15 名：19.6±1.1 歳、女 10 名：19.5±1.1 歳）を対象とした。スポーツレベルは全て競技レベルで、競技種目の内訳は柔道 9 名、バスケットボール 5 名、サッカー 3 名、陸上競技 2 名、他 6 種目 6 名であった。なお、術式の内訳は、腸脛靭帯を用いた二重支持再建法 18 例、人工靭帯による再建法 7 例で、競技への復帰期間は術後平均 32.3±9.3 週であった。

アスレティックリハビリテーションは、下肢筋力や荷重負荷レベルを目安とした段階的トレーニング⁶⁾を、対象者の所属する大学内の理学療法室にて週3日以上行った。

2. 測定方法

1) 筋力測定

(1) 等速性膝関節伸展力の測定

膝関節の伸展筋群における様々な運動速度での筋力を、等速性筋力の測定装置である Cybex II (Lumex 社製, USA) を用い、椅座位姿勢で膝関節の伸展・屈曲運動を最大努力で行わせた際の筋力を測定した。運動角速度は4種類 (0, 60, 180, 300度/秒) で行った。

静的筋力の測定は、測定速度を0度/秒として、約5秒間の最大努力時に発揮された筋力のピーク値を測定した。膝関節の測定角度は、丹羽⁷⁾、角田ら⁸⁾の報告にもとづき、膝関節伸展力の等尺性最大筋力の至適角度である膝関節70度屈曲位に固定した状態で行なった。

動的筋力の測定は、測定角速度を60度/秒、180度/秒、300度/秒の3種類の角速度に設定して、膝関節の運動域を90度から0度までの範囲で行った。各速度条件とも、測定は各々4回づつ行い、発揮された筋力のピーク値 (ピーク・トルク値) を測定し、4回の最大値をデータとして用いた。測定の順序は、健常膝側 (以下健側)・損傷膝側 (以下患側) の順序で行い、運動速度は60度/秒、0度/秒、180度/秒、300度/秒の順に行った。

得られた値は、全て体重当たりの膝関節伸展筋力である体重支持指数^{4,5)} (以下 WBI, 単位: kg/kg) として

表した。

(2) 術後患者における経時的筋力の測定

術後筋力の測定は、自家組織を用いた ACL 再建例の場合には術後約20週目頃から、人工靱帯による再建例の場合には術後約6週目頃から開始し、競技復帰に至るまでのアスレティックリハビリテーション過程において、約2週間ごとに定期的な筋力測定を行った。

(3) 健常なスポーツ選手における基準値の作成

等速性筋力測定装置 (Cybex II) を用い、同年代の健常なスポーツ選手600名 (年齢18~22歳, 平均20.3±1.8歳: 男子484名, 女子116名) の筋力測定を行い、その平均値を目標の値として回復の目安となる基準値を作成した。筋力測定の方法は前述した ACL 損傷者に対するものと全て同様な方法で行い、各角速度 (0, 60, 180, 300度/秒) における測定値を体重当たりの値 (kg/kg) として表し、平均値と標準偏差を求めた (Fig. 1)。

なお、これらの対象者の選抜においては、鍛練者であるスポーツ選手のあくまで便宜的な標準値として設定したため、競技種目、性別、体型等のバランスを細かく配分する操作はせずに任意の抽出とした。

2) 検討方法

(1) 運動レベルの分類

本研究では、対象者の術式、術後の機能障害度などの違いがあること、またリハビリテーション期間中の痛みや体調不良、なんらかの都合によるトレーニングの中止などのアクシデントがあると機能回復の進行が遅れることなどの理由から、筋力回復過程の追跡は術後期間では

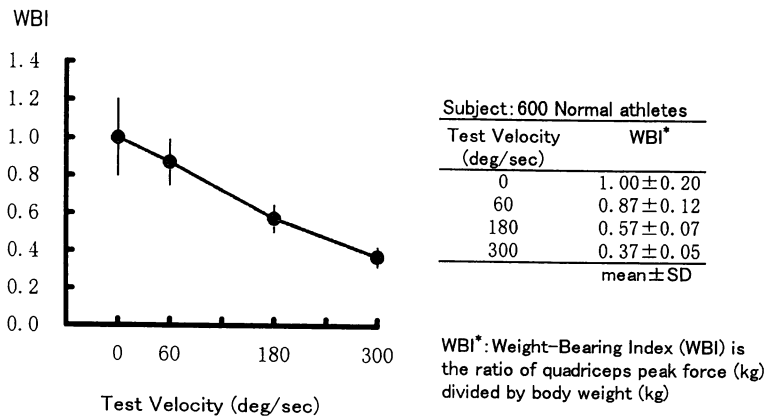


Fig. 1 Standard values derived from the muscle strength of normal athletes

なく運動機能レベルの回復との関係を重視し検討した。

筋力測定を実施した時点にリハビリテーションとして行っていた運動内容や、実施可能なトレーニングレベルから、次の5段階の機能回復レベルに分類した。

レベル1：下肢伸展挙上訓練、自転車ペダリングなどの荷重制限でのトレーニングが中心の時期。

レベル2：スクワット、階段昇降訓練など荷重制限なしでのトレーニングが中心の時期。

レベル3：ランニング、ジャンプなどを組み込んだ積極的なトレーニング（着地衝撃、負荷強度増）を制限なしで行うことが可能な時期。

レベル4：競技復帰移行期として、スポーツ活動に必要な各種動作（競技の基本運動）を訓練内容に追加して徐々に競技復帰を図る時期。

レベル5：競技復帰可能となり、競技活動に参加している時期。

なお、各運動機能レベルに分類された対象の平均術後期間は、レベル1：13.5週、レベル2：19.3週、レベル3：22.3週、レベル4：30.8週、レベル5：32.3週であった。

(2) 基準値比による評価

各角速度における回復の度合いを客観的に評価するための新たな評価法として、基準値として求めた各角速度における健常者の筋力の平均値を100%とした場合の各測定筋力の割合（以下基準値比（%））を求め、評価した。本評価法は、各角速度における測定値が目標値に対して何%に相当するかが明確なため、受傷脚の回復度が客観的かつ容易に把握できるという利点がある。また、患側筋力だけでなく、健側筋力の筋力レベルや変動をも把握できるという従来の健側筋力を基準にした筋力評価の欠点を補う評価法である。

本研究では、上記のACL再建した対象者のアスレティックリハビリテーション期間中あるいは終了後に測定した全ての測定値を、上記の5つの運動機能レベルごとに集計し、各角速度ごとに平均値を算出した。ただし、約2週間ごとに筋力測定を実施しているため各運動機能レベル期間中に複数回分の測定値が含まれることになるので、その場合には各対象者ごとに運動機能レベル期間中に測定された値の平均値を採用した。

結 果

ACL再建後にアスレティックリハビリテーションを実施し、競技復帰した体育大学学生25名の各運動機能

レベルにおける等尺性及び等速性膝関節伸展筋力の速度-筋力曲線と、各角速度における基準値比をFig. 2及びFig. 3に示した。各運動機能レベルにおける患側筋力の基準値比を測定角速度別に平均値でみると、レベル1では0度/秒：57.1%、60度/秒：41.2%、180度/秒：47.7%、300度/秒：59.4%、レベル2ではそれぞれ68.5%、60.9%、69.7%、79.2%、レベル3では89.3%、74.4%、82.4%、94.8%、レベル4では95.7%、79.6%、89.1%、98.9%、レベル5では98.7%、88.7%、105.1%、116.4%であった。

Fig. 2で示されるように各運動機能レベルにおける基準値比の健患側差は、レベル1で最大となり、レベル5で最少となっていた。

各角速度における基準値比からみた筋力の回復度では、全ての運動レベルに共通して60度/秒における筋力が最も低い数値を示した。特に競技復帰時のレベル5における筋力では、他の測定角速度においてはほぼ基準値に達しているものの、60度/秒のみ基準値の88.7%と約10%の基準値との差が認められた。また、他の角速度との比較でみると、特に高速域（300度/秒）との差が著しく、レベル1~4では約18~20%、競技復帰時のレベル5では約28%の基準値との差がみられた。

全てのレベルを通じて、各角速度での健側基準値比は平均100%を上回っており、基準値に達していた。角速度別にみると、患側基準値比と同様に全ての運動機能レベルを通じて60度/秒の値が低い傾向がみられた。

考 察

1. 体重比の基準値による各角速度別筋力の評価

近年、運動速度を規定した筋力の測定が可能である等速性筋力測定器の普及によって、運動速度別にみた筋力の評価が可能になった。しかしながら、各角速度における筋力値の客観的評価の指標がないためにどの速度域の筋力の回復が遅いのか、またどの程度の回復度なのか、などの評価が困難であった。そのため、各運動角速度別にみた筋力評価が可能であるという等速性筋力測定機器の利点を十分に生かすことなく、特定の速度のみで、また目安となる基準値をもたずにあいまいな筋力評価を行っていることが多い。

Table 1は、近年本邦においてACL再建術後の成績について報告された文献から、筋力評価の条件を抜粋し、比較したものである。測定機種は全例等速性筋力測定装置が用いられているが、その半数以上は単一の角速度条

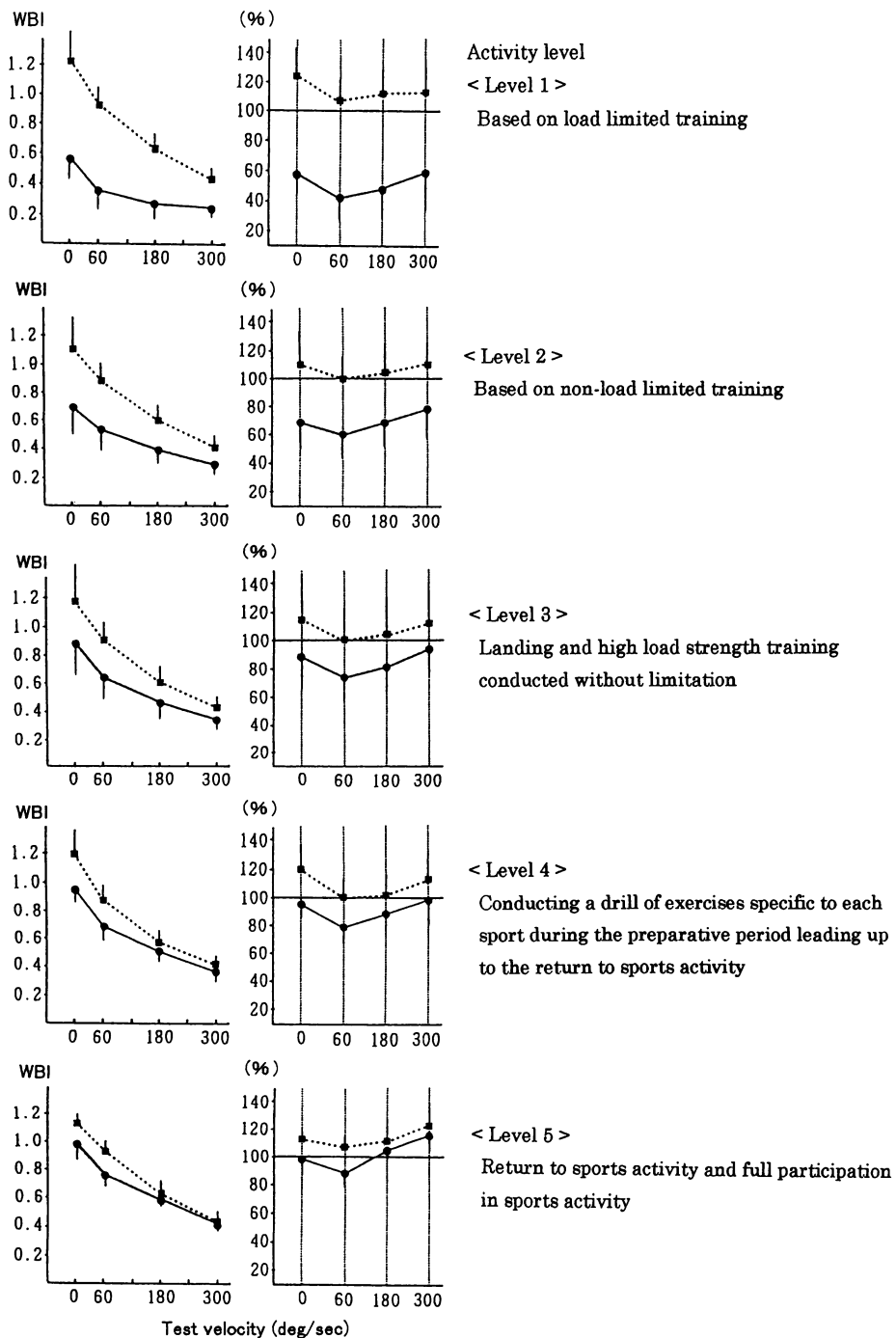


Fig. 2 Recovery of muscle strength at each test velocity until the return to sports activities (n=25)
 Left figure: Evaluation by WBI, Right figure: Evaluation by standard value ratio (%)
 Solid line: Involved knee, Dotted line: Uninvolved knee (contralateral knee)

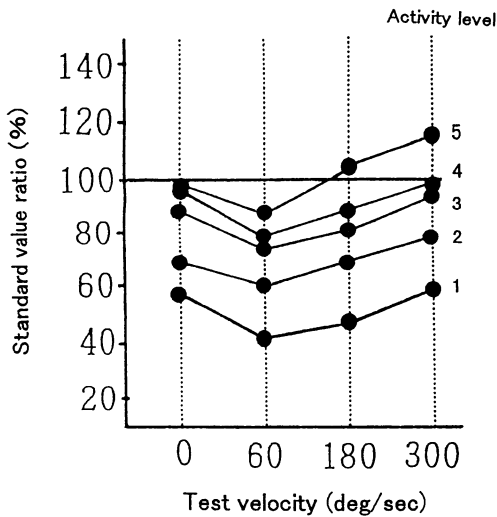


Fig. 3 Improvement in activity level and the course of recovery of muscle strength at each test velocity

件によって評価されている。また、測定値の評価方法では、半数以上が健側筋力を100%とした健側比を用いて評価している。本研究の如く、特定の速度域の筋力のみが特異的に回復不全を呈しているような場合には、その速度での筋力評価がなされていなければ、不足した筋力の機能評価が不十分のまま、現状の筋機能を過大評価して競技復帰させたり、不適切なトレーニングを処方してしまったりする危険性がある。本研究では、従来の等速性筋力の評価における欠点を補う新たな方法として、基準値として求めた健常者における各角速度の筋力の平均値を100%とした場合の、筋力の割合を基準値比として評価した。本評価法は、測定値が基準値に対して何%に相当するかという各角速度間における筋力の評価尺度が同一であるため、各角速度における筋力のバランスや回復程度などの筋出力様相の特徴をつかみやすい。よって、測定後の患者へのフィードバックやトレーニング処方を行う上でも有用である。

一方、従来からリハビリテーションなどにおける筋力回復の程度を評価する指標として、健側比（健側筋力を100%としたときの患側筋力の割合）が用いられてきた。しかし、次のような理由で健側比による筋力評価だけでは不十分であると考えられる。第1に、健側筋力が低値を示す場合、健側比は高い値となり、患側筋力を過大評価してしまうことである。長期間の安静や荷重負荷制限

によって健側筋力が低下していたり、もともと筋力に乏しい者の場合、健側筋力を基準にすることは不適切といえる。第2に、競技種目の特性によりもともと筋力の左右差が存在する可能性があるため、仮に患側が利き脚であれば、反対側の弱い方の筋力を基準とすることになってしまうことである。第3に、体重増加の影響による機能低下（特に体脂肪増量による相対的な体重支持力の低下）を評価することができないことである。本研究で用いた体重比による評価ならば、健側筋力の大小のみならず体重の増減による体重支持力の機能的な変化も評価しうる。したがって、健側比はあくまで健側筋力に対する比率を示すものであり、下肢の筋機能評価としては妥当性が低く、体重当たりの筋力の方が有効であるといえる⁴⁾。

2. 筋力回復度の評価のための基準値（目標値）の設定

本来、傷害後の筋力評価に関しては、受傷前の健常な状態の数値と比較することが理想であるが、現状では受傷前の筋力値を得るのが困難なケースが多い。また、受傷前であっても、上記の如くもともと筋力が低い状態であった場合には、目標値として十分な筋力とはいえない。原⁹⁾、山下ら¹⁰⁾は膝靭帯再建術後に競技復帰した症例の患側筋力平均値をもとに、競技復帰時の目安となる筋力値を提示している。しかし、本研究の如く競技復帰は可能となっても60度/秒の筋力低下のような筋力回復不全が存在している事実や、本研究と同様に競技復帰はしたものの筋力回復不全が認められ、筋力低下の改善策を検討する必要があると指摘する報告^{1-3, 11)}も少なくないことから、競技復帰した術後症例のデータを基準にするのは不十分といえよう。したがって、本研究の如く健常者の筋力を目安にした目標値を設定することが、予防的な観点からも有効であると考えられる¹²⁾。

本研究におけるスポーツ選手の基準値の作成には、健常な男女スポーツ選手600名の平均値を採用した。競技復帰の可否をも判断する不変的な基準を作成するには、さらに多くの条件を満たした膨大な情報集積が必要となると思われるが、ここではあくまで、上記のような筋力評価の問題点を解決でき、各速度における筋力回復のバランス評価をも可能にする便宜的な目標値として作成した。そのため、本基準値の測定対象者は、競技種目、性別、体型等のバランスを細かく配分する操作はせずに任意の抽出とした。ヒトの発揮する随意最大筋力は、筋の横断面積に比例し^{13, 14)}、その単位断面積当たりの筋力に

Table 1 Method of muscle strength evaluation after ACL reconstruction reported in the literature

Authors (year)	Machine	Test Velocity (deg/sec)	Evaluation Method
Yasuda, et al. (1987)	Cybex II	0	I/U
Muneta, et al. (1996)	Cybex*	0	I/U
Kobayashi, et al. (1996)	Medx knee machine	0	I/U
Yasuda, et al. (1988)	Cybex II	0	I/U of post-op 3 M
Tsuchiya, et al. (1995)	Cybex*	0	I/U, /BW
Motosugi, et al. (1998)	Cybex 350	0	I/U, PT
Takao, et al. (1989)	Cybex*	30	I/U
Muneta, et al. (1988)	Cybex II	60	I/U
Kahara and Umegahara (1988)	ARIEL	60	I/U
Mizuta, et al. (1993)	Cybex*	60	I/U, /BW
Kurosawa, et al. (1997)	Cybex II	60	I/U, /BW
Takamatsu, et al. (1998)	Cybex6000	60	I/U, PT
Hamada, et al. (1998)	Cybex*	60	I/U, PT
Yamada, et al. (1986)	Cybex II	60	/BW
Niga, et al. (1993)	Cybex*	60	/BW
Kubo, et al. (1997)	LIDO avtive	60	/BW
Hirata and Kitsunai (1997)	Cybex340	60	PT
Maruyama, et al. (1996)	Biodex	90	/BW
Nakajima, et al. (1996)	Biodex	180	I/U
Konuma, et al. (1998)	Cybex6000	180	I/U
Katsumoto, et al. (1988)	Cybex II	180	I/U, PT
Torisu, et al. (1985)	Cybex*	30, 180	PT
Uchida, et al. (1997)	Cybex*	60, 180	I/U
Shirato, et al. (1995)	Cybex*	60, 180	I/U, /BW
Hara, et al. (1989)	Cybex II	60, 180	I/U, /BW
Usuta, et al. (1993)	Cybex350	60, 180	I/U, /BW
Hioki, et al. (1993)	Cybex350	60, 180	I/U, /BW
Hoshikawa, et al. (1988)	Cybex*	60, 180	I/U, I/U of pre-op
Fukubayashi, et al. (1992)	Cybex350	60, 180	/BW
Yamashita, et al. (1992)	Cybex II	60, 180	/BW
Hara, et al. (1993)	Cybex II	60, 180	/BW
Itou, et al. (1991)	Cybex II	0, 60, 180	/BW
Kariya, et al. (1988)	Cybex*	30, 60, 180	I/U
Ogiso, et al. (1992)	Biodex	90, 180, 270	I/U, PT
Mori, et al. (1997)	ARIEL	120, 180, 240	/BW
Yokoe, et al. (1985)	Cybex II	0, 30, 180, 240	I/U
Kigawa, et al. (1988)	Cybex II	0, 60, 180, 300	/BW
Simizu, et al. (1987)	Cybex II	30, 60, 120, 180, 300	I/U, /BW, PT
Kuriyama, et al. (1991)	ARIEL	30, 60, 120, 240, 480	I/U, PT
Ohkoshi, et al. (1997)	Biodex system II	60, 120, 180, 240, 450	I/U, /BW

* : The type of machine is not described

I/U : Side-to-side ratio (Involved/Uninvolved×100).

Ratio of the operated side divided by the contralateral non-injured side.

/BW : Body weight ratio. Ratio of quadriceps peak torque divided by body weight.

PT : Peak torque.

は、性別¹³⁻¹⁵⁾および年齢による差がないといわれている。また、金久¹⁵⁾は競技スポーツ選手の大腿四頭筋の断面積と等尺性膝関節伸展力を測定し、単位断面積当たりの膝関節伸展力における競技種目差について検討したところ、種目の競技特性による差、および男女差は認められなかったことを報告している。よって、体重当りの筋力の男女差、競技種目差は筋の質的要素よりも筋量、体脂肪量などの形態的要素に関連するものとみなし、今回はこれらの区別をしない全体の平均値を採用した。MooreとWade¹²⁾も、本研究と同様にCybex IIを用いて測定した健常者の体重当りの等速性膝関節伸展力の値をもとに、前十字靭帯損傷の予防のための筋力目標値を示している。彼等が示した男女のバスケットボール選手の平均値では、女子の方が有意に低いが、目標値は男女とも同じ値を提示している。女子の低値は体脂肪率の高いことに起因すると思われるが、傷害予防の観点から考えれば男女に限らず自らの体重を支えるに見合った脚筋力の獲得が安全にスポーツ活動を行う上で必要であるので、目標値はあくまで共通とするべきと考えた。

本研究で採用した基準値の値に対する信頼性を結論することは困難であるが、体育大学に入学した新入生全員を5年間に渡り測定した著者の測定結果¹⁶⁾によれば、総計5245名の体重当り膝関節伸展力(0度/秒)の平均値は 0.95 ± 0.19 kg/kg(ただし、健常者でない者も含む)であった。また、金久¹⁷⁾が報告した国内一流レベルの12競技計174名のスポーツ選手における同数値の平均値は 1.04 ± 0.20 kg/kgであり、本研究で用いた基準値($n=600$, 0度/秒で 1.00 ± 0.20)とほぼ同等な値を示している。したがって、今回設定した本研究の基準値は概ねスポーツ選手の標準的数値として妥当であると考えられる。

3. 膝関節靭帯損傷後の競技復帰における筋力回復の速度特異性について

本研究では、基準値によって評価尺度を一定にして各速度における筋力回復度を明瞭に比較することが可能となった。その結果、各速度とも運動機能レベルの改善に伴い筋力の回復がみられるが、全ての運動機能レベルに共通して60度/秒における値が最も低く、特に競技復帰時の筋力は他の測定速度に比べ、10~28%の回復の遅れが認められた。

前十字靭帯損傷者の術後筋力の回復については多くの報告(Table 1)があるが、前述の如く、その報告の多くは健側筋力や術前筋力との比較によるものが多く、果

たして競技復帰時の筋力が十分な回復であるかを明確に評価されているかは疑問である。また、これらの研究の多くは、医療機関における調査であるため、退院後より、競技復帰に至るまでの縦断的な測定が十分に行えないことも多い。そのような調査の限界はあるものの、いくつかの研究において、ACL再建術後にある程度のスポーツ復帰を果たした後も筋力回復が不十分であることが報告されている^{1-3, 9, 11)}。その原因として、ACL機能不全という病態そのものの影響³⁾、あるいは再建手術による侵襲³⁾や筋配列変化¹⁾の影響などが挙げられている。

本研究で得た新たな知見は、単に術後のスポーツ復帰時の筋力回復が不十分であるということだけでなく、低速域での動的筋力の低下が特異的にみられたことである。このような、ある特定の速度における特異的な筋力の差異が生じた理由として、いくつかの要因が考えられる。その一つにアイソキネティックトレーニング(等速性筋力訓練)時のトレーニング速度による影響が挙げられる。アイソキネティックトレーニングの場合、速度条件によってその効果は特異的なものとなることが知られている¹⁸⁾。トレーニング速度とトレーニング効果に関する先行研究によれば、トレーニングを実施した速度付近での筋力改善効果が最も高い¹⁹⁻²²⁾。

Caiozzoら¹⁹⁾は、アイソキネティックトレーニングにおけるトレーニング速度の特異性について、トレーニングが高速のみで行われると低速での筋出力向上に効果がなく、またその逆、すなわち低速のみのトレーニングでは高速での筋出力に改善をもたらさないことを報告している。Shermanら²³⁾は、術後のリハビリテーションの終盤において、180度/秒でのトレーニングを行ったところ、180度/秒以上の高速域での筋出力は改善したが、60度/秒での筋出力の回復は高速域に比べて有意に低かったことを報告している。つまり、本研究の症例においてアスレティックリハビリテーションのトレーニング内容に60度/秒のような低速域での筋力トレーニングが不足していた可能性も考えられる。

一方、KanehisaとMiyashita²⁰⁾によれば、300度/秒でのトレーニングは高角速度(240~300度/秒)における筋出力に有意な改善を示したのに対し、60度/秒でのトレーニングは、低角速度(60~120度/秒)での筋出力に高い改善率を示し、180度/秒という中間的な角速度でのトレーニングは、測定角速度(60~300度/秒)全域における筋出力を有意に改善した。これらの結果のもとに、金久^{18, 24)}は多くの研究報告をまとめた見解とし

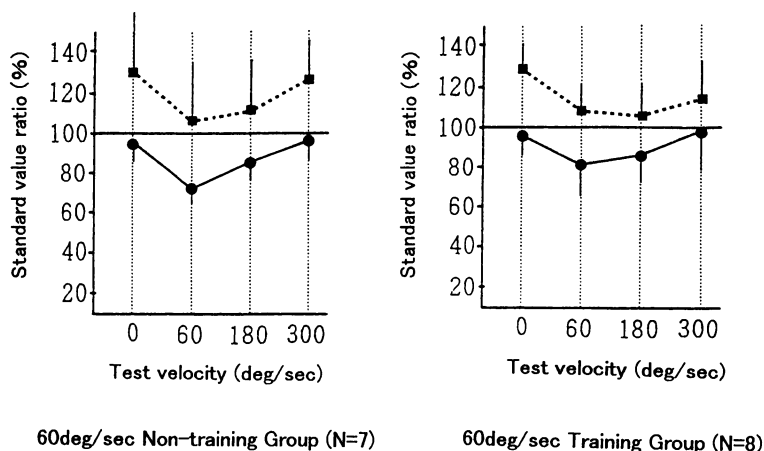


Fig. 4 Comparison of the recovery of muscle strength at each test velocity between with and without isokinetic muscle strength training at 60 deg/sec
 Solid line: Involved knee
 Dotted line: Uninvolved knee (contralateral knee)

て、幅広い速度範囲における筋出力を改善するためのトレーニング角速度は100度/秒～200度/秒までを挙げている。この金久の提唱した至適トレーニング角速度に基づき、本研究対象においてもIsokinetic machineを用いたトレーニングでは180度/秒を基本的角速度としたプログラム²⁵⁾を実施した。

Fig. 4は、上記の等速性トレーニングにおける速度の特異性の影響を調査する目的で、レベル4の症例のうち、筋力測定前のトレーニングメニューにおいて60度/秒の角速度での等速性筋力トレーニングを実施していた群(図右側)と実施していなかった群(図左側)の筋力(基準値比)を比較したものである。他の測定角速度の基準値比は、両群ほぼ同様な数値を示すものの、60度/秒における基準値比は、60度/秒トレーニング実施群では80.8%であるのに対し、非実施群では72.1%と有意差は認められないものの低い傾向を示した。よって、60度/秒における特異的な筋力回復不全の原因は、アイソキネティックトレーニングの実施角速度の影響を少なからず受けていることが考えられる。

しかしながら、このトレーニングの速度特性が全例にあてはまるわけではなく、60度/秒での等速性筋力トレーニングを積極的に行っている、60度/秒における筋力の回復不全が認められる症例もみられた(Fig. 5)。本症例は、高校時に全国大会優勝経験を持つ男子バスケットボール選手で、大学入学直後にACL損傷及び外側半月板損傷受傷、その後ACL再建術を行った例である。

術後33週以後、等尺性最大筋力(0度/秒での筋力: 図中太線)における体重比(WBI)は、基準値である1.00を上回る筋力を示しているが、全体的に60度/秒での筋力のみ回復が遅れている傾向が認められる。

本症例のように60度/秒でのアイソキネティックトレーニングの効果が認められない例があること、健側筋力においても60度/秒における基準値比の値が他の測定速度に比べやや低い傾向にあること(Fig. 2)、運動レベルが高くなるほど60度/秒での基準値比の値は他の速度での筋力との落差が大きくなることなどから、60度/秒での筋力回復不全は、単にトレーニングで用いた速度の影響だけではないと推測される。競技復帰した症例への意識調査では、本症例を含め、競技中のジャンプ、ダッシュ、ストップターンなどのハイパワー動作に対する不安感を訴える者が多かった。これらの結果を考え合わせると、60度/秒といった低速域における筋力の回復不全のもうひとつの要因として、次のようなことが考えられる。すなわち、トレーニングにおける競技動作導入再開にともない必然的に専門的な体力の必要性は高くなり、特に激しいジャンプ、ダッシュ、ストップターンのような高い動的筋力が必要とされるハイパワーな動作への不安感が運動に対する抑制となり、動的最大負荷にあたる60度/秒での筋力に特異的な回復不全を生じさせたものと考えられる。

Fig. 5の症例において、このようなプレー中の着地時やハイパワーな動作の不安感を改善することを目的と

膝前十字靭帯損傷後の等速性筋力の評価

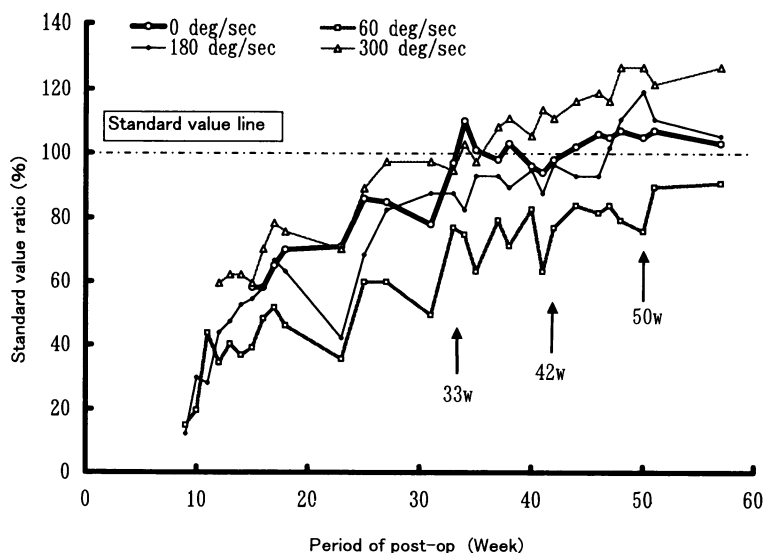


Fig. 5 A case of ACL reconstruction showing insufficiency of muscle strength recovery at 60 deg/sec even after the return to sports activity

A 20-year-old basketball player (an inter-high school champion team member)

At the time point of 33 weeks after ACL reconstruction, the patient achieved the standard value for muscle strength at 0 deg/sec (WBI), which was the objective of his return to sports activity, and he gradually began to carry out basketball training. However, he was not able to play well because he experienced anxiety during training.

Subsequently, in order to alleviate his anxiety about landing and improve his high-power muscle strength, he started a fundamental step-wise drill consisting of high-load training using exercises such as jumping, dashing and stepping from approximately week 42 after surgery. From approximately week 50 after surgery, his anxiety during basketball training disappeared and his muscle strength at 60 deg/sec improved considerably.

して、術後42週目頃からジャンプ、ダッシュ、ステップングなどの高強度のトレーニングを基本動作の反復から習得させ、徐々に競技の全力動作に移行させるアスレチックリハビリテーションを実施した。その結果、術後50週を越えた頃からバスケットボール競技中における膝関節の不安感はなくなり、60度/秒における筋出力も改善傾向を示した (Fig. 5)。

スポーツ選手の場合、各競技の運動特性を反映した筋力の発達が認められる。したがって各競技の特性により、競技能力と関連性の高い筋力に速度の特異性がみられることが知られている。本研究において問題視されている60度/秒という低速の脚筋力は、サッカー²⁶⁾、ラグビー²⁷⁾、スピードスケート²⁸⁾、アメリカンフットボール²⁷⁾、陸上十種競技²⁹⁾、陸上走高跳³⁰⁾、柔道²⁷⁾など多くの競技種目の競技能力との間に有意な関連性が報告されている。よって、特にこれらの種目においては、低速

度の筋力は競技能力に関わる重要な要素を持つ筋力といえる。したがって、膝関節靭帯損傷後のアスレチックリハビリテーションにおける筋力評価においては、これらの競技能力に関わる重要な筋力の回復を的確に評価しなければならない。また、これらのことは、各競技の競技力向上あるいは競技復帰時に必要な体力強化のトレーニングを考える上で重要になると考えられる。

いずれにしても、このような競技能力に関与する重要な筋力の低下は、競技成績の低下や再受傷にも密接に関係すると思われ、スポーツ選手の傷害後の競技復帰における重要な課題となると考えられる。

本論文の一部は、第48回日本体力医学会において報告した。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました昭和大学医学部整形外科学教室、藤巻悦夫主任教授並びに阪本

桂造教授に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 福林 徹, 村松俊樹, 水沢克子, ほか: 競技者の前十字靭帯損傷に対する手術的治療. 臨床スポーツ医学 9 : 257-263, 1992.
- 2) Sherman WM, Pearson DR, Plyley MJ, et al : Isokinetic rehabilitation after surgery. *Am J Sports Med* 10 : 155-161, 1982.
- 3) 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況と将来の展望. 臨床スポーツ医学 12 : 867-872, 1995.
- 4) 山本利春: 筋力評価とスポーツ復帰—WBIを中心として—, スポーツ外傷・障害とリハビリテーション (福林 徹編), pp.108-115, 文光堂, 東京, 1994.
- 5) 黄川昭雄, 山本利春, 小山由喜, ほか: スポーツ傷害予防のための下肢筋力評価. 日本整形外科スポーツ医学会誌 6 : 141-145, 1987.
- 6) 山本利春: 筋力とリハビリテーションメニューの組み方, アスレティックリハビリテーション—競技復帰までのプログラミング— (福林 徹, 米田 稔編), pp.122-130, 南江堂, 東京, 1998.
- 7) 丹羽 昇: 関節の角度と筋力との関係. 東京学芸大学紀要 19 : 155-182, 1968.
- 8) 角田直也, 渡辺 剛, 掘川浩之, ほか: 膝関節角度変化が等尺性脚伸展力に及ぼす影響. 国士館大学体育学部紀要 13 : 21-25, 1987.
- 9) 原 邦夫, 森 裕展, 山際哲夫, ほか: 膝前十字靭帯再建術後の早期競技復帰に対するリハビリテーションおよび筋力評価について. 日本整形外科スポーツ医学会誌 8 : 237-241, 1989.
- 10) 山下文治, 須津富鶴, 原 邦夫, ほか: 陳旧性膝前十字靭帯損傷のスポーツ復帰. 臨床スポーツ医学 9 : 272-277, 1992.
- 11) 星川吉光, 川上 明, 勝本 弘, ほか: 前十字靭帯再建術後の大腿四頭筋の筋萎縮と筋力低下. 日本整形外科スポーツ医学会誌 8 : 13-16, 1989.
- 12) Moore JR and Wade G: Prevention of anterior cruciate ligament. *Strength Cond J* 11 : 35-40, 1989.
- 13) 福永哲夫: 超音波法による単位断面積あたりの筋力の算出. 体育学研究 14 : 28-32, 1969.
- 14) Maughan RJ, Watson JS, Weir J, et al : Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *J Physiol* 338 : 37-49, 1983.
- 15) 金久博昭, 福永哲夫, 池川秀樹, ほか: スポーツ選手の単位断面積当りの脚伸展力. *Jpn J Sports Sci* 5 : 409-414, 1986.
- 16) 山本利春: 体重支持力の評価. *Training J* 16 : 93-96, 1994.
- 17) 金久博昭: 健康維持の体力からトップ・アスリートの体力まで—筋力からみて—, トレーニング科学 4 : 31-38, 1992.
- 18) 金久博昭: 筋の出力特性とトレーニング. *Jpn J Sports Sci* 2 : 23-34, 1983.
- 19) Caiozzo VJ, Perrine JJ and Edgerton VR : Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationships of human muscle. *J Appl Physiol* 51 : 750-754, 1981.
- 20) Kanehisa H. and Miyashita H : Specificity of velocity in strength training. *Eur J Appl Physiol* 52 : 104-106, 1983.
- 21) Lesmes GR., Costill DL., Coyle EF, et al : Muscle strength and power changes during maximal isokinetic training. *Med Sci Sports* 10 : 266-269, 1978.
- 22) Moffroid M. and Whipple RH : Specificity of speed of exercise. *Phys Ther* 50 : 1692-1699, 1970.
- 23) Sherman WM, Plyley MJ, Costill DL, et al : Isokinetic strength during rehabilitation following arthrotomy: Specificity of speed. *Athl Train* 16 : 138-141, 1981.
- 24) 金久博昭: アイソキネティック・トレーニング, 現代体育・スポーツ大系 (浅見俊雄, 宮下充正, 渡辺 融編), 第8巻, pp.172-191, 講談社, 東京, 1984.
- 25) 山本利春, 黄川昭雄, 佐々木敦之, ほか: Isokinetic machineの角速度条件と負荷強度の関係—アスレチック・リハビリテーションへの応用—. 千葉体育学研究 13 : 1-6, 1990.
- 26) 戸苅晴彦, 大橋二郎, 小宮喜久, ほか: 日本代表及び日本リーグ選手の体力について. 第9回運動療法研究会講演論文集 : 131-136, 1984.
- 27) 原 邦夫, 久保恭臣, 川原林顕昌, ほか: 競技種目別筋力特性からみた膝前十字靭帯再建術後の競技復帰条件について. 臨床スポーツ医学 10 : 561-564, 1993.
- 28) 根本 勇, 入沢孝一, 吉岡伸彦, ほか: スピードスケート選手の等速性筋力と競技成績との関係. デサントスポーツ科学 5 : 206-212, 1984.
- 29) 山本利春, 山本正嘉, 繁田 進, ほか: 十種競技選手における脚筋力と競技成績との関係. トレーニング科学 3 : 7-12, 1991.
- 30) 川初清典, 猪飼道夫: ヒト脚パワーと力・速度要因 (II) 力・スピード・パワーにおける個人差について. 体育学研究 17 : 17-24, 1972.

EVALUATION AND SPECIFICITY OF ISOKINETIC MUSCLE
STRENGTH DURING ATHLETIC REHABILITATION AFTER
ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION

Toshiharu YAMAMOTO

Department of Orthopaedic Surgery, Showa University School of Medicine

Abstract—A new method was devised for evaluating the isokinetic muscle strength of athletes by means of a standard value ratio, which was derived from the mean value of muscle strength of 600 normal athletes at each test velocity expressed as a percentage of the relevant standard value. In the present study, the new method was tested on 25 athletes who had anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction in order to progressively evaluate their course of muscle strength recovery until the return of the subjects to sports activity. As a result of employing the standard value ratio, it was possible to facilitate the comparison of the muscle strength recovery levels at each velocity by setting a fixed evaluation scale. The findings of the follow-up study were as follows. Although the recovery of muscle strength was observed to be concomitant with improvement of the activity level at each test velocity, the minimum value was seen at the velocity of 60 deg/sec at all activity levels. In particular, compared with other measured velocities, muscle strength at the time of returning to sports activity showed a 10-28% delay in recovery. These findings indicate that in the case of evaluating muscle strength recovery after ACL injury by evaluating the isokinetic muscle strength, it is more useful to evaluate the balance of recovery at each velocity rather than at a single velocity. Our findings indicate that in athletic rehabilitation after ACL reconstruction, especially at the time when an athlete returns to sports activity, it is essential to be aware of a delay in muscle strength recovery at slow speeds, such as 60 deg/sec at each velocity.

Key words : muscle strength evaluation, isokinetic muscle strength, standard value ratio, anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction

[受付 : 11月30日, 受理 : 12月8日, 1999]