

スポーツ傷害後の復帰に関する指標の作成
——筋力回復とスポーツ動作との関係について——

財団法人 スポーツ医・科学研究所 深代千之
(共同研究者) 同 浦辺幸夫
同 若山章信

**Estimation of the Standard Index of Recovery
in Rehabilitation Program After Sports Injury**

by

Senshi Fukashiro, Yukio Urabe, Akinobu Wakayama
Institute of Sports Medicine and Science

ABSTRACT

The purposes of rehabilitation after sports injury were to recover the injured muscles, and to maintain the physical fitness level. In rehabilitation program, it is necessary for athletes to set up the standard index for return to sport events. The present study was designed to estimate the standard index of recovery in rehabilitation program.

Subjects were 57 males and 20 females who are top athletes in Japan. The leg extension strength was measured by Cybex II (60 deg/s). The jumping height and the mechanical power output were measured in vertical jump on the force-plate. There were significant correlations between the leg strength and the results of vertical jump. The standard index in rehabilitation was estimated from the relation between the regression line of the above correlation and the difference of leg strength values of affected/unaffected.

Furthermore, the standard index was confirmed by longitudinal result during rehabilitation of the subject after ACL operation.

要 旨

本研究は、スポーツ傷害後のリハビリテーションにおいて、競技復帰の指標について検討することを目的とした。具体的には、リハビリテーションでこれまで重視されてきた患部の筋出力の回復に、実際のスポーツ動作に近い垂直跳を加え、両側面から回復の指標を作成することを試みた。

本論で中心となるのが、回復の指標（健常時の筋力と垂直跳の能力）を推定する方法である。その手順は、まず健常な競技スポーツ選手 77 名を対象に、膝関節伸展力と垂直跳（跳躍高と発揮パワー）との相関関係を調べる。そして、その相関関係の回帰直線（集団情報）をもとに、術後の患側と健側の脚筋力の差を個人情報として、選手の健常時の状態を推定するのである。

加えて本研究では、1名のリハビリテーション患者を例に、脚筋力と垂直跳との関係を縦断的に観察した。

緒 言

近年のスポーツは、競技スポーツと大衆スポーツとに大別できるが、両者ともに高度な発展を認めることができる。しかし、競技スポーツの高度化、大衆スポーツへの参加者の急増にともない、スポーツ障害や外傷が目立って増えてきていることは、すでに各所で指摘されている通りである（例えば横江ら 1990）。スポーツ障害としては疲労骨折がその典型であるし、スポーツ外傷としては靭帯損傷・腱断裂などが多く認められる。

こういったスポーツ傷害が生じた場合には、適切な処置（手術や休養など）を施さなければならないが、処置後の回復過程においてはリハビリテーションあるいはトレーニングが重要な意味をもつ（浦辺 1989）。スポーツ選手のリハビリテーションを一言でいうと、傷害部位以外の体力（主に筋力と呼吸循環能力）を低下させないようにし

ながら、傷害部位の回復を促進させることといえる。特に競技選手では、それまで蓄積してきた体力を低下させないことが、その回復過程の大きな目標となる。

従来、リハビリテーション期間中の競技復帰への評価には、安全性を考慮してサイベックスマシーンなどの等速性筋力測定機器が多く用いられてきた。しかし筆者らは、こういった測定の筋力値を、回復の指標として重視するのは難しいと考える。というのは、動きを規制された労作計への筋力発揮は、スポーツ動作中の自然な（何の制限もない）身体運動での筋の動態とは異なる（Komi 1987）と考えられるからである。両者の相違は、次のような点であろう。①労作計への出力は身体の一部の筋によるが、スポーツ動作は身体全体で行うことの差 ②関節角速度（筋の収縮速度）が遅いところ（Cybex は $300^{\circ}/s$ まで）での筋力測定と、関節角速度が大きく変化する実際の運動との差 ③運動方向が労作計に対しては 1 方向であるが、スポーツ動作では（捻りなどが含まれ）多方向かつ複雑になることの差、などがあげられる。

そこで本研究では、スポーツ傷害後のリハビリテーションにおいて、従来の筋出力の値に、スポーツ動作に近い運動として「垂直跳」を加え、競技復帰のための指標を検討することを目的とした。

具体的には、(1)として健常な競技選手を対象に、まずサイベックスマシーンでの筋力測定に加え垂直跳におけるパワー発揮能力を評価する。これを健常な選手の基準とし、術後の患者のトレーニングの目標値を推定するために用いる。(2)として、術後のリハビリテーション患者を対象に、実際の競技復帰への筋力・パワーの回復を段階を追ってチェックしていくこととした。

1. 研究方法

1.1 被験者

被験者は、健常な競技スポーツ選手計 77 名と、スポーツ外傷後の女子バスケットボール選手 1 名とした。

(1) 競技スポーツ選手は、男子が 57 名、女子が 20 名である。種目別に示すと、男子が①スキージャンプ 4 名 ②日本陸連選抜ジュニア 22 名 ③日本陸連短距離シニア 9 名 ④実業団野球チーム 22 名であり、女子が⑤日本陸連選抜ジュニア 8 名 ⑥実業団バスケットボールチーム 12 名である。いずれも、日本のトップクラスの選手あるいは団体である。各群の身体特性は表 1 に示す通りである。

表 1 被験者の身体特性

	身長 (cm)			体重 (kg)	
	n	平均	SD	平均	SD
スキー男	4	169.9	4.6	59.1	3.5
陸男 Jr	22	176.6	5.7	69.8	8.1
陸短 Sn	9	176.0	5.4	70.1	6.3
野球男	22	176.8	5.2	75.0	3.9
陸女 Jr	8	166.4	5.8	57.3	4.4
バスケ女	12	171.7	7.1	65.5	6.5

(2) スポーツ外傷後の被験者は、⑥の実業団チームに所属し(今年、全日本のメンバーに選出された)、練習中に左膝損傷(診断名:左膝 MCL 損傷, III 度)後、靱帯の一次修復術を受けた選手(以下 CM とする)である。その経過は、平成 2 年 6 月 11 日受傷、6 月 15 日入院、6 月 20 日手術、9 月 1 日退院である。なお、被験者 CM の身長、体重はそれぞれ 162 cm、57.3 kg である。

1.2 動的筋力測定

下肢筋力として膝関節伸展筋力に注目し、サイベックスマシオンを用いてその筋出力を測定し

た。被験者は椅座位で、最大努力で膝伸展を行うこととし、その際のレバーアームの角速度は毎秒 60 度とした。記録器に記されたトルク曲線から、最大のトルク(ピークトルク値)を読みとり、筋力とした。

1.3 垂直跳の測定

垂直跳は圧力板(キスラー社製)上で行い、垂直方向の床反力曲線(F_z)の滞空時間から離地時の身体重心上昇高を得た。さらに F_z をアナログ積分した重心の速度曲線から、踏切中の作用時間(重心の最下点から離地時までの時間)を求めた。各動作を 2 回ずつ最大努力で行い、重心上昇高の大きい試技を採用した。

なお、滞空時間から重心上昇高を求める場合、踏切離地時と着地時の重心高が同等という前提が必要となるが、それは重心の速度曲線によって確認した(測定の詳細は深代 1990 を参照)。また、この方法による垂直跳の跳躍高は、通常の方法を用いて行う方法よりも、足首の底屈分だけ低い値(その差は小林 1990 によれば、身長 178 cm の選手で 13 cm 程度)となることを注意する必要がある。

踏切中の発揮パワーは、重心上昇高に体重を乗じ、それを踏切作用時間で除すことによって求めた。垂直跳はパワーの測定として親しいが、正確にいうと垂直跳の跳躍高は仕事量を示しており、仕事量を時間微分したパワーとは異なる。もちろん、跳躍高と発揮パワーの間に有意な相関関係($r = 0.714$, $n = 77$)は認められるが、ここでは両者を別の変量として扱うこととする。パワー値は、力の集中性という意味で評価する。

1.4 術後の被験者の経過

被験者 CM については、術後の経過として、上記の筋力・垂直跳測定に加え、大腿と下腿の周径と膝関節可動範囲(ROM)を、それぞれ 1 月ごとに測定した。周径は、大腿周径として I. 膝蓋骨上 5 cm II. 膝蓋骨上 15 cm の周径 III. 下腿最大囲の 3 つとした。

2. 結果と考察

2.1 健常な競技選手の脚筋力と垂直跳

(1) 脚筋力と左右差

競技選手全体について、左右別々に脚筋力をみると、男子は、右が 246 ± 44 Nm, 左が 243 ± 49 Nm で右が 2% 大きく、一方女子は、右が 189 ± 24 Nm, 左が 182 ± 26 Nm でやはり右が 5% 大きいという結果であった。そこで脚筋力の値は、右脚のものを代表値として用いることとした。

各群の筋力は、表 2 に示す通りである。男子では $214 \sim 303$ Nm (体重あたり: $3.16 \sim 4.32$ Nm/kg), 女子では $168 \sim 202$ Nm ($2.93 \sim 3.10$ Nm/kg) であり、各群とも、かなり高い値を出力しているといえる。

また脚筋力を被験者全体でみると、体重と有意な相関関係があり ($r = 0.50, P < 0.01$), 身体の大きさ (筋量) がかなり影響していることが推察さ

れた。

(2) 各群における垂直跳の測定結果

垂直跳の跳躍高についてみると (表 3 参照), 男子ではスキーと野球が約 45 cm で、陸連ジュニアとシニアがそれよりも 7 cm 程度高い約 52 cm で 2 グループに分けることができる。また女子では、陸連ジュニア (40 cm) がバスケット (30 cm) よりも約 10 cm 程度高い結果となっている (各群の順序が脚筋力と逆になっていることに注意したい)。踏切発揮パワーは各群で跳躍高と同様の順序であった。

また、脚筋力あたりの跳躍高をみると、 $0.15 \sim 0.24$ cm/Nm の範囲にあり、最大値は女子の陸上選手であった。脚筋力あたりの発揮パワーにおいても女子陸上選手が最大値を示した。

脚筋力あたりの跳躍高あるいは発揮パワーがこのように異なるのは、主に動作様式の違いによると思われる。つまり①として、ここでの脚筋力が膝伸展のみの動作であるのに対し、垂直跳の動作は反動動作、腕振り動作、股関節の伸展 (上体の起こし) 動作などが介入していることがまずあげられる。②としては、冒頭で述べたように、測定機器に対する筋出力と何の制限もない自然な運動 (垂直跳) との差、そして③として、膝伸展の運動速度の違い (筋力測定は 60° /秒に対し、垂直跳は瞬時ではあるが 900° /秒を越える (Eckert 1968)) が考えられる。

表 2 膝伸展筋力の測定結果

	右 筋力 (Nm)			左右差 体重あたり	
	n	平均	SD	(%)	(Nm/kg)
スキー男	4	213.5	17.1	-1.5	3.61
陸男 Jr	22	236.7	36.5	2.7	3.39
陸短 Sn	9	303.0	55.6	6.3	4.32
野球男	22	237.0	26.1	0.4	3.16
陸女 Jr	8	167.9	16.1	2.9	2.93
バスケ女	12	202.8	16.5	5.9	3.10

表 3 垂直跳の測定結果

	垂直跳 (cm)			発揮パワー (W)		体重あたり (W/kg)		脚筋力あたり	
	n	平均	SD	平均	SD	平均	SD	(cm/Nm)	(W/Nm)
スキー男	4	44.5	3.9	1089	261	18.3 ± 3.7		0.208	5.089
陸男 Jr	22	52.4	5.9	1331	305	19.1 ± 3.6		0.221	5.617
陸短 Sn	9	51.9	5.9	1363	380	19.2 ± 4.4		0.171	4.497
野球男	22	45.3	5.5	1186	231	15.6 ± 3.2		0.191	5.004
陸女 Jr	8	39.9	5.5	1043	202	18.3 ± 3.9		0.237	6.206
バスケ女	12	30.3	2.6	856	215	13.4 ± 4.3		0.149	4.217

逆にいえば、脚筋力あたりの跳躍高あるいは発揮パワーがこのように異なるからこそ、傷害後の復帰過程において、筋力と自然な運動（ここでは垂直跳）との両側面を観察していく必要があると

もいえるわけである。

(3) 筋力と跳躍高・発揮パワーの関係

脚筋力と垂直跳の跳躍高の関係は、図1に示す通り、 $r = 0.51$ という有意な相関関係にあった。

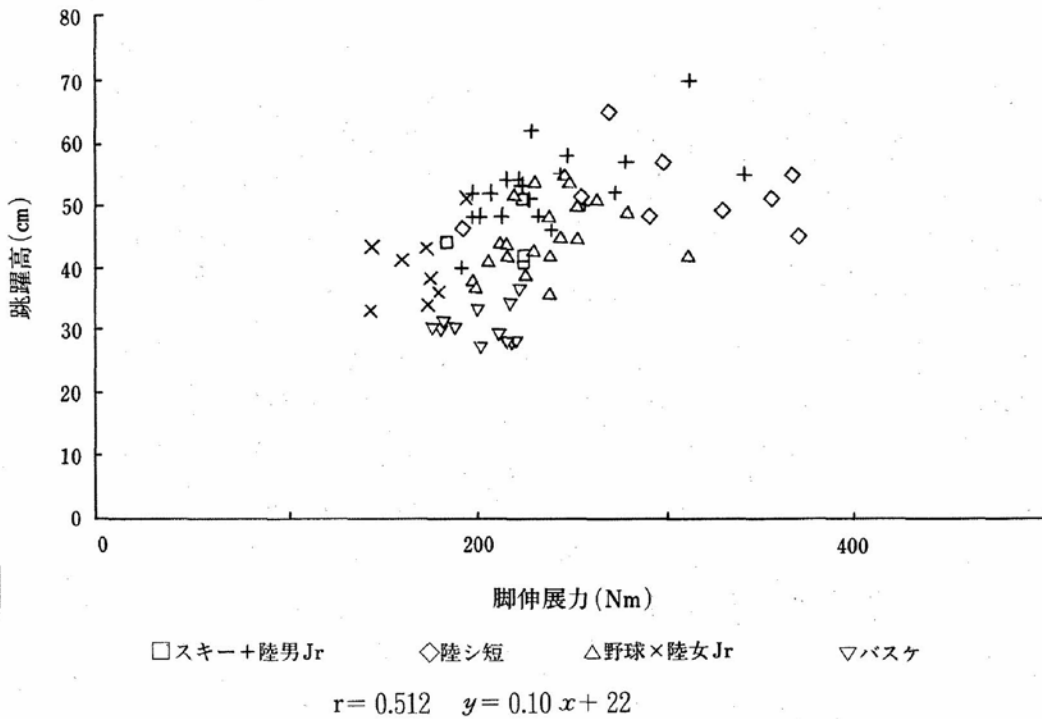


図1 脚筋力と垂直跳・跳躍高との関係

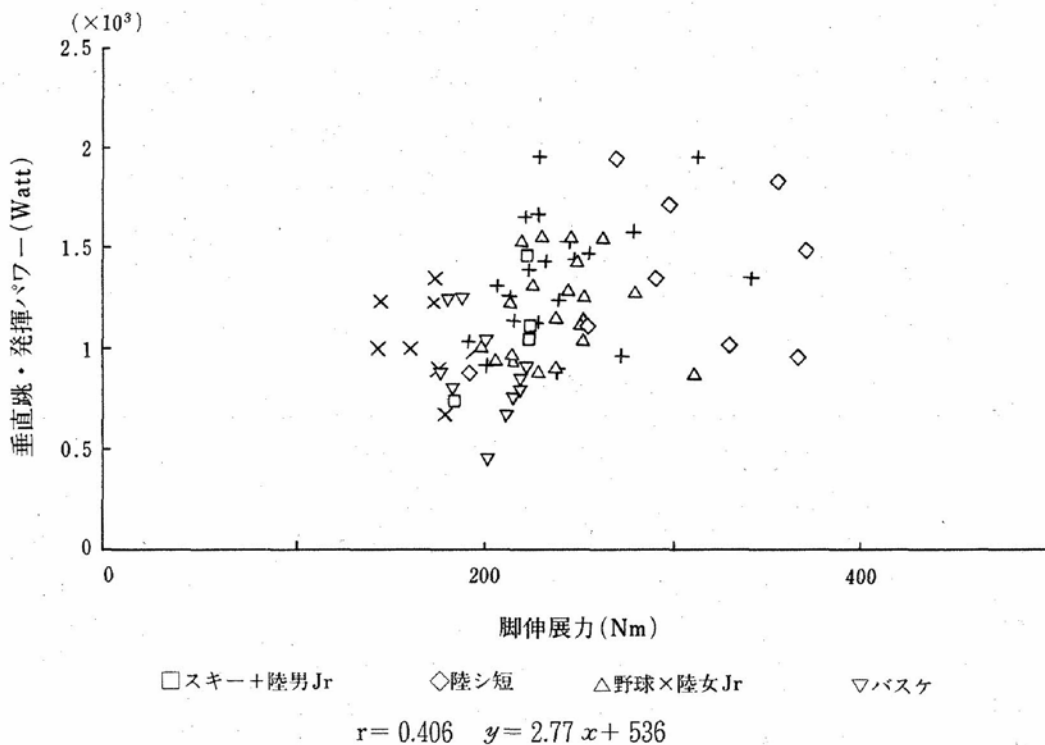


図2 脚筋力と垂直跳・発揮パワーとの関係

また脚筋力と踏切中の発揮パワーとの関係 (図2) も, $r = 0.41$ と跳躍高に比べて若干相関係数が低くなるものの, 有意であった。つまり, 膝伸展筋力と垂直跳の跳躍高あるいは発揮パワーとの間には, 当然のことながら密接な関係があるといえる。

しかしながら, 図1と図2で個々人のデータについてみると, かなりバラツキが大きいともいえる。すなわち, 筋力あたりの跳躍高・パワーのところでは指摘した (スポーツ種目別で, 筋力あたりの垂直跳の結果で差が認められた) ように, 個々のデータでみる場合 (特に傷害後の復帰過程) には, 患部の筋力と自由な動作 (垂直跳) とを区別して, 詳細に検討する必要があるといえる。

2.2 リハビリテーション中の周径・膝関節可動範囲・筋力・パワーの推移

(1) 周径と膝関節可動範囲の変化

被験者 CM の傷害前とその後の復帰過程にお

いて, まず大腿と下腿の周径, および膝関節可動範囲 (ROM) をみると表4のようになる。

膝蓋骨上 5 cm の周径は, 術後 1 カ月で 1 cm 低下しているが術後 2 カ月で術前の状態にもどっている。一方, 膝蓋骨上 15 cm 位と下腿位では, 術後 1 カ月でかなりの低下がみられ, 術前の状態にもどるまでに, 3 カ月かかっている。

ROM は, 屈曲・伸展ともに徐々に回復し, 術後 4 カ月ではほぼ健側と同程度のレベルにまでもどっている。

(2) 筋力と跳躍高・パワーの推移

被験者 CM の膝伸展筋力と跳躍高・パワーの推移は, 表4と図3, 図4に示す通りである。術後 2 カ月で, 筋力が 30 Nm, 跳躍高が 4 cm それぞれ低下している (図中のシンボルは②) が, これは回帰直線の傾きとほぼ同様の低下である。その後, 筋力は徐々に増大しているが, 跳躍高は一度低下した後に増加している (図中の③と④)。つま

表4 被験者CMのリハビリテーションによる諸測定値の推移

日付	(1990)	健常時 4/9 ◎	術前 6/19 ○	術後1月 7/16-20 ①	術後2月 8/10-13 ②	術後3月 9/10 ③	術後4月 10/10-22 ④
下腿周径 (cm)	I. 膝蓋骨上 R	—	38.5	39.4	40.3	40.1	40.1
	5 cm L	—	38.3	37.3	38.0	38.8	38.2
	II. 膝蓋骨上 R	—	46.3	47.3	49.1	47.8	47.8
	15cm L	—	46.0	43.6	45.3	47.2	46.7
	III. 最大下腿 R	—	35.3	33.8	33.5	34.2	34.3
	L	—	34.3	32.3	32.2	34.3	34.1
可動範囲 ROM (deg)	膝伸展 L	* (右: +3)		-20	-8	-3	0
	膝屈曲 L	* (右: 155)		97	128	135	140
膝筋力 CYBEX 60d/s (Nm)	伸展 R	188	159	214	218	228	212
	屈曲 R	128	122	125	117	125	126
	伸展 L	198	—	137	170	187	198
	屈曲 L	136	—	103	121	129	122
垂直跳	跳躍高 (cm)	41	—	—	37	34	37
	パワー (Watt)	1233	—	—	997	1031	1284
	パワー (W/kg)	21.5	—	—	17.5	18.1	22.5

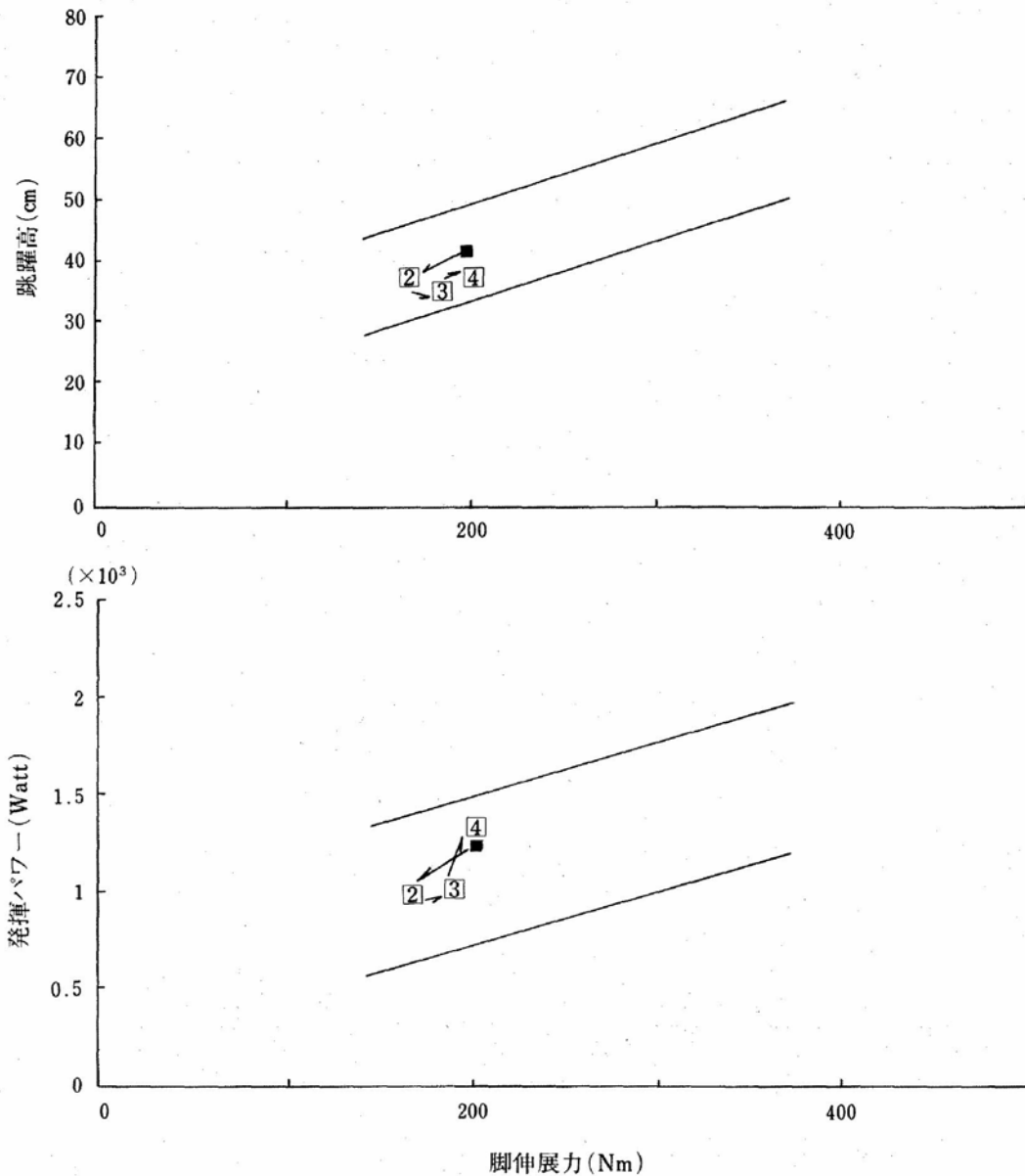


図3 被験者CMのリハビリテーションによる跳躍力、発揮パワーの推移

り被験者CMの場合、筋力の回復は段階を追っているが、垂直跳の跳躍高はそうではないといえる。

垂直跳が術後2カ月でかなり大きな跳躍高を発揮している原因として、患部以外の貢献つまり上体の起こし・腕振り動作や健側の働きがあげられる。換言すれば、患側の筋力が低下していても、他の身体部分の貢献によってかなりの跳躍高が補償されるといえる。しかし、これは着地動作のことを考えると、極めて危険なことといえる。大築

(1990)が指摘しているように、床反力のピーク値は踏切時よりも着地時の方が大きく(時には踏切時の2倍以上にもなる)、たとえ患部以外の貢献で、高く跳躍できたとしても、着地において外傷が再発する可能性があるからである。

一方、筋力と垂直跳発揮パワーの推移(図3参照)では、筋力もパワーも段階を追って回復している。発揮パワーは、回復過程が跳躍高よりも明確に把握できるといえる。

術後2カ月で②跳躍高とパワーに差が生じた理

由は、②の動作として踏切時間を長くして大きな力積を獲得し、跳躍高に結びつけたからといえる。跳躍高が同じ 37 cm である②と④の踏切時間を比較すると、②が 0.21 秒であるのに対し④は 0.16 秒と④の方が 0.05 秒も速くなっている。実際のスポーツの中では作用時間を短くして素早い動作を行う場面が多いことを考えると、②のように作用時間を長くする動作は有用性が少ないといえる。

したがってスポーツの現場復帰には、筋力と跳躍高、そして短時間に力を発揮できる能力：パワーの各項目すべてが回復するのを待つことが必要と考えられる。

3. スポーツ現場復帰の指標の作成

スポーツ傷害のリハビリテーションにおいて、スポーツ傷害前（健常時）の筋力やパワーの資料があれば、被験者 CM のように、それを目標にできる。したがって、第一にさまざまな選手がコンディショニングやトレーニング効果のチェックに定期的に体力を測定することを勧めたい。

しかしスポーツ傷害では、そういった健常体の資料がない場合が通常である。その場合の「目標となる指標を定め、それへの到達度によって、リハビリテーションの進行状態をチェックする方法」をここで提示したい。目標値の推定は次の 2 種類の値を用いる。(1) 個人情報として健側と患側の筋力、そして (2) 集団情報（多くのスポーツ選手の筋力・パワーの傾向）として図 3 の回帰直線、である。

その手順は、まず術後に垂直跳が可能になった時点で、垂直跳と患側①と健側②の筋力を測定する。それを図にプロットすると、図 4 の①と②になる。次に、①を回帰直線の傾きに従い右上に伸ばし、②の垂線との交点③を求める。この点③を健常時の筋力・垂直跳の値と仮定する。

③を目標に、筋力の回復に跳躍高とパワーが追随しているかどうかを観察する。そして、③に近づくことをスポーツ現場復帰へのひとつの目安とする。これは、筋力だけでなく、スポーツ運動中の自然な動作を踏まえた、スポーツ傷害後のひとつの指標になると考えられる。

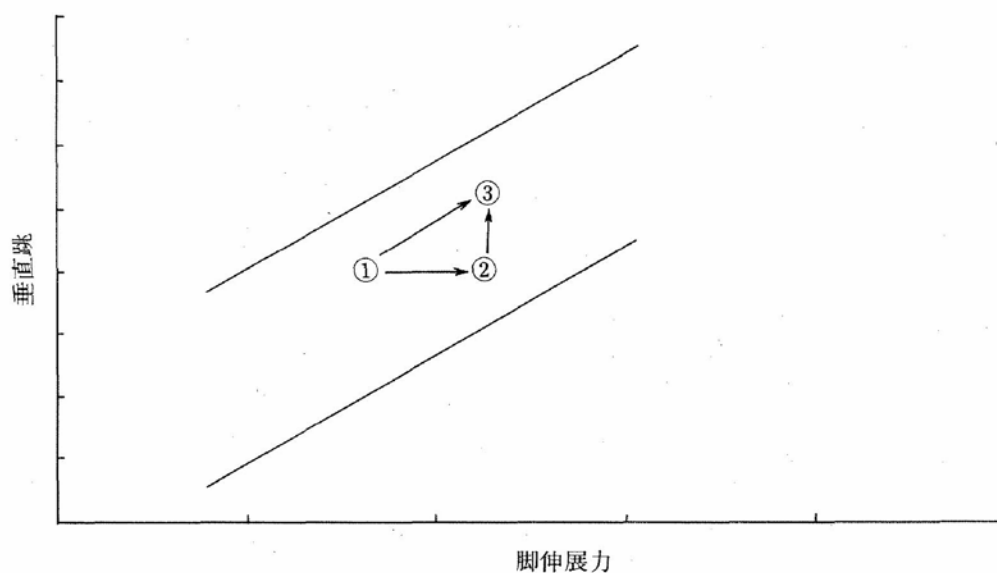


図 4 復帰の指標の推定法

結 語

以上、下肢を中心としたスポーツ外傷に焦点をあて、そのリハビリテーションにおける現場復帰の指標を検討してきた。復帰の指標としては、外傷前（健常時）の結果を用いることが最適である。従って、まず競技選手には、定期的に体力チェックを行うことを勧めたい。

しかし受傷患者の多くは、健常時の資料がないのが通常である。そういった場合のために、健常時の筋力と垂直跳の結果を推定する方法を提示した。

この指標を用い、競技選手に対するリハビリテーションの質の向上を目指すことを、今後のわれわれの課題としたい。

なお、被験者CMは10月10日に、公式戦に復帰して活躍していることを、最後に付言したい。

文 献

- 1) Eckert, H. M. ; Angular velocity and range of motion in the vertical and standing broad jump, *Res. Quart*, **39** (4), 937-942 (1968)
- 2) 深代千之; 無酸素性パワーの測定と評価法, *スポーツ医・科学*, **4** (2), 25-34 (1990)
- 3) 小林 規; 体力テストにおける垂直跳の意義, *ジャンプ研究*, 日本バイオメカニクス学会編, メディカルプレス社, pp.170-177 (1990)
- 4) Komi, P. V. ; Introduction to the special supplement issue of the IJSM "Neuromuscular Performance : Considerations for Basic Mechanisms and Adaptive Responses", *Int. J. Sports Med.*, **8** (Suppl), 1-2 (1987)
- 5) 大築立志; ジャンプ研究の視座, *ジャンプ研究*, 日本バイオメカニクス学会編, メディカルプレス社, pp.2-7 (1990)
- 6) 浦辺幸夫; スポーツ選手の筋力増強訓練, *理学療法ジャーナル*, **23** (11), 763-769 (1989)
- 7) 横江清司ら; スポーツ活動中に発生する傷害の要因とその予防に関する基礎的および応用的調査研究, (財) スポーツ医・科学研究所 (1990)