

ポリオに罹患した患者らの「持久力訓練の効果」について

Endurance Training Effect on Individuals With Postpoliomyelitis

Brian Ernstoff, MD、Gunnar Grimby¹, MD 他 (スウェーデン・イエテボリ²大学医学部)

Arch Phys Med Rehabil³ Vol 77:843-8 September 1996

<概要>

目的：ポリオ後患者の個々人において「持久力訓練プログラムの効果」を運動能力、筋構造や筋機能に関して検討すること。

実験計画：訓練前・訓練後の筋力評価⁴は徒手筋力計⁵と等速運動筋力測定器⁶を用いた。筋疲労⁷は等速運動⁸で評価を行い、筋持久力評価⁹は自転車エルゴ¹⁰で行なった。酵素活性¹¹の評価は CT スキャンした部位の筋肉を採取¹²して行なった。訓練前・訓練後の筋断面積変化¹⁴は X 線 CT 画像¹³を用いて計測した。身体障害の程度や社会的心理の評価は FSQ score¹⁵を用いた。

場所：某大学

対象：39～49 歳にまたがる 17 人のポリオ後の患者が 6 ヶ月間に渡る「筋持久力と筋力訓練プログラムの研究」にボランティアで参加した。彼らは少なくとも 25 年以上前に急性期ポリオに罹患しており、杖の有無に関わらず歩くことが可能なポリオ患者であった。

有効対象：12 人（平均年齢 42 歳）が週 2 回 60 分にわたる訓練を平均 29 回、最後まで参加できた。

主な測定項目：筋力、筋持久力、酵素活性、筋断面積の測定はこのプログラムが始まる 3 ヶ月前と訓練直前およびプログラム訓練後の計 3 回計測した。

結果：対照群（同年齢の標準値）に比して平均 60%まで減弱している膝伸展筋力はトレーニングを行なっても向上しなかった。

徒手筋力計で測定した筋力値では肘伸展¹⁶、手首の背屈、股関節の外転で有意な増加がみられた。

自転車エルゴメーターによるエクササイズテストでは、70watt¹⁷ 負荷での心拍数¹⁸が有意に減少（6 心拍/分）し、訓練で最大心拍数は（12 心拍/分）増大する結果を得た。

このトレーニング・プログラムは大きな合併症を発生させずに行う事が出来た。そしていくつかの筋肉群では筋力が増大し、最大下負荷¹⁹ (submaximal) での心拍数による仕事量も増やすことが出来た。

[本文]

ポリオ脊髄炎の最後の発症流行は 1950 年代に起きた。それから 40 年経った今、あの流行に罹患した個々人には新たな 2 次障害を発生する危険性にさらされている。2 次障害は筋疲労から始まり、筋肉痛、関節痛、筋力低下、寒さに不耐性、睡眠障害の憎悪や筋萎縮を併せて含み、これらは**ポリオ後症候群 (PPS)**と呼ばれている。これらの新しい問題が日常生活動作 (ADL)、歩行、階段昇降、衣類の着用の活動を困難にしたうえ、失業のような個人の社会生活まで影響を及ぼしている。前角細胞²⁰数の新たな更なる減少、運動単位の代謝の負担増²¹神経筋接合部²²の不安定性などの複数の要因がこれらの新しい問題を起こしていると考えられている。過去 10 年、医学専門家はこれらの問題に注目し始めた。

〔過去の研究の総論〕

Delorme²³は1948年、全体の機能を向上させる運動プログラムを紹介した。その中で生涯の運動プログラムを推奨している。現在のポリオ後患者のために書かれた運動プログラムは筋疲労²⁴がない型のポリオ後2次障害者の為の物である。もし運動プログラムが過度の場合は良くなならないばかりか更なる悪化を引き起こす可能性がある。運動プログラムの研究によってポリオ後2次障害者が良くなるには「筋力トレーニング」²⁵と「持久力トレーニング」²⁶どちらが有益であるか決定する研究を行なった。

6週間以上にわたる筋力トレーニングによって訓練した脚で筋力は著しく改善した。得られた筋力は訓練後5ヶ月から12ヶ月以上に渡って維持できた。筋疲労を伴わない筋力訓練は長期間の筋力維持をできる事が報告されている。

「持久力トレーニング」もしくは「有酸素運動」²⁷もまたポリオ後2次障害者被験者に最大酸素摂取量(VO_2)²⁸の有意な増加を証拠として心肺機能を向上させた。

Jonesらは有酸素運動プログラム終了後、等速運動筋力の低下はない事を報告している。組織学的評価によってポリオ後2次障害の個々人により筋線維²⁹タイプの変化に大きな差異があることを実証した。

全ての筋線維タイプ(I, II A, II B)³⁰において平均筋線維断面積³¹は健常人の約二倍あった。平均筋線維断面積の増大は、残存筋線維により強いストレスが加わる事による筋肥大だと推定されている。

筋生検³²サンプルからの酵素活性³³の研究結果は酸化系酵素、クエン酸合成酵素

(CS)³⁴の濃度が著しく減少していた。

一方、解糖系の酵素活性³⁵は対照群(同年齢成人)と比べ有意な差異はみられなかった。酸化系酵素の濃度の低下は多くのポリオ後の人々の活動における疲労の一般的要因の一つかもしれない可能性がある。

これまで筋肉レベルでの持久力トレーニング効果は評価されてこなかったし、またその長期間での効果の価値も判断されてこなかった。

〔今回の研究の目的〕

この研究の目的は約6ヶ月という長期間の「持久力トレーニング」が病態を悪化させる事なく運動許容量をアップさせて、筋肉の構造と機能を向上させるのかどうかを検討する事である。

〔方法〕

対象：この研究には17被験者(男5人、女12人)が対象になった。

彼らは32人(男10人、女22人)の大きなグループから選んだ。32人のボランティアのうち8人は余りにも虚弱すぎたり、通うのが困難だったり、膝の完全伸展が出来なかったり、腰痛があったりで参加条件に合わなかった。7人は実験手順を説明した後、参加を希望しなかった。残った17人の内5人(男2人、女3人)はプログラムの最後まで参加できなかった。

2人はやり始めてこの訓練プログラムが余にも難しい事が解ったため、もう一人は仕事を変えたため、もう一人はこの研究に関係ない病気になったため、更にもう一人は追跡調査できなかったためである。

最後まで残った12人(男3人、女9人)の年齢は39から50歳(平均年齢42歳)。ポリオ発症年齢は1から11歳(平均発症年

年齢 4.7 歳)であった。4 人以外は皆、ハルステッド&ロッシの PPS 診断基準³⁶による症状を持っていた。臨床経過に従いポリオ罹患筋の分布を(表 1)に示した。被験者全員が歩行可能で、ただ一人はいつも杖を使っていた。ただし誰も下肢装具はつけて

いなかった。

トレーニング開始前 3 ヶ月間は筋力と筋疲労の計測および漸増運動負荷試験の方法検討に使い、その後訓練を開始して 3 ヶ月間トレーニングを行なった。3 ヶ月間の訓練前・訓練後の 2 回、筋生検を行なった。

表 1 : 「持久力トレーニング効果研究」に参加した患者 (32 人のうち最後まで参加 12 人)

NO	性	年齢	発症後	PPS	ポリオ後筋の分類 (Halstead&Rossi) ³⁶				
					右上肢	左上肢	右下肢	左下肢	体幹
1	女	45	41	はい	3	3	4	4	1
2	女	44	39	いいえ	1	1	3	2	1
3	女	48	37	いいえ	1	1	1	3	1
4	女	47	42	いいえ	1	1	2	5	1
5	女	48	39	はい	1	2	1	3	2
6	女	49	48	はい	1	1	4	2	2
7	男	44	42	はい	1	1	4	1	1
8	女	45	39	はい	1	1	3	3	3
9	男	45	39	はい	1	1	4	4	1
10	女	46	44	はい	1	1	2	2	1
11	男	50	48	いいえ	1	4	1	4	1
12	女	44	42	はい	2	2	4	2	2

36 : ポリオ後筋の分類 (Halstead&Rossi) 米国 国立リハビリテーション病院 (NRH)

Class1. ポリオの臨床症状なし

Class2. 筋力が弱い事を自覚しないポリオ

Class3. 筋力が弱いけれど進行しない安定したポリオ

Class4. 筋力が徐々に低下している不安定なポリオ

Class5. 高度の筋萎縮があるポリオ

(注) stage でなく Class 分けするのは心臓学会の運動処方に沿っているためと思われる。

37 : 漸増運動負荷試験 (GXT テスト) Graded Exercise Test

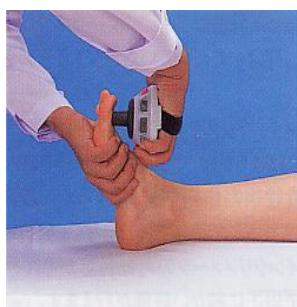
現在の運動処方がより効果的か判断して、フィットネスの内容を決める方法。また心疾患の有無も診断できる運動負荷試験でもある。負荷中止の基準は一般的に Borg の自覚的運動強度 (RPE)³⁸で 17 (かなりきつい) がよく使われる。また、これは年齢別予測最大心拍数 (220-年齢) の 85%程度であり、また最大酸素摂取量の 80%強度に相当する。しかしこの実験では以上の条件でなく[患者の限界]を中止基準にしている。

＜筋力測定ならびに漸増運動負荷試験に使用した機器の外観図＞



6：KINCOM 筋力測定器

等速運動（回転速度が一定）
等尺運動（距離が一定）
最大筋力測定で使用
筋疲労測定で使用



5：徒手筋力測定器

小型筋力測定器を手で
押えて筋力を測る
肘、手首、肩外転、首
膝、股関節外転、足関節



10：自転車エルゴ

心電図、血圧計を接続し
て漕いだ。今回は 30w、
70w、100w、130w 負
荷を連続的に与えた。

【筋力の測定】

筋力測定は KINCOM 筋力測定器（前図）を用いて等速運動と等尺運動で行い、等尺運動は膝角度 60 度屈曲位で伸展し、等速運動は角速度 60 度／秒、180 度／秒で伸展時の短縮性収縮筋力^{3,9}を計測した。それぞれ 3 回の筋力を計測し、ピーク値を記録した。

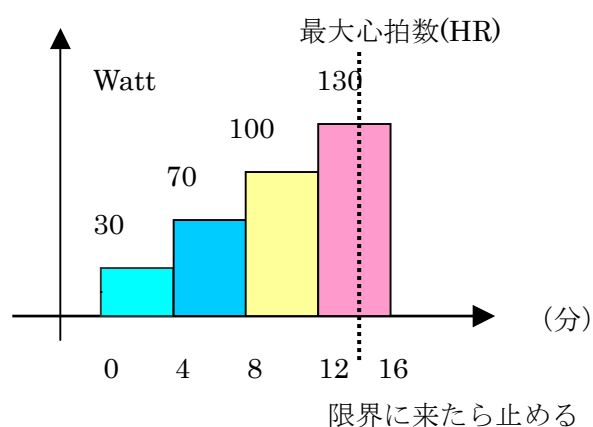
膝伸展の筋疲労の評価（疲労係数）^{1,2}は等速 180 度／秒で 50 回伸展／屈曲を行い、その伸展ピーク値を用いた。両上下肢の筋力は徒手筋力計を用いて数箇所の主要な両上肢筋群、下肢筋群を計測した。

【GXTテスト】（漸増運動負荷試験）^{3,7}

12 人は自転車エルゴメーターを用いて 30,70,100,130 Watt（ワット）負荷を掛ける同じプロトコールで訓練された。それぞれの負荷は各段階で 4 分間継続して行ない、2 分毎に心拍数、呼吸数、血圧（カフを用いた計測）、自覚的運動強度（Borg の RPE）^{3,8}および呼吸困難を調べた。心電図は全体のテストが終わるまで監視し続けた。

9：筋持久力評価

37：＜自転車エルゴの漸増運動負荷試験＞



【筋生検】^{1,2}

筋肉の採取は最も弱い下肢の「外側広筋」^{4,0}中央からトレーニング前・後に行なった。取り出された筋肉組織は 2 つに分けられ、1 つは組織化学的な解析を行い、もう一つは酵素活性を計測するのに用いた。この組織標本からの筋線維分類や組織化学的評価は以前の研究^{4,1}で報告した。

筋線維の面積は NADH 染色^{4,2}の写真を

特別に開発されたプログラムが入ったマッキントッシュ・ディスク・コンピューターに繋がったデジタイザー・テーブルを使ってトレースした。全ての計測は同じ技師によって行なわれた。

酵素 CS(以下略語), HAD, TPDH, LDH, MK の酵素活性の測定は以前報告した fluorometer⁴³によって行なった(蛋白質試料の蛍光測定⁴⁴および時間分割蛍光スペクトル測定⁴⁵の技術)。蛋白質(濃度)⁴⁶を定量し、酵素活性はタンパク質 1g あたりで表した。

[筋断面積]¹⁴

筋断面積はX線CT画像を用いて6ヶ月間の実験前・後に測った。測定部位は膝の膝蓋骨の上部先端と腸骨前方の突起の丁度中間の部位⁴⁷(筋生検を行なった位置)を採用した。筋肉断面積はCTスキャナーのライトペン⁴⁸で筋肉の周囲を描く事によって決められた。筋肉の特性から29~151HU(X線吸収値)⁴⁹範囲内のCT値を示す領域の面積が計算された。大腿部にある個々の筋肉の評価はPPSによる変性ゆえに出来なかった。

[身体障害と社会心理の評価]

それぞれの機能の状態は Jette 等によって FSQscore を用いて評価された。スコアの合計は Jette によって作成された規格(Einarsson と Grimby が使った事がある)に基づき、それぞれのカテゴリー毎に計算された。その質問表は、8 人はトレーニングプロジェクト開始3ヶ月前に、被験者12人全員はトレーニング期間の前後すぐに書かれた。

[トレーニングの方法]

この訓練は22週、週2回行なった。実際には計40回トレーニングが行なわれた。訓練期間中にクリスマスが入ったが、その時には自宅での訓練プログラムが各人に与えられた。一人の理学療法士が各クラスを指導し患者を管理した。論文著者の誰か一人は各訓練項目を見守った。音楽を訓練のペースを維持し、やる気を引き出すために流した。

60分に渡るトレーニングは5分間の全身ウォーミングアップ後、体幹と同様に上肢、下肢の全ての主要な筋肉に対して低負荷高頻度の訓練⁵⁰が行なわれた。大腿四頭筋に対して特別な訓練を行なう為に、更に時間を追加した。1ヶ月訓練後、漸増運動負荷試験 GXT によって決められた最大心拍数の約60~80%負荷で自転車エルゴを5分間漕ぐ事を追加した。心拍数は訓練の間、定期的に監視し自転車の負荷は最大心拍数の60~80%を維持できるように Watt を増加させた。トレーニング毎に自転車エルゴに乗る時間は5分間までとした。また各トレーニングの終わりには5分間のクールダウンを行なった。全ての患者の訓練への参加記録を実験ノートに書き、運動中の身体的愁訴も記録した。

[統計]

統計の解析は「ウィルコクソン符号順位検定」を用い、相関係数の解析は「スピアマン順位相関係数」を用いた。結果は有意差($p<0.05$)の場合、重要視した。

実験への参加の前に、全ての患者にインフォームド・コンセントを得た。同時に、この実験手順は医学部倫理委員会の承認を得て行なった。

〔実験結果〕

患者が参加したトレーニングへの平均参加回数は 29 (16~37) 回であった。16 回しか参加しなかった患者は最初が 20 回目からの参加であった。この患者はサンプル数を増やすために参入させた。しかし統計解析には影響を与えなかった。

この訓練プログラムに関する顕著な愁訴は 3 被験者のわずかばかりの下肢の骨格筋の不快感であった。この下肢はどちらか一方とは明確には言えなかった。別の被験者の一人が 37 回参加した中の 26 回目で筋の疲労感や脱力感が進行したようだと訴えた。

プロジェクト開始後と 3 ヶ月後 (トレーニング前) 行なわれた筋力、筋疲労と漸増運動負荷試験に関する 2 回の予備実験では等速運動 60 度/秒で膝伸展時の筋力ピークトルクの 4%低下 ($p<0.05$) を除いて有意差はなかった。

弱い方の膝伸展ピークトルクは対照群 (同年齢成人) と比較してそれぞれ

屈曲位 60 度・等尺筋力は 61%±9%
等速運動 60 度/秒では 60%±8%
等速運動 180 度/秒では 61%±7%

であった。

強い方に相当する膝伸展ピークトルクは

屈曲位 60 度・等尺筋力は 78%±7%
等速運動 60 度/秒では 84%±8%
等速運動 180 度/秒では 85%±7%

であった。

強い脚に関して被験者 12 人中 8 人は PPS に罹患しており、また 12 人中 3 人は筋力低下を感じていた。

(図 1) のようにトレーニング前・後の動的筋力計測において有意な変化はなかった。

疲労テスト (50 回伸展・屈曲運動) におけるピークトルクの低下は、弱い方の脚で

トレーニング前 33%±5%

トレーニング後 23%±4%

であった。(図 2) この変化は明確に統計学的に有意差があった。($p<0.05$)

強い方の脚では

トレーニング前 28%±3%

トレーニング後 29%±2%

で、この変化に有意差はなかった。($p>0.05$)

徒手筋力計での筋力計測では有意な増加 ($p<0.05$) が右肘の伸展、右手首の背屈、両方の股関節外転にあった。(表 2) 肩の外転、肘の屈曲、首の前屈、膝の伸展・屈曲、足関節の背屈では記すような変化がなかった。

有意な相関がトレーニング開始前の KINCOM (等尺・等速運動) での等尺筋力測定値と徒手筋力測定器の等尺筋力測定値の間にあった。(n=人数、r=相関係数)

右膝の屈曲: n=16, r=0.71

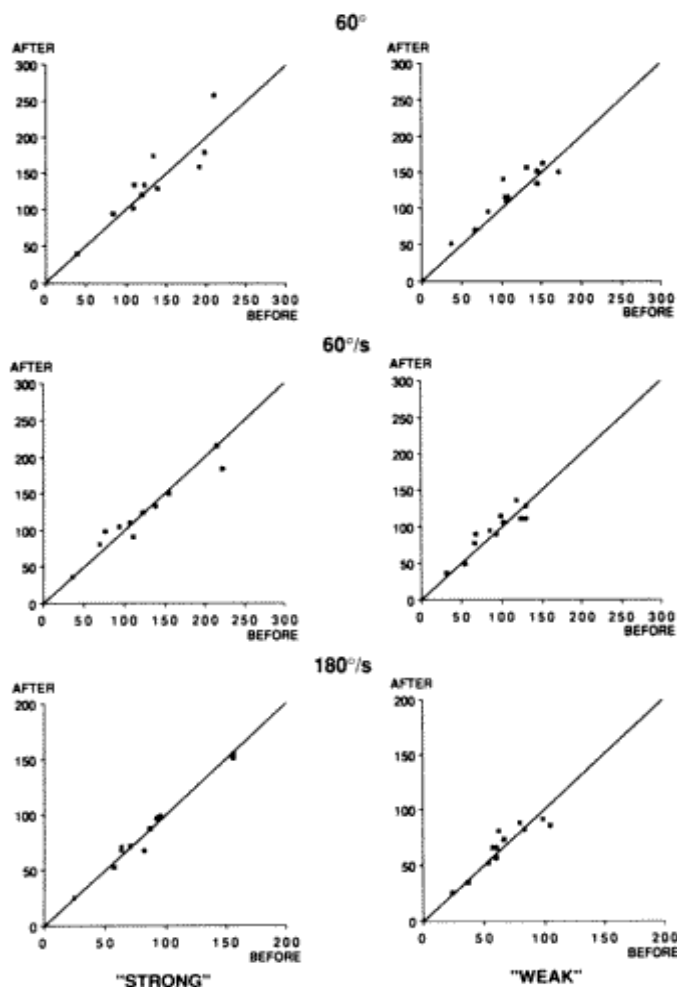
左膝の屈曲: n=15, r=0.74

右膝の伸展: n=10, r=0.92

左膝の伸展: n=8, r=0.77

弱い脚の「外側広筋」の筋線維断面積は (図 3) のように大きくなった。しかし筋線維タイプ別の筋線維断面積間にはトレーニングに伴う有意な変化はなかった ($p>0.05$)。しかしトレーニング効果が個人で違う可能性がある。それゆえ筋線維の断面積の変化と筋力の変化を比較した。有意な相関が平均筋線維断面積の変化と等速運動 60 度/秒での筋力値の変化間 (図 4) と等尺運動での筋力値の変化間であった。

(P. 9へ続く)



強い膝の筋力 弱い膝の筋力
図1. 筋力測定値の訓練前・訓練後の比較（強い下肢と弱い下肢での比較）

① 膝の屈曲角度 60 度での等尺運動、膝伸展力を

強い膝（左図）と弱い膝（右図）での比較。

縦軸は訓練後の力（N）、横軸は訓練前の力（N）

② 等速運動（60 度／秒）

秒当たり 60 度回転する速度での膝伸展の力（N）

強い膝（左図）と弱い膝（右図）での比較。

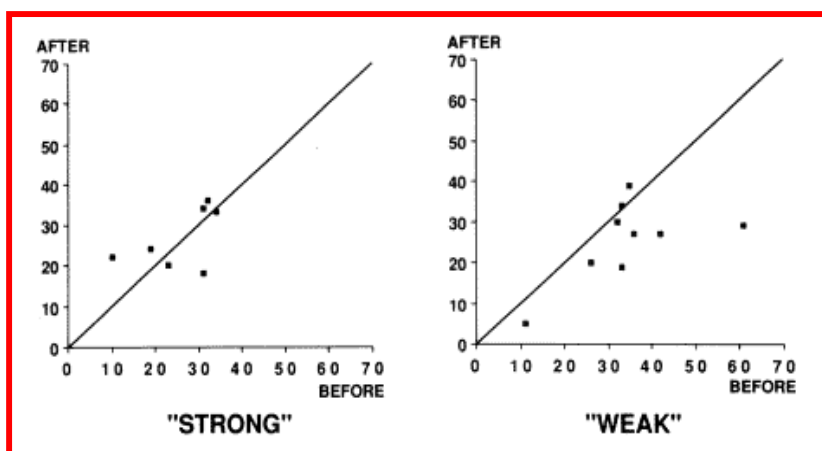
縦軸は訓練後の力（N）、横軸は訓練前の力（N）

③ 等速運動（180 度／秒）

秒当たり 180 度回転する速度での膝伸展の力（N）

強い膝（左図）と弱い膝（右図）での比較。

縦軸は訓練後の力（N）、横軸は訓練前の力（N）



強い膝の筋力 弱い膝の筋力（PPS側）
図2. 強い膝・弱い膝における筋疲労の比較（単位％）

<最も重要なデータ>（訳注）

疲労係数は等速運動 180 度／秒で膝伸展を 50 回繰り返したときのピーク・プロット 50 ポイントから最後 5 回のピーク平均値を初回 5 回のピーク平均値で割り 100 掛けた数値（単位は％）を言う。

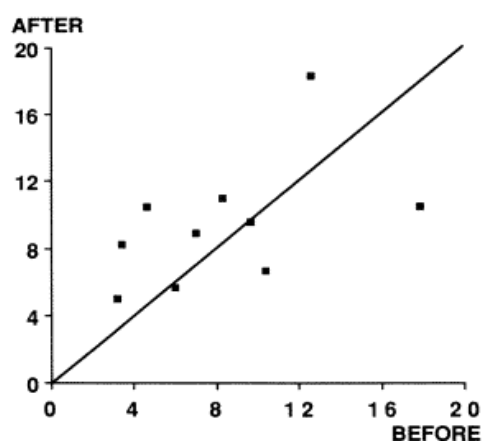
PPS を発症した膝は、訓練すると筋疲労度は更に悪くなるので注意が必要である。

表 2. 12 人のポリオ後患者の訓練前後の徒手筋力計による筋力 (N) の結果

単位 N (1 ニュートン=102 g)

部位	左右	訓練前	訓練後	有意差
肩の外転 手を腰から左右に開く力	右	123±9	139±13	N S
	左	128±6	138±11	N S
肘の屈曲 肘を胸に近づける力	右	206±15	▼200±11	N S
	左	190±13	201±9	N S
肘の伸展 肘を前方に開く力	右	125±10	140±12	P<0.05
	左	124±11	135±12	N S
手首の背屈 手の甲を胸に近づける力	右	150±12	170±14	P<0.05
	左	144±8	164±11	N S
首の前屈 (前方に曲げる)		85±8	90±9	N S
股関節の外転 股を開く力	右	125±21	184±25	P<0.01
	左	127±13	170±19	P<0.01
膝の屈曲 膝を曲げる力	右	149±25	▼129±23	N S
	左	156±10	▼139±11	N S
膝の伸展 膝を伸ばす力	右	160±15	▼157±22	N S
	左	144±40	▼132±34	N S
足関節の背屈 足の甲を上げる力	右	86±43	119±60	N S
	左	107±18	131±20	N S

N S : 有意差なし



(単位は $\mu\text{m}^2 \times 10^3$)

図 3. 弱い脚の外側広筋の筋繊維断面積
(縦軸: 訓練後、横軸: 訓練前)

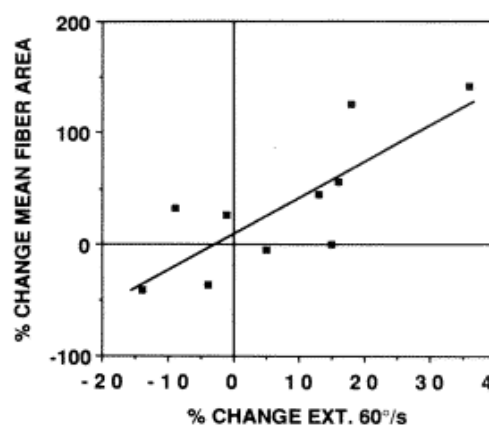


図 4. 等速運動 60 度/秒でのピークトルク
値と平均筋線維断面積 (縦軸) の訓練による
変化率の相関 ($r=0.81, p<0.01$)

等速運動での相関は ($r=0.81, p<0.01$)

等尺運動での相関は ($r=0.76, p<0.05$)

平均筋線維断面積の変化と遠心性収縮と短縮性収縮 (180 度/秒) による筋力変化値の間には有意な相関はなかった。

患者間で筋線維タイプの比率が大きく違う事を見つけた。全ての被験者で筋線維タイプ II B よりタイプ II A の割合が大きくなっていた。萎縮線維は両方の主要線維 I、II に認められたが、一人の被験者を除いて筋生検のサンプル間 (トレーニング前・後) に有意な増加はなかった。

3 人の被験者にのみ群萎縮を見つけた。全ての被験者に円形の萎縮した線維を全体的に見つけた。中心核と分裂した細胞が被験者に時折見られた。

弱い方でも強い方でも、大腿部の筋肉断面積に有意な変化がない事が CT 検査でわかった。

弱い脚の大腿部の筋肉断面積の平均値はトレーニング前、平均値 $98.8 \pm 9.0 \text{ cm}^2$ トレーニング後 $92.5 \pm 9.1 \text{ cm}^2$ と減少した。

しかし強い脚の大腿部の筋肉断面積は $119.0 \pm 8.6 \text{ cm}^2$ から $119.8 \pm 8.9 \text{ cm}^2$ と変化がなかった。訓練前・後共に膝伸展の短縮性収縮の筋力値 (等速 60 度/秒) と大腿部の筋肉断面積には有意な相関があった。

($r=0.62-0.70, p<0.05$)

次に酵素 CS, HAD, TPDH, LDH, MK のトレーニング前の酵素活性は

CS: $29.9 \pm 3.0 \mu \text{ mol/min/g}$ 蛋白質 1 g 当

HAD: 29.1 ± 2.8

TPDH: 1439 ± 160

LDH: 868 ± 65

MK: 980 ± 12

でトレーニングによって有意な変化は現れな

かった。 ($p>0.05$)

自転車エルゴを用いたトレーニング・プログラム 70Watt での心拍数変化では有意な減少があった。 ($p<0.05$) (図 5)

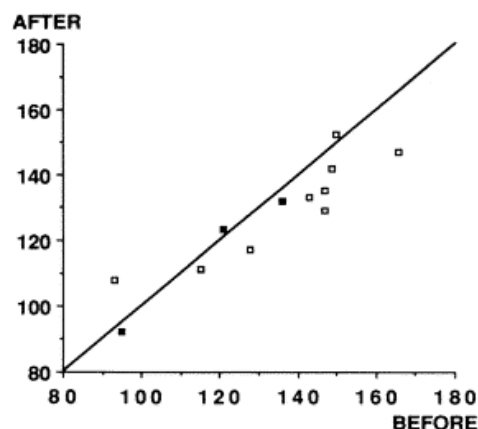


図 5. 70Watt での自転車エルゴでの訓練前訓練後での心拍数 (心拍/分) の減少 (■男、□女)

トレーニング前・後の心拍数平均値は 133 ± 7 心拍/分から 127 ± 5 心拍/分へと減少した。 ($p<0.05$)

自転車エルゴで到達出来る最大心拍数は訓練後でより大きくなった。

($p<0.02$) (図 6)

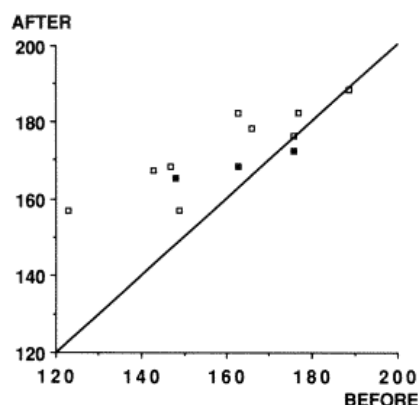


図 6. 自転車エルゴでの訓練前・訓練後での最大心拍数 (心拍/分) 男■、女□

3 ヶ月トレーニング前の到達最大心拍数は

160±5 心拍/分 から

3 ヶ月トレーニング後の到達最大心拍数は

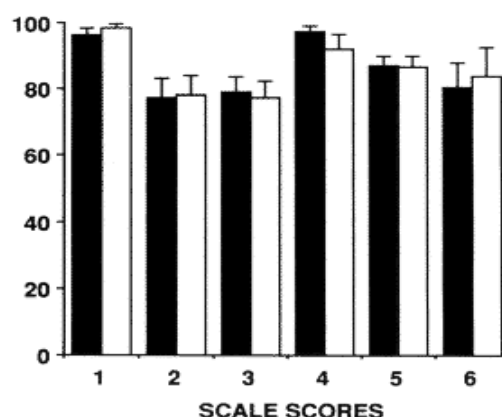
172±3 心拍/分 と増加した。

8 人の被験者はトレーニング前には最大心拍数は年齢で補正した最大心拍数（220－年齢）の式を下回っていた。

訓練前の負荷を与えた時の Borg の自覚的運動強度（RPE）は訓練後には、12 人中 9 人がトレーニング後に小さくなるが、このグループに関して有意差はなかった。

FSQ のスコアはトレーニングによって有意な変化はなかった。（ $p>0.05$ ）（図 7）

最初の 3 ヶ月間での 2 回の予備実験においても FSQ スコアの差はなかった。



（訓練前■、訓練後□）

図 7. FSQ スケール・スコア

（平均値と平均の標準誤差）

1. ADL（日常生活動作）
2. IADL（移動での日常生活動作）
3. 精神機能
4. 社会活動度
5. 社会交流
6. FSQでの仕事

【考察】

健常成人と比較して、この研究に参加したポリオ後患者は大変筋力が弱かった。

筋力の平均減少は健常人の 60%まで低下していた。しかし今回の研究対象の患者は初期の研究対象のポリオ患者ほど弱くはなく、何らかの手段で移動も出来た。

酵素 CS（クエン酸合成酵素）の活性は個人間で大きな差があった。最も大きい数値でも我々の研究所で得た臨床的に健康な老人と同様な範囲内であった。

対照群（同年齢成人）の平均筋線維面積 [未発表データ] は、以前報告したように訓練で増大してポリオ後被験者のトレーニング前の大きさぐらいまでになった。何人かの被験者らにおける筋線維断面積の増大はポリオ後の筋肉がまだトレーニングに適応する能力を持っている事を示している。

このトレーニング・プログラムは主に持久力タイプの筋肉の活性を目的にしていたが、比較的高いレベルでの運動を要求される筋力の訓練も含んでいた。

再神経支配を示す証拠の一つは、筋線維タイプの群化（fiber type grouping）であり、全被験者の筋生検で見つかったことは生検筋がポリオに罹患された事を示している。この組織化学的所見は訓練前後で変化がないことが示された。

一方、このトレーニングはどのような有害な結果をも起こさなかった。しかし 2 人の被験者で筋線維断面積の縮小と同様に筋力低下が見られた。（図 4）被験者の中には筋力が増加したと同様に筋線維断面積が増加した。このことは筋肉には「不均一な変化」や「変幻自在な特性」が有り、筋線維断面積や筋力の「均一な増加」を起こさない事

を意味している可能性がある。

異なった筋群間においてトレーニング効果に違いがあったが、しかしそれは異なった筋群間には筋肉に作用するトレーニング強度、感度が異なる要素があるので当然である。また議論する以上にトレーニング前の筋機能やトレーナビリティ（体力の向上する可能性）の差異もあるので当然である。

トレーニング後の最大下負荷（70w）での心拍数が減少したように心臓血管系トレーニングの効果が大多数の被験者に見られた。

その効果が出るには3～6ヶ月間のプログラムを行なう必要があることを示唆した。

今回の研究で言えることは筋力の低下なしに全体の機能を向上させるには「有酸素系トレーニング・プログラム」が有効である事を示唆した。

我々は今回の研究からポリオ後被験者には「持久力トレーニング・プログラム」が有用だろうし、また筋肉に短期間のダメージを与える事もないだろうと結論付けた。

「最大下負荷での訓練」は筋力に関して限界のあるトレーニング方法の一つである事強調したい。

今回のグループにおいて、より弱い筋肉の被験者には「持久力トレーニング」を前にまたは他のプログラムと合わせたトレーニングが彼らを筋力強化するのに役立つだろう。そのような患者には筋肉の酸化系酵素量の増大（CS クエン酸合成酵素の増加のようなもの）が疲労を減らすのに役立つだろう。

しかし今回のグループの中では大多数患者の標準範囲内の「クエン酸合成酵素」の活性度を維持すれば充分である。トレーニング

によるクエン酸合成酵素レベルの変化や中枢循環器の容量の変化は直接関係ないかもしれない。

FSQの合計点数はトレーニングによって何も変らなかった。このことはトレーニングによる日常の活動度、精神機能への影響度や社会性の変化は難しいテーマ故に、全く変化がないか気づかないほど小さな変化である事を意味している。これらの患者らは日常生活での移動（IADL）において困難を抱えているにもかかわらずトレーニングによってFSQスコアは変わらなかった。

公平に言って、同質のポリオ後患者のグループ（トレーニング・プログラムに参加でき、かつ歩行の困難を軽減したりする知識を持つ）でさえ患者間にトレーニング効果に明確な差があることに気づいた。

そのことはオーバーワークを避けて、最大限の回復を得るために「個々の患者の最適訓練レベルを選択する事」がいかに困難であるかを実証している。

ポリオ後患者の身体トレーニングには「機能に関する病態診断」と「繰り返えして行なう筋機能計測」を伴う、臨床家による注意深い患者個々人の観察が必要である。

（翻訳：「ポリオの会」会員の有志）

【謝辞】 Acknowledgment

論文の提供および詳細なご指導をいただきました **Grimby 博士**に感謝いたします。また翻訳に当たってご協力いただきました運動生理学（内藤久士先生）および医師、理学療法士の先生方に深く感謝いたします。





1 : Grimby 博士 (スウェーデン)
 イェテボリ大学リハ科 教授
 スカンジナビア・リハビリテーション・ジャーナル編集長
 第 41 回 (2004 年 6 月 5 日)
 日本リハビリテーション学会
 (東京 京王プラザにて)
 講演: ポリオ晩発生の影響ー
 疫学とマネージメント
 講演後に会議室にてご挨拶
 左: Grimby 博士、右: 小山代表

2 : スウェーデン王国イェテボリ市



1.面積	約 45 万km ² (日本の約 1.2 倍)
2.人口	約 901 万人
3.首都 第二	ストックホルム(人口 76 万人) イェテボリ(人口 45 万人)
4.言語	スウェーデン語
5.宗教	福音ルーテル教

ポリオ患者は 12000 人。PPS 運動処方
 の研究にポリオ患者が 30 人、50 人単位で週
 2 回、半年トレーニングにボランティアで
 参加する患者側の医療文化は PPS で苦し
 む世界のポリオ患者を大いに助けている。

3 : Arch Phys Med Rehabil 米国の医師・理学療法士向けリハビリ専門誌

4 : 筋力評価 ポリオ患者の筋力を等速運動筋力測定器 KINCOM では等速運動、等尺運動
 で測り徒手筋力計では等尺運動で計測した。

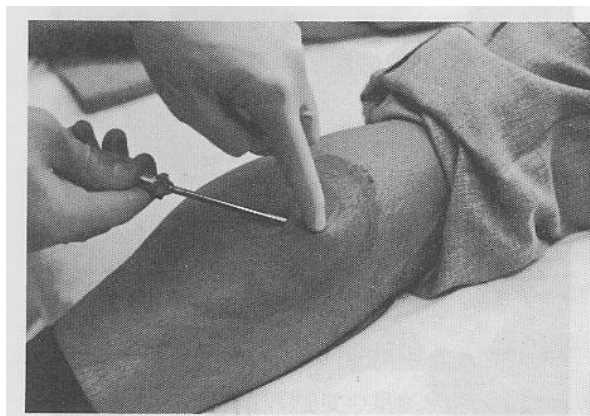
8 : 等速運動 筋力測定器のアームが一定の速度で回転する運動にあわせて膝のける筋力
 を計測するためのモード。60 度/秒とは 1 秒間に下肢を取り付けたアーム
 が 60 度移動する速度を意味する。

9 : 筋持久力評価 この研究では自転車エルゴを用いて「漸増負荷運動」を行ない 70 ワッ
 ト負荷での心拍数とペダルを漕ぐ限界時点での最高心拍数で筋持久力
 を評価している。

11、33：酵素活性

酵素は化学反応の触媒のように生体内の「筋肉収縮エネルギーATP」生産反応を飛躍的に速めるたんぱく質である。酵素がないときに比べて化学反応を $10^7 \sim 10^{20}$ 倍、速める脅威的な能力があり現代化学の最大の謎といわれている。単位は $\mu\text{mol/min/g}$ で基質 1 g を至適 pH で 25 度 C あるいは 37 度 C で反応をおこない 1 分間に 1 マイクロモル (6×10^{17} 個) を変化させる酵素の活性を「1 単位」と呼んでいる。一般的には運動トレーニングは、筋肉のクエン酸合成酵素活性を上昇させ、それに伴ってクエン酸濃度も上昇して「エネルギー代謝」を推進して運動能力を上げると言われているがポリオ後の患者では「クエン酸合成酵素活性」が訓練しても上がらない事は筋疲労が強くなる臨床像と一致している。しかし何故 ポリオ後患者では酵素活性が低下しているのかは未だ不明である。(酵素反応のしくみ 藤本大三郎 講談社)

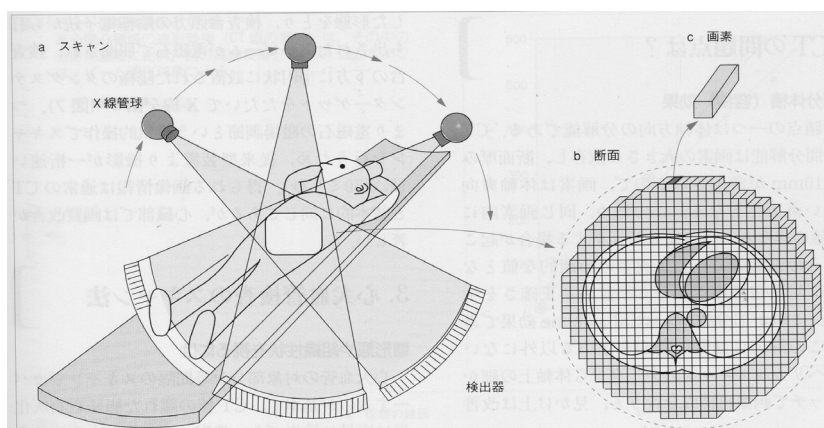
12、32：筋肉の採取（筋生検：biopsy）



左図はふくらはぎから筋肉を採取しているが、今回は「外側広筋」から筋肉を採取した。

取り出された筋肉組織は 2 つに分けられ、1 つは組織病理的な解析を行い、もう一つは酵素活性を計測するのに用いている。(筋と筋力の科学 p.81 永田 晟著 不味堂出版 写真 森谷)

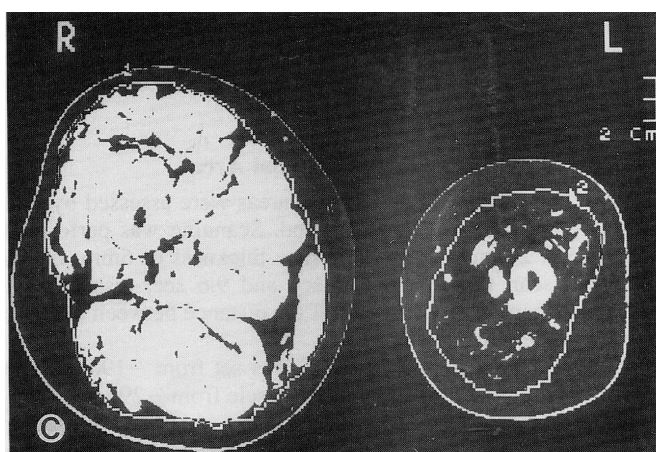
13：X線 CT 画像（X-ray computed tomography） 48：ライトペン 49：CT 値(HU 値)



CT 値：測定の原理は 360 度の全方位から組織の X 線透過率をコンピュータで計算し各断層面上の特定位置の X 線吸収率の算出から各点の吸収率を求め、これらを集合して一つの

断層画面として表示した物。X 線の吸収値は CT 値と呼ばれ 空気を -1000 水を 0、緻密骨組織を +1000 とした時の相対値。CT 値は発明者 Hounsfield 博士の名をとり **HU**(Hounsfield Unit)とも呼ばれている。この研究ではポリオ患者の筋肉部分領域を CT 値 29~151HU の領域として判断し、大腿部の筋断面積を計算している。

(画像で心臓を捉える 別府慎太郎・内藤博昭編集 p.9 文光堂)



左図はポリオ患者の CT 画像による両下肢の筋断面図。

Rは良い右足の CT による断面図、Lは悪い左足の断面図。

悪い左足は大腿部の各筋肉を区別する事が PPS 変性によって出来なかった。この訓練によって PPS 左足は筋断面積が小さくなり右足は変化がなかった。

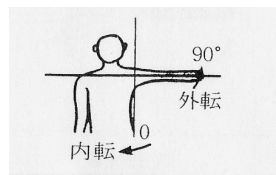
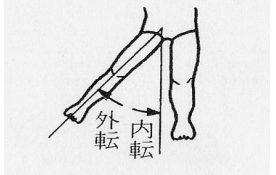
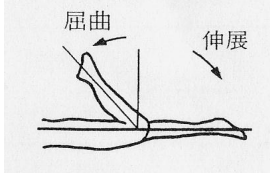
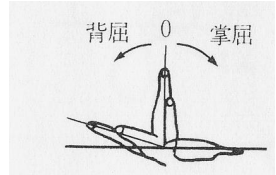
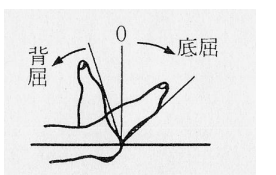
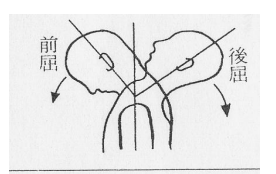
Reduction in thigh muscle cross-sectional area and strength in a 4-year Follow-up in late polio.

(Gunnar Grimby MD, Arch Phys Med Rehabil vol77,October1995)

15 : FSQscore 患者の障害程度評価の一手法で、基本的ADL,手段的ADL、精神衛生、社会活動、社会的交流の質、仕事等の面で総合評価している。患者を機能障害という一面的な見方を避けるための評価方法で最近ではSF-36®

(MOS Short-Form 36-Item Health Survey) が世界で最も使われている

16 : 関節部位の名称 (解剖学 p.8 渡辺正仁著 廣川書店)

部位			
肩の外転		股関節の外転 (左右ともに筋力増強出来た部位)	
肘の屈曲・伸展 (伸展は筋力増強出来た部位)		膝の屈曲・伸展	
手首の背屈 (右が筋力増強出来た部位)		足関節の背屈	
首の前屈			

17 : Watt(ワット)・・・仕事率 (パワー) の単位

$\text{Watt} = T \times W$ (T : トルク Nm W : 角速度 radian/s)

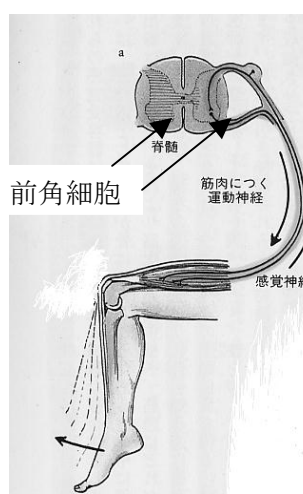
自転車エルゴの負荷設定は通常「70 ワット負荷」のように設定できる。

18 : 心拍数・・・1 分間あたりの心臓の鼓動数を意味し心電計で計測が出来る。

19 : 最大下負荷 (submaximal)

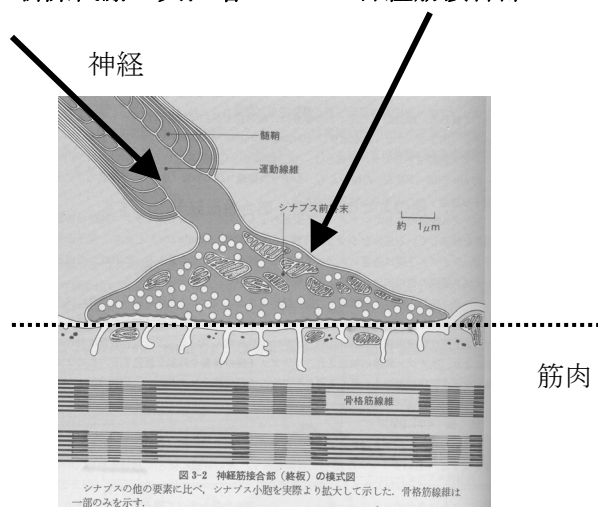
運動負荷試験には健常人が行なう最大負荷試験 (maximal) と心疾患患者に用いられる最大下負荷試験(submaximal)があり、最大下の負荷試験では症状や徴候が出現した時点や最大心拍数の 80～90%に達した時点で運動を中止する。

20 : 前角細胞



21 : 新陳代謝の負担増

22 : 神経筋接合部

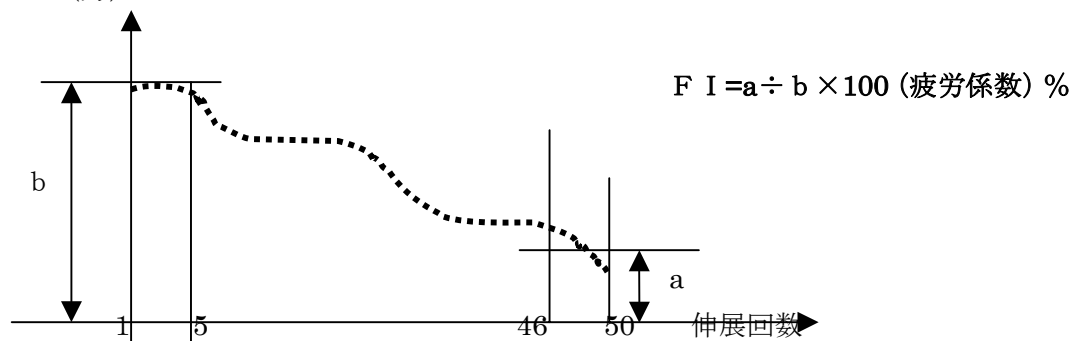


23 : Delorme

24 : 筋疲労は疲労係数 (Fatigue index) によって評価

ピーク (膝伸展の 50 回最大値)

(力)



疲労係数 (FI) は膝を 50 回伸展/屈曲した運動のうち伸展筋力 50 回から求める係数で最後の 5 回平均筋力値を最初 5 回平均筋力値で割り 100 掛けた値 (%)

29,30：筋線維タイプ

	遅筋線維（赤筋）	速筋線維（白筋）		
特性(タイプ)	I	II A	II d/x	II B
収縮スピード	遅い	やや速い	速い	大変速い
疲労耐性	高い	やや高い	低い	低い
エネルギー代謝	酸化系	酸化系／解糖系	解糖系	解糖系
エネルギー効率	優	やや優	劣	劣
解剖学的（色）	赤	赤	白	白
筋線維の大きさ	小さい	中間	大きい	大きい

（運動とたんぱく質・遺伝子 柳原大、内藤久士著 NAP Limited）

41：4年間隔でのポリオ後患者の膝伸展筋力と「外側広筋」の筋生検の結果

	数	1回目実験 平均 (SE)	対象群比 平均 (SE) %	2回目実験 平均 (SE)	対象群比 平均 (SE) %	変化 (%) *有意差有
膝伸展等尺 60 度		Nm		Nm		
安定	16	112(15)	65(8)	110(17)	63(79)	-3
不安定	12	102(19)	43(6)	85(14)	37(4)	-13*
全体	28	107(12)	56(5)	99(11)	52(5)	-8*
膝伸展等速 60 度／秒		Nm		Nm		
安定	16	95(15)	66(8)	88(12)	62(7)	-4
不安定	12	88(18)	46(7)	74(13)	38(5)	-13*
全体	28	92(11)	57(6)	82(9)	52(5)	-7*
タイプ I 線維の比率	11	% 37(10)	注)	% 31(8)		
タイプ I 線維面積 [〃]	9	7.48(1.73)	165(40)	5.75(1.35)	127(31)	-24
タイプ II 線維面積 [〃]	11	7.06(1.47)	161(31)	7.21(1.40)	163(28)	1
線維面積の平均*	11	7.54(1.39)	174(30)	7.12(1.35)	164(30)	-10

Dynamic electromyography and muscle biopsy changes in a 4-year follow-up: study of Patients with a history of polio.（[〃] 線維面積の単位： $\mu\text{m}^2 \times 10^3$ ）
(Erikstalberg,MD,Gunner Grimby,MD,PHD Muscle& nerve 18:699-707 1995)

注) Borg らはポリオ後患者でのタイプ II 筋線維の消失はタイプ II からタイプ I への筋線維の変換の可能性を指摘している。しかし上記の Grimby 等のグループ研究データは逆であるがクラス III、IV の筋力低下時は II から I 移行し著名な筋萎縮のクラス V では逆に I から II へ移行すると思われる。（ポリオ後症候群 p.23 蜂須賀研二、伊藤利之 監訳）

36 : NRH は米国首都ワシントンにある National Rehabilitation Hospital の略

ハルステッド博士が在籍し PPS に関する多くの臨床研究を行っている施設

Halsted L, Gaawne AC: NRH proposal for limb classification and exercise prescription.

Disabil Rehabil 1996 ; 18: 311-316

<PPS の診断基準> Halsted 等

1. 麻痺性ポリオの確実な既往
2. 部分的あるいはほぼ完全な神経学的・機能的回復
3. 少なくとも 15 年間の神経学的・機能的安定期間
4. 安定期間を経過した後に、以下に挙げる健康上の問題が 2 つ以上発生
 - * 普通でない疲労 * 筋肉痛 * 関節痛
 - * 麻痺側または非麻痺側の新たな筋力低下
 - * 機能低下 * 寒さに対する耐性低下 * 新たな筋萎縮
5. 4 の健康上の問題を説明する他の医学的診断がないこと

38 : Borg G. の自覚的運動強度 (RPE: rating of perceived exertion)

尺度	自覚	%HRmax	%VO ₂
6		(最大心拍数%)	(最大酸素摂取量)
7	非常に楽である		
8			
9	かなり楽である		
10			
11	楽である	55	40
12			
13	ややきつい (AT)	65	50
14			
15	きつい	75	65
16			
17	かなりきつい (中止基準)	85	80
18			
19	非常にきつい	95	93
20			

39 : 短縮性収縮・・筋肉が収縮方向にあわせて関節が動く収縮形態

concentric (例) 階段を上るとき大腿四頭筋は収縮して膝が伸展する動き

伸張性収縮・・筋肉が収縮方向の逆に関節が動く収縮形態

eccentric (例) 階段を下るとき大腿四頭筋は収縮して膝が自重で屈曲する動き

Eccentric contraction と言われスポーツ選手に要求される収縮様式だが PPS 患者には筋線維が破壊されやすい収縮なので注意が必要。