

筋硬度差からみた筋力及び筋持久力の評価

小 泉 智 也
谷 所 慶
野 村 国 彦
楠 本 秀 忠

要旨

本研究は、筋硬度計を用いて弛緩時筋硬度と緊張時筋硬度を測定し、両者の差（筋硬度差）と筋出力との関係を2つの条件について検討した。条件1では32名の健常男性を被験者とし、握力計を用いて最大握力を計測した。筋硬度差と最大握力/CSAの間には、有意 ($p < 0.01$) な正の相関 ($r = 0.4502$) が認められた。条件2では16名の被験者に最大努力での掌握運動を4秒に1回のペースで、70回連続して行わせた。握力と試行回数の関係を累乗近似 ($y = bx^a$) させた。筋硬度差と a 乗した係数 b の間には、有意 ($p < 0.05$) な負の相関 ($r = -0.5365$) が認められた。これらの結果は筋硬度差が大きければ最大筋力が高く、小さければ筋持久力が高いことを示し、筋硬度を測定することにより、筋線維組成に言及できる可能性が示唆された。

1. ま え が き

筋は収縮すると硬くなる特性を有する。その構造はアクチンとミオシン間の相互作用が高められた状態である[1]。収縮時にはミオシン分子の一部(頭部と呼ばれる)が突出し、これがアクチン分子と結合する。その結合によりミオシン頭部とアクチン分子の間で形成される構造体をクロスブリッジと呼び、硬直状態を維持する[2]。クロスブリッジが筋の硬さの要因と推測される。換言すれば、クロスブリッジの重なり具合と筋の硬さの間には一定の関係があるものと考えられ、発揮張力と筋の硬さの間にも何らかの関係が成立することが想起される。

中村ら[3]は足関節を他動的に 0° から 30° までの 10° 毎に背屈させると内側腓腹筋の筋の硬さと受動的トルク並びに筋の伸張量が有意に増加すると報告をした。さらに、内側腓腹筋に筋硬度計のプロープを押しあて、そのプロープに5Nから20Nまで4種類の圧力をかけ、その際の嵌入距離を測定し、負荷圧力と嵌入距離から筋のスティフネスを算出した。5N及び10Nにおける筋のスティフネスは 0° と 10° 間には有意な差は見られなかったが、15N及び20Nにおける筋のスティフネスは有意に増加した。受動的トルクと筋の伸張量も有意な相関関係を示した。Komiyama et al [4]は0kgfから25kgfまで5種類のハンドグリップの負荷を変えると、等尺性収縮時の収縮力と筋の硬さが有意に増加すると報告している。紺野[5]は独自に開発した“紺野式筋硬度計”を用いて腕橈骨筋並びに腓腸筋の緊

張硬度と弛緩硬度を測定し、両者の差異により筋硬度差を求めた。筋硬度差を指標として筋力を判定し、筋硬度差が大きければ瞬発力・跳力・握力の能力が高いことを報告している。しかし、彼は筋硬度差と筋持久力の面からの検討は行っておらず、他の研究者においてもこの観点からの報告は例を見ない。筋力のみならず筋持久力の面からも検討することによって筋硬度を指標として各個人が持つ筋の特性をさらに詳細に知る手がかりが得られるものと考えられる。

前述の筋硬度と筋出力との関係に関する報告の背景には、個体間における筋線維組成の違いもその要因の一つと考えられる。筋線維には古くから収縮速度が速い速筋線維と遅い遅筋線維の存在が知られている[6-9]。これらの筋線維組成はどのような環境下で生活や運動を継続してきたのかによって違いが生まれることが指摘されている[10-12]。現在、筋線維組成を検討する手法には、1)緩和時間(共鳴後、元の状態に戻るまでの時間)の差異から筋線維組成の推定が可能な磁気共鳴映像法(MRI)[13]、2)筋線維の伝導速度と筋線維タイプの収縮特性の関係から組成をみる筋電位伝導速度を用いた推定法[14]、3)ニードルを筋肉に挿入し、採取した筋線維から組成を調べるニードルバイオプシー法[15]、3)の方法によって得られたデータに基づいて考案された4)50M走と12分間走の走速度から筋線維組成を推定する方法[16]並びに5)ミオシンの抗体を用いた免疫組織化学的な反応に基づいて筋線維がどのようなタイプのミオシン重鎖成分を持つのかによりタイプ分類する免疫組織化学法[17]が考えられている。しかし上記の1)、2)は高価な器具を要する。4)は測定する場所と被験者のモチベーションを必要とする。3)、5)は身体に対して侵襲を伴うために被験者に負担をかけ、さらに専門的な知識を持つ検者が必要となる。つまり筋線維組成を検討するには上記のような条件下では簡便に行うことができない。スポーツの現場では、より簡便な方法により筋の特性を評価する手法が求められている。

この様な観点から本研究では握力計を使用して(1)被験者に最大努力で握力発揮させ、その際に得られる最大握力と筋硬度の関係を明らかにすること、並びに(2)4秒に1回のペースの最大努力での握力発揮を継続的に行わせ、筋力逓減の過渡応答から筋出力特性と筋硬度との関係を明らかにすることを目的とした。

2. 方 法

2.1 被験者

健常男子大学生32名を被験者とした。被験者の身体的特徴は表1に示した。年齢は20.8±1.39歳、身長は171.1±5.15cm、体重は64.3±7.78kg、前腕周径は26.13±1.420cmであった。本実験は被験者に実験の主旨並びにそれによって起こりうる身体的変化について十分に説明し、実験に参加することに同意を得た。

2.2 利き手・非利き手判別アンケート

本実験は全て利き手を用いて行った。利き手、非利き手を判別するためにOldfield[18]のThe Edinburgh Inventoryを参考に10項目のアンケートを作成した。設問に応じて無意

識に使う手が左右いずれかを LEFT 欄あるいは RIGHT 欄に ++, + を記入する。例えば、右手をよく使う場合は RIGHT 欄に ++, もともと左手を使っていたが今は右手を使っている場合は RIGHT 欄に +, その逆の場合は LEFT 欄に +, 左手と右手を同じように使っている場合は LEFT 欄と RIGHT 欄に + を記入し, 左右それぞれの + の数を集計する。集計した値を Oldfield が報告した Laterality quotient 指数 (以後, L.Q. 指数と呼ぶ) の計算式に従って, L.Q. 指数を算出した。計算式を(式 1)に示した。L.Q. ≤ 100 の時は右手が利き手である傾向が強いことを示し, -100 ≤ L.Q. は左手に利き手の傾向が強いことを示す。

$$L.Q. = \frac{\text{RIGHT の + の合計} - \text{LEFT の + の合計}}{\text{RIGHT の + の合計} + \text{LEFT の + の合計}} \times 100 \dots\dots\dots(式 1)$$

今回の被験者は, 全員, 右手が利き手と判別された。

表 1 被験者の身体的特徴

sub	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	前腕周径圍 (cm)
1	20	174	68	26.4
2	20	166	53	23.4
3	22	176	72	26.8
4	20	175	63	26.0
5	21	160	59	24.5
6	21	173	60	26.5
7	22	175	73	28.0
8	21	173	83	27.3
9	22	176	72	25.0
10	22	167	56	26.2
11	22	168	68	28.8
12	22	166	58	25.0
13	21	165	58	25.7
14	22	171	60	24.3
15	22	172	62	26.0
16	21	168	67	26.5
17	22	167	56	25.8
18	22	171	58	24.5
19	22	177	68	24.5
20	21	183	78	27.0
21	22	173	73	27.4
22	21	170	80	29.2
23	21	169	52	23.0
24	20	177	64	24.5
25	19	179	63	26.9
26	20	173	68	27.2
27	18	173	65	27.0
28	22	177	66	27.8

29	19	165	55	25.6
30	18	163	54	26.5
31	17	170	61	26.4
32	19	164	66	26.3
Mean	20.8	171.1	64.3	26.13
SD	1.39	5.15	7.78	1.420

(n=32)

2.3 実験方法

(1) 筋硬度の測定

被験者は椅座位姿勢で利き手の前腕を測定台の上に置き筋硬度計（井元製作所社製，Muscle Meter，PEK-1）を用いて筋硬度を測定した。対象筋は肘関節内側顆から3cm遠位付近にある浅指屈筋とした。完全に弛緩している場合と最大努力で掌握を行った場合について5回の測定を行い，得られたデータから最大値と最小値を除く3回の平均値をそれぞれの被験者の弛緩時並びに緊張時の筋硬度とした。なお，筋硬度の単位は統一されておらず，表示された数値をそのまま使用した。弛緩時の筋硬度（以後，弛緩時筋硬度と呼ぶ）と緊張時の筋硬度（以後，緊張時筋硬度と呼ぶ）の差を筋硬度差とした。緊張時の前腕膨隆部の最大周径囲についても計測した（表1）。

実験は次の2つの条件で行った。

(2) 条件1

前腕部の最大周径囲と筋硬度を測定した後，被験者には立位姿勢で上肢を下垂させ，握力計（竹井機器工業社製，グリップD，TKK5401）により，最大握力を計測した。この時，最大握力が発揮されるように人差し指の第2関節がほぼ直角になるように握りの幅を調節させた[19]。

(3) 条件2

条件1を行った被験者のうち16名について，立位姿勢で4秒に1回のペースで最大努力によって握力を発揮する様に指示した。握力発揮のペースはメトロノームで示し，70回連続して行わせた。70回に満たない回数で継続不能となった被験者については中止した回数までの結果を用いた。なお，測定中はshout効果[20]による影響で握力値にばらつきが出ないように十分注意を払った。

2.4 統計処理

今回，標本間の比較の際には，まずF検定を行い，その結果により，等分散を仮定した2標本による検定もしくは分散が等しくないと仮定した2標本による検定のいずれかを用いた。なお有意水準は5%とした。

3. 結 果

3.1 筋硬度

表2に筋硬度の測定結果を示した。弛緩時筋硬度、緊張時筋硬度および筋硬度差の平均値はそれぞれ 58.52 ± 3.799 , 82.31 ± 5.390 , 23.79 ± 5.490 であった。筋硬度差の平均値を用いて、それよりも大きいグループ(L群と呼ぶ： ≥ 23.79)と小さいグループ(S群と呼ぶ： < 23.79)に分け、表3に示した。L群とS群の弛緩時筋硬度の平均値はそれぞれ 57.26 ± 3.806 , 59.64 ± 3.427 であった。一方、緊張時筋硬度はそれぞれ 85.63 ± 5.248 , 79.39 ± 3.483 であった。L群とS群を比較すると、弛緩時筋硬度は両者の間に有意な差は見られなかった。しかし、緊張時筋硬度ではL群の方が有意($p < 0.05$)に大きい数値を示した。すなわち、被験者間で生まれる筋硬度差は緊張時筋硬度によるものであることを示した。

表2 各被験者の弛緩時筋硬度、
緊張時筋硬度および筋硬度差

sub	筋硬度		筋硬度差
	弛緩時	緊張時	
1	64.3	94.4	30.1
2	62.5	84.2	21.7
3	59.2	78.8	19.6
4	63.6	75.5	11.9
5	55.1	83.8	28.7
6	63.2	89.2	26.0
7	62.9	86.0	23.1
8	57.3	73.4	16.1
9	52.5	76.6	24.1
10	57.4	80.3	22.9
11	57.9	76.4	18.5
12	55.0	76.8	21.8
13	59.3	78.2	18.9
14	56.5	76.6	20.1
15	52.6	80.5	27.9
16	55.3	77.2	21.9
17	52.1	78.9	26.8
18	60.0	81.4	21.4
19	56.5	77.5	21.0
20	53.7	85.1	31.4
21	55.3	81.2	25.9
22	66.7	78.8	12.1
23	59.3	85.3	26.0
24	60.6	86.6	26.0
25	61.2	85.9	24.7
26	55.8	81.0	25.2
27	57.0	92.3	35.3

28	57.2	80.2	23.0
29	61.1	82.8	21.7
30	56.4	90.4	34.0
31	59.8	93.2	33.4
32	65.4	85.5	20.1
Mean	58.52	82.31	23.79
SD	3.799	5.390	5.490

(n=32)

表3 L群とS群の筋硬度の比較

L群は筋硬度差の平均値(23.79)よりも大きいグループ、
S群はそれよりも小さいグループ

L群			S群		
sub	弛緩時筋硬度	緊張時筋硬度	sub	弛緩時筋硬度	緊張時筋硬度
1	64.3	94.4	2	62.5	84.2
5	55.1	83.8	3	59.2	78.8
6	63.2	89.2	4	63.6	75.5
9	52.5	76.6	7	62.9	86.0
15	52.6	80.5	8	57.3	73.4
17	52.1	78.9	10	57.4	80.3
20	53.7	85.1	11	57.9	76.4
21	55.3	81.2	12	55.0	76.8
23	59.3	85.3	13	59.3	78.2
24	60.6	86.6	14	56.5	76.6
25	61.2	85.9	16	55.3	77.2
26	55.8	81.0	18	60.0	81.4
27	57.0	92.3	19	56.5	77.5
30	56.4	90.4	22	66.7	78.8
31	59.8	93.2	28	57.2	80.2
			29	61.1	82.8
			32	65.4	85.5
Mean	57.26	85.63	Mean	59.64	79.39
SD	3.806	5.248	SD	3.427	3.483

(n=32)

3.2 最大握力と筋硬度差の関係

最大筋力は筋横断面積に比例するため、筋力を比較する場合、単位面積当りの筋力(kg/cm²)を算出する必要がある。しかし、筋そのものの面積を計測するのは困難であるため、今回は前腕部の最大周径囲を用いて、横断面積(以後、前腕 CSA (Cross Sectional area) と呼ぶ)を(式2)により算出した。

$$\text{前腕 CSA} = \text{前腕最大周径囲} \times 2 \div 4\pi \dots\dots\dots (式2)$$

表 4 に各被験者の前腕 CSA (cm²) と最大握力 (kg) の平均値を示した。さらに、両者を用いて単位面積当りの最大握力を算出し、右端に最大握力/CSA (kg/cm²) として示した。それぞれの平均値は 54.48 ± 5.982 cm², 46.76 ± 8.598 kg, 0.859 ± 0.1307 (kg/cm²) であった。最大握力と前腕 CSA の関係を図 1 に示した。両者は $y=0.7753x+4.5202$ の有意 ($p<0.01$) な正の相関 ($r=0.5393$) を示した。最大握力/CSA と筋硬度差の関係を図 2 に示した。両者は $y=0.0106x+0.608$ の有意 ($p<0.01$) な正の相関 ($r=0.4502$) を示した。

表 5 は L 群と S 群の前腕 CSA, 最大握力, 最大握力/CSA を示している。前腕 CSA はそれぞれ 53.94 ± 5.009 cm², 54.95 ± 6.845 cm² であった。最大握力はそれぞれ 44.08 ± 5.920 kg, 42.01 ± 6.096 kg, 最大握力/CSA はそれぞれ 0.818 ± 0.0873 kg/cm², 0.769 ± 0.0997 kg/cm² と、両者ともに L 群の方が大きい傾向を示したが、いずれにおいても有意な差はみられなかった。

表 4 各被験者の前腕 CSA と最大握力値
並びに最大握力/CSA

sub	前腕 CSA (cm ²)	最大握力 (kg)	最大握力/CSA (kg/cm ²)
1	55.5	61.3	1.10
2	43.6	37.0	0.85
3	57.2	48.7	0.85
4	53.8	35.0	0.65
5	47.8	51.8	1.08
6	55.9	58.1	1.04
7	62.4	56.5	0.91
8	59.3	44.6	0.75
9	49.7	42.9	0.86
10	54.6	39.0	0.71
11	66.0	40.9	0.62
12	49.7	47.8	0.96
13	52.6	46.5	0.88
14	47.0	42.6	0.91
15	53.8	44.6	0.83
16	55.9	37.7	0.67
17	53.0	40.8	0.77
18	47.8	32.6	0.68
19	47.8	38.0	0.79
20	58.0	55.5	0.96
21	59.7	46.2	0.77
22	67.9	62.4	0.92
23	42.1	33.5	0.80
24	47.8	49.6	1.04
25	57.6	56.2	0.98
26	58.9	46.2	0.78
27	58.0	63.5	1.09

28	61.5	58.5	0.95
29	52.2	45.8	0.88
30	55.9	48.5	0.87
31	55.5	42.8	0.77
32	55.0	41.3	0.75
Mean	54.48	46.76	0.859
SD	5.982	8.598	0.1307

(n=32)

表5 L群とS群の前腕 CSA, 最大握力及び単位当りの最大握力の比較

L 群	前腕 CSA (cm ²)	最大握力 (kg)	最大筋力/CSA (kg/cm ²)	S 群	前腕 CSA (cm ²)	最大握力 (kg)	最大筋力/CSA (kg/cm ²)
1	55.5	52.5	0.95	2	43.6	34.7	0.80
5	47.8	42.4	0.89	3	57.2	44.3	0.78
6	55.9	49.5	0.89	4	53.8	34.7	0.65
9	49.7	42.9	0.86	7	62.4	56.3	0.90
15	53.8	44.6	0.83	8	59.3	39.8	0.67
17	53.0	40.8	0.77	10	54.6	39.0	0.71
20	58.0	55.5	0.96	11	66.0	40.9	0.62
21	59.7	39.3	0.66	12	49.7	47.8	0.96
23	42.1	32.1	0.76	13	52.6	46.5	0.88
24	47.8	40.2	0.84	14	47.0	42.6	0.91
25	57.6	50.1	0.87	16	55.9	37.7	0.67
26	58.9	40.0	0.68	18	47.8	32.6	0.68
27	58.0	46.1	0.79	19	47.8	38.0	0.80
30	55.9	43.6	0.78	22	67.9	48.6	0.72
31	55.5	41.6	0.75	28	61.5	48.4	0.79
				29	52.2	41.0	0.79
				32	55.0	41.3	0.75
Mean	53.94	44.08	0.818	Mean	54.95	42.01	0.769
SD	5.009	5.920	0.0873	SD	6.845	6.096	0.0997

(n=32)

3.3 筋持久力と筋硬度差の関係

図3は最大努力で70回連続して握力の測定を行った結果を代表例 (sub.10) について示した。縦軸は、各握力の値を最大握力で正規化した値(以後、%握力)、横軸は回数を表している。回数が増えるにしたがって%握力が逓減していることがわかる。この逓減の度合は被験者によって異なっていた。これらの過度応答の結果に近似曲線を引き、すべての被験者について見た時、(式3)に示す累乗関数で表現した場合が最もフィットした。

$$y = bx^a \dots \dots \dots \text{(式3)}$$

y: %握力, x: 回数, b 並びに a は係数

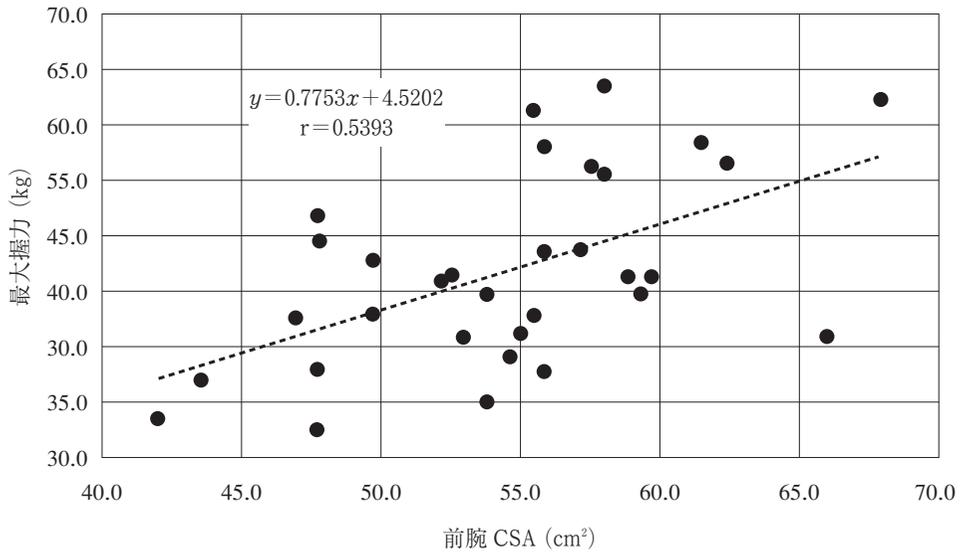


図1 最大握力と前腕 CSA の比較 (n=32)

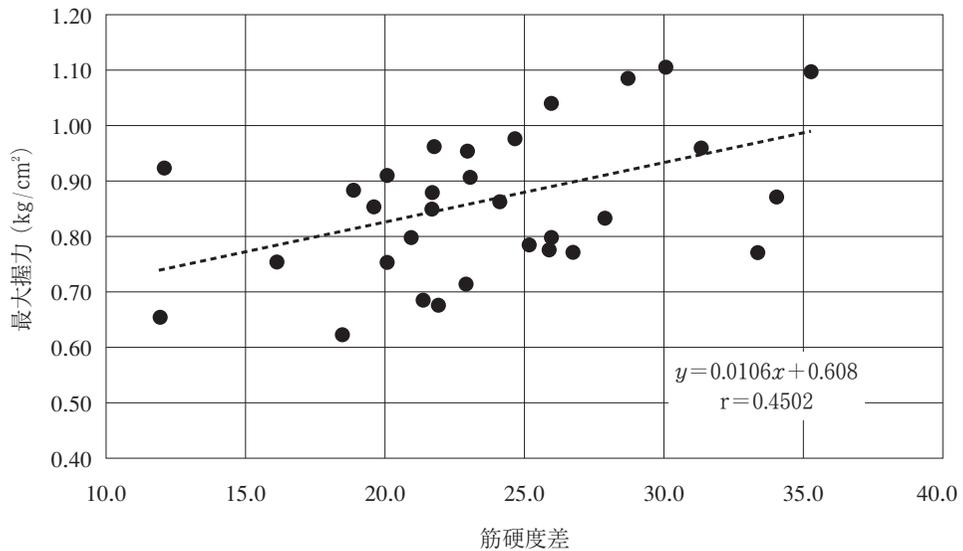


図2 最大握力/CSA と筋硬度差の関係 (n=32)

そこで、累乗関数を用いて各被験者の係数 b , a を算出し、表6に示した。図4には a 乗した係数 b と筋硬度差の関係をプロットした。これを最小二乗法により近似すると $y = -1267x + 1293.3$ の式が得られ、有意 ($p < 0.05$) な負の相関 ($r = -0.5365$) を示した。

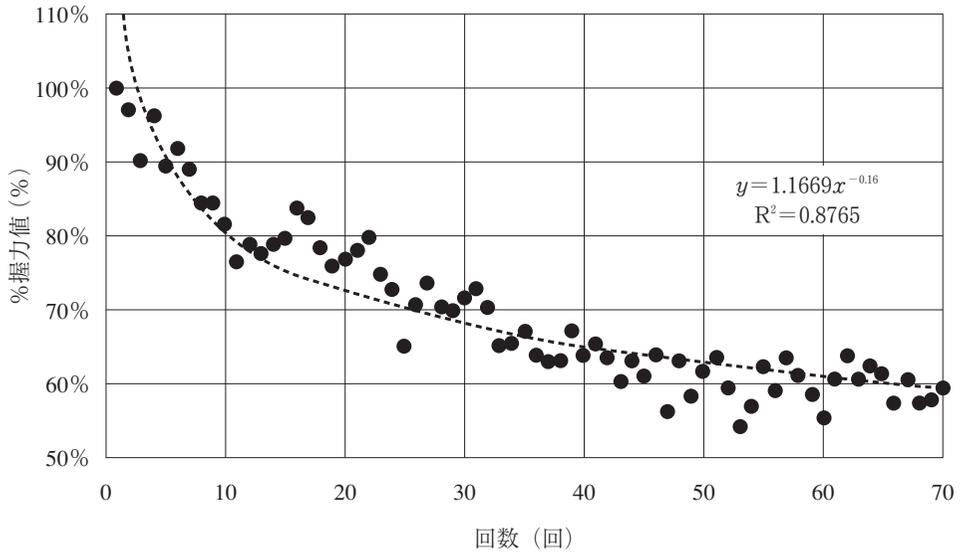


図3 最大努力による握力の経時的変化 代表例 (sub.10)

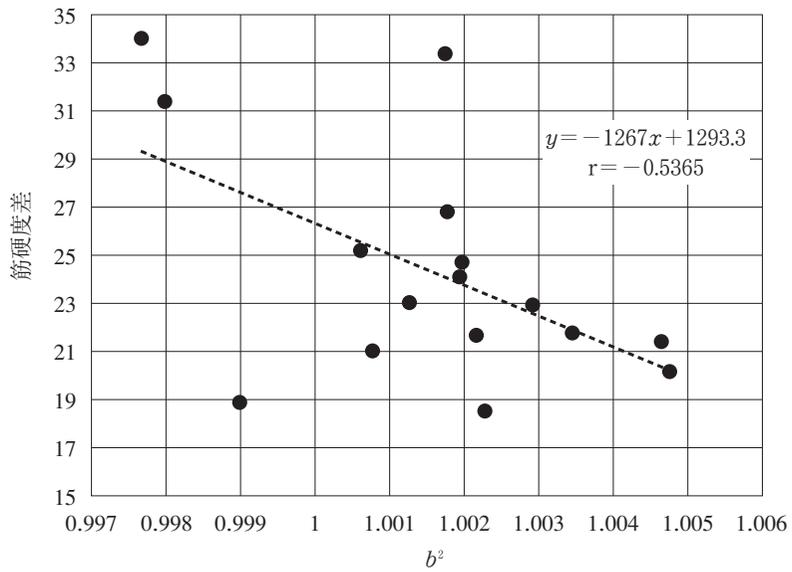


図4 累乗関数による b^2 と筋硬度差の関係 (n=16)

表6 累乗関数による**b**並びに**a**の推定値

sub	<i>b</i>	<i>a</i>
2	1.0370	-0.126
9	1.1502	-0.176
10	1.1669	-0.160
11	1.0471	-0.143
12	1.0230	-0.135
13	1.2244	-0.195
14	1.0974	-0.169
17	1.1598	-0.248
18	1.2804	-0.206
19	1.1793	-0.203
20	1.1872	-0.233
25	1.0322	-0.065
26	0.9792	-0.070
28	1.0049	-0.059
30	1.1170	-0.138
31	1.1374	-0.159
Mean	1.11396	-0.1553
SD	0.086406	0.05664

(n=16)

4. 考 察

本研究では筋硬度差と筋力並びに筋持久力の関係を観察した。筋力については最大握力/CSAと筋硬度差の間に有意 ($p < 0.01$) な正の相関 ($r = 0.4502$) が認められた。一方、筋持久力に関しては握力計を用いて70回の掌握運動を最大努力で連続して行わせ、得られた各被験者の値を累乗近似させ、導かれた式 ($y = bx^a$) から a 乗した係数 b と筋硬度差の関係をみた。その結果、両者は $y = -1267x + 1293.3$ の有意 ($p < 0.05$) な負の相関 ($r = -0.5365$) を示した。係数 b と指数 a 並びに80%握力時の推定回数の3つの変数を3次元によって図5に示した。係数 b と指数 $|a|$ の値が大きければ、80%握力に至る推定回数が多くなる。逆に小さければ、推定回数は少なくなることを示している。つまり、図3に示すように累乗近似でフィットさせると係数 b と指数 $|a|$ の値が小さい場合、急峻な曲線が描かれ、逆に大きい場合、緩やかな曲線が描かれることを表現している。このことは筋硬度差が大きい者は最大筋力の遁減率が大きく、逆の場合は、その度合が小さいことを意味している。

紺野[5]は筋硬度計を用いて腕橈骨筋並びに腓腸筋の緊張硬度と弛緩硬度から筋硬度差を求め、握力、走力並びに跳躍力との関係を検討した。その結果、それぞれ0.452、-0.418並びに0.361の相関係数を示した。内山ら[21]は上腕二頭筋を対象として等尺性収縮力と筋の硬さの関係を調べたところ、等尺性収縮レベルが増加すると比例的に筋硬度も増加することを報告した。収縮レベルに応じた筋硬度について加藤ら[22]はヒトの前脛骨筋を対

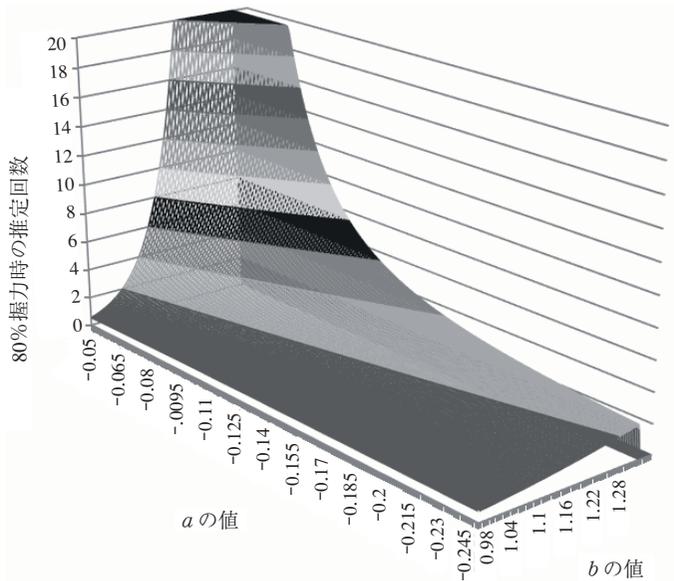


図5 80%握力値の推定階数における b と a の関係

象に共振周波数を利用して、筋硬度が75%MVCまでほぼ直線的に急な増加を示し、その後傾斜が緩やかになることを指摘した。これらの報告は発揮張力と筋硬度に正の相関関係が存在することを示している。

さて、今回は、筋硬度差によりL群とS群に分けた場合、両者の間で弛緩時筋硬度には有意な差は見られなかったが、緊張時筋硬度には有意な差が認められた。すなわち、筋硬度差の違いは緊張時筋硬度によるものであることを示した。小宮ら[23]は筋の収縮強度に呼応した筋硬度の上昇の背景には α -motor neuronの発射頻度の増加と動員された筋線維数の増加が強く関与することを示唆した。筋線維は収縮速度が速い速筋線維と収縮速度が遅い遅筋線維に分けることができ、収縮速度と基質酸化能力の2つの機能からType I, IIa, IIb線維の3種類に分類されている[24, 25]。Type I線維とType II線維はそれぞれ遅筋線維と速筋線維に対応している。運動単位においても収縮時間が長く疲労しにくいslow (S)タイプ、収縮時間は短い疲労しにくいfast fatigue resistant (FR)タイプ、収縮時間が短く疲労しやすいfast fatiguable (FF)タイプに分類され、それぞれの運動単位にはSO (type I)線維、FOG (type IIa)線維、FG (type IIb)線維が含まれる[25]。中村ら[26]は筋の弱い随意収縮では、活動電位の振幅の小さい運動単位がまず発射を開始する。弱い筋張力の段階で活動(閾値が低い)するのは、活動電位の低い運動単位である。このような運動単位は、細い運動神経線維によって支配されている[27]。筋収縮が強くなると、活動電位の大きい運動単位が発射するようになる。また、発射頻度も増加する。これらの現象は、「ヘンネマンのサイズの原理」[28-29]によって説明されると述べている。これらの報告と最大握力/CSAと筋硬度差の間に有意($p=0.01$)な正の相関($r=0.4502$)が認められた

ことを考え合わせると、緊張時筋硬度の差によって生み出された筋硬度差の違いは速筋線維の占める割合の違いにある可能性が示唆される。

Bigland-Ritchie et al [30] は最大努力で持続性作業を行うと、筋収縮の初期に筋放電量、インパルスの発射頻度が高く、作業時間とともに徐々に低下すると報告した。堀川ら[31] は最大努力の等尺性脚伸展動作を2秒に1回のペースで100回を4セット行い、測定前と各セット後に外側広筋、大腿直筋、内側広筋の筋硬度を測定した。その結果、1セット後には各筋とも筋硬度が増加し、2から4セット後ではいずれの筋においても減少が確認された。初期に見られた筋硬度の増加はサイズの原理により、すべての運動単位が動員された結果である。その後に見られた筋硬度の減少は筋疲労に伴い速筋線維の機能低下が起こり、遅筋線維だけが収縮している状態になるためであると推測されている。この堀川ら[31]の報告は、上述した筋硬度差の違いは速筋線維の占める割合にあるという我々の仮説を裏付けるものと考えられる。換言すれば筋硬度差はクロスブリッジの重なり具合と筋線維組成の特徴を表現しているものと考えることができる。今回示した様に筋硬度差を生み出す要因が緊張時筋硬度にあり、緊張時筋硬度はサイズの原理により動員される速筋線維の数の違いにその要因があるものと推察される。上述した様に、我々は筋硬度差と最大握力/CSAの間に有意な正の相関を認め、筋硬度差と係数 b^a の間に有意な負の相関を認めた。すなわち、筋硬度差が大きければ瞬発的な力発揮ができる速筋線維、筋硬度差が小さければ持続的に力発揮が可能な遅筋線維を多く有するといった筋線維組成を推定する手がかりを示すものと考えられる。ただし、筋硬度は筋線維組成以外に血流量の増加により増大することが指摘されている[21, 23]。本実験の場合、最大筋力発揮条件下での筋血流量について考慮する必要がある。Dolgin et al [32] は筋収縮の初期段階では動脈閉塞時の運動持続時間の変化から、筋収縮強度が高いと活動筋への血流阻止が起こることを証明した。Nilsson et al [33] は筋血流量を測定し、筋の張力増加に伴う筋内圧の上昇によって筋血流量が減少すること、収縮強度が高い場合には血流停止を起こすことを報告している。これらの報告は、今回の実験条件では、筋硬度に与える血流量の影響は除外できることを示唆している。

最後に、筋硬度計の測定方法について触れる。予備実験として今回用いた筋硬度計を

表7 角度の違いによる筋硬度計の測定値の比較

回数	角度		
	90°	85°	80°
1	103	87	68
2	104	85	70
3	104	82	71
4	102	83	74
5	102	86	72
Mean	103.0	84.6	71.0
SD	1.00	2.07	2.24

平らな板の上で90°, 85°, 80°の3つの角度で測定し、その誤差をみた。その結果を表7に示した。5回の平均値はそれぞれ103.0±1.00, 84.6±2.07, 71.0±2.24であった。Bonferroniを用いて90°に対する相対比較を85°並びに80°にして行ったところ、いずれの場合においても有意(p<0.01)な差を示した。このことは筋硬度を測定する場合には、筋硬度計が筋に当たる角度に充分留意する必要があることを示唆している。今回、我々もこの点に特に注意を払って測定を行った。

5. ま と め

本研究は、筋硬度計を用いて弛緩時筋硬度と緊張時筋硬度を測定し、両者の差(筋硬度差)と筋出力との関係について検討した。条件1では32名の健常な男子大学生に、握力計を用いて最大握力を計測した。条2では最大努力での掌握動作を4秒に1回のペースで、70回連続して行わせた。以下に得られた結果を要約する。

- 1) 筋硬度差の違いによりL群とS群に分けた場合、L群とS群の筋硬度は緊張時筋硬度ではS群よりL群の方が有意(p<0.05)に大きい値が認められた。しかし、弛緩時筋硬度では両者に有意な差は見られなかった。
- 2) 1)の結果より、筋硬度差は緊張時筋硬度の違いがそれを生み出す要因であることが示された。その背景には、最大努力で力発揮に動員された速筋線維の占める割合にある可能性が考えられた。
- 3) 筋硬度差と最大握力/CSAの間には、有意(p<0.01)な正の相関(r=0.4502)が認められた。
- 4) 筋硬度差と係数 b' の間には、有意(p<0.05)な負の相関(r=-0.5365)が認められた。
- 5) 3)4)の結果は筋硬度差が大きければ最大筋力が高く、小さければ筋持久力が高いことを示しており、筋硬度を測定することにより、筋線維組成に言及できる可能性が示唆された。

謝辞

本論文作成にあたり実験に御協力頂いた大阪経済大学人間科学部人間科学科の学生諸氏に心よりお礼を申し上げます。また、大阪経済大学人間科学部9期生岡本泰彰氏、西田旭氏、石崎一輝氏には、実験補助並びにデータの集計に関してお手伝い頂きました。心より感謝致します。

引用文献

- [1] 吉岡利忠, 後藤勝正, 石井直方 (2003): 筋力をデザインする, 杏林書院, p13
- [2] 前掲書[1], p6
- [3] 中村雅俊, 池添冬芽, 武野陽平, 大塚直輝, 市橋則明 (2013): 筋硬度計で測定した筋のスティフネスと受動的トルクおよび筋の伸張量の関連性, 理学療法学, 40(3), 193-199
- [4] Komiya H, Maeda J, Takemiya T (1996): A new functional measurement of muscle stiffness in humans, Advances in exercise and sports physiology, 2(1), 31-38

- [5] 紺野義雄 (1952): 筋硬度に関する研究 (第一報) “筋硬度差” による運動能力の判定法, 体力科学, 1(5), 180-185
- [6] Gollnick PD and Hodgson DR (1986): The identification of fiber types in skeletal muscle: A continual dilemma, *Exercices and spot sciences revies*, 14, 81-104
- [7] 勝田茂, 伊藤一生, 的場秀樹, 北浦孝, 春日規克, 石原昭彦 (1988): 骨格筋線維タイプの特性とそれに影響を及ぼす因子: そのⅠ. 骨格筋線維の分類, 体力科学, 37(5), 345-357
- [8] 勝田茂, 伊藤一生, 的場秀樹, 北浦孝, 春日規克, 石原昭彦 (1989): 骨格筋線維タイプの特性とそれに影響を及ぼす因子: そのⅡ. 筋線維タイプに影響を与える因子, 体力科学, 38(1), 13-26
- [9] Spangenburg EE, Booth FW (2003): Molecular regulation of individual skeletal muscle fibre types, *Acta Physiol Scand*, 178(4), 413-424
- [10] Oishi Y, Ishihara A, Katsuta S (1992): Muscle fiber number following hindlimb immobilization, *Acta Physiologica Scandinavica*, 146(2), 281-282
- [11] Simoneau J A, Lortie G, Boulay M R, Marcotte M, Thibault M C, Bouchard C (1985): Human skeletal muscle fibre type alteration with high-intensity intermittent training, *European Journal Applied Physiology and Occupational*, 54(3), 250-253
- [12] 和田正信, 勝田茂 (1989): 筋線維タイプからみたスポーツパフォーマンス, *Jpn J Sports Sci*, 8, 62-68
- [13] 久野譜也, 勝田茂, 秋貞雅祥, 阿武泉, 松本邦彦 (1988): 磁気共鳴映像法 (MRI) による筋線維組成の推定, 体力科学, 37(5), 376-382
- [14] 宮田浩文, 佐渡山亜兵, 勝田茂 (1985): 等尺性収縮における外側広筋の筋電位伝導速度: その筋線維組成との関連, 体力科学, 34(4), 231-238
- [15] Bergstrom J (1962): Muscle electrolytes in man, *Scand J Clin Lab Invest*, 68, 11-13.
- [16] 勝田茂, 高松薫, 田中守, 小泉順子, 久野譜也, 田淵健一 (1989): 50m 走と12分間走の成績による外側広筋の筋線維組成の推定, 体育学研究, 34(2), 141-149
- [17] Hori A, Ishihara A, Kobayashi S, Ibata Y (1998): Immunohistochemical Classification of Skeletal Muscle Fibers, *Actahistochemica et cytochemica*, 31(5), 375-384
- [18] R C Oldfield (1971): The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory, *Neuropsychologia*, 9, 97-113
- [19] 吉田勝志, 吉福康郎, 足達義則, 青木孝志 (1997): 普及型 (スメドレー式) 握力計による握力値の握り幅・習熟度依存性および日内変動の検討, 人体科学, 6(1), 17-25
- [20] 猪飼道夫, 石井喜八 (1961): 筋力の生理的限界と心理的限界の筋電図学的研究, 体育学研究, 5(4), 154-165
- [21] 内山孝憲, 大杉健司, 村山光義 (2006): 押し込み反力計測による筋の硬さの評価: 等尺性収縮力依存性と筋疲労の影響, *バイオメカニズム*(18), 219-227
- [22] 加藤正道, 村上新治, 松本伍良 (1979): 随意収縮時におけるヒト前脛骨筋の硬さの変化について, *医用電子と生体工学*, 17(4), 258-263
- [23] 小宮秀明, 黒川修行, 前田順一, 竹宮隆 (2001): ヒト総指伸筋の Isometric contraction 中の機能的筋硬度の変化について, *日本運動生理学雑誌*, 8(1), 25-32
- [24] 的場秀樹, 森田俊介, 杉浦崇夫 (1995): 骨格筋の筋線維タイプと適応性変化, 日本運

動生理学雑誌, 2(2), 127-142

- [25] Burke R E, Edgerton V R (1975): Motor unit properties and selective involvement in movement, *Exercise & Sport Sciences Reviews*, 3(1), 31-81
- [26] 中村隆一, 斎藤宏, 長崎浩 (2002): 臨床運動学, 医歯薬出版株式会社, p94-95
- [27] Hodes R, Grobetz L, Moskowitz JA (1965): Low threshold associated with slow conduction velocity: studies of human motor axons, *Arch Neurol*, 12, 510-526
- [28] Henneman E, Somjen G, Carpenter O D (1965): Functional significance of cell size in spinal motoneurons, *J Neurophysiol*, 28, 560-580
- [29] Olson C B, Carpenter O D, Henneman E (1968): Orderly recruitment of muscle action potentials motor unit threshold and EMG amplitude, *Arch Neurol*, 19(6), 591-597
- [30] Bigland-Ritchie B, Woods J J (1984): Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue, *Muscle and Nerve*, 7(9), 691-699
- [31] 堀川浩之, 佐藤三千雄, 中野雅之, 松橋明宏, 佐藤孝雄, 松石純, 久光正 (1997): 等尺性最大脚伸展動作が筋硬度に及ぼす影響, *臨床スポーツ医学*, 14(5), 573-578
- [32] Dolgin P, Lehman G (1930): Ein Beitrag zur Physiologie der statischen Arbeit, *Arbeitsphysiologie*, 2(3), 248-252
- [33] Nilsson B, Ingvar D H (1967): Intramuscular pressure and contractile strength related to muscle blood flow in man, *Scand J Clin Lab Invest*, 99, 31-38