EMG 解析からみた発育発達および加齢による四肢筋の筋力発揮特性

岡田 修 一¹⁾ 平川 和文¹⁾ 生田 香明²⁾
木下 博²⁾ 黒田 英三²⁾ 川合 悟³⁾

Muscular force and EMG responses in the limb muscles with respect to growth-development and aging

Shuichi Okada¹, Kazufumi Hirakawa¹, Komei Ikuta², Hiroshi Kinoshita²,
Eizo Kuroda² and Satoru Kawai³

Abstract

This study examined the difference in the force and EMG characteristics for the limb muscles with respect to growth-development and aging. Ten boys (age: 10.6 ± 1.1 yrs.), 8 adult men (25.3 ± 3.2 yrs.) and 7 elderly men (67.6 ± 2.4 yrs.) served as subjects for the study. The subjects were asked to perform isometric flexion and extension for elbow and knee at each force level of 25, 50 and 75% of their maximum voluntary contractions (MVC). Surface EMGs were recorded from the biceps brachii, triceps brachii, biceps femoris and rectus femoris muscles, respectively. Integrated EMG (IEMG) and mean power frequency (MPF) values were computed from the recorded EMGs at each of the three different force levels.

Results were as follows:

- 1) IEMG values of the extensors (triceps brachii and rectus femoris muscles) for the adult group was significantly smaller than those of the boy and elderly groups at all force levels.
- 2) MPFs in both extensors and flexors for the adult group were significantly larger than those for the boy and elderly groups at 75% and 100% MVC force levels.

It was concluded that there was an aged-related difference in the force and EMG responses obtained from the limb muscles. This difference may be due to the effects of a different level of fast twitch fiber activation in force production.

Key words: growth-development, aging, force, EMG

(Japan J. Phys. Educ., 37: 135-143, September, 1992.)

キーワード：発育発達，加齢，筋力，筋電図

緒 言

身体運動は筋の収縮によって行われ，その収縮力が関節を介して測定されたものが筋力である。ヒトが随意的に発揮する最大筋力は，スポーツ活動のみならず日常生活においても重要な体

力要素であり，一般的に発育発達に伴って増加し，男子では25歳前後にピークに達した後は加齢とともに漸減する^{2,27,43)}。

文部省体育局の体力・運動能力テストの結果によると，発育期の児童・生徒から発育完了期の大学生に至るまで，体格は向上しているものの，それに見合った筋力の向上がみられていな

- 1) 神戸大学教養部
〒657 兵庫県神戸市灘区鶴甲1-2-1
- 2) 大阪大学健康体育部
〒560 大阪府豊中市待兼山町1-1
- 3) 帝塚山短期大学
〒631 奈良県奈良市学園南3-1-3

1. Kobe University, College of Liberal Arts, Tsurukabuto, Kobe, Hyogo (657)
2. Osaka University, Faculty of Health and Sport Sciences, Machikaneyama, Toyonaka, Osaka (560)
3. Tezukayama Junior College, Gakuen-minami, Nara, Nara (631)

いと指摘がある^{28,39,42)}。さらに、数年前から、児童・生徒の骨折の増加が問題となっており、その一因として筋力低下をあげている報告もある^{34,35)}。

一方、近年高齢者の筋力に関する報告も増加している。加齢にともなう筋力の低下をみると、脚筋力の低下が著しい^{17,20)}。脚筋力は高齢者の日常生活をより積極的かつ行動的に送るために必要な体力要素と考えられており^{15,20)}、さらに脚筋力の低下防止は、現在社会問題となっている高齢者の転倒を防止する一つの方法として指摘されている^{38,45)}。

このような発育発達期から老年期に至るまでの筋力に関する今日の問題を考えると、外力として測定された筋力のみについて検討するだけでなく、筋力発揮に関与する要因までも考慮に入れた検討が必要であると思われる。

福永¹⁰⁾、酒井および小林³⁹⁾は、筋力を規定する要因について、筋断面積、神経支配および筋線維タイプをあげている。また、堀¹⁶⁾、矢部⁴⁸⁾は、随意最大筋力は筋力発揮に参加する運動単位(Motor units: MUs)の数あるいは神経インパルスの発射頻度によって影響され、MUsの活動状態は中枢神経系の活動状態を反映すると述べている。

これらのことは、筋力について考える場合、筋の量的な面だけでなく、筋力発揮時の神経一筋の関連性を考慮する必要があることを示唆している。

これまで発育発達や加齢における筋力に関して、筋量や筋断面積からの検討は多くみられるが^{11,13,19,26,47)}、筋量以外の筋力規定要因から検討した研究は、筆者の知る限りほとんどみられない。

本研究では、非侵襲的に神経一筋の活動状態を観察できる方法⁴⁸⁾として表面筋電図(Electromyography: EMG)解析を用い、筋力の加速的発達が現れ始める時期にある10歳前後の児童と筋力のピークがみられる時期にある20歳～30歳代の成年、ならびに老化による筋力の低下が著しい65歳以上の高齢者^{2,27,43)}を対象に、運動能力や姿勢調節に重要な役割を果たす肘関節および膝関節の屈筋と伸筋の筋力とEMGの関係から、発育発達および加齢による筋力発揮特性の差異について検討を行った。

研 究 方 法

1. 被験者

被験者は、日頃特別なトレーニングを積んでいない健康な男性で、9～11歳の児童10名(10歳群)と21～34歳の成年8名(25歳群)ならびに65～71歳の高齢者7名(67歳群)である。各群の年齢、身長、体重、上腕囲、大腿囲、体脂肪量^{5,29,30)}および除脂肪体重の平均値と標準偏差をTable 1に示した。なお、これらの被験者には研究の目的および安全性を説明し、特に児童については学校関係者および父兄から承諾を得た。

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Age group	N	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Upper arm girth(cm)	Thigh girth (cm)	Fat (kg)	LBM (kg)
10 year old	10	10.6 ^{a***} (1.1)	138.9 ^{a***} (6.8)	33.8 ^{a***} (6.8)	19.6 ^{a***} (2.4)	40.5 ^{a***} (3.8)	5.2 (2.1)	28.4 ^{a***} (3.3)
25 year old	8	25.3 (3.2)	173.1 (2.7)	71.9 (9.9)	29.8 (4.3)	53.6 (5.7)	9.4 (4.5)	61.1 (9.1)
67 year old	7	67.6 ^{a***} (2.4)	159.1 ^{b***} (5.3)	52.1 ^{b***} (6.1)	23.1 ^{b***} (2.3)	44.6 ^{b***} (3.6)	9.5 (3.8)	42.4 ^{b***} (3.8)

LBM: Lean body mass

Mean (S.D.), **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

^a: Significant difference between 25 year old and 10 year old

^b: Significant difference between 25 year old and 67 year old

2. 筋力および EMG の測定方法^{32,33)}

肘関節および膝関節の屈筋と伸筋の筋力は、大きな筋力値を示す側について、生田らの方法¹⁷⁾によって、ロードセル（竹井機器 1269 F）を介して測定した。各被験者に対して、先ず両関節の屈筋と伸筋の等尺性最大随意筋力（MVC）を測定した。次に、MVC の 25%・50% および 75% にあたる力を被験者がシンクロスコープ（岩通 SS-5510）上にあらかじめ輝線で示し、被験者は、その設定された輝線と、発揮している筋力に対応する輝線が一致するように、5 秒間力を発揮した。各筋力測定の間には、疲労の影響を可能な限り除去するために、10 分以上の休息をとるようにした。なお、実験を行う前に、被験者には測定動作に慣れるよう十分練習を行なわせた。

EMG は、上腕二頭筋、大腿二頭筋およびこれら屈筋と同側の伸筋である上腕三頭筋、大腿直筋を対象として、表面双極誘導法を用いて記録した。電極（直径 10 mm）は Zipp の方法⁴⁹⁾に従って 20 mm 間隔で筋線維の走行方向と一致するように装着し、生体用増幅器（日本電気三栄 511）の時定数は 0.03 秒とした。また電極間抵抗は 10 k Ω 以下とした。

得られたデータはすべて、一旦データレコーダ（TEAC SR-51）に収録し、後に再生して筋力、筋放電量および EMG パワースペクトルを求めた。

3. EMG の分析

EMG の分析^{32,33)}は、シグナルプロセッサ（日

本電気三栄 7 T 17）を用い、各筋力レベル（% MVC）での EMG 信号を 1 kHz でサンプリングし、A/D 変換した後全波整流の上積分し、これを積分時間で除して、単位時間当たりの積分値（IEMG）を算出した。各 IEMG の値は、MVC 発揮時における IEMG の値を 100 として正規化した。また、EMG 信号を高速フーリエ変換することによってパワースペクトルを算出し、これを評価する代表的な値として、Mean power frequency（MPF）を計算した。分析を行った周波数帯域は、1 Hz から 500 Hz である。分析には、5 秒間の測定のうち、筋力発揮が定常状態に達した後半の 3 秒間の EMG をデータとして採用した。

4. 統計的処理

25 歳群と 10 歳群および 67 歳群における測定項目の平均値間の差の有意性を検討するために、対応のない student の t-test を適用した。なお、有意水準は危険率が 5 % 以下とした。

結 果

1. 形態、体組成および MVC

身長、体重、上腕囲、大腿囲および除脂肪体重のいずれも、25 歳群が 10 歳群および 67 歳群に比べ有意に大きな値を示した。体脂肪量は、25 歳群と他群との間に有意な差異は認められなかった（Table 1）。

Table 2 に 10 歳群、25 歳群および 67 歳群の肘関節および膝関節の屈筋と伸筋の MVC ならびに除脂肪体重当りの筋力の平均値と標準偏差

Table 2. Maximum force (N) and force per lean body mass (N/kg) for each muscle tested.

Age group	Elbow extensor	Elbow flexor	Knee extensor	Knee flexor
10 year (N)	76.4(14.4) ^{****}	109.7(23.7) ^{****}	213.6(47.6) ^{****}	90.6(27.5) ^{****}
old (N/kg)	2.69(0.73) ^{***}	3.86(0.72)	7.52(1.15) ^{***}	3.19(0.81)
25 year (N)	243.7(32.7)	289.3(48.9)	615.7(69.1)	251.5(25.8)
old (N/kg)	3.99(0.59)	4.73(0.78)	10.08(1.48)	4.12(0.81)
67 year (N)	119.9(17.1) ^{b****}	165.2(27.9) ^{b****}	288.5(49.3) ^{b****}	152.4(28.2) ^{b****}
old (N/kg)	2.82(0.73) ^{b**}	3.91(0.89)	6.82(1.27) ^{b**}	3.59(0.67)

Mean (S.D.), ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$

^a : Significant difference between 25 year old and 10 year old

^b : Significant difference between 25 year old and 67 year old

を示した。

MVC は、25 歳群ではすべての筋力発揮で 10 歳群と 67 歳群より有意に大きな値を示した。

除脂肪体重当りの屈筋力と伸筋力をみると、25 歳群はいずれの筋力発揮においても他群よりも値が大きく、特に両関節の伸筋力において、有意な差異が認められた。

2. 筋力-IEMG 関係

10 歳群、25 歳群および 67 歳群の肘関節および膝関節の屈筋と伸筋の筋力-IEMG 関係を Fig. 1 に示した。また、各筋力レベルにおける IEMG の平均値と標準偏差を Table 3 と Table 4 に示した。

Fig. 1 にみられるように、両関節の屈筋と伸筋のいずれの筋力レベルにおいても 25 歳群の IEMG は 10 歳群および 67 歳群より小さい値を示し、両関節とも伸筋の IEMG はすべての筋力レベルにおいて 25 歳群が他群より有意に小

さかった。

3. MPF

10 歳群、25 歳群および 67 歳群の肘関節および膝関節の屈筋と伸筋の 25%、50%、75% および 100%MVC での MPF の平均値と標準偏差を Table 5 と Table 6 に示した。

いずれの筋においても、MPF は 25 歳群がすべての筋力レベルで他群より大きな値を示し、75%MVC および 100%MVC では、すべての筋において有意な差異が認められた。

考 察

MVC を規定する要因は、筋量、筋断面積、神経支配および筋線維タイプが考えられ^{10,26,39,47)}、なかでも神経支配と筋線維タイプは筋力発揮特性に影響を及ぼすものと思われる。

本研究の結果、25 歳群の上腕屈および大腿屈が 10 歳群および 67 歳群より有意に大きい上、

Table 3. Normalized IEMG values for the upper limb muscles at 25, 50, and 75% MVC.

Age group	M. biceps brachii			M. triceps brachii		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%
10 year old	26.25 (5.14)	51.23 (5.33)	76.98 (5.95)	23.68 ^{a*} (8.11)	46.87 ^{a*} (8.98)	73.76 ^{a*} (9.94)
25 year old	22.47 (2.71)	47.44 (2.98)	74.39 (2.89)	14.99 (6.96)	35.66 (5.88)	62.13 (5.97)
67 year old	25.36 (3.77)	51.62 (3.69)	77.91 (4.58)	22.57 ^{b*} (4.93)	45.73 ^{b*} (6.53)	70.18 ^{b*} (6.74)

Mean (S.D.), * : $p < 0.05$

^a : Significant difference between 25 year old and 10 year old

^b : Significant difference between 25 year old and 67 year old

Table 4. Normalized IEMG values for the lower limb muscles at 25, 50, and 75% MVC.

Age group	M. biceps femoris			M. rectus femoris		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%
10 year old	24.72 (9.14)	50.96 (9.66)	77.39 (10.48)	26.09 ^{a*} (7.76)	52.79 ^{a*} (9.03)	77.1 ^{a*} (7.61)
25 year old	22.81 (2.93)	47.94 (3.22)	73.87 (3.35)	16.59 (7.33)	42.46 (6.70)	68.25 (6.99)
67 year old	24.13 (3.51)	49.73 (3.38)	76.66 (4.77)	25.98 ^{b*} (5.14)	51.83 ^{b*} (5.99)	76.57 ^{b*} (6.54)

Mean (S.D.), * : $p < 0.05$

^a : Significant difference between 25 year old and 10 year old

^b : Significant difference between 25 year old and 67 year old

Fig. 1. The force-IEMG relationship in each muscle for each of 10 (○), 25 (◐), and 67 (●) year old groups. The force and IEMG were normalized by, dividing by the corresponding values at the maximum voluntary contraction.

Table 5. MPF (Hz) values for the upper limb muscles at 25, 50, 75, and 100% MVC.

Age group	M. biceps brachii				M. triceps brachii			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
10 year old	59.8** (20.94)	81.67 (27.79)	95.02** (23.29)	103.82** (22.12)	41.0** (10.69)	54.38 (16.15)	55.75** (12.15)	56.38** (15.01)
25 year old	87.96 (30.22)	110.03 (29.15)	116.98 (16.25)	128.57 (24.19)	57.11 (17.99)	62.37 (10.62)	71.12 (10.62)	74.12 (15.88)
67 year old	60.45 (18.54)	76.88** (13.11)	93.14** (20.33)	99.63** (19.99)	42.36 (10.91)	52.71 (12.22)	53.58** (8.87)	56.62** (13.45)

Mean (S.D.), * : $p < 0.05$

* : Significant difference between 25 year old and 10 year old

° : Significant difference between 25 year old and 67 year old

体脂肪量には差異が認められなかったこと、さらに25歳群の除脂肪体重が他群より有意に大きな値を示したことを考えると、25歳群の四肢筋の筋量は他群より多いものと推察される¹¹⁾。しかし、本研究では、肘関節および膝関節とも

に伸筋の除脂肪体重当りのMVCにおいて、25歳群は他群より有意に大きな値を示した。これらのことは、MVCの差異を単に筋量からだけでは説明できず、筋量以外の要因がMVCに影響を及ぼしていることを示唆するものである。

Table 6. MPF (Hz) values for the lower limb muscles at 25, 50, 75, and 100% MVC.

Age group	M. biceps femoris				M. rectus femoris			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
10 year old	52.54*** (18.19)	64.54*** (14.92)	72.18** (18.12)	70.99** (11.93)	41.79** (16.78)	50.44** (16.41)	52.87** (16.30)	53.27** (13.12)
25 year old	87.79 (17.14)	93.12 (18.36)	91.68 (12.33)	90.92 (18.68)	59.99 (15.76)	66.09 (14.32)	69.99 (15.59)	70.12 (17.55)
67 year old	54.15*** (17.11)	66.42** (15.66)	73.56** (17.99)	69.75** (16.87)	42.26** (12.35)	50.46 (14.78)	51.63** (12.36)	50.71** (14.07)

Mean (S.D.), * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

* : Significant difference between 25 year old and 10 year old

* : Significant difference between 25 year old and 67 year old

そこで、筋線維タイプおよび神経支配の影響について筋力と EMG の関係から検討を行った。

Lawrence と De Luca²⁴⁾は、相対的な筋力と IEMG の関係について、次のように報告している。すなわち、かれらは、一流パワーリフターの三角筋の筋力と IEMG の関係が日頃トレーニングをしていない人やピアニストおよび長距離水泳選手のそれと有意に異なると報告し、その一因として、パワーリフターの三角筋に占める fast twitch (FT) 線維面積の相対的割合が大きいことをあげている。また、岡田ら³²⁾は、成年を対象に本研究と同様の実験を行ったところ、筋力—IEMG 関係において、肘関節および膝関節ともに伸筋の方が屈筋よりも相対的 MVC に対する IEMG の増加が小さいことを報告し、筋の疲労実験およびこれまでの組織化学的知見から、屈筋と伸筋の筋力—IEMG 関係の相違は筋線維組成の差異が一因していると説明している。すなわち、size principle¹⁴⁾、fast・slow MUs の発火特性⁴⁶⁾および FT 線維と slow twitch (ST) 線維の活動電位の相違⁷⁾から、FT 線維活動が優位な伸筋の筋力—IEMG 関係を示すグラフは、屈筋のそれよりも下方に位置すると考察している。

これらのことから、相対値でみた筋力—IEMG 関係を検討することによって、筋線維組成および FT 線維活動が推測できる可能性が示唆される。

本研究では、Fig. 1 に示すように、25 歳群の

相対的 MVC 時の相対的 IEMG が 10 歳群および 67 歳群より小さくなる、すなわち 25 歳群の筋力—IEMG 関係を示すグラフが他群より下方に位置するという結果が得られた。

これは、25 歳群の四肢筋における FT 線維の面積およびその活動が、10 歳群および 67 歳群に比べ優勢であることを示唆するものと思われる。

筋線維組成の発育発達に関する先行研究によると、外側広筋では 6 歳の FT 線維および ST 線維組成の割合は成人と同様の値であり⁴⁾、身体の発育発達に伴って筋線維断面積が増加する¹⁾といわれている。また、筋線維の太さについて、1 歳児では ST 線維と FT 線維とも、その直径はほぼ同じであるが⁸⁾、16 歳から成人に至るまで ST 線維と FT 線維はともに肥大し⁴⁰⁾、成人では FT 線維が ST 線維より断面積が大きい²²⁾と報告されている。これらのことは、発育発達に伴う筋線維断面積の増加は FT 線維においてより著しいことを示唆している。さらに、10 歳群の児童は発達途中であり、25 歳群の成年に比べ、FT 線維の発達が不十分と考えられることから²¹⁾、児童の筋力発揮に及ぼす FT 線維活動の影響は、成年に比べ小さいことが推測される。

一方、加齢に伴う筋線維組成の変化については、Larsson²³⁾が、20 歳代から 80 歳代の人の外側広筋の筋線維組成および筋線維面積を調べた結果、FT 線維の筋線維に占める割合が加齢に

つれて低下し、20, 30 歳代では約 60%であったものが 60 歳をこえると約 40%以下になることを示している。同様な 60 歳以降の FT 線維が選択的に萎縮については数多く報告されている^{9,12,36,44)}。これらのことから、67 歳群の高齢者の筋線維は 25 歳群の成年より FT 線維の割合、特にそれが筋に占める断面積比が小さく、その結果、25 歳群に比べ筋力発揮における FT 線維活動の影響が小さいことが示唆される。

これらの先行研究から、発達・発達および加齢による筋線維、特に FT 線維の発達と萎縮に起因する FT 線維活動が筋力発揮に影響を及ぼしていることが推測される。そして、この考察は、本研究における筋力—IEMG 関係からの考察と一致するものであり、相対的な筋力と表面 IEMG の関係からの FT 線維活動の評価の可能性を支持するものと思われる。

以上の考察より、筋の発達のピークにある 25 歳群の方が、筋の発達途中にある 10 歳群ならびに筋の萎縮が起こっている 67 歳群に比べ、筋力発揮に及ぼす FT 線維活動の影響が大きいことが推察される。さらに、その影響は、組織化学的にみて屈筋よりも FT 線維の筋線維に占める割合が大である伸筋^{18,25)}において大きいことは明らかである。

本研究において、25 歳群の MPF は 10 歳群および 67 歳群よりも有意に大きな値を示した。この結果と、MPF は筋活動電位の伝導速度と正の相関関係を示し^{3,37,41)}、加齢によって筋線維の伝導速度は低下するという報告³¹⁾を考え合わせると、25 歳群の筋線維活動電位の伝導速度は他群よりも大きいことが推測される。

さらに、FT 線維を支配する F タイプの運動ニューロンにおける平均軸索伝導速度は S タイプに比べ有意に速い^{6,7)}と報告されていることを考慮すると、25 歳群の筋力発揮においては、他群に比べ FT 線維の活動がより優位であることが推測される。そして、この考察は筋力—IEMG 関係からの考察の中で述べたことと一致するものである。

以上のことから、児童、成年および高齢者の

四肢筋において、筋力—EMG 関係からみた、筋力発揮特性に差異がみられ、それは、筋線維の発達と萎縮に起因する筋力発揮時の FT 線維活動の相違が一因していると推察される。なお、本研究では被験者の年齢と測定時間を考慮し、実験を構成したために、筋力発揮時の MUs の動員やインパルス頻度、ならびに中枢神経系の活動について検討できる資料を得なかった。これらの点に関しては、今後の検討課題であると思われる。

ま と め

本研究では、男性の児童 10 名 (10 歳群) と成年 8 名 (25 歳群) および高齢者 7 名 (67 歳群) を対象として、四肢の屈筋と伸筋の筋力ならびに EMG 解析に基づいて、発達発達および加齢による筋力発揮特性の差異について検討した。すなわち、肘関節および膝関節の屈筋 (上腕二頭筋および大腿二頭筋) および伸筋 (上腕三頭筋および大腿直筋) の等尺性収縮における筋力と筋放電量の関係、ならびに Mean power frequency について分析し、以下のような結果を得た。

1) 筋力—IEMG 関係において、25 歳群の伸筋における IEMG はいずれの筋力レベルにおいても、10 歳群および 67 歳群のそれと比べ有意に小さな値を示した。

2) いずれの筋においても、25 歳群の Mean power frequency は 75% および 100% MVC で 10 歳群および 67 歳群のそれよりも有意に大きな値を示した。

以上のことから、筋力—EMG 関係からみた 25 歳群と 10 歳群および 67 歳群間の筋力発揮特性には差異がみられ、それは、筋力発揮時の FT 線維活動の相違が一因していると推察された。

付記：本研究は、昭和 61 年度文部省科学研究費 (課題番号 61780173) の補助を受けたものである。

文献 (References)

- 1) Aherne, W., Ayyar, D.R., Clarke, P.A. and Walton, J.N. (1971) Muscle fiber size in normal infants, children and adolescents, an autopsy study. *J. Neurol. Sci.* 14: 171-182.
- 2) 新井清三郎・上田礼子 (1982) 人間発達. 医歯薬出版: 東京, pp. 99-101.
- 3) Arendt-Nielsen, L. and Mills, K.R. (1985) The relationship between mean power frequency of the EMG spectrum and muscle fiber conduction velocity. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 60: 130-134.
- 4) Bell, R.D., MacDougall, J.D., Billeter, R. and Howald, H. (1980) Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal muscle in six year-old children. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12: 28-31.
- 5) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J.T. and Keys, A. (1963) Densitometric analysis of body composition, revision of some quantitative assumptions. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 110: 113-140.
- 6) Burke, R.E., Levine, D.N., Tsairis, P. and Zajac, F.E. (1973) Physiological types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius. *J. Physiol.* 234: 723-748.
- 7) Burke, R.E. (1981) Motor units: Anatomy, physiology, and functional organization. In: Brooks, V.B. (Ed.) *Handbook of Physiology, The Nervous System, Motor Control.* 1(2). Am. Physiol. Soc. Bethesda, M.D., pp. 345-422.
- 8) Colling-Saltin, A.S. (1978) Enzyme histochemistry on skeletal of the human fetus. *J. Neurol. Sci.* 39: 169-185.
- 9) Essen-Gustavsson, B. and Borges, O. (1986) Histochemical and metabolic characteristics of human skeletal muscle in relation to age. *Acta Physiol. Scand.* 126: 107-114.
- 10) 福永哲夫 (1988) 筋力測定の意義. *保健の科学* 30: 360-365.
- 11) 福永哲夫・金久博昭 (1990) 日本人の体肢組成. 朝倉書店: 東京, pp. 58-75.
- 12) Grimby, G., Danneskiold-Samsoe, B., Hvid, K. and Saltin, B. (1982) Morphology and enzymatic capacity in arm and leg muscles in 73-81 year old men and women. *Acta Physiol. Scand.* 115: 125-134.
- 13) Grimby, G. and Saltin, B. (1983) The ageing muscle: A mini-review. *Clin. Physiol. Oxf.* 3: 209-218.
- 14) Henneman, E., Somjen, G. and Carpenter, D.C. (1965) Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J. Neurophysiol.* 28: 560-580.
- 15) 平川和文・岡田修一・神吉賢一・高田義弘・小田慶喜・家治川豊 (1990) 高齢者早期登山者の体力. *デサントスポーツ科学* 11: 241-253.
- 16) 堀 浩 (1981) 筋電図の手引き. 南山堂: 東京, pp. 1-13.
- 17) 生田香明・栗原崇志・稲葉太一・山本隆久・中塘二三男・北園忠美 (1983) 男子勤労者の肘・膝の屈・伸筋力の特徴と運動習慣化の動機・要素. *体育科学* 11: 194-200.
- 18) Johnson, M.A., Polgar, J., Weightman, D. and Appleton, D. (1973) Data on the distribution of fiber types in thirty-six human muscles, an autopsy study. *J. Neurol. Sci.* 18: 111-129.
- 19) 金久博昭・福永哲夫・角田直也・池川繁樹 (1985) 発育期青少年の単位筋断面積当りの筋力. *体力科学* 34(Suppl.): 71-78.
- 20) 家治川豊・加納哲也・平川和文・岡田修一・小田慶喜・高田義弘 (1989) 高齢者に必要な体力要素の研究. *大阪ガスグループ福祉財団研究調査報告集* 2: 97-103.
- 21) 小林寛道 (1987) 運動生理学からみる高齢者と運動. *臨床スポーツ医学* 4: 1361-1366.
- 22) Larsson, L. and Karlsson, J. (1978) Isometric and dynamic endurance as a function of age and skeletal muscle characteristics. *Acta Physiol. Scand.* 104: 129-136.
- 23) Larsson, L. (1983) Histochemical characteristics of human skeletal muscle during aging. *Acta Physiol. Scand.* 117: 469-471.
- 24) Lawrence, J.H. and De Luca, C.J. (1983) Myoelectric signal versus force relationship in different human muscles. *J. Appl. Physiol.* 54: 1653-1659.
- 25) Lexell, J., Henriksson-Larsen, K., Winblad, B. and Sjoström, M. (1983) Distribution of different fiber types in human skeletal muscles, effects of aging studied in whole muscle cross sections. *Muscle Nerve* 6: 588-595.
- 26) Lexell, J., Taylor, C.C. and Sjoström, M. (1988) What is the cause of the ageing atrophy? *J. Neurol. Sci.* 84: 275-294.
- 27) 松浦義行 (1986) 体力の発達. 朝倉書店: 東京, pp. 68-122.
- 28) 文部省体育局 (1990) 平成元年度体力・運動能力調査報告書: 東京.
- 29) Nagamine, S. and Suzuki, S. (1964) Anthropometry and body composition of Japanese

- young men and women. *Human Biol.* 36: 8-15.
- 30) 長嶺晋吉・山川喜久江・磯部しず子・一之瀬幸男・鈴木慎次郎・大島寿美子・辻 啓介・辻 悦子 (1974) 小・中学生の体密度と体構成に関する研究. *栄養誌* 32: 247-252.
 - 31) 西園秀嗣・穆 子彦・倉田 博・芝山秀太郎 (1991) 老化に伴う筋力低下が運動単位の収縮特性および筋伝導速度に及ぼす影響. *体力研究* 77: 98-104.
 - 32) 岡田修一・生田香明・黒田英三・栗原崇志・猪熊 真・川合 悟 (1986) 筋力と EMG 解析からみた屈筋と伸筋の特性の比較. *体育学研究* 31: 227-234.
 - 33) 岡田修一・生田香明・川合 悟・木下 博・黒田英三 (1987) 筋力と EMG 解析からみた発育期における瘦身児の筋収縮特性. *体育学研究* 32: 187-197.
 - 34) 小野三嗣 (1977) 骨折の昔と今との違い. *保健の科学* 19: 534-536.
 - 35) 小野三嗣 (1979) 子どもの常傷害とその防止. *愛育* 44: 36-39.
 - 36) Orlander, J., Kiessling, K.-H., Larsson, L., Karlsson, J. and Aniansson, A. (1978) Skeletal muscle metabolism and ultrastructure in relation to age in sedentary men. *Acta Physiol. Scand.* 104: 249-261.
 - 37) Sadoyama, T., Masuda, T. and Miyano, H. (1983) Relationship between muscle fiber conduction velocity and frequency parameters of surface EMG during sustained contraction. *Eur. J. Appl. Physiol.* 51: 247-256.
 - 38) 斉藤 進・塚原 進 (1987) からだの揺らぎと高齢化社会. バイオメカニズム学会編, 人間機能のバイオメカニズム, 工業調査会: 東京, pp. 51-64.
 - 39) 酒井敏夫, 小林敬三 (1984) 総合的筋力. からだの科学 115: 43-48.
 - 40) Saltin, B., Henriksson, J., Nygaard, E. and Andersen, P. (1977) Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 30: 3-29.
 - 41) Stulen, F.B. and De Luca, C.J. (1981) Frequency parameters of the myoelectric signals a measure of muscle conduction velocity. *I.E.E.E. Trans. Biomed. Eng. B.M.E.* 28: 515-523.
 - 42) 体力づくり国民会議事務局・総務庁青少年対策本部編 (1990) 国民の健康・体力づくりの現況. 大蔵省印刷局: 東京, pp. 44-75.
 - 43) 高石昌弘・樋口 満・小島武次 (1985) からだの発達. 大修館書店: 東京, pp. 17-366.
 - 44) Tomonaga, M. (1977) Histochemical and ultrastructural changes in senile human skeletal muscle. *J. Am. Geriatr. Soc.* 25: 125-131.
 - 45) 辻 博明 (1990) 老いを防ぐための運動. *体育の科学* 40: 204-207.
 - 46) Warmolts, J.R. and Engel, W.K. (1972) Openbiopsy electromyography, I. Correlation of motor unit behavior with histochemical muscle fiber type in human limb muscle. *Arch. Neurol.* 27: 512-517.
 - 47) Walter, R.F., Virginia, A.H., Karyn, J.L. and William, J.E. (1991) A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J. Appl. Physiol.* 71: 644-650.
 - 48) 矢部京之助 (1977) 人体筋出力の生理的限界と心理的限界. 杏林書院: 東京, pp. 20-30.
 - 49) Zipp, P. (1982) Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50: 41-54.

(平成 3 年 3 月 22 日受付)