

中高年齢者における高強度筋力 トレーニングの効果とその意義

京都大学 石原昭彦

(共同研究者) 同 田口貞善

Effects of Strength Conditioning on Skeletal Muscle Function in the Elderly

by

Akihiko Ishihara

Department of Natural Environment Sciences,

Faculty of Integrated Human Studies,

Kyoto University

Sadayoshi Taguchi

Graduate School of Human and Environmental

Studies, Kyoto University

ABSTRACT

Previous reports of exercise training in elderly men and women generally have observed only minimal skeletal muscle adaptations to training. To evaluate the possibility that this may have been due to an inadequate training intensity, we studied healthy untrained older women before and after they had trained by maximal isometric muscle contractions for the elbow flexors and extensors. A population sample of similar age served as the controls.

Increases in muscle strength of flexors and extensors following 8 week training were significant compared with the controls. We concluded that, given an adequate training stimulus, the skeletal muscles undergo adaptations to exercise training similar to those

observed in young people, and that increases in muscle strength of the elderly may be due to improvement of decreased function in the fast-twitch motor units, which occurs during aging.

要 旨

60歳代の女性に8週間にわたる最大努力での肘関節の等尺性筋力トレーニングを負荷して、発揮筋力の変化について検討した。トレーニング期間終了後、屈曲および伸展での等尺性最大筋力に増大が認められた。老化にともなう筋力の低下は、Fast-Twitch Type 運動単位の機能が選択的に低下することによるものと考えられている。したがって、本研究で用いたトレーニング強度は、筋力発揮に関与するFast-Twitch Type 運動単位の機能を回復するのに十分であったことから、トレーニングにより筋力の増大（すなわち、老化にともなう筋力低下の抑制）が認められたと推察される。

緒 言

骨格筋は、円筒状の単一細胞である筋線維が束をなすことによって構成されている。筋力は、これらの筋線維が神経からの指令を受けて収縮することにより生ずる。ヒトの筋線維は、生理学的特性に基づいて大きく2タイプに分類されている。1つは、大きな力を発揮できるType II（速筋）線維であり、もう1つは、持久的に働くType I（遅筋）線維である。したがって、運動強度の高い力仕事や瞬発的な動作には主として速筋線維が活動し、姿勢保持や歩行といった運動強度の低い動作には遅筋線維が活動する。

老化にともない骨格筋では、速筋線維の選択的な萎縮が生ずる^{4,8,13,15~19}。速筋線維の萎縮は、最大筋力の顕著な低下をもたらす。老化にともなう速筋線維の萎縮については、1) 速筋線維を支配す

る神経の変性による2次的な筋線維の萎縮、2) 速筋線維と神経の接合部（運動終板）の変性による筋線維の萎縮、3) 筋代謝能力の低下にともなう速筋線維の萎縮、4) 遺伝的因子による速筋線維の萎縮などが考えられている。

実験動物を用いた研究では、老化初期には速筋線維の萎縮は認められるが、支配神経の変性はみられないこと、一方、老化後期には速筋線維、遅筋線維とも萎縮が認められ、支配神経の変性も認められることが明らかにされている^{9~11}。すなわち、老化初期に認められる速筋線維の萎縮は、支配神経の変性によるものではなく、筋線維における代謝能力の低下ならびに運動終板の変性など、末梢での退行的変化によるものと考えられる。

老化初期にみられる速筋線維の萎縮が、末梢での退行的変化、とくに廃用性の萎縮であれば、速筋線維を積極的に参加・動員させる運動を負荷することにより、その低下した機能を回復できるものと考えられる。実際、老化初期の動物を用いたトレーニング実験では、老化にともなう速筋線維の萎縮を抑制できたと報告している¹²。

これまでのところ、高齢者を用いて高強度トレーニングを負荷した研究は少ない¹⁶。これは、負荷する運動強度の設定が困難なこと、高齢者の高強度トレーニングは危険であることなどによる。そこで本研究では、60歳代の女性を用いて、8週間にわたる最大努力での等尺性筋力トレーニングを負荷し、発揮筋力にどのような影響がみられるのかを検討した。

実験方法

実験には健康な30歳代の女性18名と60歳代

表1 各群の被験者数、年齢、身長、体重

		被験者数	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
30歳代	対照群	10	33.7±2.10	157.9±4.65	51.3±4.49
	運動群	8	33.8±1.85	159.6±4.31	53.8±4.90
60歳代	対照群	8	63.3±1.71	154.8±4.67	49.6±6.32
	運動群	7	63.1±1.55	153.0±5.62	49.4±6.61

平均±標準偏差

の女性 15 名を用いた。研究目的および内容を説明して実験に対する同意を得た後、等尺性筋収縮による最大筋力を測定し、その結果に基づいて、それぞれの年代を対照群と運動群に分けた。各グループの被験者数、年齢、身長、体重は表1のとおりである。

運動群には、肘関節において最大努力での等尺性屈曲および伸展トレーニングを8週間にわたり負荷した。1回のトレーニングとしては、3秒間の最大努力での随意収縮と7秒間の休息を屈曲動作で5回繰り返し、1分間の休息をはさんで、さらに3秒間の最大努力での随意収縮と7秒間の休息を伸展動作で5回繰り返し、これを1セットとして、セット間に5分間の休息をはさんで3セット行う方法を用いた。トレーニングは、毎日、午前と午後1回づつ行い、6日間続けて7日目に最大筋力を測定した。対照群については、運動群と同一の測定日に最大筋力を測定した。

結 果

図1, 図2に30歳代, 60歳代の等尺性屈曲時における最大筋力を示した。30歳代の運動群で

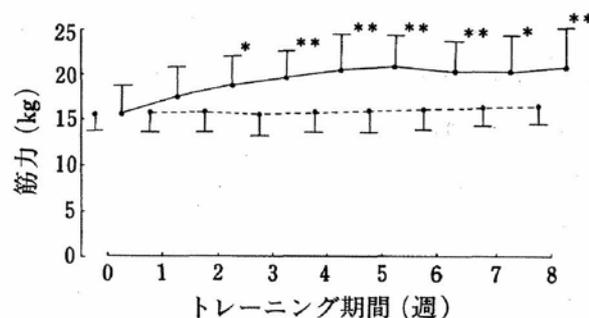


図1 30歳代の女性における等尺性屈曲時の最大筋力平均±標準偏差,は対照群, ——は運動群 *P< 0.05, **P< 0.01 (対照群に対して)

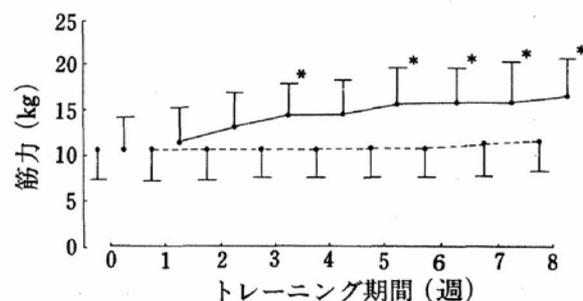


図2 60歳代の女性における等尺性屈曲時の最大筋力平均±標準偏差,は対照群, ——は運動群 *P< 0.05 (対照群に対して)

は、トレーニング開始2週目より最大筋力の有意な増大が認められ、この傾向はトレーニング期間

表2 運動群の等尺性筋力

		被験者数	トレーニング前	トレーニング中期	トレーニング後期
30歳代	屈曲時	8	15.8±2.90	20.5±3.85(29.7)	20.9±4.10(32.3)
	伸展時	8	8.5±1.99	11.1±2.09(30.6)	10.9±1.73(28.2)
60歳代	屈曲時	7	10.5±3.60	14.4±3.60(37.1)	16.2±4.34(54.3)
	伸展時	7	4.8±1.31	6.9±1.48(43.8)	7.1±1.56(47.9)

平均±標準偏差, 単位はkg

() 内にはトレーニング前に対する筋力の増加率をパーセントで示した。

終了時まで継続した。60歳代の運動群においても、トレーニング開始3週目より最大筋力の有意な増大が認められ、この傾向はトレーニング期間終了時まで継続した。8週間のトレーニングにおける筋力増加率は、30歳代で32.3%、60歳代で54.3%であった(表2)。

図3、図4に30歳代、60歳代の等尺性伸展時における最大筋力を示した。30歳代、60歳代の運動群では、いずれもトレーニング開始2週目より最大筋力の有意な増大が認められ、この傾向はトレーニング期間終了時まで継続した。8週間のトレーニングにおける筋力増加率は、30歳代で28.2%、60歳代で47.9%であった(表2)。

考 察

老化にともない骨格筋では、速筋線維の選択的な萎縮が認められる^{4,8,13,15-19}。速筋線維は、瞬発的

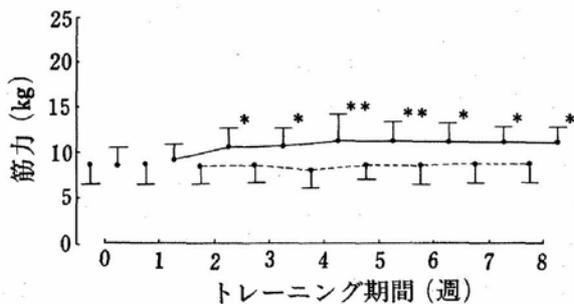


図3 30歳代の女性における等尺性伸展時の最大筋力平均±標準偏差、-----は対照群、——は運動群 *P<0.05, **P<0.01(対照群に対して)

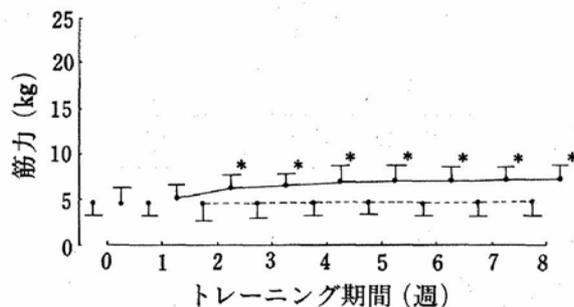


図4 60歳代の女性における等尺性伸展時の最大筋力平均±標準偏差、-----は対照群、——は運動群 *P<0.05(対照群に対して)

に大きな力を発揮する時に働くために、これらのタイプの筋線維が老化にともない萎縮していくと、最大筋力の低下が生ずる。実験動物を用いた研究では、老化初期に認められる速筋線維の萎縮は、支配神経の変性によるものではなく、末梢での退行的変化によるものと報告されている⁹⁻¹¹。

この時期には、筋線維における代謝能力の低下や運動終板の変性なども認められる。速筋線維の萎縮が、これらの筋線維を使用しないことによる廃用性の萎縮ならば、速筋線維を参加・動員するような高強度の運動によって、速筋線維の低下した機能を回復できると考えられる。そこで本研究では、筋持久力の低下は少ないが、最大筋力の低下が顕著に認められる60歳代の女性を用いて、高強度のトレーニングを負荷した^{7,22}。また、トレーニングとしては、最大努力での等尺性筋収縮を繰り返す方法を用いた。これは、被験者が絶えず随意的に最大筋力を発揮でき、速筋線維の積極的な参加・動員を可能にすることをねらいとしたものである。

60歳から70歳にかけては、遅筋線維の横断面積は成人と差異はみられないが、速筋線維では顕著な萎縮が認められると報告されている¹³。一方、70歳からは、速筋線維、遅筋線維ともに萎縮が認められると報告されている⁵。酸化系や解糖系の酵素活性にみられる代謝能力についてのトレーニングビリティは、75歳までは認められるとした報告がある²⁰。したがって、本研究で用いた60歳代の骨格筋では、速筋線維を活動させる能力の低下、すなわち、Fast-Twitch Type運動単位の機能が低下しているものと考えられ、それにより最大筋力の低下が認められると考えられる。

トレーニングによる筋力増大のメカニズムとしては、筋線維の肥大と神経性因子によるものが考えられる。筋力は筋横断面積に比例するために、トレーニングによって筋線維が肥大すれば、筋力は増大する。一方、筋力の発揮に参加する筋線維

数の増加や活動している筋線維の同期化などの効率の変化が、神経性因子のトレーニング効果として考えられる。

本研究では、60歳代の女性でも30歳代の女性と同様に、トレーニングによる最大筋力の増大が認められた。また、60歳代の女性の最大筋力は、8週間の等尺性屈曲トレーニングで、30歳代の女性の対照群の最大筋力を上回るまで回復した。8週間のトレーニング期間では、トレーニングの質・量からみて筋肥大は期待できないと考えられ、トレーニングによる筋力増大は、神経性因子の変化によるもの、筋での代謝能力の回復によるものが要因と考えられる。すなわち、老化にともない低下していたFast-Twitch Type運動単位の機能が、トレーニングによって改善されたと結論される。高齢者の高強度トレーニングは、筋機能の向上ではなく、老化にともなう筋機能の低下を抑制あるいは維持していくことが、その限界であると考えられる。

それでは、高齢者のトレーニングでは筋肥大は期待できないのであろうか。高齢者に運動強度の低い持久性トレーニングを負荷して、速筋線維、遅筋線維ともに肥大が認められたとする報告がある³⁾。マスターズ選手を用いた研究では、高強度トレーニングを積んだパワータイプの選手では、筋線維の萎縮は認められず、さらに最大筋力も同年齢の非運動者に対して顕著に大きいこと^{14,20)}、また、持久性トレーニングを行ってきた選手では、遅筋線維の肥大が認められること²⁾が報告されている。しかしながら、筋線維における老性萎縮の抑制は、トレーニングの開始時期・期間が問題になると考えられ、これについては今後の研究課題としたい。

総括

30歳代ならびに60歳代の女性を用いて、8週間にわたる最大努力での等尺性屈曲および伸展筋

力トレーニングを行った。屈曲筋力については、30歳代ではトレーニング開始2週目より増大が認められ、60歳代ではトレーニング開始3週目より増大が認められ、この傾向はトレーニング期間終了時まで継続した。伸展筋力については、30歳代、60歳代ともにトレーニング開始2週目より増大が認められ、この傾向はトレーニング期間終了時まで継続した。これらの結果から、高齢者において等尺性筋力トレーニングにより最大筋力の増大が認められたが、これは老化により低下したFast-Twitch Type運動単位の機能が回復したことによるものと示唆される。

謝辞

本研究に対して研究助成を頂いた石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝致します。また、本研究に御協力を頂いた三田洞老人クラブの皆様へ感謝致します。

文献

- 1) Charette, S. L., McEvoy, L., Pyka, G., Snow-Harter, C., Guido, D., Wiswell, R. A., Marcus, R.; Muscle hypertrophy response to resistance training in older women, *J. Appl. Physiol.*, **70**, 1912-1916 (1991)
- 2) Coggan, A. R., Spina, R. J., Rogers, M. A., King, D. S., Brown, M., Nemeth, P. M., Holloszy, J. O.; Histochemical and enzymatic characteristics of skeletal muscle in master athletes, *J. Appl. Physiol.*, **68**, 1896-1901 (1990)
- 3) Coggan, A. R., Spina, R. J., King, D. S., Rogers, M. A., Brown, M., Nemeth, P. M., Holloszy, J. O.; Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60-to 70-year old men and women, *J. Appl. Physiol.*, **72**, 1780-1786 (1992)
- 4) Coggan, A. R., Spina, R. J., King, D. S., Rogers, M. A., Brown, M., Nemeth, P. M., Holloszy, J. O.; Histochemical and enzymatic comparison of the gastrocnemius muscle of young and elderly men and women, *J. Gerontol.*, **47**, B 71-76 (1992)

- 5) Essén-Gustavsson, B., Borges, O.; Histochemical and metabolic characteristics of human skeletal muscle in relation to age, *Acta Physiol. Scand.*, **126**, 107-114 (1986)
- 6) Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P., Knuttgen, H. G., Evans, W. J.; Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function, *J. Appl. Physiol.*, **64**, 1038-1044 (1988)
- 7) Frontera, W. R., Hughes, V. A., Lutz, K. J., Evans, W. J.; A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-year-old men and women, *J. Appl. Physiol.*, **71**, 644-650 (1991)
- 8) Grimby, G., Danneskiold-Samsøe, B., Hvid, K., Saltin, B.; Morphology and enzymatic capacity in arm and leg muscles in 78-81 year old men and women, *Acta Physiol. Scand.*, **115**, 125-134 (1982)
- 9) Ishihara, A., Naitoh, H., Katsuta, S.; Effects of ageing on the total number of muscle fibers and motoneurons of the tibialis anterior and soleus muscles in the rat, *Brain Res.*, **435**, 355-358 (1987)
- 10) Ishihara, A.; Histochemical properties of intrafusal fibers in the soleus muscle of the aged rat, *Jpn. J. Physiol.*, **38**, 747-751 (1988)
- 11) Ishihara, A., Araki, H.; Effects of age on the number and histochemical properties of muscle fibers and motoneurons in the rat extensor digitorum longus muscle, *Mech. Ageing Dev.*, **45**, 213-221 (1988)
- 12) Ishihara, A., Taguchi, S.; Effect of exercise on age-related muscle atrophy, *Neurobiol. Aging*, accepted for publication.
- 13) Jakobsson, F., Borg, K., Edström, L.; Fibre-type composition, structure and cytoskeletal protein location of fibres in anterior tibial muscle. Comparison between young adults and physically active aged humans, *Acta Neuropathol.*, **80**, 459-468 (1990)
- 14) Klitgaard, H., Mantoni, M., Schiaffino, S., Ausoni, S., Gorza, L., Laurent-Winter, C., Schnohr, P., Saltin, B.; Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds, *Acta Physiol. Scand.*, **140**, 41-54 (1990)
- 15) Klitgaard, H., Zhou, M., Schiaffino, S., Betto, R., Salviati, G., Saltin, B.; Ageing alters the myosin heavy chain composition of single fibres from human skeletal muscle, *Acta Physiol. Scand.*, **140**, 55-62 (1990)
- 16) Larsson, L.; Histochemical characteristics of human skeletal muscle during aging, *Acta Physiol. Scand.*, **117**, 469-471 (1983)
- 17) Lexell, J., Henriksson-Larsén, K., Winblad, B., Sjöström, M.; Distribution of different fiber types in human skeletal muscles: effects of aging studied in whole muscle cross sections, *Muscle Nerve*, **6**, 588-595 (1983)
- 18) Lexell, J., Taylor, C. C., Sjöström, M.; What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men, *J. Neurol. Sci.*, **84**, 275-294 (1988)
- 19) Lexell, J., Taylor, C. C.; Variability in muscle fibre areas in whole human quadriceps muscle: effects of increasing age, *J. Anat.*, **174**, 239-249 (1991)
- 20) Örlander, J., Aniansson, A.; Effects of physical training on skeletal muscle metabolism and ultrastructure in 70- to 75-year-old men, *Acta Physiol. Scand.*, **109**, 149-154 (1980)
- 21) Sipilä, S., Viitasalo, J., Era, P., Suominen, H.; Muscle strength in male athletes aged 70-81 years and a population sample, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **63**, 399-403 (1991)
- 22) Vandervoort, A. A., McComas, A. J.; Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging, *J. Appl. Physiol.*, **61**, 361-367 (1986)