

## 総 説

## 高齢者の筋機能特性

## CHARACTERISTICS OF MUSCULAR FUNCTION IN OLDER PEOPLE

出村慎一<sup>\*1</sup>, 佐藤 進<sup>\*2</sup>Shinichi DEMURA <sup>\*1</sup>, Susumu SATO <sup>\*2</sup>

## Abstract

Muscular function in older people has been investigated in various fields, such as kinesiology, physiology, biochemistry, etc. This paper summarizes previous reports, examining the following points of muscular functional characteristics: functional decrease with aging, cause of muscular decrease, trainability of older people, and the importance of resistance training. Both the morphological and functional characteristics of muscular function in older people decrease with aging. However, it has been confirmed that muscular function can be improved by resistance training in older people. Although further research determining more useful training procedures is necessary, weight training, which can delay functional decrease with aging, is considered to be important.

**Keywords:** muscular function, aging, trainability, older people

筋機能, 加齢, トレーナビリティ, 高齢者

## 1. 筋機能の加齢変化

高齢者の筋力是一般に加齢に伴って低下することが、これまでの研究により明らかにされている<sup>1,5)</sup>。Larsson et al.<sup>2)</sup>の報告によれば、大腿四頭筋の筋力発揮能力は静的筋力(等尺性最大筋力)、動的筋力(等速性最大筋力)ともに20歳代まで増大し、その後40歳代までは概ね一定か若干の減少を示す(図1)。そして、50歳代から加齢に伴う筋力低下の割合が顕著になり、60歳代になると20歳代の筋力と比較して25から35%低下するとされている。また、Calmels et al.<sup>4)</sup>は、44歳から87歳までの女性106名の膝関節伸展・屈曲の等速性ピークトルクを測定した結果、60歳以降で有意な筋力の低下が認められたと報告している。日本人を対象に筋力の加齢変化を検討した日丸ほか<sup>6)</sup>の研究においても、握力、背筋力ともに20歳代前半で最高値を示した後、ゆるやかな漸減傾向にあり、50歳代以降から低下が大きくなること、握力の最高値に対する70歳の値と比較すると、男性では29%、女性では37%低下し、一

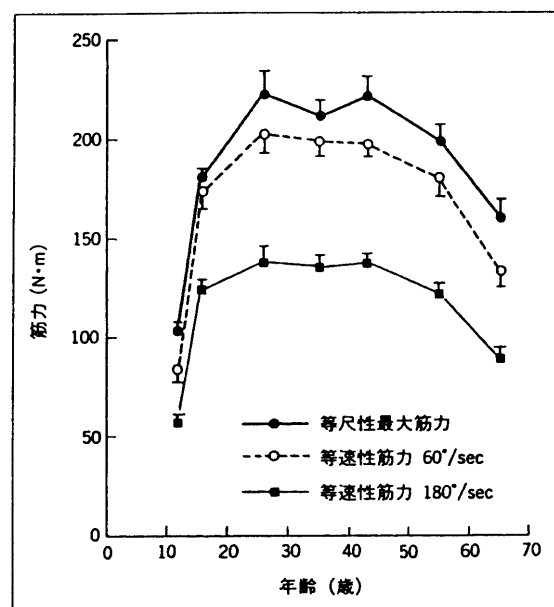


図1 年齢に伴う大腿四頭筋の筋力の変化 (Larsson et al.<sup>2)</sup>より抜粋)

\*1 金沢大学教育学部 教授 教育学博士

Kanazawa University, Faculty of Education, Professor, Dr.Ed.

\*2 金沢工業大学 助手 教育学修士

Kanazawa Institute of Technology, Assistant, M.Ed.

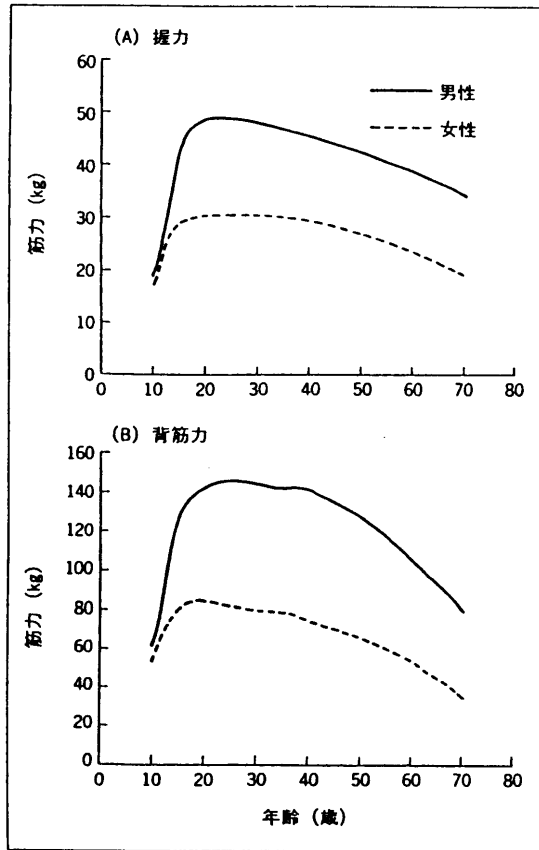


図2 年齢に伴う握力と背筋力の変化  
(日丸ほか<sup>6)</sup>より作図)

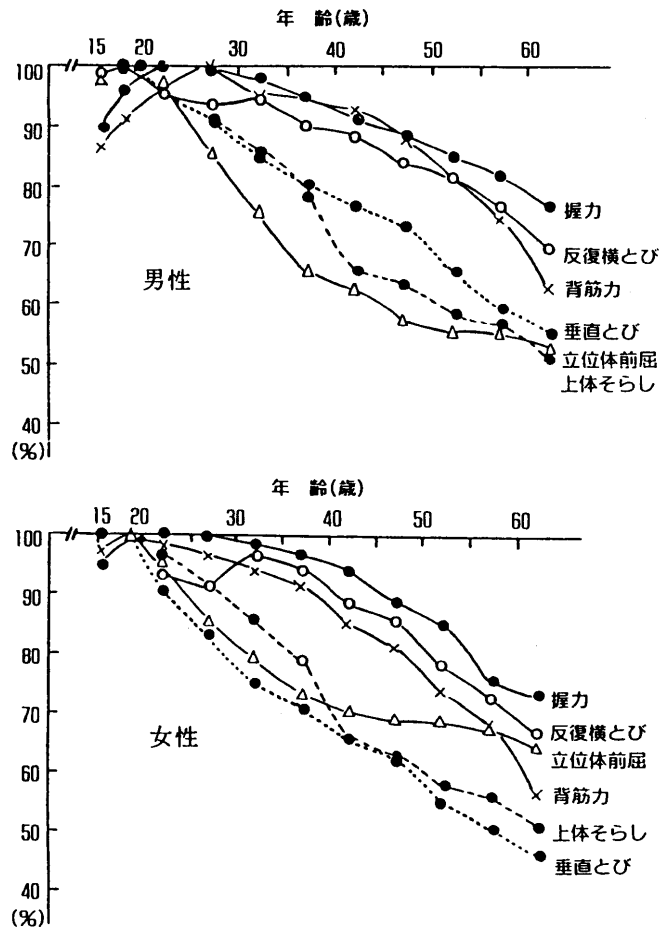


図3 体力テストの測定値の加齢による変化  
(小林と近藤<sup>7)</sup>より作図)

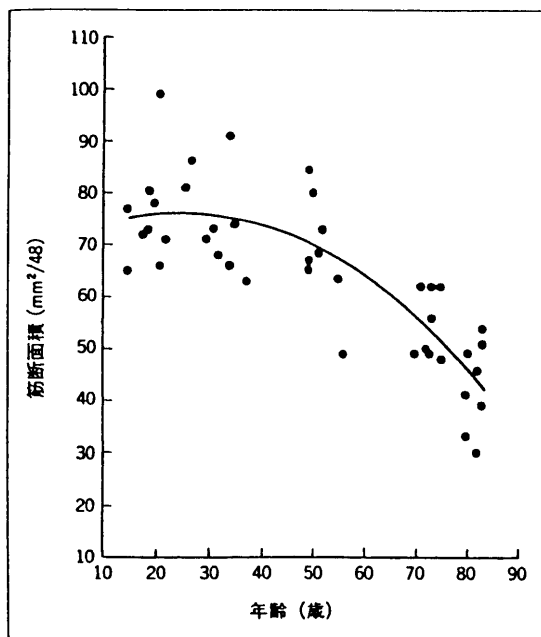


図4 加齢に伴う外側広筋の筋断面積の変化  
(Lexell et al<sup>11)</sup>より作図)

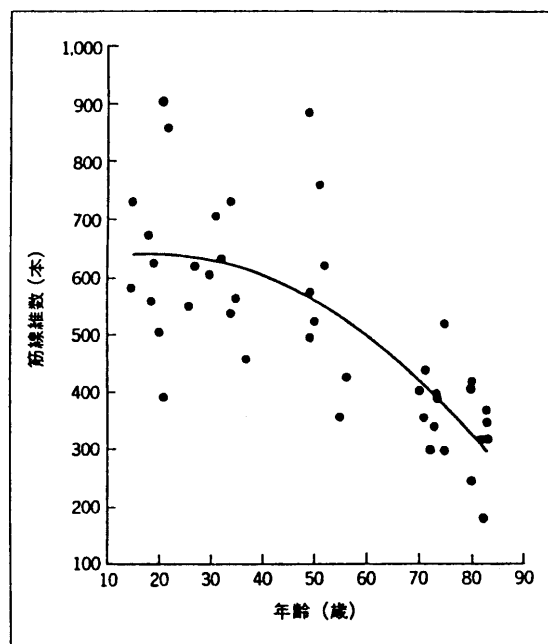


図5 加齢に伴う外側広筋の筋線維数の変化  
(Lexell et al<sup>11)</sup>より作図)

方、背筋力はそれぞれ 45%、57%低下していることが報告されている (図 2)。

文部省体力テストの結果を見ても (図 3)、握力の低下率は比較的小さいのに対し、垂直跳びや背筋力の低下率は大きく、特に女性でその傾向が強い (女性の 60 歳代では、垂直跳びの記録はピーク時の 50%以下)。

これらの報告では、外国人、日本人を問わず、筋力は 20 歳代をピークに加齢に伴う低下傾向にあり、60 歳以降にその低下傾向が顕著となる。また、性別や筋の部位、筋の種類の違いにより低下傾向が異なると考えられる。従来報告より、性による違いに関しては、加齢に伴う筋力の低下は男性より女性の方が顕著であるとする報告もあるが、これらの違いを性差と考えるか否かに関しては、見解が分かれ、筋の使用状況の違いによる影響も指摘されている<sup>9)</sup>。筋の部位による違いに関しては、握力の低下量が他の筋と比較して小さいことや、背部・腰部の筋力低下が顕著であること、筋の種類による違いに関しては、瞬間的に大きな筋力を発揮する能力の低下が顕著であることなどが指摘されており、これらには、日常生活における使用頻度の違いが大きく関与していると考えられる。

また、高齢者の筋力は加齢に伴って低下するが、重要なことは、加齢に伴って個人差が大きくなることである。文部省の体力テストの結果を見ても、各測定項目の標準偏差が加齢に伴って増大する傾向にある。このことは、高齢者に対して平均や標準といった概念を安易に導入することは危険を伴う場合があることを意味しており、十分に注意を払う必要があることを示唆している。

## 2. 高齢者における筋力低下の原因

筋力が低下する原因の一つとして筋量の減少が挙げられ<sup>9,10)</sup>、筋量の減少をもたらす主な要因は筋線維数の減少および筋線維萎縮と考えられている (図 4, 5)。Lexell et al.<sup>11)</sup>は加齢に伴う外側広筋の筋線維数や筋線維横断面積の減少を認め、筋量の減少が加齢に伴う筋力低下の主な原因の一つであると報告している。また、福永と金久<sup>12)</sup>は、筋断面積が 20 歳から 50 歳まで明らかな減少はなく、60 歳以降に著しく減少することを報告している。これらの筋断面積および筋線維数の加齢変化は筋力値のそれと類似していることから、筋量の減少が筋力低下の主な原因と考えられている。Young et al.<sup>9,10)</sup>は、70 歳と 20 歳の筋横断面積あたりの筋力には差がないことから、老化による筋力の低下は筋断面積の減少が原因の一つと述べている。加えて、70 歳代と 20 歳代男性を対象に行った膝関節伸展力と大腿四頭筋横断面積の関係の研究で、膝関節伸展力は 70 歳代が 20 歳代よりも 39%低下しているにも関わらず、大腿四頭筋横断面積は 25%の減少にすぎず、高齢者においては筋量より筋力の方が低下の程度が大きいことを示している。すなわち、加齢に伴い筋量に比較して筋力の方が先行して低下する可能性を示唆した。さらに、筋線維は加齢に伴って速筋線維の太さに顕著で選択的な萎縮が起きるが、遅筋線維は加齢の影響を余り受けないことが報告されている。これは、高齢者において速筋線維の関与が高い動作である垂直跳びなどの測定値の低下が顕著である原因の一つと考えられている。

また、筋力低下のもう一つの原因として、神経系機能の低下が考えられている。Moritani & Vries<sup>13)</sup>は 67 ~ 72 歳の高齢者に週 3 回の筋力トレーニングを 8 週間実

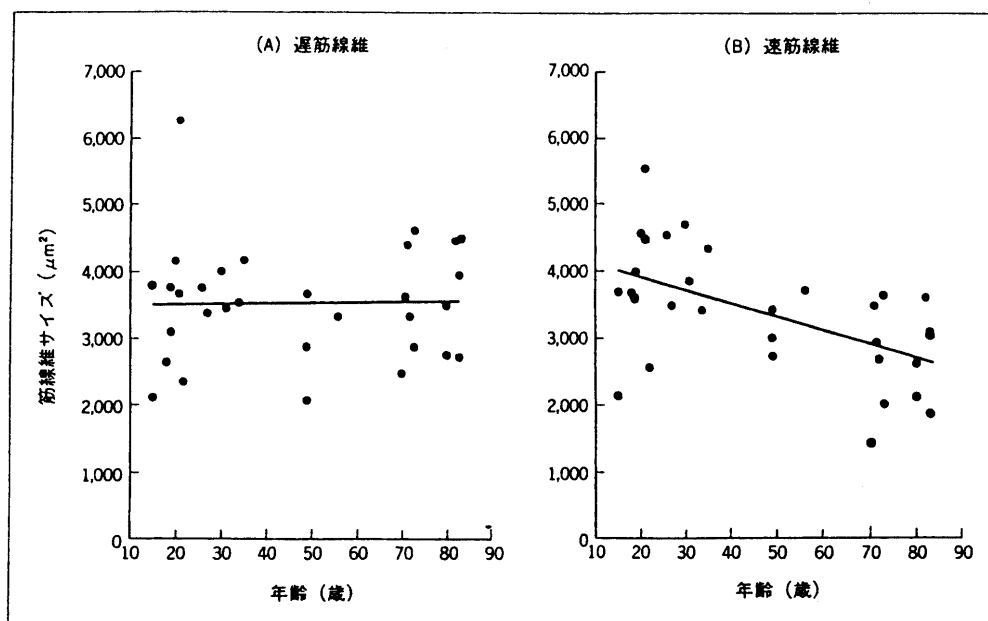


図 6 加齢に伴う外側広筋の遅筋および速筋線維サイズの変化 (Lexell et al.<sup>11)</sup>より作図)

施した結果、高齢者では 18 ～ 26 歳の若者に比較し、筋肥大よりも神経性因子の改善が筋力向上に大きく貢献したことを報告している。また、Brown<sup>14)</sup>は加齢とともに運動単位数が減少することを報告しており、このような神経系の変化が筋力発揮時の運動単位動員数の変化などに影響を与えると考えられる<sup>15)</sup>。

このように、高齢者では、速筋線維を支配する運動ニューロンが消滅し、主に速筋線維のより選択的な萎縮、消滅による筋線維数の減少が起こり、筋断面積を含めた筋量の減少がもたらされ、筋力が低下すると考えられる<sup>16)</sup> (図6)。

### 3. 高齢者のトレーナビリティー

運動機能の中でも筋力や筋持久力などの筋機能は日常生活における種々の動作遂行と深く関わりを持ち、これをある一定水準に維持したり、また高めたりすることは Successful Aging に大きく貢献すると考えられる。高齢者を対象とした筋力トレーニングの効果に関しては、健全な高齢者や障害を有する高齢者について、これまでも多くの報告がある<sup>17-22)</sup>。Grimby et al.<sup>23)</sup>は、78 から 84 歳 (平均年齢 81.3 ± 0.6 歳) の比較的活動性の高い男性高齢者 9 名を対象に週 2 ～ 3 回の筋力トレーニング (Cybex II および Kin-Com II を用いての異なる角速度 (30 および 180deg/s) による脚伸展トレーニング) を 25 セッション (56 ～ 77 日: 約 9 週間) を施した。トレーニング前後で比較した結果、大腿四頭筋の筋断面積が 3% 有意に増加し (筋繊維断面積には変化なし)、短縮性脚伸展力に 10%、伸張性脚筋力に 13 ～ 19% の有意な増加が認められたこと、および、連続 50 回の短縮性筋収縮に関して、筋持久力も向上したことを報告し、活動的な高齢者であっても、筋力トレーニングにおける筋機能の改善が認められることを示唆している。また、Fiatarone et al.<sup>24)</sup>は、86 ～ 96 歳という非常に高齢の男女を対象に、週 3 日の筋力トレーニング (80%1RM の重量の挙上・降下を 8 回 × 1 セット × 3 回/日) を 8 週間施した結果、大腿四頭筋断面積が 14.5% の有意な増加を示し、脚伸展に関する 1RM の値が 174% に増加したことを報告している。この他にも、80 歳以上の高齢者を被験者にした筋力トレーニング効果に関する結果が報告されている<sup>19,25-27)</sup>。

これらの研究では、高齢者でも定期的な筋力トレーニングによって筋力の発達が期待でき筋肥大も生じること、その際、若年者と同様に筋線維には速筋線維の選択的肥大が生じることが報告されている。トレーニング効果は負荷、頻度、期間に依存するが、Fiatarone et al.<sup>24)</sup>のような高強度のトレーニング負荷を用いるよりも中程度の強度の負荷を用いる方がトレーニング効果が高いとする Tsutsumi et al.<sup>28)</sup>の報告もあり、中高齢者

の場合にトレーニング条件の違いがトレーニング効果に及ぼす影響についてはまだ明らかにされていない。

また、山崎<sup>29)</sup>は高齢心筋梗塞患者の下肢筋力と筋力トレーニングについて検討し、以下の 3 点を報告している。①回復期心筋梗塞患者の膝伸展筋力および歩行障害の出現状況について調査した結果、高齢心筋梗塞患者の下肢筋力低下は著しく、特に高齢女性の膝伸展筋力は歩行能力を低下させる水準にあった。②高齢心筋梗塞患者に対する下肢筋力トレーニングを併用した運動療法は、運動療法を実施しない場合に比較し、筋力増強、歩行スピードの改善、運動耐用能の改善を図る上で有効であった。③下肢筋力増強は特に歩行スピード、最大作業能力の改善に寄与していた。そして、以上のことから高齢心筋梗塞患者の運動療法には筋力トレーニングを併用すべきであると述べている。

これらの報告は健常者、障害者を問わず、適度な筋力トレーニングを定期的実施することにより、筋機能の向上が期待できることを示唆しており、個々人に適した条件 (負荷、頻度、期間) での筋力トレーニングや適度な運動の実施が推奨される。

### 4. 高齢者における筋力トレーニングの重要性

高齢化社会が急速に進行している我が国では、高齢者が日常生活において自立しているか否か、また高い QOL を維持しているか否かは、単に高齢者本人の問題にとどまらず、家族や地域社会にも影響を及ぼす。高齢者の場合、まず第一に普段の日常生活における基本的な動作を安全に遂行できる能力の有無が重要視される。基本的な日常動作の成就にも少なからず筋力が関与する。特に、下肢の筋力の低下は、移動能力に直接的に影響し、日常生活の自立度や行動範囲、QOL の維持とも密接な関わりを持つと考えられる。したがって、筋力トレーニングまたは運動を定期的・継続的に実施し、筋力の低下を遅延させることが重要である。

また、高齢者にとって特に重要視すべき問題として、骨量の減少に伴う骨の脆弱化と、身体諸機能の低下に伴う転倒の危険性の増大があげられる。骨量の減少は転倒時の骨折を誘発しやすく、下肢の骨折は、さらに寝たきり状態やそれに伴う二次障害をも誘発する。転倒を誘発する要因としては、平衡機能や反応速度、巧緻性の低下が挙げられるが、筋力 (特に脚筋力) の低下もその重要な要因の一つとされている<sup>30,31)</sup>。

これまでに、定期的な運動と骨量の維持・増加作用との間には関連があることが報告されている<sup>32,33)</sup>。宮元ほか<sup>34)</sup>は、64 - 78 歳の女性高齢者において、4 年間にわたるゲートボールの継続的な実施は骨密度の減少を抑制させる効果があることを明らかにし、低強度の身体活動の継続的な実施が高齢女性の骨折予防に重要

な役割を示すと述べている。これまでの報告では、骨密度の維持・増加に対する運動効果は運動強度の違いにより異なるが、骨密度が増加を示した報告では筋力の向上が認められている。筋力トレーニングの効果に関して、Menkes et al.<sup>35)</sup>は、50 - 70歳の男性を対象に週3回のウェイトトレーニングを16週間施した結果、腰椎の骨密度に有意な増加が認められたことを報告している。McCartney et al.<sup>36)</sup>は60歳代および70歳代の高齢者を対象に、またRyan et al.<sup>37)</sup>は閉経後の高齢女性を対象に、それぞれ筋力トレーニングが骨量に及ぼす影響を検討し、いずれも有意な増加は認められなかったものの、筋力トレーニングが骨量維持に有効であると述べている。Layne & Nelson<sup>38)</sup>も身体活動、とりわけ筋力トレーニングが骨量の維持・増加に有効かつ重要であると報告している。

このように、転倒やそれによる骨折を予防する意味でも、定期的な筋力トレーニングや運動を継続的に実施し、筋力の低下を遅延させること、あるいは維持・向上させることが重要である。しかし、高齢者を対象とした筋力トレーニングの実施は、若年者と比較して危険性が高い。したがって、個人々人に対して適切なトレーニング条件（負荷、頻度、期間）を設定することが不可欠である。最近の研究において、危険性の高い高強度の運動ではなく、低強度の筋力トレーニングや有酸素運動でもトレーニング条件の与え方によっては、大きな効果（筋機能の向上、骨量の維持・増加など）が認められたことや、筋力トレーニングにより神経機能を改善させることが筋機能の向上により重要であることなどが報告されており<sup>39)</sup>、今後、高齢者を対象としたトレーニング条件とその効果の関係についてさらなる検討が期待される。

これまで、高齢者の筋機能に関して種々の観点から研究がなされ、加齢変化の現状の理解・把握がなされてきた。今後は、これらの体力科学的な研究成果をより積極的に健康の維持・増進へと結びつけた形での利用や、老年医学的研究と結びつけた形での利用が期待される。高齢者の場合、特に、個人のQOLの認識の違いにより必要とされる身体的機能の重要度も異なるため一概には設定できないが、高齢者が高いQOLを維持しながら日常生活を営むのに必要とされる機能水準を提示し、それらを評価するシステムを確立することは有意義と考えられる。この問題に関しては筋機能についてのみではなく、身体諸機能についても同様であり、今後の研究が期待される。

#### 文献

- 1) Larsson, L. Morphological and functional characteristics of aging skeletal muscle in man. *Acta. Physiol. Scand. Suppl.* (1978), 457, 1-36
- 2) Larsson L, et al. Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. *J. Appl. Physiol.* (1979), 46, 451-456.
- 3) Stanley, S. N. and Taylor, N. A. Isokinematic muscle mechanics in four groups of women on increasing age. *Eur. J. Appl. Physiol.* (1993), 66, 178-184.
- 4) Calmels, P., Vico, L., Alexandre, C. and Minaire, P. Cross-sectional study of muscle strength and bone mineral density in a population of 106 women between the age of 44 and 87 years: relationship with age and menopause. *Eur. J. Appl. Physiol.* (1995), 70, 180-186.
- 5) Metter, E. J., Conwit, R., Tobin, J. and Fozard, J., L. Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J. Gerontol.* (1997), 52A, B267-B276.
- 6) 日丸哲也 (編) 健康・体力評価・基準値事典, ぎょうせい, 東京(1991).
- 7) 小林寛道、近藤孝晴. 高齢者の運動と体力, 朝倉書店, 東京(1992)
- 8) 山田茂、福永哲夫. 骨格筋 運動による機能と形態の変化. 東京, NAP, 1997.
- 9) Young A., Stokes M. and Crowe, M. Size and strength of the quadriceps muscles of old and young women. *Eur. J. Clin. Invest.* (1984), 14, 282-287.
- 10) Young A, Stokes M. and Crowe, M. The size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. *Clin. Physiol.* (1985), 5, 145-154.
- 11) Lexell, J., Taylor, C. C. and Sjiostrom, M. What is the cause of the aging 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.* (1988), 84, 275-294.
- 12) 福永哲夫、金久博昭. 日本人の体肢組成. 朝倉書店, 東京(1990).
- 13) Moritani T. and Vries H. A. Potential for gross muscle hypertrophy in older men. *J. Gerontol.* (1980), 35, 672-682.
- 14) Brown, W. F. Methods for estimating numbers of motor units in biceps-brachialis muscles and losses of motor units with aging. *Muscle Nerve* (1988), 11, 423-432.
- 15) 佐藤広徳、三浦朗、佐藤美紀子、佐藤陽彦、福場良之. 日本人成人男女 259 名における大腿部筋群横断面積と筋力の年齢変化について. *体力科学* (1999), 48-3, 353-364.
- 16) 三田勝己、赤滝久美. 筋収縮特性の加齢による変化. *総合リハ* (1999), 27-8, 741-746.
- 17) Larsson L. Physical training effects on muscle morphology

- in sedentary males at different ages. *Med. Sci. Sports Exerc.* (1982), 14, 203-206.
- 18) Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P., Nuttgen, H. G., Evans, W. J. Strength conditioning in older men: Skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J. Appl. Physiol.* (1988), 64, 1038-1044.
- 19) Charette S.L., McEvoy L., Pyka G., Snow-Harter C., Guide D., Wiswell R.A., Marcus R. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *J. Appl. Physiol.* (1991), 70, 1912-1916.
- 20) Roman W.J., Fleckenstein J, Stray-Gundersen J, Alway S.E., Peshock, R. Adaptations in the elbow flexors of elderly males after heavy-resistance training. *J. Appl. Physiol.* (1993), 74, 750-754.
- 21) Pyka G, Lindenderger E., Charette S., Marcus R. Muscle strength and fiber adaptations to a year-long resistance training program in elderly men and women. *J. Gerontology* (1994) M22-M27.
- 22) Evans, W. J. Exercise training guidelines for the elderly. *Med. Sci. Sports Exerc.* (1999), 31, 12-17.
- 23) Grimby G., Aniansson A., Hedberg M., Henning G., B., Grangard U. and Kvist H. Training can improve muscle strength and endurance in 78- to 84-yr-old men. *J. Appl. Physiol.* (1992), 73-6, 2517-2523.
- 24) Firatarone M. A., Marks E.C., Ryan N.D., Meredith C.N., Lipsitz, L.A., Evans W.J. High-intensity strength training in nonage-narians. *JAMA* (1990), 263, 3029-3034.
- 25) Fiatarone, M. A., O'Neill, E. F., Ryan, N. D., Cle, emts, K. M., Solarres, G. R., Nelson, M E., Roberts, S. B., Kehayias, J. J., Lipsitz, L. A. and Evans, W. J. Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *New Engl. J. Med.* (1994), 330, 1769-1775.
- 26) Judge, J. O., Whipple, R. H., and Wolfson, L. I. Effects of resistive and balance exercises on isokinetic strength in older persons. *J. Am. Geriatr. Soc.* (1994), 42, 937-946.
- 27) Brill, P. A., Probst, J. C., Greenhouse, D. L., Schell, B., and Macera, C. A. Clinical feasibility of a free-weight strength-training program for older adults. *J. Am. Board, Fam. Pract.* (1988), 11, 445-451.
- 28) Tsutsumi, T., Don B. M., Zaichkowsky, L. D., Takenaka, K., Oka, K., and Ohno, T. Comparison of high and moderate intensity of strength training on mood and anxiety in older adults. *Percept. Mot. Skills* (1998), 87, 1003-1011.
- 29) 山崎裕司. 高齢心筋梗塞患者の下肢筋力と筋力トレーニング. *体力科学* (1999), 48-5, 559-568.
- 30) Tinetti, M. E., Baker, D. I., McAvay, G., Claus, E. B., Garrett, P., Gottschalk, M., Koch, M. L., Trainor, K., and Horwitz, R. I. A multifactorial intervention to reduce the risk of falling among elderly people living in the community. *N. Engl. J. Med.* (1994), 331, 821-827.
- 31) Astrand, P.O. Why exercise? *Adv. Exerc. Sports Physiol.* (1997), 3, 45-54.
- 32) Hatori, M., Hasegawa, A., Adachi, H., Shinozaki, A., Hayashi, R., Okano, H., Mizunuma, H., and Murata, K. The effects of walking at the anaerobic threshold level on vertebral bone loss in postmenopausal women. *Calcif. Tissue Int.* (1993), 52, 411-414.
- 33) Kohrt, W. M., Ehsani, A. A., and Birge, S. J. Jr. Effects of exercise involving predominantly either joint-reaction or ground-reaction forces on bone mineral density in older women. *J. Bone Miner. Res.* (1997), 12, 1253-1261.
- 34) 宮元章次、石河利寛、北村虎雄、押川紘一郎. ゲートボールの実施が高齢女性の骨密度に及ぼす影響. *体育学研究* (1999), 44, 493-499.
- 35) Menkes, A., Menzel, S., Redmond, R. A., Koffler, K., Libanati, C. R., Gundberg, C. M., Zizic, T. M., Hagberg, J. M., Pratley, R. E., Hurley, B. F. Strength training increases regional bone mineral density and bone remodeling in middle-aged and older men. *J. Appl. Physiol.* (1993), 74, 2478-2484.
- 36) McCartney, N., Hicks, A. L., Martin, J., and Webber, C. E. Long-term resistance training in the elderly: effects on dynamic strength, exercise capacity, muscle, and bone. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* (1995), 50, B97-104.
- 37) Ryan, A. S., Treuth, M. S., Hunter, G. R., and Elahi, D. Resistive training maintains bone mineral density in postmenopausal women. *Calcif. Tissue Int.* (1998), 62, 295-299.
- 38) Layne, J. E., and Nelson, M. E. The effects of progressive resistance training on bone density: a review. *Med Sci. Sports Exerc.* (1999), 31, 25-30.
- 39) Taaffe, D. R., Duret, C., Wheeler, S., and Marcus, R. Once-weekly resistance exercise improves muscle strength and neuromuscular performance in older adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* (1999), 47, 1208-1214.

## 連絡先

金沢大学教育学部

出村慎一

〒 920-1192 石川県金沢市角間町

TEL 076-264-5571 fax 076-234-4122

e-mail: demura@ed.kanazawa-u.ac.jp

(2000年5月13日受付, 2000年5月21日採用決定, 討論受付期限2001年5月末日)