

高齢者における日常生活での歩行数と踵骨強度および下腿筋厚との関係

石黒憲子¹⁾ 宮谷昌枝¹⁾ 金久博昭¹⁾
久野譜也^{2,3)} 福永哲夫⁴⁾

RELATIONSHIPS BETWEEN WALKING STEPS DURING DAILY LIFE AND
BOTH THE BONE INTENSITY OF CALCANEUS AND MUSCLE
THICKNESS OF THE LOWER LEG IN ELDERLY MEN AND WOMEN

NORIKO ISHIGURO, MASAE MIYATANI, HIROAKI KANEHISA, SHINYA KUNO and TETSUO FUKUNAGA

Abstract

Walking is the most basic movement in daily life, and is a popular exercise for elderly individuals to keep their health. However, it is not clear how walking is effective in keeping or increasing the muscle mass and bone intensity of the lower limbs. This study aimed to investigate the relationships between walking steps per day during daily life and either the muscle thickness values of lower leg anterior and posterior or the bone intensity of calcaneus. The subjects were 116 healthy men (n=31) and women (n=85) aged from 60 to 78 yrs. Walking steps per day were determined using a pedometer. Muscle thickness values at the lower leg anterior and posterior sites and the osteo sono assessment index (OSI) of calcaneus were determined using ultrasonographic apparatuses. In women, OSI correlated significantly with walking steps ($r=0.265$, $p<0.05$) and the product of walking steps and weight ($r=0.369$, $p<0.05$). In both genders, however, no significant correlations were found between walking steps and muscle thickness values at the two sites. The findings here suggest that increasing the number of walking steps during daily life will improve the intensity of calcaneus for elderly women, but is not effective for inducing hypertrophic change in the muscles located in the lower limbs for elderly individuals of both genders.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2003, 52 Suppl : 127~132)

key word : osteo sono assessment index, muscle thickness, ultrasonography

I. 緒 言

加齢に伴い、骨強度や筋量は低下する^{1~8)}。それを抑制する方法として様々な運動の効果が論じられており、なかでも、日常生活における基本的な動作である歩行は、高齢者の運動処方手段として広く受け入れられている^{9,10)}。しかしながら、これまでのところ、高齢者を対象にした測定結果として、日常生活における歩行数と下肢の

筋量および骨強度との関係を検討した例はみられない。

歩行動作における筋放電量を記録した研究^{11,12)}によると、遊脚期には大腿後部、立脚期初期には下腿前部、そして立脚期全体では下腿後部にそれぞれ位置する筋群が主に活動するといわれている。なかでも下腿前後部の筋は、大腿部のそれに比べ大きな筋放電量を示す。また、安部たち¹³⁾の報告によると、大腿前部を除く下肢筋群の筋厚

¹⁾ 東京大学大学院総合文化研究科生命環境科学系
〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1

²⁾ 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

³⁾ 筑波大学先端学際領域研究センター
〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

⁴⁾ 早稲田大学スポーツ科学部
〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2丁目579-15

Department of Life Sciences (Sports Sciences), University of Tokyo, Komaba 3-8-1, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505, Japan
Institute of Health and Sport Science, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba City, Ibaraki, 305-8574, Japan
Center for Tsukuba Advanced Research Alliance, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba City, Ibaraki, 305-8577, Japan
School of Sport Sciences, Waseda University, 2-579-15, Mikajima, Tokorozawa, Saitama, 359-1192, Japan

は歩行数との間に有意な相関関係にある。それゆえ、高齢者に対し、歩行が運動処方プログラムとして採用された場合、下肢筋群の筋量の維持あるいは増進に寄与することが予想される。しかし、安部たち¹³⁾の研究において対象になった被検者は30~50歳代の男性であり、高齢者にも同じことが当てはまるかどうかは不明である。

一方、骨形成は、骨にかかるメカニカルストレスに依存するといわれている^{14~16)}。その意味において、歩行動作においては、体重が下肢の骨形成に貢献するメカニカルストレスになると考えられる。しかし、その実際については一致した見解が得られていない。例えば、Krall and Dawson-Hughes¹⁷⁾によると、閉経後の女性では、週当たりの歩行距離として、1マイルよりも7.5マイルの方が脚や体幹の骨密度が高い。一方、同じく閉経後の女性に対し52週間にわたり歩行トレーニングを行った結果¹⁸⁾によると、トレーニングに伴う骨密度の増大は観察されていない。

そこで本研究では、60~78歳の男女を対象にした横断的な測定結果に基づき、一日当たりの歩行数と踵骨強度および下腿筋厚との関係について明らかにすることを目的とした。

Ⅱ. 方 法

1) 被検者

60~78歳の男性31名(年齢: 68.8 ± 3.9 歳)および女性85名(年齢: 68.3 ± 4.8 歳)が自主的に本測定に参加した。被検者の身体的特徴は表1に示した。被検者はいずれも自力で歩行が可能であり、事前のメディカルチェックにおいて、最大努力での筋力発揮あるいは歩行テストの実施が禁止されるような内科的・外科的な疾患を有している者も存在しなかった。また、被検者は、日常、農作業以外は筋力系あるいは持久系のトレーニングに類する特定の身体活動(1日当たり30分以上、週当たり2日以上)を実施していなかった。測定に先立ち、被検者に研究の内容、測定の安全性について説明し、研究参加の同意を得た。

2) 1日当たりの歩行数の測定

ライフコーダ(SUZUKEN Co, LTD., Japan)を用いて、1日当たりの歩行数を2週間にわたり記録した。ライフコーダによる記録値は、装着4日後からの1週間における1日当たりの平均値を歩行数として採用した。なお、筋厚および骨強度との相関分析に際しては、歩行数に加え、歩行数に体重を乗じた値(歩行数×体重、以下、体重負荷指標と略す)を、歩行によって下腿に与えられる負荷量の指標として用いた。

3) 筋厚の測定

Bモード超音波装置(エコーカメラ SSD-500型, Aloka Co. LTD., Japan)を用いて下腿前部および後部の筋厚を測定した。測定時の被検者の姿勢、筋厚の測定と分析の方法は、Abe et al.¹⁹⁾の報告において採用されているものと同一とした。すなわち、測定時の被検者の姿勢は安静立位であり、右脚の下腿長近位30%位置に相当する前脛骨筋上(下腿前部)および腓腹筋外側頭上(下腿後部)にて超音波画像を取得した。測定に際し、測定対象となる筋に緊張が生じないようにするために、被検者には安静立位をできるだけ保つよう注意した。また、超音波画像の撮像に当たっては、プローブに超音波ゼリー(エコーゼリー, Aloka Co. LTD., Japan)を塗布し、それを被検者の皮膚に対し直角に接触させた。その際、プローブの皮膚への圧迫による画像のゆがみが生じていないことを確認したうえで、超音波画像を撮像した。得られた超音波画像に基づき、皮下脂肪と筋および筋と脛骨の各境界線を結ぶ直線距離を筋厚として測定した。

4) 音響的骨評価値の測定

超音波骨評価装置(AOS-100, Aloka Co. LTD., Japan)を用い、先行研究²⁰⁾と同様の方法を用いて、安静座位における右足踵骨の音響的骨評価値を測定した。被検者の右踵骨に低周波超音波を放射し、通過した超音波の伝導速度から音速(m/s)を、超音波波形解析から透過指標を求めた。音速は踵骨の骨密度を、透過指標は骨量を反映しており、これらを用いて骨強度の総合的指標である音

Table 1. Physical characteristics of the subjects

Variables	Men (n=31)	Women (n=85)
Age (yrs)	68.7 ± 4.0	68.3 ± 4.8
Height (cm)	159.9 ± 6.4*	148.5 ± 6.3
Weight (kg)	57.8 ± 6.0*	51.4 ± 7.6
BMI (kg/m ²)	22.6 ± 2.1	23.3 ± 3.1
OSI (×10 ⁶)	2.6 ± 0.3*	2.3 ± 0.2
Steps (×10 ² /day)	62.6 ± 29.1	59.7 ± 25.1
Steps × weight (×10 ³)	360.5 ± 163.4*	306.3 ± 129.0
Muscle thickness (mm)		
Lower leg anterior	27.0 ± 2.9*	25.8 ± 2.6
Lower leg posterior	62.6 ± 5.2*	58.5 ± 4.5

Values are means ± SDs. *, significantly different from women ($p < 0.05$).

響的骨評価値 (Osteo sono assessment index ; OSI) を算出した。なお、本研究で用いた超音波骨評価装置の測定値の再現性および妥当性は、先行研究²¹⁻²⁴⁾において確認されている。

5) 統計

各測定値は平均値と標準偏差 (±SD) により示した。各測定値の平均値における男女差の統計的有意性は、対応のない t-テストにより検討した。また、歩行数および体重負荷指標と他の測定変数との相関分析は男女別に行った。いずれの場合も、有意水準は 5% とした。

Ⅲ. 結 果

表 1 に形態, OSI, 筋厚, および歩行数の測定結果を男女別に示した。年齢, BMI, および 1 日当たりの歩行数には、有意な男女差は認められなかった。しかし、身長, 体重, OSI, および下腿前・後部の筋厚は、いずれも男性が女性よりも有意 ($p < 0.05$) に高値であった。また、歩数は、女子においてのみ年齢との間に有意な負の相関関係 ($r = -0.266$, $p < 0.05$) が認められた。

体重負荷指標と両部位の筋厚との間には、男女ともに有意な相関関係は認められなかった。その結果は、体重負荷指標の代わりに歩数を用いても同じであった。一方、女性においてのみ、OSI は歩数 ($r = 0.265$, $p < 0.05$) および体重負荷指標 ($r = 0.369$, $p < 0.05$) との間に有意な相関関係

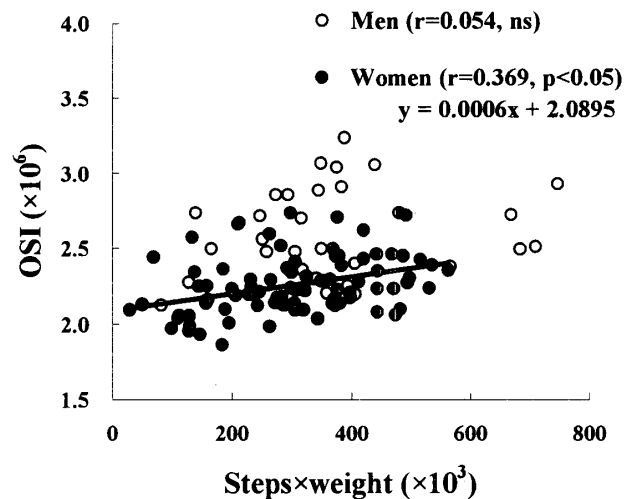


Fig. 1. Relationship between osteo sono assessment index (OSI) and the product of steps and weight. Solid line, regression line for old women.

を示した (図 1)。

Ⅳ. 考 察

本研究の結果において、1 日当たりの歩数には男女間で有意な差が認められなかった。一方、筋厚および OSI とともに男性が女性よりも有意に高い値を示した。女性は、若年齢層においても男性に比べ骨密度が低い²⁵⁾ うえ、閉経によってエストロゲンの分泌量が減少すると骨密度が急激に低下することが知られている²⁶⁾。本研究における OSI の男女差も、このような背景を反映したものであると考えられる。

本研究では、中年男性を対象にした安部たちの

報告¹³⁾と異なり, 男女とも歩行数と下腿前部および後部の筋厚との間に有意な相関関係は存在しなかった. 安部たち¹³⁾は体重で補正した筋厚を用いていることから, 本研究の被検者においても同様の補正を行い, 歩行数との関係を検討してみたが, やはり男女とも両変数間に有意な相関は認められなかった. Taaffe et al.²⁷⁾の報告によると, 筋断面積に対するレジスタンストレーニングの効果として, 高齢女性では低強度(最大挙上重量の40%相当)であっても高強度(最大挙上重量の80%相当)でのトレーニングと同程度の増大が認められた. また, Ericson et al.¹²⁾の研究によると, 歩行時の下腿の各筋における平均の筋放電量は, 随意最大収縮時のそれに対する比率でみると, 前脛骨筋が27%, 腓腹筋内側頭が42%, 腓腹筋外側頭が19%, ヒラメ筋が40%である. これらの知見を考慮に入れると, 高齢者の場合に, 歩行数の増大は少なくとも下腿後部の筋に肥大をもたらす運動刺激となり得ると考えられる. しかし, 本研究の結果は, その可能性を否定するものである. その原因として, 下腿筋群は日常生活において常に自身の体重が負荷となっているため, 他の部位に比べてトレーニングによる筋肥大の可能性が低いこと²⁸⁻³¹⁾, また, 歩行中の運動量はその歩行速度やストライドによる影響を受けるが, 加齢に伴いそれらが減少する³²⁾ため, 高齢者では歩行そのものが筋に与える負荷が小さくなること, などが予想される.

Kerr et al.³³⁾や Taaffe et al.²⁷⁾は, 高強度で低頻度と低強度で高頻度の各レジスタンストレーニングの効果を比較した場合, 骨強度は前者のプログラムでのみ増加したことを報告している. このような知見は, 骨強度を高めるうえで, 骨にストレスがかかる回数よりも, その負荷の大きさが重要となることを示唆するものといえる. そこで本研究では, 骨にかかるストレスの大きさの指標として, 体重に歩行数を乗じた値(体重負荷指標)を求め, それと OSI との関係について検討した(図1). しかし, 男性の場合, 体重負荷指標と OSI との間に有意な相関が認められなかった. 高齢男性ランナーを対象にした Wiswell et al.³⁴⁾の報告

によると, 走行距離の変化量と骨強度のそれとの間に有意な相関関係は存在しなかった. このような知見と本研究の結果を考え合わせると, 高齢男性の場合, 歩行あるいは走行の量的な増加は, 骨強度を高めるうえで有効に作用するものではないと予想される. しかしながら, 本研究で測定対象となった被検者の場合に, 測定値の変動係数は, 歩行数が男性46.5%, 女性42.0%, 体重負荷指標が男性45.5%, 女性42.1%, OSI が男性11.8%, 女性8.9%であり, 男女ともほぼ同様なものであるとはいえ, 被検者数は男女間で大きく異なる. それゆえ, サンプル数の違いが, 回帰分析の結果における男女間の差違をもたらしている可能性を否定できない. また, 男性後期高齢者においては, テストステロンやエストロゲンの分泌量が漸減するため加齢に伴い骨粗鬆症の危険度が増すとの指摘³⁵⁾もある. それゆえ, 本研究の被検者よりも高齢の男性の場合, 歩行数と OSI との間にどのような相関関係を示すかは, 検討の余地が残されている.

男性と異なり女性では, 歩行数および体重負荷指標と OSI との間に有意な相関関係が認められた. このことは, 高齢の女性では, 日常生活における歩行数の増大が骨強度の維持・増進に有効であることを示唆している. また, OSI との相関係数は, 歩行数($r=0.265$)よりも体重負荷指標($r=0.369$)の方が高いものであった. Nelson et al.³⁶⁾は, 閉経後の女性に対し高強度のレジスタンストレーニングを行った結果として, 腰椎, 大腿骨頭の骨密度が非トレーニング群に比べ有意に高い値を示したことを報告している. また, 高齢女性の場合に, 実施時間に加え歩行の強度を規定した歩行トレーニングを課すことにより, 骨強度が増加したという報告^{1,37)}も存在する. これらの知見と先に挙げた Kerr et al.³³⁾および Taaffe et al.²⁷⁾の結果を考え合わせると, 高齢女性では, 骨強度に改善効果をもたらすためには, 運動様式に関係なく運動強度が重要な要因になると考えられ, 歩行数そのものよりも体重負荷指標としてみた方が高い相関関係が得られたという結果は, その点を反映したものであると考えられる.

一方、本研究で示した歩行数と筋厚および骨強度との関係には、歩行数の測定値の妥当性に関連する問題点が含まれることについて言及する必要がある。すなわち、本研究で歩行数の計測に用いたライフコーダは、平地歩行運動に限れば再現性もよく、中高年齢者の運動療法の評価・運動教育に有用であるという報告³⁸⁾があるものの、一般に歩数計の精度は、歩行速度や身体動作の種類による影響を受ける³⁹⁾。また、歩行数には、歩容あるいは日常生活での各種の身体動作に関する情報が含まれておらず、本研究ではこれらの点が考慮されていない。高齢期における四肢の筋量および骨強度の維持・増進に歩行数の増加が果たす役割を明確にするためには、今後、上記のような問題点を踏まえた検討がさらに必要である。

V. 要 約

本研究では、60~78歳の男女を対象にした横断的な観察結果に基づき、一日当たりの歩行数と踵骨の音響的骨評価値および下腿筋厚との関係について検討した。その主な結果は以下の通りであった。

- 1) 女性においてのみ、音響的骨評価値と歩行数 ($r=0.265$, $p<0.05$) および歩行数と体重の積 ($r=0.369$, $p<0.05$) との間に有意な正の相関が認められた。
- 2) 歩行数と下腿の前部および後部より測定した筋厚との間には、男女ともに有意な関係は認められなかった。

以上の結果から、高齢者における日常生活での歩行数の増大は、女性にとって踵骨の骨強度の改善に有効ではあるものの、男女にかかわらず下腿の筋厚に対しては影響を及ぼさないことが示唆された。

本原著に用いた研究成果の一部は、平成11~16年度に実施される文部科学省科学技術振興調整費(代表村上和雄)により実施されたものである。ここに記して感謝する。

(受理日 平成15年2月14日)

文 献

- 1) Borkan GA, Hulth DE, Gerzof SG, Robbins AH, Silbert CK. Age changes in body composition revealed by computed tomography. *J. Gerontol.*, (1983), **38**, 673-677.
- 2) Cureton KJ, Collins MA, Hill DW, McElhannon FM Jr. Muscle hypertrophy in men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1988), **20**, 338-344.
- 3) Frontera WR, Hughes VA, Lutz KJ, Evans WJ. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J. Appl. Physiol.*, (1991), **71**, 644-650.
- 4) Gallagher D, Visser M, De Meersman RE, Sepulveda D, Baumgartner RN, Pierson RN, Harris T, Heymsfield SB. Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender, and ethnicity. *J. Appl. Physiol.*, (1997), **83**, 229-239.
- 5) Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J. Appl. Physiol.*, (2000), **89**, 81-88.
- 6) 金 憲経, 田中喜代次, 天貝 均, 鈴木隆雄. 身体組成の加齢に伴う推移: DXA 法による検討. *体育学研究*, (1999), **44**, 500-509.
Kim HS, Tanaka K, Amakai H, Suzuki T. Age-related changes of body composition by dual-energy X-ray absorptiometry in Japanese men and women. *Japan J. Phys. Educ.*, (1999), **44**, 500-509 (in Japanese).
- 7) Mazess RB. On aging bone loss. *Clin. Orthop.*, (1982), **165**, 239-252.
- 8) Murphy S, Khaw KT, Cassidy A, Compston JE. Sex hormones and bone mineral density in elderly men. *Bone Miner.*, (1993), **20**, 133-140.
- 9) Morris JN, Hardman AE. Walking to health. *Sports Med.*, (1997), **23**, 306-332.
- 10) Rippe JM, Ward A, Porcari JP, Freedson PS. Walking for health and fitness. *JAMA.*, (1988), **259**, 2720-2724.
- 11) Arsenault AB, Winter DA, Marteniuk RG. Is there a 'normal' profile of EMG activity in gait? *Med. Biol. Eng. Comput.*, (1986), **24**, 337-343.
- 12) Ericson MO, Nisell R, Ekholm J. Quantified electromyography of lower-limb muscles during level walking. *Scand. J. Rehabil. Med.*, (1986), **18**, 159-163.
- 13) 安部 孝, 川上泰雄, 福永哲夫. ベドメーター1万歩以上は血清 HDL コレステロールを改善するか. *日本体育学会大45回大会号*. (1994), 287.
- 14) Frost HM. Bone "mass" and the "mechanostat": a proposal. *Anat. Rec.*, (1987), **219**, 1-9.
- 15) Frost HM. Vital biomechanics: proposed general concepts for skeletal adaptations to mechanical usage. *Calcif. Tissue Int.*, (1988), **42**, 145-156.
- 16) Frost HM. Why do marathon runners have less

- bone than weight lifters? A vital-biomechanical view and explanation. *Bone*, (1997), **20**, 183-189.
- 17) Krall EA, Dawson-Hughes B. Walking is related to bone density and rates of bone loss. *Am. J. Med.*, (1994), **96**, 20-26.
 - 18) Cavanaugh DJ, Cann CE. Brisk walking does not stop bone loss in postmenopausal women. *Bone*, (1988), **9**, 201-204.
 - 19) Abe T, Kondo M, Kawakami Y, Fukunaga T. Prediction equations for body composition of Japanese adults by B-mode ultrasound. *Am. J. Human Biol.*, (1994), **6**, 161-170.
 - 20) Tanaka M, Kinukawa N, Akazawa K, Abe S, Itoh K, Imai K, Masuda T, Nakamura M. The available period and kind of exercise for increasing osteoporosis assessment index in women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1999), **31**, 1709-1713.
 - 21) Morii, H., S. M. Rowe, and S. S. Chung. Bone mineral in elderly people in Sangsa Village, Korea. *Chonnam J. Med. Sci.*, (1995), **8**, 146-155.
 - 22) 谷澤龍彦. 超音波骨評価装置 AOS-100 と DXA 法による踵骨, 腰椎測定値の検討. (1995), 第4回日本骨粗鬆症研究会抄録集. 105.
 - 23) Tokumaru H. Correlation of ultrasound measurement in the calcaneus and bone mineral density of the spine in pediatric subjects. *J. Lpn. Pediatr. Soc.*, (1997), **101**, 1142-1148.
 - 24) 呉 堅. 運動が骨密度に及ぼす影響. (1997), 東京大学大学院生命環境科学系学位論文.
 - 25) Hurley BF, Roth SM. Strength training in the elderly: effects on risk factors for age-related diseases. *Sports Med.*, (2000), **30**, 249-268.
 - 26) 石河利寛, 杉浦正輝共編著. 運動生理学. (1989), 441-442.
 - 27) Taaffe DR, Pruitt L, Pyka G, Guido D, Marcus R. Comparative effects of high- and low-intensity resistance training on thigh muscle strength, fiber area, and tissue composition in elderly women. *Clin. Physiol.*, (1996), **16**, 381-392.
 - 28) Abe T, DeHoyos DV, Pollock ML, Garzarella L. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (2000), **81**, 174-180.
 - 29) Brooke-Wavell K, Jones PR, Hardman AE. Brisk walking reduces calcaneal bone loss in post-menopausal women. *Clin. Sci. (Lond)*, (1997), **92**, 75-80.
 - 30) Kanehisa H, Fukunaga T. Profiles of musculoskeletal development in limbs of college Olympic weightlifters and wrestlers. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, (1999), **79**, 414-420.
 - 31) Wilmore JH. Alterations in strength, body composition and anthropometric measurements consequent to a 10-week weight training program. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1974), **6**, 133-138.
 - 32) Himann JE, Cunningham DA, Rechnitzer PA, Paterson DH. Age-related changes in speed of walking. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1988), **20**, 161-166.
 - 33) Kerr D, Morton A, Dick I, Prince R. Exercise effects on bone mass in postmenopausal women are site-specific and load-dependent. *J. Bone Miner. Res.*, (1996), **11**, 218-225.
 - 34) Wiswell RA, Hawkins SA, Dreyer HC, Jaque SV. Maintenance of BMD in older male runners is independent of changes in training volume or VO2 peak. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, (2002), **57**, M203-208.
 - 35) De Laet CE, van Hout BA, Burger H, Hofman A, Pols HA. Bone density and risk of hip fracture in men and women: cross sectional analysis. *BMJ.*, (1997), **315**, 221-225.
 - 36) Nelson ME, Fiatarone MA, Morganti CM, Trice I, Greenberg RA, Evans WJ. Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A randomized controlled trial. *JAMA.*, (1994), **272**, 1909-1914.
 - 37) Nelson ME, Fisher EC, Dilmanian FA, Dallal GE, Evans WJ. A 1-y walking program and increased dietary calcium in postmenopausal women: effects on bone. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1991), **53**, 1304-1311.
 - 38) 新実光朗, 横地正裕, 津下一代. 中高年者の運動療法に用いる歩数計の機能限界・使用限界の評価. *体力科学*. (1988), **6**, 928.
 - 39) 吉武 裕. 歩数計による身体活動量の評価. *日本臨床*, (2000), **58**, 179-183.