

表1 各変数の全例及び転倒恐怖感の有無による比較

変数	全例 (n=119)	転倒恐怖感	
		あり (n=61)	なし (n=58)
年齢 (歳)	75.7±7.2	76.6±6.8	74.8±7.0
性別 (女性, %)	60 (50.4)	40 (65.6)	20 (34.5)*
BMI (kg/m ²)	23.1±3.3	22.9±3.6	23.2±3.0
慢性疾患の既往歴有り (人数, %)	54 (45.4)	31 (50.8)	23 (39.7)*
3種類以上の服用有り (人数, %)	49 (41.2)	29 (47.5)	20 (34.5)
痛み有り (人数, %)	76 (63.9)	46 (75.4)	30 (51.7)*
転倒経験有り (人数, %)	40 (33.6)	29 (47.5)	11 (19.0)*
TUG (秒)	9.1±2.3	9.6±2.4	8.5±2.0*
開眼片足立ち保持時間 (秒)	33.3±23.8	28.8±22.8	40.0±23.5*
GDS (点)	3.6±3.2	4.0±3.4	3.4±2.9
IPAQ 推定カロリー (kcal/日)	411.9±479.4	317.8±357.3	475.9±544.3
LSA (点)	95.5±17.6	88.2±18.6	101.1±15.2*

数値は平均値±標準偏差または人数 (%)

対応のない t 検定及び χ^2 検定 *p<0.05

BMI=Body Mass Index

TUG=Timed Up and Go test

GDS=Geriatric Depression Scale

IPAQ=International Physical Activity Questionnaire

LSA=Life-Space Assessment

必要性・介助者の必要性を調査する評価指標である。生活空間は、1) 自宅内、2) 自宅敷地内、3) 自宅近隣、4) 町内 (概ね 16 km 以内)、5) 町外 (概ね 16 km 以上) の 5 段階における移動の有無を聴取した。頻度は、週 1 回未満、週 1~3 回、週 4~6 回、毎日の 4 段階評価を各生活空間で聴取した。各生活空間得点 (1~5 点) に頻度 (毎日: 4 点, 4~6 日: 3 点, 1~3 日: 2 点, 1 日未満: 1 点) と自立度の得点 (自立: 2 点, 物的介助あり: 1.5 点, 人的介助あり: 1 点) を乗じて各生活空間の得点を算出した後、それら得点の和を算出して LSA 得点とした。得点は 0~120 点となり、得点が高いほどより生活空間が広く自立して活動できていることを意味している。以上の質問紙票はすべて日本語版を用いた。なお、調査項目はすべて事前にトレーニングを受けたスタッフが行った。

統計解析は、転倒恐怖感の有無によりわけられた 2 群間の比較を、連続変数に対しては対応のない t 検定、カテゴリ変数には χ^2 検定を用いて検討した。これらの分析で有意な群間差を示した指標と転倒恐怖感の関連性を検討するために、多重ロジスティック回帰分析を行った。目的変数に転倒恐怖感の有無を、説明変数に有意な群間差を認めた項目に共変量として年齢、性別を加え、検討を行った。性別と「はい」と「いいえ」で表す名義尺度には女性と「はい」を 1、男性と「いいえ」を 0 のダミー変数で表した。また、転倒恐怖感の有無での LSA

の下位項目を細かく検討するために、各生活空間レベルへの移動頻度、補助具の有無、介助者の有無と転倒恐怖感の有無に χ^2 検定を行った。統計解析は SPSS for Windows 17.0 を用い、有意水準は 5% とした。

結 果

全対象者の特性及び転倒恐怖感の有無で分けた群ごとの特性を表 1 に示した。対象者のうち 61 名 (51.3%) が転倒恐怖感を有していた。なお、転倒恐怖感を有する対象者は、全員、日常生活に影響はないと回答した。

基本属性では、年齢と BMI は群間において有意な差はなかったが、性別では、なし群 (34.5%) に比べ、あり群 (65.6%) に有意に女性が多かった (p<0.05)。健康状態では、「3種類以上の服用あり」では、有意な差はなかったが「過去 1 カ月に痛みあり」と「慢性疾患の既往歴あり」が転倒恐怖感あり群に有意に多く存在した (p<0.05)。

TUG では、あり群 (9.6±2.4 秒) の方が、なし群 (8.5±2.0 秒) に比べ有意に遅く (p<0.05)、開眼片足立ち保持時間では、あり群 (28.8±22.8 秒) が、なし群 (40.0±23.5 秒) に比べ有意に短かった (p<0.05)。LSA では、あり群 (88.2±18.6 点) がなし群 (101.1±15.2 点) に比べ有意に低値を示した (p<0.05)。

単変量解析で有意な差を示した性別、「過去 1 年間の転倒経験」、「過去 1 カ月の痛み」、「慢性疾患の既往歴」、

表2 転倒恐怖感を従属変数とした多重ロジスティック回帰分析

独立変数	オッズ比	オッズ比の95%信頼区間	
		下限	上限
年齢(歳)	0.99	0.91	1.07
性別(女/男)	2.01	0.80	5.06
慢性疾患の既往歴(有/無)	0.69	0.26	1.83
痛み(有/無)	2.58	0.99	6.68
転倒経験(有/無)	0.60	0.22	1.66
TUG(秒)	1.06	0.79	1.40
開眼片足立ち保持時間(秒)	0.98	0.96	1.01
LSA(点)	0.96*	0.93	0.99

*p<0.05

TUG=Timed Up and Go test

LSA=Life-Space Assessment

TUG, 開眼片足立ち保持時間, LSA と年齢を独立変数として多重ロジスティック回帰分析の強制投入法を用いた結果を表2に示す. LSA (オッズ比: 0.96, 95% 信頼区間: 0.93~0.99 p=0.004) が転倒恐怖感の有無と独立して関連性を示し, 他の変数では有意な関連は示されなかった.

表3にLSAの下位項目の分布を転倒恐怖感の有無で, 群ごとに示した. LSAの町内の項目では, 転倒恐怖感あり群で, なし群に比べ, 有意に移動頻度が少なく, 補助具を必要とする者が多かった. 町外の項目では, あり群で, なし群に比べ, 有意に補助具, 介助者を必要とする者が多かった.

考 察

本研究では, IADLが自立した65歳以上の地域在住高齢者119名を対象とし転倒恐怖感の存在率及びその関連する要因を検討した. その結果, 転倒恐怖感の対象者の51.3%に存在し, その全員が転倒恐怖感は日常生活に支障はないと回答した. 転倒恐怖感の有無による群間比較では性別, 慢性疾患の既往歴の有無, 痛みの有無, 過去1年間の転倒経験の有無, TUG, 開眼片足立ち保持時間, LSAが有意な差および関連を示し, それらと年齢を独立変数とした多重ロジスティック回帰分析では, LSAのみが転倒恐怖感の有無と有意な関連性を示した.

転倒恐怖感に関する先行研究では, 転倒恐怖感の存在率は21%~85%と報告されているが, 存在率が85%を示す研究³⁾では, 対象者の取り込みがプライマリーケアを受診した者であり, 他の報告よりもより虚弱な高齢者が対象となったものと考えられる. その研究を除くと

表3 転倒恐怖感の有無におけるLSAの下位項目の分布

LSA 下位項目	転倒恐怖感	
	あり (n=61)	なし (n=58)
自宅近隣 頻度		
毎日	57	58
週4~6回	5	0
補助具(あり)	1	0
他者の助け(あり)	0	0
町内 頻度*		
毎日	29	48
週4~6回	12	7
週1~3回	17	3
週1回未満	3	0
補助具(あり)*	6	0
他者の助け(あり)	1	0
町外 頻度		
毎日	8	14
週4~6回	3	9
週1~3回	25	23
週1回未満	22	11
なし	4	1
補助具(あり)*	5	0
介助者(あり)*	9	2

数値は人数

すべての対象者が補助具, 介助者を必要とせず「自宅内」「自宅敷地内」に毎日移動しているため2項目を割愛

 χ^2 検定 *p<0.05

21%~60%である. 一方, 本研究では, IADLが自立している者に対象を絞ったにもかかわらず51.3%と地域在住高齢者全体を対象としたこれまでの報告と比べても同等の値であった.

これまでの報告では, 日常生活に影響のある転倒恐怖感は, 年齢や性別などの基本属性に加え過去の転倒経験⁴⁾⁵⁾, 健康状態⁶⁾⁷⁾歩行, バランス⁸⁾などの身体機能, さらに抑うつや不安⁹⁾¹⁰⁾などの心理的状态と関連があり, また, 転倒恐怖感を有する高齢者は, 有さない者に比べ, 将来の日常生活活動障害を引き起こしやすい¹¹⁾と報告されている. 本研究の結果も過去の研究と一部合致し, さらに生活空間については新たな関連が示された. IADLが自立している高齢者の転倒恐怖感, これまでの報告とは性質が異なるものと考えられる. さらにLSAの下位項目の分布から, 自宅の近所よりも広い範囲, つまり町内や町外に移動する頻度や, その際に補助具, 介助者が必要かどうかと転倒恐怖感が関連するということが示唆される.

生活空間の狭小化は, 高齢者の生理的予備能の低下を

示す事象であり、虚弱発生の独立した予測因子であると報告されてきた²⁰⁾。そのため、健康増進や身心機能、ADL障害予防のために生活空間の拡大が注目されている。地域在住高齢者を対象とした我々のこれまでの報告では、自宅の外に出る頻度が1週間に1回以下である者はADL障害を生じやすく、自宅の近所まで出かける頻度が1週間に1回以下である者はIADL障害を生じやすいことが明らかになった²¹⁾。また、地域在住高齢者の1年後のIADL障害はTUGとLSAの得点の組み合わせで予測できるという結果も示した²²⁾。このように生活空間の範囲は、将来のADL、IADL障害と密接な関係があり、生活空間の維持、拡大を目的とした介入の重要性が挙げられる。

なお、本研究での転倒恐怖感の聴取は、転倒恐怖感の有無を指標としており、過去の報告で指摘があるように²³⁾、転倒恐怖感が発生する機転やこういった場面で転倒恐怖感が生じているかなどの質的な情報は把握していない。今後、IADLが自立している高齢者に転倒恐怖感が生じた機転や普段こういった活動で転倒恐怖感を持つかなどの詳細な情報を聴取し、その構造を明らかにすることで、よりよい介入方法の立案に結びつくと考えられる。また、本研究で扱った指標は、転倒恐怖感に関連する社会的支援の有無や対象者の住宅環境、住宅周囲の状態などの外的要因²⁴⁾²⁵⁾を含んでおらずこれらの指標の影響については考慮できていない。

本研究では、IADLの保たれた高齢者の転倒恐怖感と生活空間の横断的な関係は明らかとなった。今後、縦断的な調査によって、この因果関係や関連の構造を明らかにし、ADL、IADL障害予防のための適切な介入方法の確立が望まれる。

文 献

- Legters K: Fear of falling. *Phys Ther* 2002; 82: 264-272.
- Tinetti ME, Richman D, Powell L: Falls efficacy as a measure of fear of falling. *J Gerontol* 1990; 45: 239-243.
- Scheffer AC, Schuurmans MJ, van Dijk N, van der Hoof T, de Rooij SE: Fear of falling: measurement strategy, prevalence, risk factors and consequences among older persons. *Age Ageing* 2008; 37: 19-24.
- Friedman SM, Munoz B, West SK, Rubin GS, Fried LP: Falls and fear of falling: which comes first? A longitudinal prediction model suggests strategies for primary and secondary prevention. *J Am Geriatr Soc* 2002; 50: 1329-1335.
- Delbaere K, Crombez G, Vanderstraeten G, Willems T, Cambier D: Fear-related avoidance of activities, falls and physical frailty. A prospective community-based cohort study. *Age Ageing* 2004; 33: 368-373.
- Fletcher PC, Hirdes JP: Restriction in activity associated with fear of falling among community-based seniors using home care services. *Age Ageing* 2004; 33: 273-279.
- Zijlstra GA, van Haastregt JC, van Eijk JT, van Rossum E, Stalenhoef PA, Kempen GI: Prevalence and correlates of fear of falling, and associated avoidance of activity in the general population of community-living older people. *Age and Aging* 2007; 36: 304-309.
- Rochat S, Büla CJ, Martin E, Seematter-Bagnoud L, Karmaniola A, Aminian K: What is the relationship between fear of falling and gait in well-functioning older persons aged 65 to 70 years? *Arch Phys Med Rehabil* 2010; 91: 879-884.
- van Haastregt JC, Zijlstra GA, van Rossum E, van Eijk JT, Kempen GI: Feelings of anxiety and symptoms of depression in community-living older persons who avoid activity for fear of falling. *Am J Geriatr Psychiatry* 2008; 16: 186-193.
- Cumming RG, Salkeld G, Thomas M, Szonyi G: Prospective study of the impact of fear of falling on activities of daily living, SF-36 scores, and nursing home admission. *J Gerontology A Biol Sci Med Sci* 2000; 55: 299-305.
- Deshpande N, Metter EJ, Lauretani F, Bandinelli S, Guralnik J, Ferrucci L: Activity restriction induced by fear of falling and objective and subjective measures of physical function: a prospective cohort study. *J Am Geriatr Soc* 2008; 56: 615-620.
- Murphy SL, Williams CS, Gill TM: Characteristics associated with fear of falling and activity restriction in community-living older persons. *J Am Geriatr Soc* 2002; 50: 516-520.
- Leveille SG, Jones RN, Kiely DK, Hausdorff JM, Shmerling RH, Guralnik JM, et al: Chronic musculoskeletal pain and the occurrence of falls in an older population. *JAMA* 2009; 25: 302 (20): 2214-2221.
- Robbins AS, Rubenstein LZ, Josephson KR, Schulman BL, Osterweil D, Fine G: Predictors of falls among elderly people. Results of two population-based studies. *Arch Intern Med* 1989; 149 (7): 1628-1633.
- Gibson MJ: Falls In later life, In: *Improving the Health of Older People; A world View*, Oxford University Press, New York, 1990, p296-315.
- Podsiadlo D, Richardson S: The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991; 39: 142-148.
- Yesavage JA: Geriatric Depression Scale. *Psychopharmacol Bull* 1988; 24: 709-711.
- 村瀬訓生, 勝村俊仁, 上田千穂子, 井上 茂, 下光輝一: 身体活動量の国際標準化—IPAQ日本語版の信頼性, 妥当性の評価—。厚生指標 2002; 49 (11): 1-9.
- Baker PS, Bodner EV, Allman RM: Measuring life-space mobility in community-dwelling older adults. *J Am Geriatr Soc* 2003; 51: 1610-1614.
- 島田裕之, 牧迫飛雄馬, 鈴川芽久美ほか: 地域在住高齢者の生活空間の拡大に影響を与える要因: 構造方程式モデリングによる検討. *理学療法学* 2009; 36: 370-376.
- Xue QL, Fried LP, Glass TA, Laffan A, Chaves PH: Life-space constriction, development of frailty, and the competing risk of mortality: the Women's Health And Aging

- Study I. *Am J Epidemiol* 2008; 167 (2): 240-248.
- 22) Shimada H, Ishizaki T, Kato M, Morimoto A, Tamate A, Uchiyama Y: How often and how far do frail elderly people need to go outdoors to maintain functional capacity. *Arch Gerontol Geriatr* 2010; 50: 140-162.
- 23) Shimada H, Sawyer P, Harada K, Kaneya S, Nihei K, Asakawa Y: Predictive validity of the classification schema for functional mobility tests in instrumental activities of daily living decline among older adults. *Arch Phys Med Rehabil* 2010; 91: 241-246.
- 24) 前場康介, 竹中晃二: 在宅高齢者における転倒自己効力感に影響を与える因子の検討. *日本老年医学会雑誌* 2010; 47: 323-328.
- 25) 上野めぐみ, 河合祥雄, 三野大来, 鴨下 博: 本邦における在宅高齢者の転倒関連因子についての Systematic Review: メタアナリシス手法を用いて. *老年医学会雑誌* 2006; 43: 92-101.
- 26) 鳥羽研二, 大河内二郎, 高橋 泰, 松林公蔵, 西永正典, 山田思鶴ほか: 転倒予測リスク予測のための「転倒スコア」の開発と妥当性の検証. *老年医学会雑誌* 2005; 42: 346-352.

Factors associated with fear of falling among community-dwelling elderly adults without reduced performance in instrumental activities of daily living

Toshihisa Oya¹⁾, Yasushi Uchiyama¹⁾, Hiroyuki Shimada²⁾, Hyuma Makizako²⁾³⁾, Takehiko Doi²⁾, Daisuke Yoshida²⁾⁴⁾, Kazuki Uemura¹⁾³⁾ and Takao Suzuki⁵⁾

Abstract

Aim: The purpose of this study was to examine factors related to fear of falling (FOF) in elderly adults who showed no reduced performance regarding independent instrumental activities of daily living (IADL).

Methods: A total of 119 elderly adults participated in the study (mean age, 75.7 ± 7.2 years, women, n = 60). We investigated the prevalence of FOF, anamnesis, medications, body pain, and history of falls, the Geriatric Depression Scale, International Physical Activity Questionnaire, Life-Space Assessment (LSA). The Timed Up and Go test (TUG) and one-legged standing time were measured to evaluate physical performance. Participants were divided into elderly adults with FOF (FOF group) and those without FOF (non-FOF group). The unpaired t-test or chi-square test was used for group comparisons. Multiple logistic regression analysis was then performed to examine the factors associated with FOF.

Results: The prevalence of FOF was 51.3% overall. The FOF group had a higher prevalence of anamnesis, body pain, and history of falls than the non-FOF group. The FOF group had lower LSA scores, longer durations on the TUG, and shorter durations on the one-legged standing test than the non-FOF group. On multiple logistic regression analysis, LSA (total score, 120 points) was significantly associated with FOF (odds ratio: 0.96, 95% confidence interval = 0.93-0.99).

Conclusion: Fear of falling was significantly associated with life space in community-dwelling elderly adults who showed no reduced performance regarding IADL. In future, it will be necessary to clarify any possible causal relationship by longitudinal investigations.

Key words: *Community-dwelling elderly, Fear of falling, Life space*
(*Nippon Ronen Igakkai Zasshi* 2012; 49: 457-462)

1) Department of Physical Therapy Program in Physical and Occupational Therapy, Nagoya University Graduate School of Health Science

2) Section for Health Promotion, Department of Health and Medical Care, Center for Development of Advanced Medicine for Dementia, National Center for Geriatrics and Gerontology

3) Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

4) Japan Foundation for Aging and Health

5) National Institute for Longevity Sciences, National Center for Geriatrics and Gerontology

ステップエルゴメーターのアイソキネティック運動におけるピークパワーと筋活動特性との関連

—表面筋電図周波数分析による検討—

*The Relationship between Peak Power of Isokinetic Exercise
on a Step Ergometer and Muscle Activity Characteristics
—Surface EMG Frequency Analysis—*

水本 淳¹⁾ 島田 裕之²⁾ 井平 光¹⁾
野村 知広¹⁾ 古名 丈人¹⁾ 鈴川 芽久美³⁾

ATSUSHI MIZUMOTO¹⁾, HIROYUKI SHIMADA²⁾, HIKARU IHIRA¹⁾,
TOMOHIRO NOMURA¹⁾, TAKETO FURUNA¹⁾, MEGUMI SUZUKAWA³⁾

¹⁾ Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University: -South 1 West 17, Chuoh-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-8556, Japan. TEL+81 11-611-2111 E-mail: a.mizumoto@sapmed.ac.jp

²⁾ Section for Health Promotion, Department of Health and Medical Care, Center for Development of Advanced Medicine for Dementia, National Center for Geriatrics and Gerontology

³⁾ Department of Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, University of Human Arts and Science

Rigakuryoho Kagaku 27(4): 411-415, 2012. Submitted Jan. 31, 2012. Accepted Mar. 2, 2012.

ABSTRACT: [Purpose] The aim of this study was to examine the relationship between peak power of the lower extremities during isokinetic movement on a step ergometer and muscle activity characteristics using EMG frequency analysis of community-dwelling elderly adults. [Methods] Twelve elderly women (mean age 78.3 years) were measured for muscle power on a step ergometer (60 and 90 steps / minute), and surface electromyograms (EMG) of the lower extremities. EMG data was wavelet transformed and MPF (Mean Power Frequency), LF / TP (Low Frequency per Total Power) and HF / TP (High Frequency per Total Power) were calculated. [Results] The muscle power at 60 steps / min showed a significant correlation with the LF / TP of the tibialis anterior. MPF of the vastus medialis and tibialis anterior at 90 steps / min were higher than at 60 steps / min. [Conclusion] We speculate that fast-twitch muscles activity at 90 steps / min increases, therefore we consider that high speed movement is useful for preventing the sarcopenia.

Key words: muscle power, wavelet transform, Biostep

要旨: [目的] Biostep のアイソキネティック運動時の筋パワーと筋活動特性との関連を調べ、速度条件による活動特性の違いを検討した。[対象と方法] 高齢女性 12 名に対し 60 steps / min と 90 steps / min 駆動時の筋パワーと表面筋電図を測定した。筋電図はウェーブレット変換を行った後、MPF、LF/TP、HF/TP を算出した。各変数の相関分析と、条件比較のため wilcoxon 検定を行った。[結果] 60 step の筋パワーと前脛骨筋の LF/TP の間に有意な正の相関を認めた。内側広筋、前脛骨筋の MPF、HF/TP が 90 step で有意に高かった。[結語] 90 step の運動において速筋線維の活動が増加することが推察され、加齢による速筋線維の萎縮に対して高速運動が有効であると考えられた。

キーワード: 筋パワー (筋仕事率), ウェーブレット変換, Biostep

¹⁾ 札幌医科大学大学院 保健医療学研究科:北海道札幌市中央区南1条西17丁目 (〒060-8556) TEL 011-611-2111

²⁾ 国立長寿医療研究センター 認知症先進医療開発センター 在宅医療・自立支援開発部 自立支援システム開発室

³⁾ 人間総合科学大学 保健医療学部 リハビリテーション学科

受付日 2012年1月31日 受理日 2012年3月2日

I. はじめに

加齢に伴う筋量の減少や筋力の低下はサルコペニアと呼ばれ、サルコペニアの臨床定義や診断基準を提案した European Working Group on Sarcopenia in Older People の報告では、サルコペニアを筋量の低下と筋機能（筋力やパフォーマンス）の低下により定義しており¹⁾、高齢期における筋機能の重要性が改めて注目されている。高齢者において筋力低下は日常生活活動（activity of daily living: ADL）能力の低下を引き起こす要因である。特に下肢の筋力低下は、立ち上がりや歩行、階段昇降など起居、移動を中心としたADL動作制限の原因となる^{2,3)}。加齢に伴う筋萎縮は、遅筋線維に比べ速筋線維の萎縮が著しく、特にtype IIa線維が選択的に萎縮することが報告されている^{4,5)}。また、加齢によって筋量の減少や筋線維の萎縮のみならず、等尺性運動時の筋力および等速性（アイソキネティック）運動時の筋パワーの低下が生じることが明らかにされている⁶⁾。筋力は力の発揮能力であり、筋パワーは瞬間的に筋力を発揮する能力（力×速さ）と定義されている⁷⁾。加齢により最大筋力だけではなく筋パワーも著明に低下し、とりわけ速筋線維に関連した高速度でのアイソキネティック運動時の筋パワーの低下が著しいといわれている^{8,9)}。筋パワーの低下は、筋力と比較してADL動作の遂行に重要であることが指摘されており^{10,11)}、加齢によるADL能力低下を予測して予防するためには、等速性運動機器による筋パワーの測定が重要であると考えられる。

以前、我々は地域高齢者の筋パワーを測定する手段として、ステップエルゴメーターを用いたアイソキネティック運動時の筋パワー評価法を提案した¹²⁾。その結果、アイソキネティックモード90 steps/minにおけるピークパワーが、最大努力下でのtimed up and go test (TUG)の時間との間に高い相関を認め、筋パワー評価法としての基準関連妥当性が示された。また、60 steps/minよりも90 steps/minのような高速度の運動の方が、TUGのような運動を速く遂行することが求められる課題に強く関係することが予想された。しかし、ステップエルゴメーター駆動のピークパワーに至る過程における、各筋の活動の違いは明らかではなく、速度の違いによる筋活動の変化についても不明であった。筋活動の評価指標である表面筋電図は、筋積分値の評価により運動単位の動員様式、インパルス発射頻度を反映した総合的な評価が可能であるが、動員された筋線維タイプの種類を推測することは困難である。筋電図周波数解析は、筋の質的評価として用いられており、周波数解析によって得られたパワースペクトルは筋活動に参加している運動単位の数や種類¹³⁾、インパルス発射頻度¹⁴⁾、同期化¹⁵⁾および筋線維伝導速度¹⁶⁾などを反映しているといわれており、定常信号波形の解析には時間領域から周波数領域へと変換す

る手法であるフーリエ変換が用いられている。一方、時間的に周波数が変動する非定常信号波形の解析には、フーリエ変換は用いることができず、アナライジングウェーブレットに対する伸縮・拡張、平行移動の操作の組み合わせにより、周波数と時間を同時に処理できるウェーブレット変換（wavelet transform）を用いることで、動的な収縮における周波数解析を行うことが可能となる^{17,18)}。

本研究では、ステップエルゴメーターを用いて高齢者のアイソキネティック運動時の下肢筋電図波形の周波数解析により、下肢筋パワーと各筋の活動特性との関連を明らかにすることを目的とした。また、駆動速度の違いによる筋の活動特性の違いを併せて検討した。速度の違いによる筋の活動特性を示すことで、ステップエルゴメーターを用いた運動処方や、筋パワーの評価を行う上で有益な知見を得ることができると考えられた。

II. 対象と方法

1. 対象

東京都板橋区に在住する下肢疾患の既往のない、歩行および手段的ADLが自立している地域在住高齢者女性12名（平均年齢78.3 ± 2.6歳、平均身長145.6 ± 3.3、平均体重51.3 ± 4.9）を対象とした（表1）。対象者には本研究の主旨と目的、方法を口頭、書面にて十分に説明し、本人の同意を得た。なお本研究は、東京都健康長寿医療センターの倫理審査委員会で承認されたものである。

2. 方法

筋パワーの測定はアイソキネティック運動が可能な運動機器であるステップエルゴメーター（BIODEX Biostep, 酒井医療株式会社, 日本）を用いて実施し、目標ステップ数はアイソキネティックモードの60 steps/min（60 step）、90 steps/min（90 step）と設定した。駆動時間を15秒間に設定し、シート位置はステップエルゴメーター駆動時の最大伸展時での膝関節屈曲角度が20度になるように調節し、上肢はシート横のハンドグリップを把持させた。本研究で施行させた運動はアイソキネティック運動であり、設定したステップ数に達するとパワーに応じた負荷がかかるため、測定前に目標ステップ数に達するように十分な練習を行った。ステップエルゴメーターの駆動開始時には重く感じることもあるが、それに負け

表1 対象者の基本属性

		(N = 12)
年齢	(歳)	78.3 ± 2.6
BMI	(kg/m ²)	24.2 ± 2.1
ピークパワー	60 step (W)	327.1 ± 42.8
	90 step (W)	259.6 ± 84.0

※平均 ± 標準偏差

ないように速く漕ぐようにと説明した。測定開始時には「全力で漕いで、それを15秒間保つように」と教示し、測定中は目標ステップ数が維持できるように「そのまま維持するように」と声掛けを行った。測定回数はそれぞれ1回とし、施行間は3分以上の休憩を挟み、口頭にて疲労感がないことを確認した。60 step, 90 stepの施行順はコイントスにてランダムに設定した。駆動時のパワー(仕事率; W)は、解析ソフト(SpErgo2, 酒井医療株式会社, 日本)を用い、駆動開始からサンプリング周波数1Hzにて測定した。目標ステップ数に達した後の最大値をピークパワーとした。

駆動時の筋活動は、表面筋電図測定装置(Noraxon MyoTrace400, 酒井医療株式会社, 日本)を用い、サンプリング周波数を1000Hzとし、パワーの測定開始と筋電図測定を手動にて同期させて測定を行った。筋電位の信号をA/D変換し、パーソナルコンピュータに取り込んだ後、専用ソフト(Noraxon MyoResearch XP, 酒井医療株式会社, 日本)を用い、データの抽出を行った。被検筋は右下肢の内側広筋(VM)、半腱様筋(ST)、前脛骨筋(TA)、腓腹筋内側頭(MG)の4筋とした。皮膚前処置剤およびアルコール綿にて処置を行った後、電極中心距離を2cmとし、電極Blue sensor(ambu社, デンマーク)を筋線維の走行に沿って貼り付けた。電極貼り付け位置は、内側広筋は膝蓋骨上端から内側2~3横指の位置、半腱様筋は坐骨結節と脛骨内側顆を結ぶ線の遠位3分の1の位置、前脛骨筋は腓骨頭より内下側3~4横指の位置、腓腹筋内側は脛骨内側顆と踵骨を結ぶ線の近位3分の1の位置、アース電極は大腿骨外側上顆とした¹⁹⁾。駆動時の筋収縮は、安静時の基線の平均+2標準偏差を超えた時点を筋収縮とした。SpErgo2によるパワーおよびステップ数のグラフから、ピークパワーにおける時間を得た後、その時間を含む6駆動分の筋収縮を選択した。各々ピークパワーを発揮する時間は異なっており、ピークパワーから駆動終了までの間で、波形が安定している連続した駆動における筋の活動特性を比較するため、6駆動分を解析区間とした。すなわち60 step(1stepあたり1秒)の場合は6秒間、90 step(1stepあたり0.67秒)の場合は4秒間を解析区間とした。

6駆動分のデータは数値解析ソフトウェアScilab Ver.5.3.1(INRIA, フランス)を使用し、wavelet toolbox

のプログラムを利用しmorlet関数を用いた連続ウェーブレット変換によるパワースペクトル解析を行った。解析周波数帯域は先行研究²⁰⁾に準拠し、11~200Hzとし、時間成分ごとのパワーを平均化した後、6駆動分のパワーの総和(Total power: 以下TP)および45Hz以下の低周波帯域のパワーの合計(Low Frequency: LF)、75Hz以上を高周波数帯域(High Frequency: HF)としたパワーの合計を算出した。そこからTPに対する低周波帯域の割合(LF/TP)、高周波帯域の割合(HF/TP)、および下記の式を用いて平均パワー周波数(Mean Power Frequency: MPF)を算出し、それぞれ分析対象とした。

$$MPF = \frac{\int_0^{\infty} fP(f) df}{\int_0^{\infty} P(f) df} \quad P: \text{power 値}, f: \text{周波数}$$

統計学的解析には、各変数に対しShapiro-Wilk検定を行い、正規性を確認できない変数が含まれていたため、ノンパラメトリック検定を使用した。各step数におけるピークパワーと各筋の活動特性との関係を調べるため、Spearmanの順位相関係数を算出した。また、60 stepと90 stepの駆動における筋の活動特性を比較するため、Wilcoxonの符号付順位和検定を行った。統計学的有意水準は5%とし、統計解析ソフト(IBM SPSS Statistics 19, 日本IBM, 日本)を用いた。

III. 結果

60 step時のピークパワーの平均値は327.1 ± 42.8Wであり、90 step時のピークパワーの平均値は259.6 ± 84.0Wであった(表1)。60 step時のピークパワーと相関関係にあった変数は、前脛骨筋のMPF ($\rho = -.769, p < 0.01$)、HF/TP ($\rho = .580, p < 0.05$) および前脛骨筋のLF/TP ($\rho = -.615, p < 0.05$)であった(表2)。一方で、90 step時のピークパワーは、有意な相関が認められなかった。MPFは、内側広筋、前脛骨筋ともに60 step時よりも90 step時の方が有意に高かった(それぞれ $Z = -2.510, p < 0.05, Z = -3.059, p < 0.01$)。LF/TPは、内側広筋、前脛骨筋ともに60 step時よりも90 step時の方が有意に低かった(それぞれ $Z = -2.353, p < 0.05, Z = -2.667, p < 0.01$)。HF/TPは、内側広筋、前脛骨筋ともに60 step

表2 ピークパワーと筋の活動特性との相関係数

	年齢	BMI	内側広筋			半腱様筋			前脛骨筋			腓腹筋(内側)		
			MPF	LF/TP	HF/TP	MPF	LF/TP	HF/TP	MPF	LF/TP	HF/TP	MPF	LF/TP	HF/TP
60 step時のピークパワー	.029	-.161	.070	-.098	.154	.035	-.336	.140	-.769**	.580*	-.615*	.007	.091	-.021
90 step時のピークパワー	-.298	-.378	.147	-.273	.364	-.336	.140	-.301	-.329	.371	-.462	.084	.140	-.098

※ spearman's ρ , *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

表3 60 stepと90 stepの駆動における筋の活動特性の差

	内側広筋		半腱様筋		前脛骨筋		腓腹筋(内側)	
	60 step	90 step	60 step	90 step	60 step	90 step	60 step	90 step
MPF (Hz)	84.5 ± 12.2	92.4 ± 13.5 *	104.3 ± 15.9	103.7 ± 13.4	84.7 ± 6.7	95.3 ± 10.5 **	107.6 ± 10.4	112.7 ± 13.4
LF/TP (%)	36.3 ± 9.0	31.3 ± 8.4 *	20.4 ± 9.1	19.2 ± 7.8	31.8 ± 5.0	26.4 ± 6.4 **	15.7 ± 5.5	13.7 ± 5.2
HF/TP (%)	49.1 ± 10.2	54.6 ± 9.5 *	65.2 ± 12.9	66.5 ± 10.6	49.4 ± 6.1	57.7 ± 8.6 **	70.2 ± 7.5	73.0 ± 9.3

※*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

時よりも90 step時の方が有意に高かった(それぞれ $Z = -2.197$, $p < 0.05$, $Z = -2.981$, $p < 0.01$) (表3)。

IV. 考 察

これまでステップエルゴメーター駆動は、サイクルエルゴメーターと比較し、大腿四頭筋の筋活動が高いことが知られている²¹⁾ものの、ピークパワーまでの過程で、どの筋がどの程度活動しているかという部分は明らかにされていなかった。筋活動に参加している筋線維タイプとパワースペクトルの関係では、40Hz以下の低周波域はtype I線維、46~80Hzの中周波数帯域はtype IIa線維、81Hz以上の高周波数帯域ではtype IIb線維の活動に対応し¹³⁾、低周波数帯域は遅筋系、高周波数帯は速筋系の活動を反映しているといわれている²²⁾。MPFは筋疲労の指標として用いられることが多く、疲労によりMPF低下が生じることが明らかにされている²⁰⁾。今回は、短時間の駆動での解析であり、筋疲労ではなく駆動条件による筋の活動特性の違いを検討するために、MPFを解析値として使用した。また、活動における低周波数成分と高周波数成分の相対的な割合を比較するために、LF/TPとHF/TPを解析値として使用した。

本研究の結果より、60 step時のピークパワーでは、前脛骨筋のMPF、およびHF/TPとの間にそれぞれ有意な負の相関が認められ、LF/TPとの間には有意な正の相関が認められた。60 step駆動時の前脛骨筋による低周波数帯域の筋活動の高さと、高周波数帯域の筋活動の低さ、すなわちMPFの低さとピークパワーの高さが関連していることから、強い力を発揮するよりも遅筋線維を中心とする駆動時の持続的な足関節固定のための筋活動が高まり、安定したステップ運動が可能になることにより高いパワーを発揮することに繋がったと推察された。また、多機能エルゴメーター(ストレングスエルゴ)の研究では、駆動速度が高まると屈曲相の前脛骨筋の活動が高まり、下肢引き上げの補助的作用や足関節背屈位による駆動を円滑にする作用が生じると述べられており²³⁾、ステップエルゴメーター駆動においても前脛骨筋に関しては多くの対象者で類似の作用が生じていた可能性があった。60 step, 90 step時の内側広筋、半腱様筋、腓腹筋、90 step時の前脛骨筋ではピークパワーと筋の活動特性との間に

有意な相関は認められなかった。このことは、ステップエルゴメーターを全力で駆動する戦略が個人により異なっていることが考えられた。測定前に十分な駆動練習を行っているものの、主要な移動手段である自転車(エルゴメーター)駆動に比較すると慣れない運動であり、アイソキネティック運動の強い抵抗を受け、それを下肢で押し出す(蹴り出す)動きの際に、体幹筋、股関節周囲筋、および膝関節周囲筋などの筋の活動戦略は個人間でばらつきが大きいたと考えられた。また、90 stepの前脛骨筋は、60 stepと同様に屈曲相の足の引き上げや足部の固定機能に関与すること予測されたものの、速度の増加に対応した前脛骨筋の活動が十分に発揮できなかった可能性が考えられた。本研究のデザインでは、駆動相ごとの分析は困難であるため、今後は駆動相ごとの筋活動の変化を検討していく必要があるといえる。

また、60 stepと90 stepにおける、筋の活動特性の比較では、内側広筋および前脛骨筋では60 stepよりも90 stepでMPF、HF/TPの有意な増加、LF/TPの有意な低下が認められた。この結果から、より速い速度での運動において、高周波数帯域の筋活動、つまり速筋線維の筋活動の増加やインパルスの発射頻度の増加が起こることが推察された。多機能エルゴメーター駆動において、半腱様筋や腓腹筋は速度の増加により、伸展相での筋活動が増加することが示されている²³⁾が、ステップエルゴメーター駆動においては速度変化に対しても速筋線維の活動やインパルスの発射頻度が変化しない可能性が考えられた。

本研究の結果では、ステップエルゴメーター駆動時のピークパワーと筋の活動特性との関連は60 step時の前脛骨筋以外に認められず、ピークパワーの評価のみで筋の活動特性の把握は困難であるといえた。近年では、加齢による筋量の減少だけでなく、 α 運動ニューロン活動の低下や、運動に動員される運動単位の減少など神経機構の変化を、ダイナペニア(dynapenia)と表している²⁴⁾。また、生理学的な研究では、筋小胞体からの Ca^{2+} 放出量の低下による興奮収縮連関における情報伝達効率の低下や、筋原線維の張力産生能力の低下などが加齢で生じることが明らかになりつつある²⁵⁾。そのため、高齢者に対し筋の収縮速度や筋パワーの評価が重要視されている。本研究の結果から、筋パワーの評価に加え、筋の活動特性

の評価を行い、継時的な変化を追うことは、加齢で変化する速筋線維の割合やインパルスの発射頻度、神経伝導速度などが複合した要因の変化を追うことができるため、ダイナペニアの評価に有益であると考えられる。また、60 step よりも 90 step の方がより高周波数帯域の割合が高かったことから、臨床的に、ステップエルゴメーターを用いる場合は、より速い運動課題を与えることで、Type IIb 線維のような速筋線維の活動が賦活できると考えられ、サルコペニアやダイナペニアの予防に有益であると考えられた。本研究は横断調査であり、因果関係までは述べられないことや、Biostep 解析ソフトのサンプリング周波数の制限から、駆動における相ごとの解析が困難である点が限界点として挙げられた。

引用文献

- 1) Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, et al.: Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: report of the european working group on sarcopenia in older people. *Age Ageing*, 2010, 39(4): 412-423.
- 2) Foldvari M, Clark M, Laviolette LC, et al.: Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2000, 55(4): M192-199.
- 3) Bean JF, Kiely DK, Herman S, et al.: The relationship between leg power and physical performance in mobility-limited older people. *J Am Geriatr Soc*, 2002, 50(3): 461-467.
- 4) Lexell J, Taylor CC, Sjostrom 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*, 1988, 84(2-3): 275-294.
- 5) Lang T, Streeter T, Cawthon P, et al.: Sarcopenia: Etiology, clinical consequences, intervention, and assessment. *Osteoporos Int*, 2010, 21(4): 543-559.
- 6) Samson MM, Meeuwse IB, Crowe A, et al.: Relationships between physical performance measures, age, height and body weight in healthy adults. *Age Ageing*, 2000, 29(3): 235-242.
- 7) 岡西哲夫: エビデンスに基づく理学療法 内山 靖編. 医歯薬出版, 東京, 2008, pp430-447.
- 8) Thorstensson A, Grimby G, Karlsson J: Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol*, 1976, 40(1): 12-16.
- 9) Ryushi T, Fukunaga T: Influence of subtypes of fast-twitch fibers on isokinetic strength in untrained men. *Int J Sports Med*, 1986, 7(5): 250-253.
- 10) Evans WJ: Exercise strategies should be designed to increase muscle power. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2000, 55(6): M309-M310.
- 11) Miszko TA, Cress ME, Slade JM, et al.: Effect of strength and power training on physical function in community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2003, 58(2): 171-175.
- 12) 水本 淳, 鈴木芽久美, 牧迫飛雄馬・他: ステップエルゴメーターのアイソキネティック運動におけるピークパワーと身体機能との関連. *理学療法科学*, 2011, 26(1): 139-142.
- 13) 永田 晟, 室 増男: 表面筋電パワー・スペクトルのパターン分類 静的・動的運動様式との関連. *人間工学*, 1982, 18(1): 35-42.
- 14) Moritani T, Muro M: Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1987, 56(3): 260-265.
- 15) Yao W, Fuglevand RJ, Enoka RM: Motor-unit synchronization increases emg amplitude and decreases force steadiness of simulated contractions. *J Neurophysiol*, 2000, 83(1): 441-452.
- 16) Lindstrom L, Magnusson R, Petersen I: Muscular fatigue and action potential conduction velocity changes studied with frequency analysis of emg signals. *Electromyography*, 1970, 10(4): 341-356.
- 17) Karlsson S, Yu J, Akay M: Time-frequency analysis of myoelectric signals during dynamic contractions: A comparative study. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2000, 47(2): 228-238.
- 18) 花岡正明: 理学療法における筋電図学的評価法 表面筋電図の周波数領域における信号処理方法 フーリエ変換, 最大エントロピー法, ウェーブレット変換. *理学療法*, 2004, 21(2): 406-415.
- 19) 岩下篤司, 市橋則明, 池添冬芽・他: ベダリング動作における下肢筋の筋電図学的分析. *理学療法科学*, 2004, 31(2): 135-142.
- 20) 山田英司, 加藤 浩, 宮本賢作・他: ウェーブレット変換を用いた等速性運動中の筋電図周波数解析 30回反復による筋疲労時の周波数特性. *理学療法科学*, 2003, 30(7): 391-396.
- 21) 清水良祐, 松本卓也, 堀田一樹・他: ステップ運動を取り入れたエルゴメータ駆動時の下肢筋活動と呼吸循環応答の検討. *臨床理学療法研究*, 2009, 2619-2623.
- 22) Shochina M, Vatine JJ, Mahler Y, et al.: Effect of filter setting on the electromyographic parameters of muscles contracting to fatigue. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 1989, 29(1): 3-8.
- 23) 神谷晃央, 横山明正, 新野浩隆・他: エルゴメータ運動中の筋活動 駆動速度による変化. *運動療法と物理療法*, 2005, 16(3): 224-229.
- 24) Clark BC, Manini TM: Sarcopenia \neq dynapenia. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2008, 63(8): 829-834.
- 25) 山田崇史: 骨格筋を知る 分子レベルから覗く骨格筋研究 老化に伴う筋弱化的メカニズム. *体育の科学*, 2011, 61(2): 127-133.

サルコペニア診断のための筋量, 筋力の評価法

The assessments of muscle mass and strength for diagnosis of sarcopenia

島田 裕之* 吉田 大輔*

Shimada Hiroyuki Yoshida Daisuke

抄録▶サルコペニアの中核症状は骨格筋量の減少と筋力低下で、その評価はサルコペニア診断にとって重要である。筋量と筋力の測定方法はいくつかあるが、いずれも一長一短がある。測定者は精度や簡便性、実用性といった点から適切な検査方法を選択する必要がある。近年では、サルコペニア判定のために筋量のみでなく筋力や歩行速度の評価を含めたアルゴリズムが提唱されているが、これらの判定基準は明確ではなく、サルコペニアを診断するための日本人を対象とした基準値の設定が必要である。

Key Words 生活機能障害, 身体的虚弱, 筋量, 歩行機能, 操作的定義

*国立長寿医療研究センター老年学・社会科学研究センター自立支援開発研究部自立支援システム開発室

サルコペニアの評価方法

高齢期における骨格筋の萎縮とそれに伴う筋力低下を表す造語であるサルコペニアは、概念としては古くから存在し、その判定は筋量の測定値から決定されてきた。筋量の測定は形態計測、生体電気インピーダンス法(bioelectrical impedance analysis: BIA)、二重エネルギー X線吸収法(dual energy X-ray absorptiometry: DXA)、magnetic resonance (MR) やcomputerized tomography (CT)画像の解析によってなされ、ある一定以上の筋量の減少をサルコペニアとしてきた。もっとも広く用いられている定義のひとつは、BaumgartnerらのNew Mexico Elder Health Surveyによる定義がある¹⁾。この定義は、DXAから得られた四肢の筋量の合計(appendicular skeletal muscle mass: ASM)を身長(m)の2乗で除した skeletal muscle mass index (SMI)を指標としたものである。サルコペニアの定義は、成人(18~40歳)におけるSMIの平均から2標準

偏差以下に達した場合とされた。カットポイントは男性が7.26 kg/m²、女性が5.45 kg/m²と報告され、この操作的定義に基づくサルコペニアの有症率は、70歳以下において13~24%、80歳以上では50%以上とされた¹⁾。ただし、骨格が異なる日本人高齢者に対して同一の基準値を外挿することは適当ではない。

日本人を対象とした研究では、独立行政法人国立健康・栄養研究所による「生活習慣病一次予防に必要な身体活動量・体力基準値策定を目的とした大規模介入研究のベースラインデータ」を用いたサルコペニアの基準値と妥当性が、18~85歳の日本人1,894名のDXAから検討されている²⁾。この研究において、Baumgartnerら¹⁾による成人SMIの2標準偏差以下をサルコペニアと定義したところ、日本人の参照値は男性SMIが6.87 kg/m²、女性では5.46 kg/m²であった。男性においては米国人のカットポイントを下回ったが、女性においてはほぼ同値を示した²⁾。また、SMIのマイナス1標準偏差をサ

ルコペニア予備群の参照値とすると、男性ではSMIが7.7 kg/m²、女性ではSMIが6.12 kg/m²となった。この結果、70歳以上の高齢者では男性の57%、女性の33%、80歳以上では男性の76%、女性の41%がサルコペニアとその予備群に含まれた。このSMI値は以下の推定式により推定可能であり、推定誤差は男性で0.40 kg/m²、女性で0.17 kg/m²であり、推定式の妥当性の検討では、決定係数は男性0.73、女性0.61とされている²⁾。

男性

$$\text{SMI (kg/m}^2\text{)} = 0.326 (\text{BMI}) - 0.047 (\text{腹囲}) - 0.011 (\text{年齢}) + 5.135 [R^2 = 0.68] \quad (2)$$

女性

$$\text{SMI (kg/m}^2\text{)} = 0.156 (\text{BMI}) + 0.044 (\text{握力}) - 0.010 (\text{腹囲}) + 2.747 [R^2 = 0.57] \quad (3)$$

DXAを直接測定することが難しい環境であっても、握力と腹囲の測定なら比較的容易に可能であり、この推定式を用いて筋量を推定することができる。筋量を把握してサルコペニアを有する高齢者を特定できれば、介入が必要とされる対象者に集中的なサルコペニアの予防対策を講じることが可能となる。

他方では、サルコペニアの国際的な合意形成を目的としてthe European Geriatric Medicine Society, the European Society for Clinical Nutrition and Metabolism, the International Association of Gerontology and Geriatrics, European Region and the International Association of Nutrition and Agingの4組織が参加したthe European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP)によるサルコペニアの操作的定義が発表された³⁾。この定義は従来の骨格筋量のみによりサルコペニアを判定するのではなく、筋力と歩行速度をサルコペニアの構成要素として含め、サルコペニアと生活機能障害との関係が密接となるように改訂がなされた。このように、サルコペニアの操

作的定義はいまだ確定されていないものの、その中核症状は高齢期における骨格筋量の減少と筋力低下であり、サルコペニア診断にとって筋量と筋力の評価は極めて重要であるといえる。ここでは高齢者における筋量と筋力の評価方法について概観し、サルコペニア診断の課題や問題点を整理する。

筋量の加齢変化

身体組成は加齢とともに変化するが、高齢期に特徴的な組成変化のひとつが骨格筋量の減少で、50歳以降その減少率は毎年1~2%程度になる。高齢期の筋量減少は性差に関係なく認められ、特に上肢筋より下肢筋において著しい。このような筋量減少は、運動あるいは身体活動量の低下によっても生じるため、いわゆる廃用性の筋萎縮と混同されやすいが、十分な運動習慣がある高齢者でも同様の筋量変化が認められることから、高齢期に特有の組成変化と考えるのが適切であろう。一般的には、筋断面積の減少や筋細胞数の減少に加え、サテライト細胞の活性化が低下したことによる筋の再生と分解の不均衡が原因と考えられている。

筋量測定における留意点

筋量に関してこれまでさまざまな測定方法が考案されたが、それぞれの方法には一長一短がある。例えば、MRやCT画像から筋量を推定する方法は、測定精度が高い反面、検査費用が高額で限られた施設にしか機器が設置されていないため、大多数を対象とした測定には不向きである。また、DXA法は機器の操作に放射線技師が必要である。一方、BIA法は非侵襲性かつ安価で可搬性にも優れており、大規模集団を対象とした調査に適している。測定時間が短く対象者への負担も少ないことから、近年最も普及している測定方法のひとつといえるだろう。ただし、BIA法で推定しているのは体水分量であり、

発汗量や水分摂取量によって測定結果が左右される。心不全や脱水症状を呈する対象者の場合も、正確な測定結果が得られにくい。しかも、筋量の推定に用いられる回帰式には集団特異性があるため、人種や年齢、性別が異なる対象者間で測定結果を比較する際には注意が必要である。測定者は各検査方法の特性を理解し、測定精度、簡便性、実用性といった観点から測定目的に照らし合わせて最も適切な方法を選択しなければならない。

筋力の加齢変化とサルコペニアの基準

筋力は通常20～30歳代にピークを迎え、その後は徐々に低下を示す。620名の高齢者を対象として4年間の縦断調査を行った研究では、握力の変化は男性で12%、女性は19%とされ、高齢期には年間3～5%程度の筋力の低下が認められ⁴⁾、筋量の低下率よりも著しい。また、この筋力の低下は上肢より下肢に強く現れる。筋力の低下とともに、筋力を素早く発揮する筋パワーも加齢に伴い低下する。これは、加齢に伴い筋萎縮が生じるのみでなく、タイプII線維の減少による高速度のミオシン重鎖タンパクの減少によるものである。筋パワーの低下は、歩行や階段昇降などの日常生活動作能力と関連し、転倒回避能力の低下にもつながることから、高齢期において保持すべき筋機能であると考えられる。

筋力におけるサルコペニアのカットポイントについてはいまだ明白ではなく、サルコペニア診断の統一した見解は得られていない。参考値として、サルコペニア判定の握力のカットポイントは男性で30 kg、女性で20 kg未満という報告⁵⁾や、虚弱の定義に用いられている握力基準が示されている⁶⁾ものの、日本人におけるサルコペニア判定の筋力の基準値は明らかとされていない。今後、日本人におけるサルコペニアのカットポイントを筋力の側面から決定していく

必要がある。

筋力測定における留意点

筋の収縮様式には、関節運動を伴わない等尺性収縮と、筋が短縮しながら収縮する求心性収縮と、伸長しながら収縮する遠心性収縮とに分けられる。また、日常生活では生じ得ないが、角速度が一定の関節運動を等速性収縮と呼んでいる。筋力測定では、これらの収縮様式に応じて発揮できる最大筋力を測定することが望ましいが、関節運動を伴う筋力の測定には大掛かりな測定機器を用意する必要があり、実施困難であることが多い。また、高齢者では筋力測定に慣れるまでに時間がかかり、最大筋力を発揮しにくい特徴を持つ。信頼性のある値を取得するために、若年成人と比較して、高齢者では2倍の練習が必要であるとした報告もあり⁷⁾、筋力測定値を解釈するときに注意が必要である。ここでは、代表的な測定方法として握力および下肢筋力検査を紹介する。

1. 握力検査

筋力測定の実現可能性を高めるためには、小型で安価な測定機器を用いて、簡便に測定可能な方法を採用する必要がある。代表的な筋力測定は握力検査であり、安価な握力計を用意すればよく、検査時間は教示の時間を含めても5分以内で測定可能である。また、握力検査は高齢者の上肢の筋力のみならず他の筋群の筋力も反映する指標として用いることができ⁸⁾、高齢者の日常生活機能低下の予測因子として重要な役割を有しているため⁹⁾、スクリーニング検査として最適な検査方法であろう。

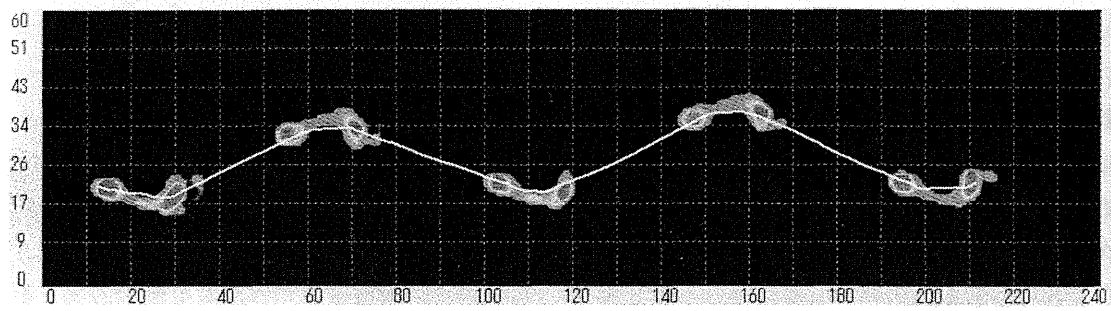
高齢者に筋力検査などの運動機能検査を適用する場合には、検査実施時の安全性や実行可能性を考慮する必要がある。握力検査は、現在まで広く行われてきた検査であり、高齢者にとってもなじみがあり、検査に対する不安が少ない利点を持つ。さらに、握力検査は他の運動機能

表1 高齢者における握力と膝伸展筋力の基準値

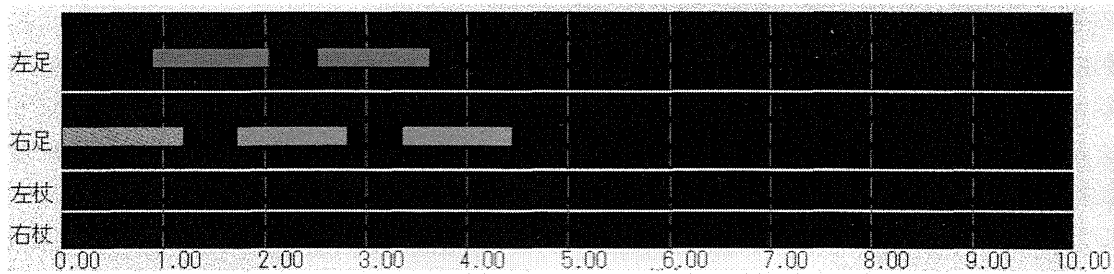
		レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5
握力(kg)	男性	25未満	25～28	29～32	33～36	37以上
	女性	15未満	15～17	18～20	21～23	24以上
膝伸展筋力(N)	男性	135未満	135～208	209～261	262～322	323以上
	女性	81未満	81～140	141～176	177～215	216以上
歩行速度(m/s)	男性	1.00以下	1.01～1.14	1.15～1.25	1.26～1.39	1.40以上
	女性	0.89以下	0.90～1.04	1.05～1.19	1.20～1.32	1.33以上

鈴木隆雄, 大淵修一監修. 指導者のための介護予防完全マニュアル: 包括的なプラン作成のために. 財団法人東京都高齢者研究・福祉振興財団, 2004. より作表した.

距離情報(cm)



時間情報(s)



圧力分布情報

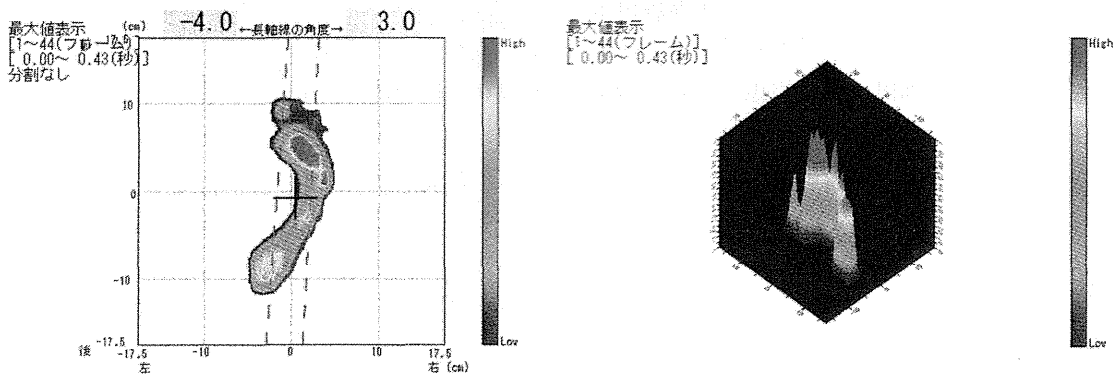


図1 圧力シートを用いた歩行分析

検査と比較して、機能障害を有する要介護高齢者においても90%以上の対象者に実施可能である¹⁰⁾。表1に高齢者における握力の基準値を示した¹¹⁾。

2. 下肢筋力検査

握力検査は簡便性において高い優位性を持つが、日常生活機能の低下に直接影響する下肢筋力と握力検査値が乖離する例も少なくなく、下肢筋力検査を並行して行うことが望ましい。握力計と比較し、下肢筋力測定器は簡易なものでも高価であるが、定量的な測定をするために用意したい物品のひとつである。高齢者における膝伸筋力の基準値を表1に示した。

等尺性膝伸筋力の測定は、代表的な下肢筋力検査方法であるが、その測定に際しては下肢の関節角度の設定とその位置での固定に注意する必要がある。関節角度が変化すると発揮される筋張力が変化するため、検者は測定中の肢の固定性を注意深く観察しなければならない。

3. 歩行速度の測定

EWGSOPが発表したサルコペニア診断のアルゴリズムには、骨格筋量や筋力(握力)のみでなく、歩行速度の測定が推奨されている³⁾。高齢者の運動機能のなかでも歩行速度は、運動機能バッテリーテスト全体から定義される“運動能力”を最も代表する¹²⁾ので、多数の種目が実施できない場合には、少なくとも歩行検査だけでも実施することが推奨される¹³⁾。代表的に実施される歩行検査としては、一定距離あたりの所要時間を計測して歩行速度を算出する方法がよく用いられる。歩行距離は5～10m程度の短距離で計測される場合が多く、歩行開始と終了時の加速と減速の影響を排除するために、歩行路の両端に2～3mの予備路を設ける場合が多い。計測はストップウォッチを用いて行えばよいが、短距離の歩行路では測定誤差が大きくなりやすいので、検査に熟練が必要となる。その他の計測法としては、圧力シート上を歩行す

ることで歩行速度や歩幅の計測が可能な機器や動作解析装置を用いた測定があげられる。圧力シートを用いた計測は、比較的測定が容易であり、足圧分布の表示が可能で歩行状態をフィードバックしやすい利点を持ち、病院や地域保健活動に導入しやすい(図1)。

サルコペニアの判定に用いられている歩行速度の基準値は0.8 m/s以下とされているが、この程度に歩行速度が低下した高齢者は中等度以上の機能低下を有する者であり、サルコペニアの予防という観点から考えると、基準値を厳しくして早い段階から予防的対処を検討する必要があるかもしれない。

文 献

- 1) Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D et al : Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol* 147 : 755-763, 1998
- 2) 真田樹義, 宮地元彦, 山元健太, 他 : 日本人成人男女を対象としたサルコペニア簡易評価法の開発. *体力科学* 59 : 291-302, 2010
- 3) Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM et al : Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing* 39 : 412-423, 2010
- 4) Bassey EJ, Harries UJ : Normal values for handgrip strength in 920 men and women aged over 65 years, and longitudinal changes over 4 years in 620 survivors. *Clin Sci (Lond)* 84 : 331-337, 1993
- 5) Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S et al : Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol* 95 : 1851-1860, 2003
- 6) Fried LP, Tangen CM, Walston J et al : Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 56 : M146-156, 2001
- 7) Ploutz-Snyder LL, Giamis EL : Orientation and familiarization to 1RM strength testing in old and young women. *J Strength Cond Res* 15 : 519-523, 2001
- 8) Rantanen T, Era P, Kauppinen M et al : Maximal isometric muscle strength and socio-economic status, health and physical activity in 75-years-old persons. *J Aging Phys Act* 2 : 206-220, 1994
- 9) Taekema DG, Gussekloo J, Maier AB et al :

Handgrip strength as a predictor of functional, psychological and social health. A prospective population-based study among the oldest old. *Age Ageing* 39 : 331-337, 2010

- 10) Shimada H, Suzukawa M, Tiedemann A et al : Which neuromuscular or cognitive test is the optimal screening tool to predict falls in frail community-dwelling older people? *Gerontology* 55 : 532-538, 2009
- 11) 鈴木隆雄, 大淵修一 監修: 介護予防完全マニュアル: 包括的なプラン作成のために. 東京都高齢

者研究・福祉振興財団, 東京, 2004

- 12) Nagasaki H, Itoh H, Furuta T et al : The structure underlying physical performance measures for older adults in the community. *Aging (Milano)* 7 : 451-458, 1995
- 13) Guralnik JM, Ferrucci L, Pieper CF et al : Lower extremity function and subsequent disability: consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55 : M221-231, 2000

* * *

S 運動

S サルコペニアにおける運動の必要性

高齢期における虚弱の中核的な症状であるサルコペニアは、加齢とともにその有症率が上昇し、65歳以上の高齢者の約5～25%¹⁻³⁾、80歳以上の高齢者では30～50%以上がサルコペニアを有しているといわれ^{3,4)}、高齢期において誰もが起こしうる症状である。

高齢者は日常生活を送るうえで各種動作を行う場合、課題で必要とされる能力に対する自己の機能的な予備力が低下しているために、サルコペニアによる筋力低下が起こると容易に生活機能障害を引き起こすことになる。たとえば、階段昇降や立ち上がり動作を行うとき、下肢の最大筋力に対して動作に必要とされる筋力の比率は、高齢者は成人の約2倍であり、最大筋力の80%程度の努力が必要であると報告されている⁵⁾。このような状況下において筋量の減少が進めば、生活機能障害を惹起することは容易に想像できる。また、下肢筋力の低下は転倒の重要な危険因子であり、筋力低下が認められる高齢者はそうでない高齢者に比べ、転倒の危険が約5倍あるとされる⁶⁾。

サルコペニアにともなう機能低下や障害を予防、改善するためには、筋力トレーニングがもっとも有効であり^{7,8)}、高齢期においても安全を確保しつつ、効果的なトレーニングを行うことがサルコペニアの予防のために重要であるといえる。

島田裕之 *Shimada, Hiroyuki*

S 高齢者における筋力トレーニング

筋肉は不思議な器官で、使うほどに容量が増え、効率よく使用できるようになる。これは年齢に関係なく当てはまるが、高齢期には筋肉を使う人と使わない人の差が、若年層と比較して大きいために筋量や筋力の個人差が大きくなる。生涯で筋力が最高に達するのは20～30歳代であり、その後は徐々に低下し、健康な者であっても高齢期には急激に筋力低下が進行する⁹⁾。そのため高齢者は、より積極的な筋力トレーニングを行う必要があると考えられる。筋力の維持は、最大筋力の20～30%の強度で可能であり、筋によっては平地を歩くだけでも、この程度の活動をやる。ただし、筋力を向上させるためには、最大筋力の60～80%程度の負荷をかける必要があり、この程度の筋活動となるとマシンを用いたレジスタンストレーニングや階段をのぼるなどの運動を行う必要がある。ただし、高齢者に高負荷レジスタンストレーニングを適用する場合には、一時的な血圧上昇や軟部組織損傷に対する危険性を考慮したうえで、段階的に運動を進める必要がある。

S トレーニングと筋力向上

これまでの多くの研究によって、高齢期においても適切なトレーニングによって筋肥大や筋力向上が可能であることが明らかとなり、効果的なトレーニング方法が示されてきた。たとえば、重りや油圧などを利用して行うレジスタンストレーニングは、短期間のうちに高い効果を

得ることが可能であり、自身の体重を利用して行う運動でも、筋力を向上させることが可能である。筋力の向上は、筋肥大によってもたらされる場合と神経系メカニズムによる場合とがあるが、短期間(2カ月程度)における最大筋力の60%程度の中等度の負荷では、筋肥大ではなく主に神経系メカニズムによって筋力が向上するようである¹⁰⁾。ただし重要なのは、筋量の向上そのものではなく、生活するために必要とされる筋力が十分備わっているかという点である。Fiataroneらは、72歳から98歳のナーシングホームに入所する高齢者に対して最大筋力の80%のレジスタンストレーニングを10週間実施した結果、筋肥大は認められなかったが筋力の向上が認められ、歩行速度やバランス機能などの運動機能が向上することを証明した¹¹⁾。

一方、筋肉や筋の機能は、使わないことによって急激に低下することがよく知られており、トレーニングによって向上した筋肥大や筋力は、トレーニングの中断によってトレーニング前の状態へ戻る¹²⁾。また、寝たきり状態のように極端に筋肉を使わない状態では、廃用性筋萎縮が生じる。たとえば、寝たきり状態を1カ月間続けると大腿四頭筋の筋力は20%程度低下するため、短期間の入院により歩行困難となる高齢者の背景には、この廃用性筋萎縮が大きく影響している可能性が高い。

高齢者の筋力トレーニング効果に関するエビデンス

高齢者は加齢や疾病により筋萎縮や筋力低下を起こす。加えて、日常の活動状態の低下による筋機能の低下が認められ、とくに抗重力筋である伸筋において著しい低下を認める^{13, 14)}。なかでも下肢や体幹における伸筋の低下は著しく、これによって起居移動動作能力が低下して生活機能障害を惹起する。一方、高齢者の筋力低下は、筋力トレーニングによって向上が可能

であり、生活機能障害を予防するために筋力トレーニングが推奨される。わが国では、介護予防における運動器の機能向上によって、高齢者の生活機能向上を目指した運動プログラムが提供され、その中核的な内容の一つとして、筋力トレーニングが推奨されている。

筋力トレーニングの第一の目的は、筋力の向上であり、その効果を検討した研究は多数存在する。なかでも、2003～2004年に発表されたLathamらによる高齢者に対する筋力トレーニングの効果に関するシステマティックレビューがよくまとめられており、ここではそれらの結果を中心に紹介する^{15, 16)}。

高齢者に対する下肢筋力トレーニングを実施した群と実施しなかった群のランダム化比較試験のメタアナリシスの結果(41研究, 1,955名のまとめ)、下肢筋群の向上に対するstandardised mean difference (SMD)は0.68(95%信頼区間0.52～0.84)となり、筋力トレーニングによって中等度以上の筋力向上が期待できることが明らかとされた。ただし、この結果は検者や割り付けに対するブラインドやintention to treat analysis (ITT)がなされていない研究が含まれている。これらによって効果量は高く推定されるため、全体の効果量が過剰に評価されている可能性がある。

マシンを用いた高負荷レジスタンストレーニングと、エラスティックバンドなどを用いた軽度から中等度負荷のトレーニングを分けて分析すると、高負荷トレーニングの(32研究)SMDは0.81(95%信頼区間0.60～1.01)、低強度から中等度トレーニング(9研究)のSMDは0.34(95%信頼区間0.18～0.51)となり、両トレーニングともに筋力強化に有効であることが示された。ただし高負荷トレーニングは低負荷トレーニングと比較して有意に高い効果を認めている。

また、機能低下の有無により対象者を分類し

て筋力トレーニングの効果を検討すると、両群ともに有意な効果を認めたと、機能低下を有する群での効果は有さない群と比較して低い傾向にあった(機能低下なし:32研究, 1,084名, SMD 0.76, 95%信頼区間 0.59~0.94. 機能低下あり:9研究, 871名, SMD 0.36, 95%信頼区間 0.11~0.60). ただし, 機能障害を有する群のトレーニング強度は, ほぼすべてが低強度から中等度負荷であったため, 負荷量の違いが効果量に影響している可能性がある。

トレーニング期間に関しては, その期間を12週間で分類して筋力トレーニングの効果を検討すると, 両期間ともに筋力の向上効果が認められ, 12週間を越えて継続した研究でより高い効果が認められた(<12週間:25研究, SMD 0.62, 95%信頼区間 0.42~0.82. >12週間:16研究, SMD 0.77, 95%信頼区間 0.50~1.05).

トレーニング種目による効果の差に関しては, 筋力トレーニングの実施者と有酸素運動実施者との効果が比較された。その結果, 両群間の筋力向上に有意差は認められなかった(SMD 0.11, 95%信頼区間 -0.08~0.30)。筋力の低下した高齢者にとっての有酸素運動の負荷強度は, 成人や健康な高齢者より相対的に高くなり, これらの対象層においては有酸素運動でも筋力向上の効果が認められたのかもしれない。

筋力トレーニングが筋力以外の機能向上に対する効果の検討では, 筋力トレーニング実施群と対照群との比較において, 歩行速度と椅子からの立ち上がり時間はトレーニング効果が認められたが, 有酸素能力, バランス, ADL, QOLについて有意な効果は確認されなかった。また, 疼痛軽減に関しては, 対象集団に特異的な痛み評価を実施した場合には有意なトレーニング効果が示されている。

以上の結果から, 筋力トレーニングは高齢者の筋力増強に効果的であり, その効果は高負荷

レジスタンストレーニングや12週間以上のトレーニングによって得られやすい。ただし, 高齢者においては筋力トレーニング以外の運動によっても筋力の向上が認められる点や, 筋力以外の運動機能の向上すべてに筋力トレーニングが有効であるわけではない。高齢期における運動処方への目的は, 生活機能の維持向上であり, 筋力の向上はその目的を達成するための一因に過ぎないことを忘れてはならないだろう。

5 歩行機能を保つための筋力トレーニング

歩行機能が低下すると, 将来日常生活を自立して行えなくなる危険性が高まることが知られている。たとえば, 早く歩ける人(1秒間に2.37m以上)に対して, 遅い人(1秒間に1.81m以下)は, その後6年間で日常生活に不自由をきたす危険性が, 前期高齢者で5.2倍となり, 後期高齢者では3.5倍になると報告されている¹⁷⁾。また, 歩行機能低下の結果として転倒が生じ, 高齢者では骨折などの重篤な傷害が生じる場合がある。とくに大腿骨頸部骨折は治療に長期間を要し, その間に廃用性筋萎縮が生じて歩行不能となる場合が少なくないが, この大腿骨頸部骨折は, 高齢期においては90%以上が転倒により生じる。また, 高齢者の不慮の事故による死亡原因をみると, 転倒・転落による死亡者数は, 交通事故よりも多い。われわれの研究では, 6m間を歩行するのに6秒以上かかる高齢者における将来の転倒の危険性は, 1.2~2.6倍に高まることが明らかとなっており, 高齢期における歩行機能保持の重要性が明らかとなった¹⁸⁾。

歩行中には下肢の多くの筋が動員され, それらが協調して働くことで効率よく歩くことが可能となる。高齢期における歩行機能低下の特徴は, 歩幅の減少と歩行速度の低下であるが, この機能低下を起こす主要な原因は下腿三頭筋の

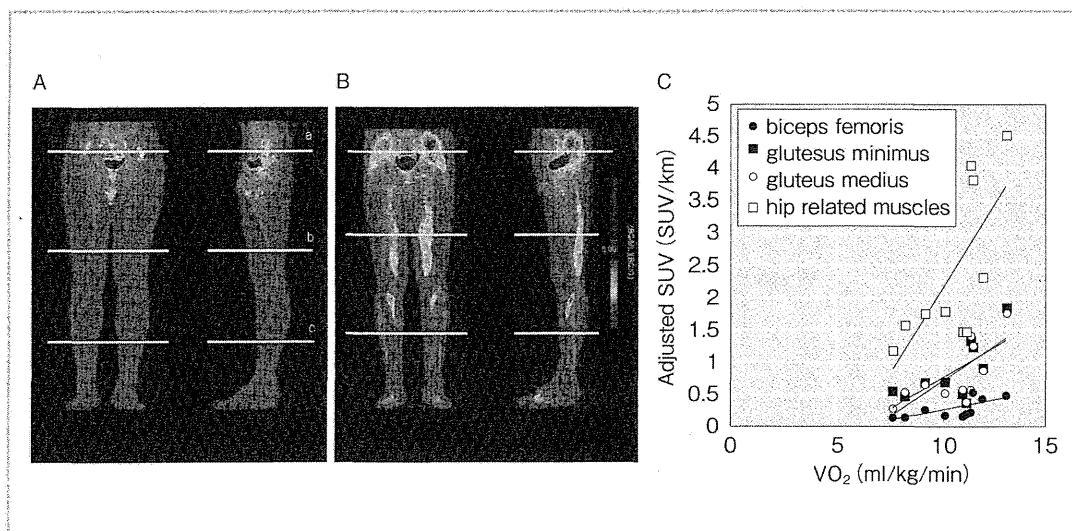


図1 成人と高齢者の歩行時の筋の糖代謝と全身代謝との関係

A：成人における歩行時の糖代謝，B：高齢者における歩行時の糖代謝，C：歩行時の骨格筋糖代謝と全身代謝との関係。

高齢者は成人と比較して股関節周囲やハムストリングスにおいて歩行時の筋活動が高く(A, B)，それらの筋活動と全身代謝とは相関関係を示す(C)。

機能低下である¹⁹⁾。高齢者の歩行時の筋活動を観察すると、股関節周囲や大腿後面の筋活動は若年成人より1.5～3.7倍高いのに対し、ヒラメ筋(下腿三頭筋)では成人の0.5倍しか働いていない(図1A, B)²⁰⁾。このような歩行中の筋活動パターンの変化は、歩幅や歩行速度の減少を生じさせ、代償動作として股関節周囲筋における過剰な筋活動を引き起こす(図1B)。これらの筋活動は全身の代謝と相関し、エネルギー効率からみると不効率な歩行パターンの原因となる(図1C)。不効率な歩行パターンは、歩行持久性を低下させ外出行動の制限に影響を及ぼす。外出は、日常における身体活動の大部分を占めるため、外出が制限されると廃用性筋萎縮を起こす可能性が高くなり、ある一定レベル以上に筋力が低下すると歩行障害が生じ、日常生活機能障害を起こす結果となる(図2)。

この負のサイクルを断ち切るために筋力トレーニングは有効と考えられ、虚弱化が生じ始めた高齢者には下腿三頭筋の筋力強化を行う必要があると考えられる(本来は全身の筋力を鍛

えたほうがよい)。下腿三頭筋の筋力や筋持久力の向上のためには、つま先立ちを繰り返す方法が有効である(図3)。この運動中には姿勢に注意し、胸を張って行うとよい。また、立位の安定性が悪い場合には安定したものをつかんで行うようにする必要がある。最初はゆっくりと10回程度から始め、慣れてきたらできるだけ早く30回連続で行えるようトレーニングする。

高齢期には下腿三頭筋以外の筋肉も萎縮して筋力が低下するが、その程度は上肢より下肢に強く表れ、とくに抗重力筋の筋力低下が顕著となる。抗重力筋を効果的にトレーニングするためには、膝を曲げての歩行練習がよい(図4)。この練習中は腰をかがめて前傾してしまうと筋に負荷がかかりにくいので、できるだけまっすぐ前を向いて手を上げて行うことが望ましい。最初は3m程度から始めて、10m続けて行えるようになることを目指す。

これらの筋力トレーニングは、短時間であっても継続することが、結果的には大きな効果を出すことになる。とくに、いままで運動習慣の

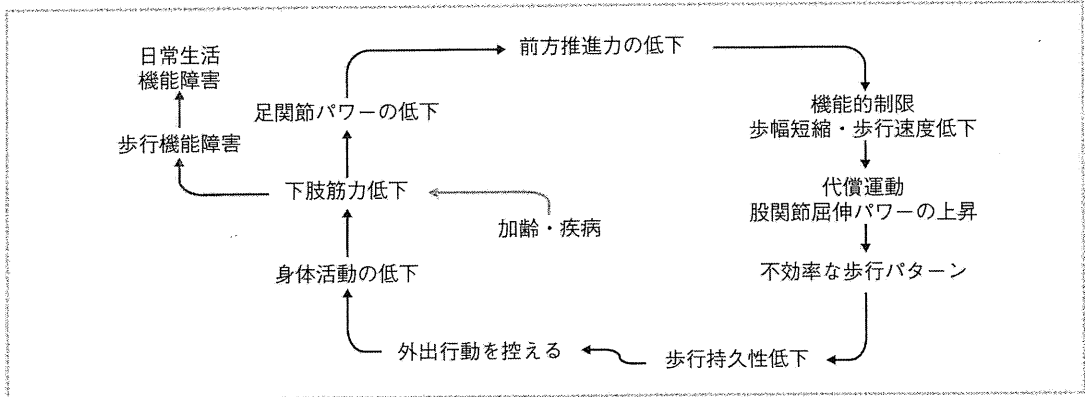


図2 高齢期における生活機能障害発生モデル

加齢や疾病により高齢者は下肢筋力の低下(サルコペニア)をきたし、それが歩行時の足関節パワーを低下させる。足関節パワーの低下は、身体の前方向推進力を著しく低下させるため、歩幅の短縮や歩行速度低下が生じる。高齢者は、その機能的制限を股関節屈伸パワーで代償することで歩行機能を保とうとするが、これは不効率な歩行パターンであり(図1B)、歩行持久性を低下させる要因となる(図1C)。歩行持久性が低下すると次第に外出を控えるようになり、これが身体活動を顕著に低下させる。不活動は廃用性筋萎縮を生じさせ、あるレベルを超えてこの状態が悪化すると歩行機能障害を起こして日常生活に支障をきたすこととなる。



図3 下腿三頭筋トレーニング

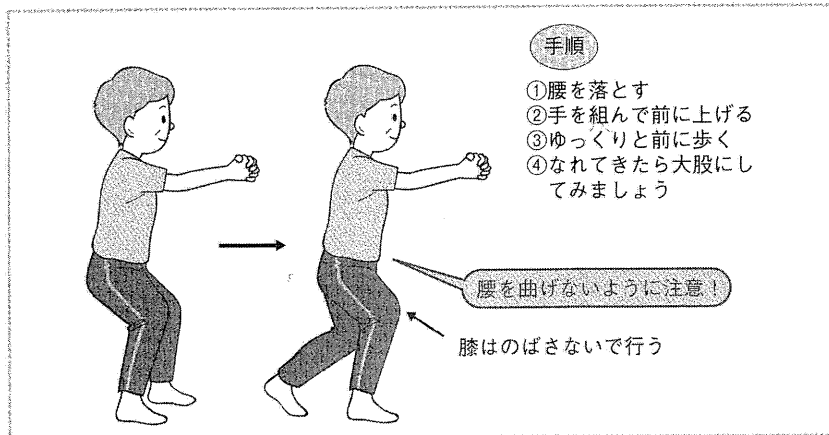


図4 抗重力筋トレーニング