

2) 調査方法

自記式の調査票により、過去1年間の転倒の有無とその発生状況を調べた。転倒の状況は、対象者が転倒をしたときの時刻、場所、転倒に関する活動、転倒の原因、転倒によるケガの程度を調べた。対象者が1年に2回以上転倒をしたとき、転倒の状況はもっとも重大なケガを引き起こした転倒、あるいはもっとも近い時期の転倒について質問した。

また、転倒に対する恐怖感はすべての対象者において、選択形式の質問「現在、あなたは転ぶことがこわいと感じますか」で回答を求め、選択肢は「とてもこわい」、「少しこわい」、「こわくない」の3分類を用い、前者2つを「こわい」、後者1つを「こわくない」とした。転倒の定義は既存の研究¹⁰⁾を参考にして「自らの意志によらず、足底以外の部分が床、地面についた場合」とした。

転倒者の割合、転倒の恐怖を有する者の割合の性差については χ^2 検定により分析した。他の発生状況について、ケガがもっとも重度であった転倒についてのみ記録されており、全転倒の状況が把握されているわけではない。そこで、本研究では、転倒の発生状況について調査結果の単純集計のみを報告し、統計学的な分析は実施しなかった。解析には統計パッケージSAS (ver.8.2) を使用した。

2. 結果

転倒を経験した人数は150名で、転倒者の割合は13.3%であった。性別による転倒者の割合は女性が男性よりも有意に高かった(表1)。転倒回数についても調査をしたが、無回答が多かったため今回は分析を行なわなかった。

1日を深夜・早朝(0~6時)、午前(6~12時)、午後(12~18時)、夜(18~24時)の4つの時間帯に分け、各時間帯に起きた転倒発生の割合を図1に示した。転倒は午前6時から午後6時までの時間帯に多く発生した。

転倒の場所に関して、屋内における転倒は

28.0%、屋外における転倒は72.0%であり、転倒は屋内よりも屋外で頻繁に発生していた(図2)。

転倒に関係した活動は図3に示したように分類された。その他/不明を除いて、転倒は歩いている間にもっとも頻繁に発生し、階段を下りる際の転倒が次いで多かった。

転倒の主な原因は既存の研究^{2,13)}にしたがって、外因性の転倒(79.5%)、内因性の転倒(2.1%)、その他/不明の転倒(18.5%)に分けられた(表2)。転倒の大多数は外因性の要因によるものであった。外因性の要因の中でも、「つまずいた」、次いで「滑った」ことによる転倒が多かった。

転倒後のケガについて、図4に示した。ケガのない場合は最多で全転倒の43.5%であり、次いで、41.5%が打撲傷であった。骨折を伴う転倒は一例のみであったが(0.7%)、高齢者の転倒で問題になる大腿骨頸部骨折ではなかった。

転倒の恐怖に関して、約30%が「こわい」と報告している(表3)。性別にみると、男性では20.0%、女性では47.9%であり、女性が男性よりも転倒恐怖感を有する人の割合が高かった。

表1 性別の転倒者数と割合

	転倒者数 (%)
合計 (n = 1,130)	150 (13.3)
男性 (n = 572)	57 (10.0)
女性 (n = 558)	93 (16.7)
χ^2 (男性 vs 女性)	11.02 **

**p < 0.01

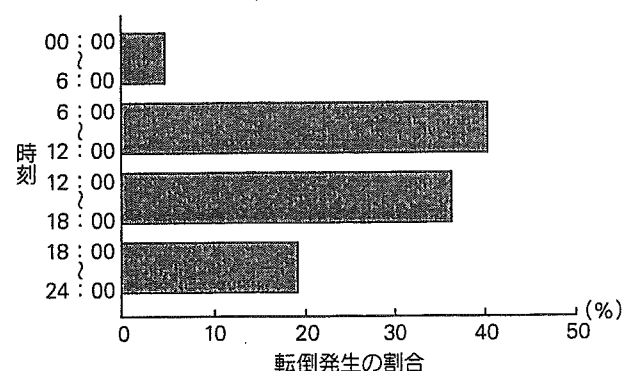


図1 転倒時間 (n = 127)

3. 考 察

わが国の1年間の転倒発生率は在宅高齢者では20%弱と報告する研究が多い²⁻⁴⁾。今回調査した地域在住の中年者における転倒者の割合は13.3%であり、高齢者に比べ、低い割合であった。高齢者では、視力や筋力、平衡能力の低下、歩行機能の低下など、さまざまな心身機能の低下により転倒が増えるとされている^{1,11)}。中年者ではこのような機能低下が少ないと考えられ、高齢者を対象者にした調査に比べ転倒発生率が低い今回の結果

に特に矛盾はないといえるだろう。

本研究では、転倒者の割合は男性に比べ女性が有意に高かった。過去の高齢者に関する報告でも、転倒は女性に多いとされているが^{1,4,5)}、性差を認めないともいわれている^{2,3)}。女性は平衡維持機能が悪いとする報告もあるが¹²⁾、安村ら³⁾はさまざまな要因の関与が想定される転倒の発生は必ずしも女性に不利であると断定はできないと指摘している。

新野ら¹³⁾は在宅高齢者における転倒の発生状況として、日中、屋外、歩行中の転倒が多い傾向にあるとしている。本研究でも、日中、屋外、歩行中の転倒が多く、転倒の発生状況に関して中年者は高齢者と同様の傾向が認められた。また新野¹⁴⁾や安村ら¹¹⁾は転倒の発生状況について、高齢者では利用量、活動量の多い場所、時間帯を反映すると指摘している。このことは中年者の転倒にも当てはまると考えられる。転倒の原因は「つまずいた」、「滑った」の外因性の原因が多く、新野らの報告する高齢者の結果と一致していた¹³⁾。比較的若くADLのよい高齢者では外因性の関与が強く¹⁵⁾、高齢で病弱であるほど内因性の関与が大きい¹¹⁾と考えられている。今回の研究対象とした中年者は比較的元気な高齢者と同様、外因性の原因から転倒が発生することが認められた。

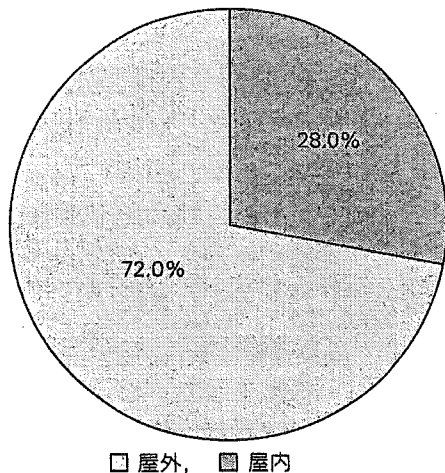


図2 転倒時の場所 (n = 132)

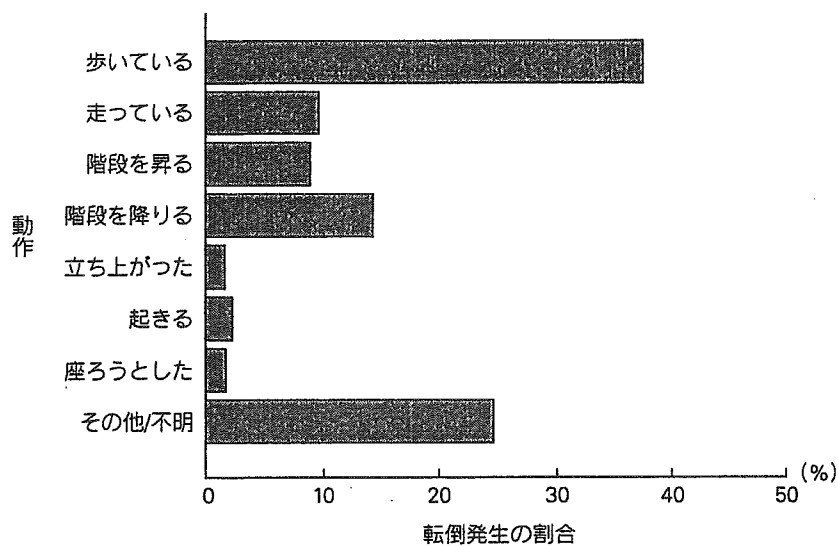


図3 転倒時の動作 (n = 146)

表2 転倒の最大原因の分布

	転倒者数 (%)
外因性	
つまずいた	66 (45.2)
滑った	39 (26.7)
何かにぶつかった	2 (1.4)
足を踏み外した	9 (6.2)
/小計	/116 (79.5)
内因性	
めまい	0 (0.0)
ふらついた	3 (2.1)
/小計	/3 (2.1)
その他/不明	27 (18.5)
合計	146

表3 転倒恐怖感を有する人の数と割合

	人数 (%)
合計 (n = 1,120)	337 (33.7)
男性 (n = 571)	114 (20.0)
女性 (n = 549)	263 (47.9)
χ^2 (男性 vs 女性)	97.85**

**p < 0.01

転倒に伴うケガについて調べた結果、ケガのない場合が最多で43.5%であり、他の高齢者の研究報告と同様の割合であった^{2,4,13)}。特に、注目すべき点は転倒に伴う骨折で、高齢者を対象にした研究では転倒による骨折は5~15%と報告されている^{2,4,13)}が本研究では0.7%とわずかであり、転倒による骨折は中年者において少ないことが示された。

転倒恐怖感を有する人の割合は中年者で約30%であった。性別に比較すると、転倒者の割合と同様、女性において転倒に対する恐怖感が有意に高かった。わが国では転倒恐怖感の研究が少なく単純に頻度を比較することはできないが、欧米の報告では地域在住高齢者において、全体の30~43%の人が転倒恐怖感を報告している¹⁶⁻¹⁸⁾。転倒恐怖感により、活動の制限、身体機能の低下につながる可能性もあり、中年者についても転倒恐怖感のさらなる研究が必要である。Vellasら¹⁶⁾

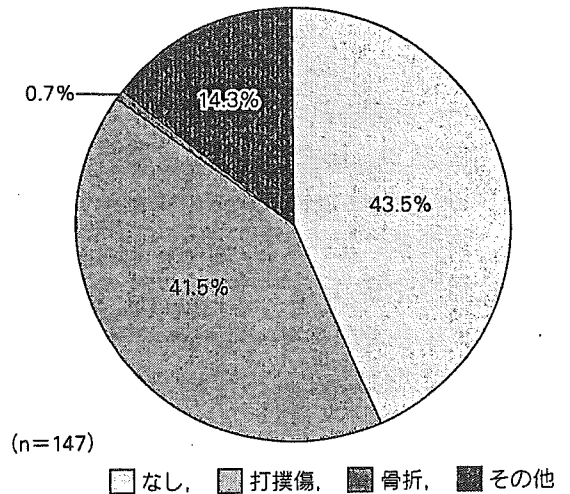


図4 転倒時のケガ

は地域在住の高齢女性における転倒恐怖感の割合が高いことを報告し、虚弱な高齢女性が転倒恐怖感を表現するのではないかと指摘している。われわれの中年者の結果も、男性に比べ筋力など身体機能等が劣る女性に転倒恐怖感の表現が多く、そのため性差が生じたと考えられた。

なお、本研究では転倒回数について無回答が多かったため詳しい検討をしていないが、高齢者に比べ比較的機能が保持されている中年者では複数回転倒が少ないことが考えられる。今後この複数回転倒の問題も含め、さらに中年者の転倒について調査していきたいと考えている。

4. まとめ

中年期の地域住民を対象に、転倒をした人の割合、発生時刻、場所などの発生状況に関する調査を行なった。その結果、日中、屋外、歩行中の転倒が多いなど、地域在住高齢者と同様の傾向が認められた。ただし、転倒の予後に関しては中年者で骨折が少ない可能性が示された。

調査にご協力いただいた愛知県大府市および東浦町の方々、並びに調査に関与したスタッフに感謝いたします。本研究の一部は厚生労働科学研究費長寿科学総合研究事業、健康科学総合研究事業の補助を

受けて行なわれた。

文 献

- 1) Tideiksaar R : Falling in old age : Its prevention and management (2nd ed). Springer, 1997.
- 2) 安村誠司ほか：地域の在宅高齢者における転倒発生率と転倒状況. 日公衛誌, **38** (9) : 735—741, 1991.
- 3) 安村誠司ほか：農村部の在宅高齢者における転倒の発生要因. 日公衛誌, **41** (6) : 528—537, 1994.
- 4) 新野直明, 小坂井留美, 江藤真紀：在宅高齢者における転倒の疫学. 日老医誌, **40** (5) : 484—486, 2003.
- 5) Haga H, Shibata H, Shichita K et al. : Falls in the institutionalized elderly in Japan. Arch Gerontol Geriatr, **5** (1) : 1—9, 1986.
- 6) 鈴木みずえ, 岡村カルロス竹男, 嶋津祐子ほか：高齢者の転倒経験に関する調査研究—養護老人ホームの居住者を対象として—. 日公衛誌, **39** (12) : 927—939, 1992.
- 7) 新野直明, 中村健一：老人ホームにおける高齢者の転倒調査：転倒の発生状況と関連要因. 日老医誌, **33** (1) : 12—16, 1996.
- 8) 厚生統計協会編：国民衛生の動向・厚生の指標. 臨時増刊, **50** (9) : 396—397, 2003.
- 9) 下方浩史：長期縦断研究の目指すもの. Geriat Med, **36** (1) : 21—26, 1998.
- 10) Gibson MJ : Falls in later life. Improving the health of older people ; A world view (eds by Kane et al). Oxford Univ Press, pp. 296—315, 1990.
- 11) 安村誠司, 新野直明：高齢者の転倒因子. 理学療法, **14** (3) : 199—205, 1997.
- 12) Overstall PW, Exton-Smith AN, Imms FJ et al. : Falls in the elderly related to postural imbalance. Br Med J, **1** (6056) : 261—264, 1977.
- 13) 新野直明：高齢者の転倒とその対応. 治療, **83** (10) : 80—83, 2001.
- 14) 新野直明：運動障害①) 転倒. Geriat Med, **36** (6) : 849—853, 1998.
- 15) Perry BC : Falls among the elderly : a review of the methods and conclusions of epidemiologic studies. J Am Geriatr Soc, **30** (6) : 367—371, 1982.
- 16) Vellas BJ, Wayne SJ, Romero LJ et al. : Fear of falling and restriction of mobility in elderly fallers. Age Aging, **26** (3) : 189—193, 1997.
- 17) Cumming RG, Salkeld G, Thomas M et al. : Prospective study of the impact of fear of falling on activities of daily living, SF-36 scores, and nursing home admission. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, **55** (5) : M299—M305, 2000.
- 18) Murphy SL, Williams CS, Gill TM et al. : Characteristics associated with fear of falling and activity restriction in community-living older persons. J Am Geriatr Soc, **50** (3) : 516—520, 2002.

中高年者における余暇身体活動および青年期の運動経験と骨密度との関連

Relationship of bone mineral density with leisure-time physical activity and adolescent exercise in the middle-aged and elderly

小坂井 留美* 道 用 亘* 安 藤 富士子*
下 方 浩 史* 池 上 康 男**

Rumi KOZAKAI* Wataru DOYO* Fujiko ANDO*
Hiroshi SHIMOKATA* Yasuo IKEGAMI**

Purpose: The aim of this study was to assess the relationships of bone mineral density (BMD) with current leisure-time physical activity (LTPA) and adolescent exercise (AEX) among the middle-aged and elderly in Japan.

Methods: The data for the present study were derived from the baseline data of the National Institute for Longevity Sciences-Longitudinal Study of Aging (NILS-LSA). Subjects consisted of 1017 male (58.5 ± 10.8 years) and 577 postmenopausal female (62.6 ± 8.4 years). Those who had osteoporosis, rheumatoid arthritis or cancer were excluded from the subjects. Those who used thyroid hormone or parathyroid hormone were also excluded. Subjects were interviewed about their physical activity habits during leisure time throughout the past twelve months and about exercise they engaged in during adolescence (12 to 20 years). Subjects were divided into 3 groups according to the intensity of LTPA, 'no LTPA', 'light LTPA' and 'moderate or heavy LTPA'. They were also divided into 2 groups, with or without AEX. BMD was measured with a dual energy X-ray absorptiometry (DXA; Hologic QDR-4500A), in g/cm^2 . Measurement sites were the whole body (WB), L2-L4 lumbar spine (L24), femur neck (FN), Ward's triangle (WT), and trochanter (TR). Relationships of BMD with LTPA and AEX were analyzed using analysis of covariance controlled for age, height and weight. Significant probability levels were less than 0.05.

Results: Average BMD (SD) at WB, L24, FN, WT, TR were 1.09(0.10), 0.99(0.16), 0.76(0.11), 0.56(0.13), 0.67(0.11) in male and 0.93(0.11), 0.82(0.16), 0.66(0.10), 0.47(0.14), 0.55(0.10) in female, respectively. The proportion of subjects with LTPA was 75.5% in male and 67.7% in female. The subjects that engaged in AEX represented 65.7% in male and 39.5% in female. The result of analysis of covariance controlled for age, height and weight was as follows; in male, LTPA showed significant main effect on BMD at FN, WT and TR. AEX showed significant main effect on BMD at all sites. However, there was no interaction effect on BMD at all sites. As for female, LTPA showed significant main effect on BMD at FN and TR. AEX showed significant main effect on BMD at TR. There was a significant interaction effect on BMD at WB and FN.

Conclusion: The results suggested that not only current leisure-time physical activity but also adolescent exercise benefits bone mineral density among middle-aged and elderly people in Japan.

1. 緒言

我が国の高齢者における寝たきりの原因の第2位は転倒による骨折であり¹⁾、骨折は高齢者の自立を妨

げ、生活の質 (Quality of life; QOL) を脅かす要因の一つと考えられている。また、高齢者に多くみられる骨密度の低下による骨折は脆弱性骨折と呼ばれ、World Health Organization (WHO) では、骨密度 (Bone Mineral

* 国立長寿医療センター 疫学研究部
** 名古屋大学総合保健体育科学センター
* Department of Epidemiology, National Institute for Longevity Sciences
** Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

Density; BMD) が若年成人平均値 (Young Adult Mean; YAM) の $-2.5SD$ 以下であると脆弱性骨折が急増することを報告している²²⁾。従って、中高年期における骨密度低下の要因を明らかにし、その予防法を確立することは高齢社会における急務の課題と考えられる。

骨密度の低下には、年齢や性あるいは遺伝的因子など制御できない要因の影響が大きいとされる一方、運動、栄養、嗜好などの生活習慣や日照時間などの環境因子など制御可能な要因も影響するといわれる⁷⁾。運動については、運動不足など身体活動量の減少が骨密度低下の危険因子とされており、骨粗鬆症の予防には運動が推奨されている⁷⁾。しかし、骨密度増加に対する運動介入の効果は多く確認されているものの^{10), 12), 13)}、日常生活における運動習慣と骨密度との関連については、運動により骨密度が増加したという報告^{3), 6), 27)} に対し、骨密度は変化しなかったという報告もみられ^{4), 5)}、一致した結論に至っていない。

一方、中高年期の骨量には若年期の骨密度 (peak bone mass) も影響を与える。骨は成長期に著しく発達して骨量のピークに達することから、この時期にピークをいかに高めるかは、それ以降の骨密度を予測する上で重要な因子と考えられている²⁶⁾。運動は成長期においても骨密度増加と関連することが報告されており^{15), 16), 20)}、現在の運動習慣だけでなく、青年期の運動習慣も併せて検討することは、中高年期の骨密度低下の予防を考える上で重要なことと思われる。

そこで、本研究では地域在住中高年者の日常生活における余暇身体活動状況および青年期の運動と骨密度を調べ、各々の身体活動と骨密度との関連について横断的に検討することを目的とした。

2. 方法

対象

本研究は、国立長寿医療センター疫学研究部が行う「老化に関する長期縦断疫学調査 (National Institute for Longevity-Longitudinal Study of Aging; NILS-LSA)」の一環として行われた。NILS-LSA は、老化および老年病の予防法の確立や機序の解明を目的に、医学、形態学、栄養学、心理学、運動生理学などの分野から調査、検討を行う学際的な研究である。詳細は他論文を参照にされたい²⁵⁾。NILS-LSA の参加者は、国立長寿医療センター周辺の愛知県大府市、東浦町に在住する地域住民より性・年代別に層化無作為抽出された人の中で、調査・検査内容とその継続の意義を十分に理解し、文書による了承 (インフォームドコンセント) の得られた40~79歳までの男女2267名である。本研究では、調

査参加者の中から骨密度に影響すると考えられる疾患 (骨粗鬆症、リュウマチ・関節炎、がん) や服薬 (甲状腺・副甲状腺ホルモン剤) のない男性1017名 (平均年齢 58.5 ± 10.8 歳)、閉経後の女性577名 (平均年齢 62.6 ± 8.4 歳) について検討した。尚、NILS-LSA は、「疫学調査に関する倫理指針」を遵守し、国立長寿医療センター倫理委員会の承諾を受けた上で実施されている。

測定項目

骨密度 (Bone mineral density; BMD, g/cm^3) は、Dual energy X-ray absorptiometry (DXA; Hologic 社製、QDR-4500A) を用いて測定した。測定部位は、全身 (Whole Body; WB)、腰椎 L2-4 (Lumber2-4; L24)、右下肢の大腿骨頸部 (Femoral Neck; FN)、ワード三角 (Word Triangle; WT)、大転子部 (Trochanter Region; TR) とした。骨密度測定において、別に行った再現性の検討では、10名の被験者 (男性6名、女性4名、平均年齢 38.3 ± 6.8 歳) に対し、測定を3回繰り返した際の各測定項目の変動係数 (coefficient of variation; CV) は、WB = 0.9%、L24 = 0.9%、FN = 1.3%、WT = 2.5%、TR = 1.0%であった。

身体活動量は、余暇身体活動 (Leisure-time physical activity; LTPA) と青年期の運動経験 (Adolescent exercise; AEX) について質問票を用いた聞き取り調査を行った¹¹⁾。余暇身体活動は、過去1年間に余暇時間に定期的な身体活動 (週1回、1回10分以上) を行ったかを聞き取り、その活動内容を「低強度 = 2.5METs (metabolic equivalents) 程度」、「中強度 = 4.5METs 程度」、「高強度 = 6.5METs 以上程度」に分類した。青年期の運動経験は、12~20歳の間にクラブ活動などで定期的な運動 (週1回、1年以上) を行ったか否かを調べた。

対象者の基礎的身体特性として、身長、体重を測定し、体重を身長の二乗で除した Body Mass Index (BMI; kg/m^2) を算出した。体脂肪率および除脂肪量は、骨密度と同じく DXA にて測定した。

統計解析

骨密度は性別に平均値を算出した。現在の余暇身体活動および青年期の運動と骨密度の関連を検討するために、余暇身体活動のレベルを、「活動を行っていなかったもの = LTPA (N)」、「低強度の活動のみを行っていたもの = LTPA (L)」、「中強度以上の活動を行っていたもの = LTPA (H)」の3段階、青年期の運動経験を、「なし = AEX (-)」、「あり = AEX (+)」の2段階に分け、各骨密度への余暇身体活動および青年期の運動の影響について年齢、身長、体重を調整変数とした共分散分析を行った。尚、余暇身体活動レベルについては、高

強度の活動に従事した人の数が少なかったため、中強度の活動に従事した人と合わせてLTPA (H) とした。解析には SAS (Statistical Analysis System, release.8.2) を用い²⁴⁾、有意水準はすべて5%未満とした。

3. 結果

対象者の身体特性は Table 1 に、DXA で測定した部位別の骨密度は Table 2 に示した。本研究の対象者の骨密度は、日本骨粗鬆学会の提示する骨密度の各性・年代別標準値と大きな差は認めなかった¹⁹⁾。

強度別の余暇身体活動および青年期の運動に従事した者の割合は、Table 3 に示した。過去1年間に余暇身体活動に従事したものは男性で75.5%、女性で67.7%であった。強度別の余暇身体活動従事者の割合をみると、低強度のみの活動に従事していた人は男性30.5%、女性33.8%、中強度以上の活動に従事していた人は男性45.0%、女性33.9%であった。男性は女性に比べ強度の高い余暇身体活動に参加する人の割合が高かった。一方、青年期の運動経験のある者は、男性65.7%、女性39.5%であり、女性は男性に比べ青年期の運動経験のある人の割合が低かった。

余暇身体活動および青年期の運動と各部位の骨密度との関連を検討するために、余暇身体活動レベルをLTPA (N)、LTPA (L)、LTPA (H) の3段階、青年期の運動をAEX (-)、AEX (+) の2段階に分け、年齢、身長、体重を調整変数とした共分散分析を行った。その結果、男性では、余暇身体活動の主効果はFN、WT、TRの大腿骨近位部において有意であり、青年期の運動の主効果は全ての部位において有意であった。余暇身体活動と青年期の運動との交互作用は、いずれの部位にもみとめられなかった (Table 4)。男性において、余暇身体活動のレベルの高い人は大腿骨近位部の骨密度の高いこと、青年期の運動経験のある人は測定した全ての部位において骨密度の高いことが示された。女性では、余暇身体活動の主効果はFNとTRにおいて有意であり、青年期の運動の主効果はTRにおいて有意であった。余暇身体活動と青年期の運動の交互作用は、WBとFNにおいて有意であった (Table 5)。女性において、余暇身体活動レベルの高い人は大腿骨頸部と大転子部の骨密度が高く、青年期の運動経験のある人は大転子部の骨密度の高いことが示された。女性ではさらに、全身と大腿骨頸部において青年期の運動経験の有無により余暇身体活動レベルと骨密度との関連に差のあることが示され、青年期の運動経験のないものは余暇身体活動レベルの高いもので骨密度の高い傾向が認められたが、運動経験のあるものではその傾向は認

められなかった。

余暇身体活動および青年期の運動と骨密度との関連は、性や部位により異なったものの、大腿骨近位部、特に大転子部においては男女に共通して各々の身体活動の高いもので骨密度の高いことが認められた (Fig. 1)。

Table 1. Characteristics of the subjects

		Male	Postmenopausal female
Height	(cm)	164.8±6.3	150.7±6.0
Weight	(kg)	62.4±9.1	52.0±8.4
BMI	(kg/m ²)	22.9±2.8	22.9±3.3
% Body fat	-	21.3±4.3	32.1±5.0
Fat free mass	(kg)	49.2±5.9	35.4±4.3

Mean±S.D.

Table 2. The average of bone mineral density (BMD) at each site in both genders

site	BMD (g/cm ²)	
	Male	Postmenopausal female
Whole Body	1.09±0.10	0.93±0.11
Lumber 2-4	0.99±0.16	0.82±0.15
Femoral neck	0.76±0.11	0.66±0.10
Ward Triangle	0.56±0.13	0.47±0.14
Trochanter Region	0.67±0.11	0.55±0.10

Mean ± S.D.

Table 3. The participation rates of LTPA and AEX

	Levels	Male	Postmenopausal female
LTPA	Total [†]	75.5	67.7
	Light	30.5	33.8
	Moderate and Heavy	45.0	33.9
AEX	Total [†]	65.7	39.5

Note. [†]total number of the subjects who participated in LTPA or AEX. LTPA, leisure-time physical activity; AEX, adolescence exercise. Values are expressed in percentage.

Table 4. The analysis of covariance controlled for age, height and weight in male

Male	WB		L24		FN		WT		TR	
	df	F value	df	F value	df	F value	df	F value	df	F value
LTPA	2	1.66	2	0.27	2	5.65*	2	5.15*	2	4.96*
AEX	1	6.21*	1	12.90*	1	4.42*	1	5.93*	1	15.59*
LTPA*AEX	2	1.11	2	0.55	2	1.79	2	1.86	2	0.80
Age	1	8.09*	1	11.07*	1	26.22*	1	122.31*	1	0.45
Height	1	0.44	1	5.13*	1	0.76	1	1.77	1	12.71*
Weight	1	73.03*	1	141.54*	1	184.34*	1	91.91*	1	217.78*
error	1008		1007		1007		1007		1007	
r ²	0.15		0.15		0.29		0.30		0.24	

Note. LTPA, leisure-time physical activity; AEX, adolescence exercise; WB, Whole body; L24, Lumber2-4; FN, Femoral Neck; WT, Ward Triangle; TR, Trochanter region. **p*<0.05

Table 5. The analysis of covariance controlled for age, height and weight in postmenopausal female

Female	WB		L24		FN		WT		TR	
	df	F value	df	F value	df	F value	df	F value	df	F value
LTPA	2	0.70	2	0.70	2	3.14*	2	1.98	2	3.98*
AEX	1	1.02	1	1.42	1	2.81	1	2.10	1	6.40*
LTPA*AEX	2	3.50*	2	0.71	2	4.55*	2	2.13	2	2.31
Age	1	232.89*	1	89.64*	1	162.37*	1	245.02*	1	149.47*
Height	1	2.23	1	0.01	1	1.11	1	2.85	1	7.42*
Weight	1	19.57*	1	86.31*	1	92.60*	1	42.12*	1	120.05*
error	566		566		564		564		564	
r ²	0.43		0.34		0.42		0.42		0.42	

Note. LTPA, leisure-time physical activity; AEX, adolescence exercise; WB, Whole body; L24, Lumber2-4; FN, Femoral Neck; WT, Ward Triangle; TR, Trochanter region. **p*<0.05

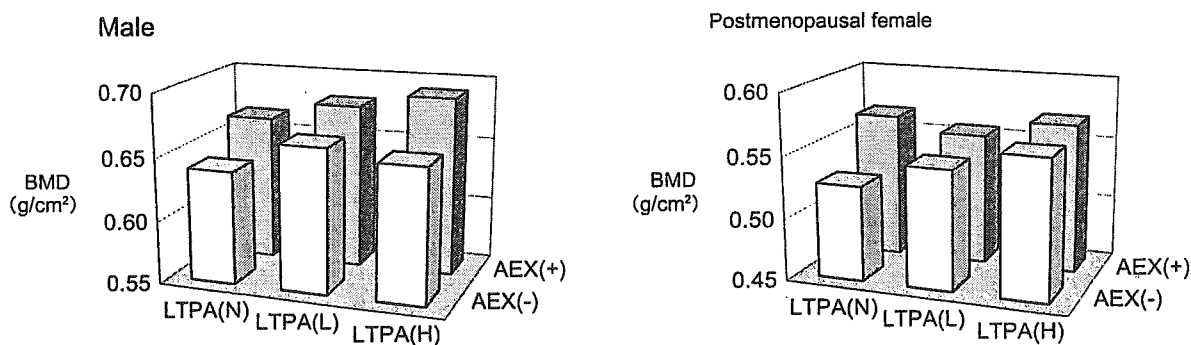


Fig. 1. The relationships of LTPA and AEX with BMD at TR controlled for age, height and weight deviding by gender. LTPA(N), no leisure-time physical activity; LTPA(L), light leisure-time physical activity; LTPA(H), moderate and heavy leisure-time physical activity; AEX(-), without adolescent exercise; AEX(+), with adolescent exercise; BMD, bone mineral density, TR, trochanter region.

4. 考察

本研究では、地域在住中高年者における現在の余暇身体活動状況および青年期の運動経験と骨密度を調べ、各々の身体活動と骨密度との関連について、年齢や体格を調整した検討を行った。その結果、男女ともに余暇身体活動のレベルの高いもので大腿骨近位部の骨密度の高いこと、青年期の運動経験のあるもので男性における全ての部位の骨密度、および女性における大転子部の骨密度の高いことが示された。

余暇身体活動と大腿骨の骨密度との関連が認められたことは、Vuilleminらの健康な高齢男女を対象とした報告²⁷⁾や閉経女性を対象としたBlanchetらの報告を支持する結果である³⁾。身体活動は大腿骨への力学的あるいは筋肉の収縮による負荷により、この部位の骨密度の維持向上に関連したと考えられた。

これまで、運動習慣と骨密度との関連が先行研究^{4), 5)}において明確でなかった理由の一つには、身体活動の定量や分類方法が異なることがあげられる。Couplandらは、閉経女性における歩行と骨密度との関連の検討から、骨密度は歩行量よりも歩行速度との関連の強いことを示し⁵⁾、骨密度は活動の量よりも強度に依存することを示唆した。またKerrらは、12ヶ月の運動介入の研究において低負荷・高頻度のトレーニングに比べ、高負荷・低頻度の活動でより骨密度の高まることを報告し、骨密度に対する強度の高いトレーニングの有効性を示した¹³⁾。本研究では余暇身体活動の分類に、metabolic equivalents (METs)を指標として用いた。METsは、酸素摂取量を基準とした強度設定であるため²⁾、加重負荷の程度は明確ではないが、METsにより分類された活動内容をみると、低強度では散歩や庭仕事などが含まれたのに対し、中強度以上の活動ではスポーツ活動などが含まれた。従って、本研究の活動分類は加重負荷の強弱をある程度反映しており、余暇身体活動レベルによる骨密度の違いに結びついたと考えられた。

余暇身体活動と骨密度との関係が部位により異なっただ点、すなわち全身や腰椎、女性におけるワード三角部の骨密度と余暇身体活動との関連が認められなかった点については、次のような理由があげられる。大腿骨近位部は運動の影響を受けやすく^{10), 13)}、特に最近の身体活動が反映しやすい部位であることが指摘されている²⁷⁾。本研究では女性において特に骨量低下の危険性の高い閉経女性に関して検討を行ったが、NILS-LSAの未閉経女性においても大腿骨近位部でのみ余暇身体活動との関連が認められた(データ未発表)。そのため、大腿骨近位部では全身や腰椎に比べ現在の余暇身

体活動の効果が表れやすかったと考えられた。一方、腰椎は加齢に伴い骨や血管の石灰化を起こしやすい部位とされており¹⁸⁾、70歳以上の人も多く含む本研究の対象者においては、このような見かけ上の骨密度の高さが腰椎において、また全身において身体活動の影響を捉えにくくしたことが考えられた。女性のワード三角部については、骨の構成要素による説明が考えられる。ワード三角部は皮質骨に比べ海面骨の割合が高く、海面骨を含む部位は加齢の影響を受けやすいとされている^{1), 18), 23)}。従って、女性において加齢による顕著な海面骨の減少が身体活動の影響を上回ったことが考えられた。ただし、先行研究ではこれらの部位において運動の影響を認める報告もあるため^{8), 17)}、身体活動の影響が部位により異なる点については、今後さらなる研究が必要である。

青年期の活動と骨密度との関連については、男性では全ての部位において、女性では大転子部において、青年期の運動経験のあるもので骨密度の高いという結果が認められた。先行研究において、Florindoらは50歳以上のブラジル人男性を対象に行った研究から、10歳から20歳までの運動は最近1年間の活動と同様に全身、腰椎、大腿部近位部の骨密度を高めるための独立した因子となることを報告した⁶⁾。女性については、Puntillaらが閉経前後の女性の骨密度と11—17歳の運動との関連の検討から、青年期のスポーツ活動は腰椎骨密度の維持に関連すること²¹⁾、またWardらは高齢女性において大腿骨頸部の骨密度と発育期の身体活動との関連を報告した²⁸⁾。本研究はこれらの結果を支持するものであり、青年期の運動経験が中高年期の骨密度の維持向上に影響する可能性を示した。

健常者において、腰椎や股関節部の骨塩量は思春期後期に最大になるとされ、骨塩量増加のピークは女子で13歳前後、男子で16歳前後といわれている²⁶⁾。従って、この骨形成時期の環境因子の影響は非常に重要であると考えられている²⁶⁾。成長期の運動はこの時期の骨密度を高める^{15), 16), 20)}。また、高められた骨密度は一定期間維持されることが縦断研究により報告されている^{9), 15)}。本研究では、男性において青年期の運動経験のあるものでは有意に骨密度が高いという結果が得られたが、骨の成長の著しい12—20歳の間に積極的に運動を行い、骨量のピークを高めたことが中高年期の骨密度の維持に結びついた可能性がある。

一方、女性における青年期の運動と骨密度との関連は大腿骨近位部内でも部位により異なり、その関係性は明らかではなかった。これは、女性においては青年期に行った運動の強度が男性ほど強くない可能性のあることや、骨密度に対する年齢の影響の大きいこと、

さらには出産や閉経などダイナミックな性ホルモンの変動のあることなどが影響したのではないかと考えられる。その中で、大転子部において影響が認められたことは、この部位が筋肉との接合部であり、特に運動の影響を受けやすい部位であるという指摘のあることから^{5),13)}、他の大腿骨近位部に比べ大転子部で青年期の運動の影響が強く表れたことが考えられた。

女性においては、さらに全身と大腿骨頸部の骨密度において青年期の運動経験の有無により余暇身体活動と骨密度との関連の異なることが示された。各身体活動レベルの骨密度の平均値を確認すると、青年期の運動経験のない群では余暇身体活動レベルが上がるにつれ骨密度も高まるが、運動経験のあるものは余暇身体活動のレベルによらず比較的骨密度が高値に維持されることが推察された。しかし、本研究のみでこの結果を解釈することは難しく、さらに検討を重ねる必要がある。

以上のように、余暇身体活動および青年期の運動は、性や部位により異なるものの骨密度との有意な関連が認められた。特に大腿骨近位部では、男女共に各々の活動レベルの高いもので骨密度は高値を示した。大腿骨近位部は転倒による骨折を起こしやすい部位であるため、この部位の骨密度の維持向上は高齢になるに従い非常に重要となる。また、転倒は筋力や平衡機能の低下と密接に結びついており¹⁷⁾、転倒予防の観点からも現在および青年期における積極的な身体活動はこれらの運動機能の維持向上に有効である。

本研究には、いくつかの問題点も考えられた。一つは、身体活動量の測定方法に関する点である。本研究では身体活動量は聞き取り法による測定を行ったため、信頼性や再現性を考慮する必要があった。対象者の記憶の曖昧さや回答に対して何らかのバイアスの入ることなどは、聞き取り法に共通した対象者側の問題点である。一方、聞き取る側の問題点となる部分に関して、本研究では信頼性の確認された質問紙を用い、トレーニングされた面接者が面接を行うことで対応した。また、二つ目として身体活動のレベルの分類では強度による検討のみを行ったため、運動を行う上で重要な頻度や時間などは考慮されていない。骨密度低下の予防に対する至適運動を提唱していくためには、今後この点についても検討していくことも必要である。三つ目は、骨密度への他の因子の関与に関する点である。骨密度には様々な関連因子があるとされ、性ホルモンや成長ホルモンといった内分泌や遺伝子などの内的要因、嗜好品やカルシウム補助食品の摂取といった栄養摂取量、あるいは仕事活動量などの生活環境要因などがあげられている。骨粗鬆症の予防策を確立していくため

には、今後これらを含めた総合的な検討をしていく必要がある。

本研究は多数の一般地域住民を対象に、余暇身体活動および青年期の運動経験と骨密度を調べ、各々の身体活動と骨密度との関連を検討した。その結果、現在および青年期の積極的な身体活動は、中高年期における大腿骨近位部の骨密度の維持向上に関連することが示された。本研究の結果は、高齢者における骨折の予防法を確立するための一助となることが示唆された。

5. 要約

本研究では、地域在住中高年者を対象に、余暇身体活動および青年期の運動と骨密度を調べ、各々の身体活動と骨密度との関連について検討した。骨密度の測定はDXAを用い、全身、腰椎L2-4、大腿骨骨頭、ワード三角、大転子部を測定した。余暇身体活動状況と青年期の運動経験は聞き取り調査により調べた。余暇身体活動および青年期の運動と骨密度との関連について、余暇身体活動を「活動なし」、「低強度の活動のみ」、「中強度以上の活動」の3段階、青年期の運動経験を「なし」、「あり」の2段階に分け、年齢、身長、体重を調整した共分散分析を用いて検討した。以下に結果を示す。

- 1) 余暇身体活動に従事していた人の割合は男性75.5%、女性67.7%であり、強度別では低強度、中強度以上の順に男性30.5%、45.0%、女性33.8%、33.9%であった。青年期の運動経験のある人の割合は、男性65.7%、女性39.5%であった。
- 2) 余暇身体活動と骨密度との関連では、男性において余暇身体活動のレベルの高いもので大腿骨近位部の骨密度の高いこと、同じく女性でもワード三角部を除く大腿骨近位部の骨密度の高いことが示された。
- 3) 青年期の運動と骨密度との関連では、男性において青年期の運動経験のあるもので全ての部位における骨密度の高いこと、女性では大転子部の骨密度の高いことが示された。女性ではさらに全身と大腿骨頸部において、青年期の運動経験の有無により余暇身体活動と骨密度との関連の異なることが示された。

以上の結果より、余暇身体活動と青年期の運動経験は骨密度の維持向上に関連し、加齢に伴う骨密度の低下や骨折の予防に繋がることが示唆された。

文 献

- 1) Adami, S., D. Gatti, V. Braga, D. Bianchini, and M. Rossini:

中高年者の骨密度と身体活動

- Site-specific effects of strength training on bone structure and geometry of ultradistal radius in postmenopausal women. *J. Bone Miner. Res.* 14(1): 120-124, 1999.
- 2) アメリカスポーツ医学会編 日本体力医学会体力科学編集委員会監訳 運動処方方の指針 運動負荷試験と運動プログラム 原著第6版 南江堂 p143-151, 2001.
 - 3) Blanchet, C., Y. Giguère, D. Prud'homme, L. Turcot-Lemay, M. Dumont, G. Leduc, S. Côte, N. Laflamme, F. Rousseau, and S. Dodin: Leisure physical activity is associated with quantitative ultrasound measurements independently of bone mineral density in postmenopausal women. *Calcif. Tissue Int.* 73(4): 339-349, 2003.
 - 4) Brahm, H., H. Mallmin, K. Michaëlsson, H. Ström, and S. Ljunghall: Relationships between bone mass measurements and lifetime physical activity in a Swedish population. *Calcif. Tissue Int.* 62: 400-412, 1998.
 - 5) Coupland, C.A.C., S.J. Cliffe, E.J. Bassey, M.J. Grainge, D.J. Hosking, and C.E.D. Chilvers: Habitual physical activity and bone mineral density in postmenopausal women in England. *Int. J. Epidemiol.* 28: 241-246, 1999.
 - 6) Florindo, A.A., Mdo.R. Latorre, P.C. Jaime, T. Tanaka, M.G. Pippa, and C.A. Zerbini: Past and present habitual physical activity and its relationship with bone mineral density in men aged 50 years and older in Brazil. *J. Gerontol.* 57A(10): M654-657, 2002.
 - 7) 藤原佐枝子 骨粗鬆症 危険因子と予防対策 日本臨床 56(6): 211-215, 1998.
 - 8) Greendale, G.A., M.H. Huang, Y. Wang, J.S. Finkelstein, M.E. Danielson, and B. Sternfeld: Sport and home physical activity are independently associated with bone density. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 35(3): 506-512, 2003.
 - 9) Gstavsson, A., K. Thorsen, and P. Nordström: A 3-year longitudinal study of the effect of physical activity on the accrual of bone mineral density in healthy adolescent males. *Calcif. Tissue Int.* 73: 108-114, 2003.
 - 10) Heinonen, A., P. Kannus, H. Sievänen, M. Pasanen, P. Oja, and I. Vuori: Good maintenance of high-impact activity-induced bone gain by voluntary, unsupervised exercises: An 8-month follow-up of a randomized controlled trial. *J. Bone Miner. Res.* 14(1): 125-128, 1999.
 - 11) Iwai, N., N. Yoshiike, S. Saitoh, T. Nose, T. Kushiro, H. Tanaka, and the Japan Lifestyle Monitoring Study Group: Leisure-time physical activity and related lifestyle characteristics among middle-aged Japanese. *J. Epidemiol.* 10: 226-233, 2000.
 - 12) Kelley, G.A., K.S. Kelley, and Z.V. Tran: Exercise and bone mineral density in men: a meta-analysis. *J. Appl. Physiol.* 88: 1730-1736, 2000.
 - 13) Kerr, D., A. Morton, I. Dick, and R. Prince: Exercise effects on bone mass in postmenopausal women are site-specific and load-dependent. *J. Bone Miner. Res.* 11(2): 218-225, 1996.
 - 14) 厚生省 監修 厚生労働白書(平成12年度版) ぎょうせい p71-74, 2000.
 - 15) Lloyd, T., V.M. Chinchilli, N. Johnson-Rollings, K. Kieselhorst, D.F. Egli, and R. Marcus: Adult female hip bone density reflects teenage sports-exercise patterns but not teenage calcium intake. *Pediatrics* 106(1): 40-44, 2000.
 - 16) MacKelvie, K.J., K.M. Khan, and H.A. McKay: Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review. *Br. J. Sports Med.* 36: 250-257, 2002.
 - 17) 真野行生 編 高齢者の転倒とその対策 医歯薬出版株式会社 p2-7, 1999.
 - 18) 森田陸司 監修 骨粗鬆症と骨塩定量—DXAによる骨塩定量— メディカルレビュー社 p48-62, 1994.
 - 19) 折茂肇 原発性骨粗鬆症診断基準—2000年度改訂版(概要)— *Osteoporosis Japan* 9(1): 9-14, 2001.
 - 20) Pettersson, U., P. Nordström, H. Alfredson, K. Henriksson-Larsén, and R. Lorentzon: Effect of high impact activity on bone mass and size in adolescent females: A comparative study between two different types of sports. *Calcif. Tissue Int.* 67(3): 207-214, 2000.
 - 21) Puntilla, E., H. Kröger, T. Lakka, R. Honkanen, and M. Tuppurainen: Physical activity in adolescence and bone density in peri- and postmenopausal women: A population-based study. *Bone* 21(4): 363-367, 1997.
 - 22) Report of WHO Study Group: Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. p2-7, 1994.
 - 23) Riggs, B.L., H.W. Wahner, E. Seeman, K.P. Offord, and W.L. Dunn: Changes in bone mineral density of the proximal femur and spine with ageing. *J. Clin. Invest.* 70: 716-723, 1982.
 - 24) SAS Procedures Guide, Release 8.2 Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA, 2001.
 - 25) Shimokata, H., F. Ando, and N. Niino: A new comprehensive study on aging – the National Institute for Longevity Science, Longitudinal Study of Aging (NILS-LSA). *J. Epidemiol.* 10: S1-S9, 2000.
 - 26) 田中弘之 青壮年期の最大骨量の調節機構 *Medical Practice* 19(10): 1645-1649, 2002.
 - 27) Vuillemin, A., F. Guillemin, P. Jouanny, G. Denis, and C. Jeandel: Differential influence of physical activity on lumbar spine and femoral neck bone mineral density in the elderly population. *J. Gerontol.* 56A(6): B248-253, 2001.
 - 28) Ward, J.A., S.R. Load, P. Williams, K. Anstey, and E. Zivanovic: Physiologic, health and lifestyle factors associated with femoral neck bone density in older women. *Bone* 16(4): s373-s378, 1995.

(2004年9月21日受付)

中高年者における歩行動作の特徴

Gait characteristics in middle-aged and elderly adults

道 用 亘*	小坂井 留 美*	安 藤 富士子*
下 方 浩 史*	布 目 寛 幸**	池 上 康 男**
Wataru DOYO*	Rumi KOZAKAI*	Fujiko ANDO*
Hiroshi SHIMOKATA*	Hiroyuki NUNOME**	Yasuo IKEGAMI**

PURPOSE: This research was to describe the kinematic and kinetic characteristics of walking in community-dwelling middle-aged and elderly Japanese. Sex differences and relationships between walking variables and age were estimated. **METHODS:** Subjects were community-dwelling males and females (n=2075) aged 40—82yrs who participated in the 2nd wave examination of the NLS-LSA (National Institute for Longevity Sciences — Longitudinal Study of Aging). The subjects were asked to walk over force platforms (at 1200Hz) while being videotaped at 60Hz. They were asked to walk with two paces; comfortable and brisk walking. Direct linear transformation method was used to obtain 3-dimensional coordinates of feet, shanks, thighs and torso. Walking velocity, step length, step frequency, temporal components (support time, swing time, cycle duration, single support time, double support time) and motions at lower extremities (total ranges of flexions and peak torques at hip, knee and ankle joints in sagittal plane) during 1 cycle of walking were calculated. Student t-test and Pearson's correlation coefficients were utilized to assess the sex differences and relationship between walking variables and age. Statistical analyses were performed on SAS (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) version 8.2. **RESULTS:** Student t-test showed that sex differences were observed in almost all the variables ($p<0.01$, $p<0.001$) except walking velocity and peak torque at knee extensor in late stance during comfortable walking and double support time at late stance and total range of flexion at knee during brisk walking. Pearson's correlation coefficients showed that walking velocity, step length, step frequency, total ranges of flexions at hip and ankle, peak torques at hip extensor, knee flexors and ankle plantar flexor in both sexes during both walking were negatively correlated with age ($p<0.01$, <0.001). Also it showed that stance time, double support time, peak torques at hip flexor and knee extensors were positively correlated with age. **CONCLUSION:** Walking patterns in middle-aged and elderly adults were showed in this study. Sex differences and relationships between walking variables and age were observed in this population. Further research should center the association among the walking variables, the effect of other characteristics of samples on the walking pattern and age related-changes in elderly adults.

緒 言

歩行動作はヒトのADL評価やQOL維持・向上に有用で最も基本的な移動運動である。特に中高年者において、歩行能力の維持、向上は自立した生活を営む上で究めて重要であり、不可欠な日常動作である。中高

年者の歩行動作を運動学的・運動力学的に記述・評価することは、歩行能力に関する基礎的資料を得ることができると考えられ、今日まで様々な先行研究が報告されている。

Murray MP, et al.⁸⁾ は20—87歳の成人男性64名における歩行の速度、歩幅、1サイクルの時間成分、下肢関

* 国立長寿医療センター・疫学研究部
** 名古屋大学総合保健体育科学センター
* Department of Epidemiology, National Institute for Longevity Sciences
** Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

節角度変位等を記述し、それら歩行変量と年齢との関係について報告している。Winter DA, et al.¹⁵⁾は15名の高年者の歩行を記録し、若年群の歩行データベースと比較検討したところ、高年者は歩幅の減少、両脚支持時間の増加、推進期におけるパワーの減少を行っており、そのような歩行中の適応はdynamic balanceが低下していることに関連があると示唆している。DeVita P, and Hortobagyi T.¹⁾は同速度で歩行した若年群と高年群を比較し、高年男女は歩行中の膝関節伸展トルクおよび仕事量ならびに足関節トルクおよび仕事量は減少するが、股関節伸展トルクおよび仕事量は増加したことを示した。

このように歩行動作と年齢との関係は力学的情報の記述から検討されているが、必ずしも一致した知見が得られていない。例えば歩行中の股関節角度範囲に関して、Murray MP, et al.⁸⁾は高年群ほど低値を示したことを報告しているが、Oberger T, et al.⁹⁾は若年群と高年群に差がないことを報告している。このような知見の相違は、若年者と高年者の少数の対象による比較、被検者の高年群は体力レベルに優れている、測定精度に相違があるなど、対象の特性や測定環境に偏りがあることが原因と考えられる。また歩行動作の先行研究では性別ごとに分類して評価するなど、男性と女性の歩行動作を比較した研究は少ない。性別に歩行動作の特徴を記述し、性差を検討することにより、中高年者の歩行能力の制限因子を評価できるかもしれない。

以上のように中高年者の歩行動作の特徴や制限因子を明らかにするためには、無作為抽出した大規模サンプルに対してその歩行動作を高い精度により記述し、性差や年齢との関連を記述することが必要であると考えた。したがって本研究の目的は1) 地域在住中高年者の歩行動作を3次元映像解析法により記述し、2) 性差および年齢との関連を検討することである。

方 法

1. 対象者

対象は国立長寿医療センター・疫学研究部が行なう「老化に関する長期縦断疫学調査 (NILS-LSA)」の第2回調査に参加した40—82歳の地域住民男女2075名であった。身体的特性を表1に示す。

2. 課題

対象は左右の第5中足骨頭、足関節外顆、膝関節中心、大転子中央と上前腸骨棘とを結ぶ線上で大転子から1/3の点、肩峰点の計10個のマーカを貼付された。その後中央にフォースプレート2台を設置した10mの

木製歩行路上を通常歩行および速歩行を行なった。検者が通常歩行は「普段通りに」、速歩行は「走らない程度にできるだけ速く」歩行するよう対象に指示した。

3. 測定方法

歩行における1サイクルの動作を4台のカメラにより60Hzで (Vicon140, Oxford Metrics)、2台のフォースプレートより1200Hzで (9286, Kistler) 記録し、3次元映像解析法 (DLT法) により体幹、大腿、下腿、足部の3次元空間座標データおよび反力データを算出した。得られた3次元空間座標データおよび反力データはDIFF変換を行ない (臨床歩行分析研究会)、2次のバターワース型ローパスフィルターにより遮断周波数5Hz および10Hzで平滑化した。

4. 分析項目

データ分析は、歩行中における右脚の踵接地から爪先離地までの支持期、爪先離地から再度踵接地する直前までの遊脚期、両期間を合わせた1サイクルの区間において行なった (図1)。歩行速度 (m/秒) は体幹および左右下肢の質量中心における並進速度の1サイクルの平均値を算出した。歩幅 (m) は進行方向における左右の足部の3次元空間座標値から求めた。歩調 (Hz) は歩行速度を歩幅で除して算出した。歩行の時間成分 (秒) は支持期、遊脚期、1サイクル時間、単脚支持時間、両脚支持時間である。支持時間は右足がフォースプレートに接地している時間を算出した。遊脚時間は爪先離地から踵接地直前までの時間を足部の3次元空間座標および反力データより算出した。単脚支持時間は支持時間から支持期後半の両脚支持時間を2倍した値を減した値により推定した。両脚支持時間は左右の足が同時に接地した支持期後半の値のみ反力データより算出した。下肢関節角度範囲 (度) は1サイクルにおける股・膝・足関節角度運動の最大値から最小値を減することにより算出した (図2)。下肢関節ピークトルク (Nm) は支持期における股・膝・足関節トルクのピーク値を求めた。股関節は伸展/屈曲ピークトルク、膝関節は支持期前半の屈曲/伸展ピークトルク、支持期後半の屈曲/伸展ピークトルク、足関節は底屈ピークトルクである (図3)。尚、下肢関節角度範囲および下肢関節ピークトルクは矢上面の運動を算出した。

5. データ分析および統計処理

性差をStudent-t検定、年齢との関連をピアソンの相関係数により算出した。すべての検定はSAS統計パッケージ ver.8.2を用いて行なった。

中高年者における歩行動作の特徴

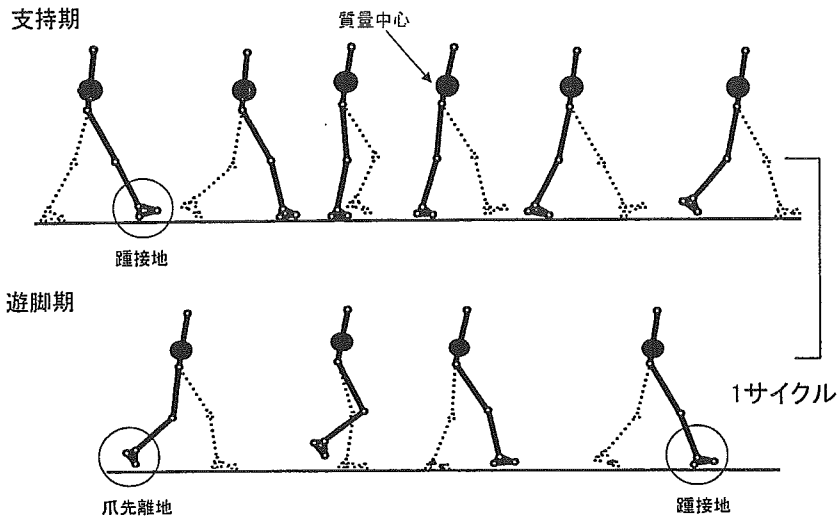


図1 データ分析区間（歩行のサイクル）

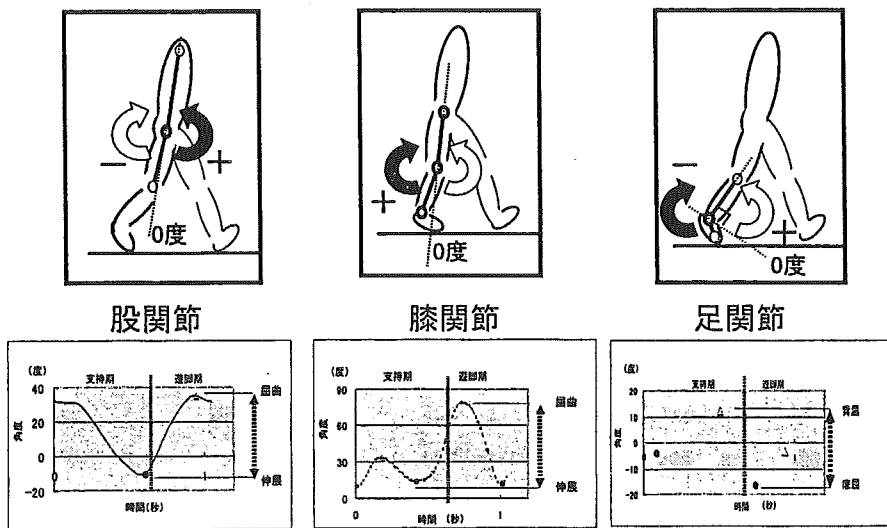


図2 下肢関節角度範囲

股関節

hex : 伸展ピークトルク
hfx : 屈曲ピークトルク

膝関節

kfx1 : 屈曲ピークトルク(前半)
kex1 : 伸展ピークトルク(前半)
kfx2 : 屈曲ピークトルク(後半)
kex2 : 伸展ピークトルク(後半)

足関節

apx : 底屈ピークトルク

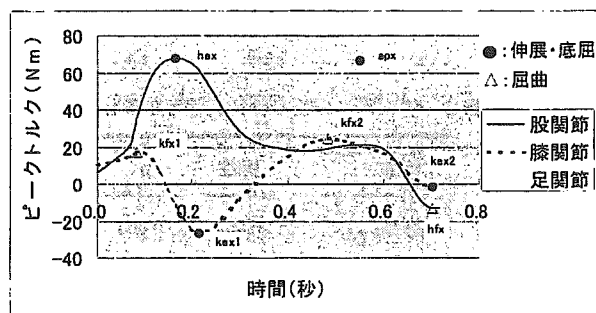


図3 下肢関節ピークトルク（支持期）

結 果

対象者の特性

対象者の身長、体重ともに有意な性差が認められた ($p < 0.001$)。また男女とも身長、体重とも年齢との間に有意な負の相関が認められた ($p < 0.001$)。結果を表 1、2 に示す。

速度・歩幅・歩調

通常歩行時の速度は男性 $1.43 \pm 0.18\text{m/秒}$ 、女性 $1.42 \pm 0.18\text{m/秒}$ 、速歩行時の速度は男性 $1.86 \pm 0.25\text{m/秒}$ 、女性 $1.75 \pm 0.24\text{m/秒}$ であり、通常歩行時に有意な性差は認められなかったが、速歩行時に有意な性差が認められた ($p < 0.001$)。通常歩行時および速歩行時の歩幅、歩調においても有意な性差が認められた。結果を表 3、4 に示す。また通常歩行時における速度と年齢との間の相関係数は男性 -0.27 、女性 -0.44 、速歩行時における速度と年齢との間の相関係数は男性 -0.44 、女性 -0.56 であり、男女とも有意な負の相関が認められた ($p < 0.001$)。通常歩行時および速歩行時の歩幅、歩調においても、男女とも年齢との間に有意な負の相関が認められた。結果を表 5、6 に示す。

時間成分

通常歩行時の両脚支持時間は男性 $0.144 \pm 0.020\text{秒}$ 、女性 $0.138 \pm 0.020\text{秒}$ 、速歩行時の両脚支持時間は男性 $0.116 \pm 0.018\text{秒}$ 、女性 $0.114 \pm 0.018\text{秒}$ であり、速歩行時に有意な性差は認められなかったが、通常歩行時に有意な性差が認められた ($p < 0.001$)。通常歩行時および速歩行時の支持時間、遊脚時間、1 サイクル時間、単脚時間においても有意な性差が認められた。結果を表 3、4 に示す。また通常歩行時における両脚支持時間と年齢との間の相関係数は、男性 0.15 、女性 0.26 、速歩行時の両脚支持時間と年齢との間の相関係数は、男性 0.30 、女性 0.38 であり、男女とも有意な正の相関が認められた ($p < 0.001$)。通常歩行時の支持時間、速歩行時の支持時間、両脚支持時間、1 サイクル時間、単脚支持時間においても、男女とも年齢との間に有意な正の相関が認められた。結果を表 5、6 に示す。

下肢関節角度範囲

通常歩行時の股関節角度範囲は男性 $45.6 \pm 4.6\text{度}$ 、女性 $44.5 \pm 4.7\text{度}$ 、速歩行時の股関節角度範囲は男性 $50.3 \pm 5.6\text{度}$ 、女性 $47.3 \pm 5.1\text{度}$ であり、通常歩行時および速歩行時ともに有意な性差が認められた ($p < 0.001$)。

表 1 対象の特性 (Student t 検定)

	男性			女性			p<
	n	(人)		n	(人)		
n		(人)	1070		(人)	1005	-
年齢		(歳)	59.3 ± 11.4		(歳)	59.3 ± 11.2	n.s.
身長		(cm)	165.1 ± 6.5		(cm)	152.1 ± 5.9	0.001
体重		(kg)	63.1 ± 9.4		(kg)	52.7 ± 8.1	0.001

平均値±標準偏差

表 2 男女別にみた身体的特性と年齢との関係 (ピアソンの相関係数)

年齢	男性	p<	女性	p<
身長	-0.52	0.001	-0.51	0.001
体重	-0.36	0.001	-0.22	0.001

中高年者における歩行動作の特徴

通常歩行時の膝・足関節角度範囲、速歩行時の足関節角度範囲においても、有意な性差が認められた。結果を表3、4に示す。また通常歩行時における股関節角度範囲と年齢との間の相関係数は男性-0.10、女性-0.13、速歩行時における股関節角度範囲と年齢との間の相関係数は男性-0.12、女性-0.15であり、通常歩行時および速歩行時ともに、男女とも有意な負の相関が認められた ($p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$)。通常歩行時および速歩行時の足関節角度範囲においても、男女とも年齢との間に有意な負の相関が認められた。結果を表5、6に示す。

下肢関節ピークトルク

通常歩行時の足関節底屈ピークトルクは男性 $86.6 \pm 18.0\text{Nm}$ 、女性 $66.8 \pm 13.1\text{Nm}$ 、速歩行時の足関節底屈ピークトルクは男性 $87.3 \pm 20.3\text{Nm}$ 、女性 $64.4 \pm 13.4\text{Nm}$ であり、通常歩行時および速歩行時ともに有意な性差が認められた ($p < 0.001$)。通常歩行時の股関節伸展/屈曲ピークトルク、膝関節屈曲/伸展(前半)ピークトルク、膝関節屈曲(後半)ピークトルク、速歩行時の股関節伸展/屈曲ピークトルク、膝関節屈曲/伸展(前半)ピークトルク、膝関節屈曲/伸展(後半)ピークトルクにおいても、有意な性差が認められた。

表3 男女別にみた通常歩行時の歩行変量 (Student t 検定)

		男性		女性		p<
歩行速度	(m/秒)	1.43	± 0.18	1.42	± 0.18	n.s.
歩幅	(m)	0.72	± 0.07	0.67	± 0.06	0.001
歩調	(Hz)	1.99	± 0.16	2.14	± 0.16	0.001 *
時間成分	(秒)					
支持時間		0.654	± 0.050	0.621	± 0.049	0.001
遊脚時間		0.377	± 0.034	0.357	± 0.045	0.001
1サイクル時間		1.034	± 0.068	0.979	± 0.077	0.001
単脚支持時間		0.365	± 0.032	0.345	± 0.031	0.001
両脚支持間(支持期後半)		0.144	± 0.020	0.138	± 0.020	0.001
下肢関節角度範囲	(度)					
股関節		45.6	± 4.6	44.5	± 4.7	0.001
膝関節		65.2	± 4.8	64.3	± 5.2	0.01
足関節		32.4	± 7.4	34.7	± 7.7	0.001 *
下肢関節ピークトルク	(Nm)					
股関節	伸展	88.1	± 23.1	74.1	± 22.5	0.001
	屈曲	- 28.5	± 8.6	- 24.9	± 7.5	0.001
膝関節	屈曲(前半)	29.7	± 9.8	23.1	± 8.3	0.001
	伸展(前半)	- 25.6	± 22.3	- 19.6	± 17.3	0.001
	屈曲(後半)	26.4	± 14.1	22.0	± 11.8	0.001
	伸展(後半)	- 4.6	± 5.2	- 4.1	± 5.8	n.s.
足関節	底屈	86.6	± 18.0	66.8	± 13.1	0.001

1) 平均値±標準偏差

2) 下肢関節ピークトルクの股関節屈曲、膝関節伸展は負の値ほど大きいことを示す

3) n.s.は有意でないことを示す

4) *は男性より女性が有意に大きいことを示す

結果を表3、4に示す。また通常歩行時における足関節底屈ピークトルクと年齢との間の相関係数は、男性-0.36、女性-0.32、速歩行時における足関節底屈ピークトルクと年齢との間の相関係数は、男性-0.36、女性-0.32であり、通常歩行時および速歩行時ともに、男女とも有意な負の相関が認められた ($p < 0.001$)。通常歩行時の股関節伸展/屈曲ピークトルク、膝関節屈曲/伸展(前半)ピークトルク、膝関節屈曲(後半)ピークトルク、速歩行時の股関節伸展/屈曲ピークトルク、膝関節伸展(前半)ピークトルク、膝関節屈曲/伸展

(後半)ピークトルクにおいても、男女とも年齢との間に有意な正の相関が認められた。結果を表5、6に示す。

考 察

速度、歩幅、歩調

本研究において、男性より女性の方が速歩行時の速度、通常歩行時および速歩行時の歩幅は小さかった。小坂井ら⁷⁾は、速度、歩幅ともに女性の方が早期に加

表4 男女別にみた速歩行時の歩行変量 (Student t 検定)

		男性		女性		p<
歩行速度	(m/秒)	1.86 ± 0.25	1.75 ± 0.24	0.001		
歩幅	(m)	0.80 ± 0.07	0.71 ± 0.07	0.001		
歩調	(Hz)	2.33 ± 0.24	2.48 ± 0.24	0.001 *		
時間成分 (秒)						
支持時間		0.553 ± 0.056	0.537 ± 0.050	0.001		
遊脚時間		0.345 ± 0.039	-0.323 ± 0.043	0.001		
1サイクル時間		0.901 ± 0.082	0.862 ± 0.082	0.001		
単脚支持時間		0.323 ± 0.039	0.309 ± 0.033	0.001		
両脚支持時間(支持期後半)		0.116 ± 0.018	0.114 ± 0.018	n.s.		
下肢関節角度範囲 (度)						
股関節		50.3 ± 5.6	47.3 ± 5.1	0.001		
膝関節		63.6 ± 5.4	63.0 ± 5.5	n.s.		
足関節		33.7 ± 6.7	36.1 ± 7.1	0.001 *		
下肢関節ピークトルク (Nm)						
股関節	伸展	109.7 ± 25.0	93.8 ± 25.6	0.001		
	屈曲	- 39.3 ± 13.4	- 32.5 ± 10.6	0.001		
膝関節	屈曲(前半)	36.3 ± 12.7	28.3 ± 9.7	0.001		
	伸展(前半)	- 29.0 ± 29.8	- 24.7 ± 19.6	0.001		
	屈曲(後半)	30.0 ± 16.1	22.5 ± 12.6	0.001		
	伸展(後半)	- 6.4 ± 7.9	- 5.2 ± 7.1	0.01		
足関節	低屈	87.3 ± 20.3	64.4 ± 13.4	0.001		

1) 平均値±標準偏差

2) 下肢関節ピークトルクの股関節屈曲、膝関節伸展は負の値ほど大きいことを示す

3) n.s.は有意でないことを示す

齢低下が出現することを報告している。本研究の女性における小さい速度、歩幅は加齢低下の影響があったのかもしれない。男性より女性の歩調が大きいことは先行研究の結果と一致した¹¹⁾。また、速度、歩幅と年齢との間に負の関連が認められたことは先行研究の結果^{1) 2) 3) 4) 7) 8) 10) 15)}と一致しており、顕著な中高年者の歩行動作の特徴であると考えられる。さらに通常歩行時および速歩行時とも歩調と年齢との間に負の関連が認められた。Himann JE, et al.⁴⁾は、19—102歳の438名の対象において加齢に伴う歩調の低下を示しており、

本研究の結果を支持すると考えられる。歩調と年齢の関連は認められないという本研究の結果と異なる先行研究も報告されているが、対象が少数であり、体力レベルが優位であるため²⁾、本研究の結果と異なると考えられる。

時間成分

本研究において、通常歩行時および速歩行時ともに支持時間、遊脚時間、1サイクル時間、単脚支持時間は男性より女性の方が低値を示した。通常歩行時の両

表5 男女別にみた通常歩行時の歩行変量と年齢との関係（ピアソンの相関係数）

年齢	男性	p<	女性	p<
歩行速度	- 0.27	0.001	- 0.44	0.001
歩幅	- 0.31	0.001	- 0.43	0.001
歩調	- 0.08	0.05	- 0.17	0.001
時間成分				
支持時間	0.12	0.001	0.25	0.001
遊脚時間	- 0.04	n.s.	0.03	n.s.
1サイクル時間	0.04	n.s.	0.18	0.001
単脚支持時間	- 0.01	n.s.	0.05	n.s.
両脚支持間(支持期後半)	0.15	0.001	0.26	0.001
下肢関節角度範囲				
股関節	- 0.10	0.05	- 0.13	0.01
膝関節	- 0.12	0.01	- 0.07	n.s.
足関節	- 0.12	0.01	- 0.26	0.001
下肢関節ピークトルク				
股関節 伸展	- 0.12	0.01	- 0.17	0.001
股関節 屈曲	0.24	0.001	0.27	0.001
膝関節 屈曲(前半)	- 0.29	0.001	- 0.26	0.001
膝関節 伸展(前半)	0.08	0.01	0.08	0.01
膝関節 屈曲(後半)	- 0.23	0.001	- 0.27	0.001
膝関節 伸展(後半)	0.06	n.s.	0.10	0.01
足関節 低屈	- 0.36	0.001	- 0.32	0.001

n.s. は年齢と有意でないことを示す

脚支持時間は男性より女性の方が低値を示したが、速歩行時に性差が認められなかった。このことは1) 絶対値のみ評価していること、2) 女性の歩調が大きいことに起因すると考えられ、今後1サイクルあたりの相対値(%)も検討することが必要であろう。また、通常歩行時および速歩行時ともに、支持時間、両脚支持時間と年齢との間に正の関連が認められたことは先行研究の結果と一致したと考えられる^{10) 15)}。Winter DA¹⁵⁾は高年者における両脚支持時間の増加は、安全で安定

した歩行パターンを行なうための適合であることを示唆している。古市ら¹⁰⁾は、両脚支持期に後方の足から前方の足に体重を移動させるため、両脚支持時間の増加は体幹の不安定な期間を減少させると考察している。両脚支持時間と年齢の間に正の関連が認められたことは、本研究の高年者が歩行中の姿勢保持の不安定さを補償するため、両脚支持時間を増加させた可能性がある。今後、加齢変化に関する詳細な分析が必要であると考えられる。

表6 男女別にみた速歩行時の歩行変量と年齢との関係(ピアソンの相関係数)

年齢	男性	p<	女性	p<
歩行速度	- 0.41	0.001	- 0.56	0.001
歩幅	- 0.36	0.001	- 0.44	0.001
歩調	- 0.20	0.001	- 0.35	0.001
時間成分				
支持時間	0.29	0.001	0.40	0.001
遊脚時間	0.04	n.s.	0.09	0.05
1サイクル時間	0.22	0.001	0.31	0.001
単脚支持時間	0.13	0.001	0.17	0.001
両脚支持時間(支持期後半)	0.30	0.001	0.38	0.001
下肢関節角度範囲				
股関節	- 0.12	0.001	- 0.15	0.001
膝関節	0.01	n.s.	0.00	n.s.
足関節	- 0.21	0.001	- 0.23	0.001
下肢関節ピークトルク				
股関節 伸展	- 0.20	0.001	- 0.23	0.001
股関節 屈曲	0.30	0.001	0.30	0.001
膝関節 屈曲(前半)	- 0.27	0.001	- 0.33	0.001
膝関節 伸展(前半)	- 0.00	n.s.	0.16	0.001
膝関節 屈曲(後半)	- 0.28	0.001	- 0.25	0.001
膝関節 伸展(後半)	0.09	0.05	0.10	0.05
足関節 低屈	- 0.36	0.001	- 0.32	0.001

n.s. は年齢と有意でないことを示す

下肢関節角度範囲

本研究において、男性より女性の股関節角度範囲は小さいことを示したが、足関節角度範囲は女性が大きい値を示した。また、通常歩行時および速歩行時ともに、股・足関節角度範囲と年齢との間に負の関連が認められた。DeVita P, and Hortobagyi T¹⁾ は若年群と高年群を同速度で歩行させた際、若年群と比較し、高年群の足関節角度範囲は小さいが、股関節角度範囲は大きくすることが可能であると示唆している。本研究の股関節角度範囲と年齢との間に負の関連が認められたことは、高年者に股関節機能の低下が認められることを示唆するものであり、先行研究の結果と異なると考えられる。この知見の相違は、先行研究における高年群の健康度、体力レベルが優位なことに起因する¹⁾と推察される。膝関節角度範囲は通常歩行時のみ有意な性差が認められたものの、顕著な年齢との関連は認められなかった。

下肢関節ピークトルク

本研究において、通常歩行時の膝関節伸展ピークトルク（後半）を除いたすべてのピークトルクは男性より女性の方が小さかった。また通常歩行時の膝関節伸展ピークトルク（後半）および速歩行時の膝関節伸展ピークトルク（前半）を除いたすべてのピークトルクは、男女とも年齢が高くなるほど、運動が小さくなることを示したことは先行研究の結果と一致した¹⁾。植松¹⁴⁾や Judge OJ, et al.⁶⁾ は若年者と比較して歩行中の高齢者の足関節底屈トルクが低下することを示している。Shultz AB¹³⁾ は筋力に関する先行研究を検討し、25—30歳の若年群と60—85歳の高年群の足関節底屈筋力を比較したところ、若年群より高年群が低値を示し、男性より女性の方が低値を示したことを報告している。本研究の対象において、歩行中の足関節底屈ピークトルクと年齢の間に負の関連が認められたことは、高年者の足関節底屈筋力低下に関連する可能性が推察され、今後、対象の筋機能との関連を評価する必要があると考えられる。

まとめ

本研究において3次元映像解析法を用いて歩行動作

記録した結果、中高年者の運動学的・運動力学的歩行パターンが示された。また中高年者の歩行パターンは性差および年齢に関連することが認められた。今後、歩行変量間の関連、対象の背景因子の影響、加齢変化を評価することにより、さらに中高年者の歩行動作の特徴や機序が明らかにできると考えられる。

参考文献

- 1) DeVita P, and Hortobagyi T. Age causes a redistribution of joint torques and powers during gait. *J Appl Physiol* 88: 1804-1811, 2000.
- 2) 淵本隆文. 高齢者の歩行能力を評価することの意義。—バイオメカニクスの視点から— *日本生理人類学雑誌* 5(2): 25-30, 2000.
- 3) 古市照人, 江藤文夫, 原田孝. 老年者の姿勢と歩行. *老化と疾患* 7(2):13-19, 1994.
- 4) Himann JE, et al. Age-related changes in speed of walking. *Med Sci Sports Exerc* 20: 161-166, 1988.
- 5) 星川保, 宮下充正, 松井秀治. 歩および走における歩幅と歩数に関する研究. *体育学研究* 16(3):157-162, 1971.
- 6) Judge OJ, Davis III RB, Ounpuu S. Step Length Reduction in Advanced Age: the Role of Ankle and Hip Kinetics. *J Gerontol* 51A(6): M303-M312, 1996.
- 7) 小坂井留美, 下方浩史, 矢部京之助. 加齢に伴う歩行動作の変化. *JJBSE* 5(3): 162-167, 2001.
- 8) Murray MP, Drought AB, and Clarkson BH. Walking Patterns in Healthy Old Men. *J Gerontol* 24: 169-178, 1969.
- 9) Oberg T, Karsznia A, and Oberg K. Joint angle parameters in gait: reference data for normal subjects, 10-79 years of age. *J Rehabil Res Dev* 31: 199-213, 1994.
- 10) Ostrosky KM, et al. A comparison of gait characteristics in young and old subjects. *Phys Ther* 74(7): 637-644, 1994.
- 11) Prince F, et al. Gait in the elderly. *Gait and Posture* 5: 128-135, 1997.
- 12) Riley PO, DellaCroce U, and Kerrigan, DC. Effect of age on lower extremity joint moment contributions to gait speed. *Gait and Posture* 14: 264-270, 2001.
- 13) Shultz AB. Muscle Function and Mobility Biomechanics in the Elderly: An Overview of Some Recent Research. *J Gerontol* 50A: 60-63, 1995.
- 14) 植松光俊. 高齢者の歩行中の関節モーメント. 関節モーメントによる歩行分析 臨床歩行研究会編, 1997. pp167-180.
- 15) Winter DA, et al. Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Phys Ther* 70(6): 340-347, 1990.

(2004年11月19日受付)