

原 著

高齢者の閉鎖性運動連鎖による下肢筋力発揮特性と歩行機能との関連性

三浦由紀子* 花本亜沙美** 眞竹 昭宏***

要約

高齢者が豊かで充実した生活を営むためには、自立歩行できる能力を維持していくことも必要な要素である。近年、介護予防の観点からも運動器の機能向上において重点的に筋力トレーニングが実施されている。高齢者の脚筋力の評価方法としては、一般的に大腿四頭筋の筋力を評価する膝関節伸展筋力を測定する方法が用いられている。しかしこの方法では、膝痛や膝関節障害を有する者では測定が困難である。加えて、歩行機能と筋力との関連性をみた場合、歩行動作に関わる大腿四頭筋の役割も重要な要素ではあるが、そればかりではないことは明白である。

そこで、今回我々は、独自に開発した下肢筋力測定装置により、膝痛や膝関節障害を有した者でも測定可能な閉鎖性運動連鎖による下肢筋力の測定を実施し、その筋力発揮特性と歩行機能との関連性について検討した。

得られた主な結果は以下のとおりである。

- 1) 最大下肢筋力とそれに到達するまでの所要時間の間には有意な負の相関があり、最大下肢筋力の小さい者ほど、その筋力が最大になるまでの時間が長いという傾向がみられた。
- 2) 筋力発揮時から1秒間の筋力発揮様相を分類した結果、3種類の特徴的な筋力発揮曲線が得られ、下肢機能評価の基準として活用できる可能性が示唆された。
- 3) 本装置による下肢筋力と膝関節伸展筋力との間には有意な相関があり、下肢筋力が膝関節伸展筋力を含む複合的な筋力を測定していることが示された。
- 4) 下肢筋力と歩行速度、歩幅の間には有意な正の相関があり、本装置による下肢筋力が歩行能力を評価する指標となる可能性が示唆された。

キーワード：高齢者、閉鎖性運動連鎖、下肢筋力、膝伸展筋力、歩行機能

I 緒言

米国立老化研究所 (National Institute on Aging : NIA) は、高齢期における日常生活動作 (Activity of Daily Living : ADL) や生活の質 (Quality of Life : QOL) の決定に、高齢者の筋力が大きく関わっていると、加齢に伴って起こる筋の量的減少、質的变化による筋力低下や耐久力低下に Sarcopenia (筋肉減少症) と名づけた²⁾。

Sarcopeniaは、日常生活における身体活動量を低下させる一因となり、高齢者が寝たきりとなる大きな要因の一つである転倒・骨折の危険性を増大させる。加齢に伴い筋力が減少する原因は、筋量の減少と筋線維組成の遅筋化と考えられている⁹⁾。ヒトの筋線維は、収縮速度が遅く疲労しにくい遅筋線維 (Type I) と、収縮速度が速く疲労しやすい速筋線維 (Type II) に大別される。加齢に伴う筋萎縮は、

Type II 線維の方が Type I 線維より起こりやすいことから、高齢者は身体動作が鈍化すると考えられている¹¹⁾。このため、高齢者は動きが緩慢であり、咄嗟の動きに対応できず躓きが転倒につながり、骨折、寝たきりという最悪の結果を招きかねない。すなわち、Type II 線維の萎縮がすすんだ高齢者ほど、転倒リスクが高いことが推察される。

Sarcopeniaは、生理的要因によって起こるものであり、その対策としては、レジスタントトレーニングとよばれる筋力改善に焦点をあてた運動プログラムが中心としてなされている⁷⁾。レジスタントトレーニングは80歳代の高齢者に対しても効果的であると報告されている³⁾。筋力の評価方法としては、機器を必要としない徒手筋力テスト (Manual Muscle Test : MMT) や、据え置き型の機器 CY-BEX machine を使用する方法がある。前者は、検者の体格や経験年数、性別によって徒手抵抗が異なる

るため、検者間の測定誤差が大きい。また、後者においては、各筋の筋活動を個別に詳細にみることができ、高価で持ち運びが不可能といった欠点もある。さらに、下肢筋力の測定に際しては、一般に等尺性の膝関節伸展筋力測定が行われるが、足部を自由にして膝を伸展させる運動様式（開放性運動連鎖：open kinetic chain：OKC）によるものであり、膝関節が固定されないため、膝痛や膝関節障害のある高齢者には適応できない。

そこで本研究では、独自に開発した下肢筋力測定装置を用いて、高齢者の下肢筋力測定を行い、高齢者の下肢筋力とその経時的变化を示す筋力発揮様相の特性を明らかにし、高齢者のADL維持に必要な下肢筋力の目標値を得ることを目的とした。この装置は、ロードセルからの情報を専用の解析ソフトで処理する構成になっており、持ち運びも可能である。また、測定に際しては、足部を接地して動きを制限した状態で筋力を発揮させる運動様式（閉鎖性運動連鎖：closed kinetic chain：CKC）を採用しているため、大腿四頭筋とハムストリングの共同収縮のため膝関節が固定され⁸⁾、膝関節に障害のある者でも安楽に測定できるという特徴がある。さらに本装置は、筋力の発揮時から、最大値に達するまでの経時变化を記録することができるので、高齢者の筋力発揮時に動員される、筋線維のタイプについても推測が可能と考えられる。

II 方法

1. 被検者

被検者は、中高年女性44名であった。被検者を年齢および問診法による日常生活動作の支障の有無、さらに介護認定の有無などから4つのグループに分類した。その結果、健常中高年者群6名（平均年齢 59.5 ± 8.2 ）、日常生活動作に全く援助を必要としない自立した健常高齢者群11名（平均年齢 74.5 ± 4.4 ）、要介護申請は行っていないが見守り等の援助を必要とする虚弱高齢者群11名（平均年齢 78.1 ± 3.5 ）、要介護認定を受けている、要介護認定者群16名（平均年齢は 78.6 ± 5.7 ）の4群となった。

測定に先立ち、本測定の目的、方法およびリスクについての説明を行い、全員から測定の承諾を得た。

2. 身体計測

被検者の形態的特徴を把握するために、マルチン

式生体計測法¹⁴⁾により身長を測定した。またBODY FAT ANALYZER TBF-102（タニタ社製）により、体重を計測した。

3. 下肢筋力測定

独自に開発した下肢筋力測定装置を使用し測定した¹⁰⁾。被験者の身長から、膝関節屈曲角度が60度前後、足関節背屈角度は20度前後になるよう、踏みつけ板の角度を調整した。測定に際しては、最大努力で速く踏み込むよう指示した。足底部に発生する応力を、ロードセル（加圧センサー）（MWAL2-200K-P：共和電業社製）で検出し、センサーインターフェース（PCD-300A：共和電業社製）を介してニュートン値（N）に変換し、専用解析ソフトウェアによりパソコン上に記録した。測定は、2乃至3回行い、最大下肢筋力の高い筋力推移曲線を本研究の資料とした。

4. 膝関節伸展筋力測定

椅子座位下腿下垂位での等尺性膝関節伸展筋力を測定した。約5秒間の最大努力による等尺性膝伸展運動を右脚で1回行わせ、本研究の資料とした。測定は健常高齢者群および虚弱高齢者群のみの測定とし、中でも膝痛を有するものは除外した。

5. 歩行速度・歩幅測定

6 mの自由歩行における速度と歩幅を測定した。測定は助走路を設け、計測開始地点のテープを越えた接床（a）から6 m先のテープを越えた接床（b）までの時間と歩数を測定した。実測距離は6 mからaを減じ、bを加算することで求めた。普段歩くペース（自由歩行）で歩くように指導し、2回の計測のうち時間の短い記録を採用した。

6. 統計処理

各測定値は平均値と標準偏差で示した。測定項目におけるグループ間の比較には一元分散分析を行い、有意な場合、Scheffe's post hoc testを用いて多群間比較を行った。下肢筋力と他の測定項目との関係の検討にはPearson's単相関を用いた。なお有意水準は危険率5%未満とし、すべての統計処理には統計ソフトパッケージSPSS 12.0J（SPSS社製）を用いた。

Ⅲ 結果

1. 身長、体重

各グループの身長は、健常中高年者群 155.2 ± 4.6 cm、健常高齢者群 147.1 ± 6.7 cm、虚弱高齢者群 145.6 ± 6.9 cm、要介護認定者群 146.7 ± 6.8 cmであった。各グループ間に有意な差は認められなかった。体重は、健常中高年者群 51.2 ± 7.6 kg、健常高齢者群 59.4 ± 10.9 kg、虚弱高齢者群 47.6 ± 8.2 kg、要介護認定者群 48.0 ± 6.8 kgであった。健常高齢者群が、虚弱高齢者群、要介護認定者群よりも有意に高かった ($p < 0.01$)。

2. 下肢筋力

健常中高年者群の最大下肢筋力は、他の3群に比較し有意に大きかった (図1)。所要時間では、健常中高年者群が他の群に比べて、短い傾向を示したが、標準偏差が大きく、虚弱高齢者群とのみ有意差が認められた ($p < 0.05$)。

図2は最大下肢筋力とそれに至るまでの所要時間の関係を示したものである。最大下肢筋力と所要時間の間には有意な負の相関がみられ、最大下肢筋力の大きい者ほど、その筋力が最大になるまでの時間が短い、すなわち筋力発揮の立ち上がりが速いという傾向があった。さらに、立ち上がりが速く最大下

肢筋力大きい群、立ち上がりが中程度で下肢筋力も中程度の群、下肢筋力が小さい群が存在することがわかった。特徴的な3事例の筋力発揮様相を図3に示す。pattern1は最大下肢筋力1620N、所要時間0.94秒、pattern2は最大下肢筋力788N、所要時間が1.70秒、pattern3は最大下肢筋力322N、所要時間が4.10秒であった。

最大値に至るまでの時間は個人差が大きいため、何秒までを比較するかを決めるため、最大下肢筋力と、0.1秒時から5.0秒時までの下肢筋力との相関をみた。その結果、0.2秒時から正の相関があり、1.0秒時での相関係数が0.975となった。1.0秒後も相関係数は上昇の傾向にあったが、1秒以内に最大値を示す者もあったことから、1秒時までの下肢筋力の変化を検討することとした。そこで、1秒時までの

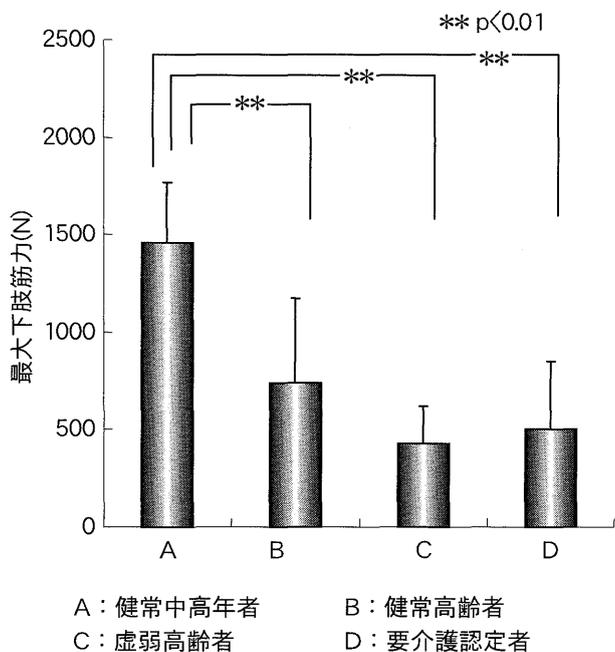


図1 グループ別平均最大下肢筋力の比較

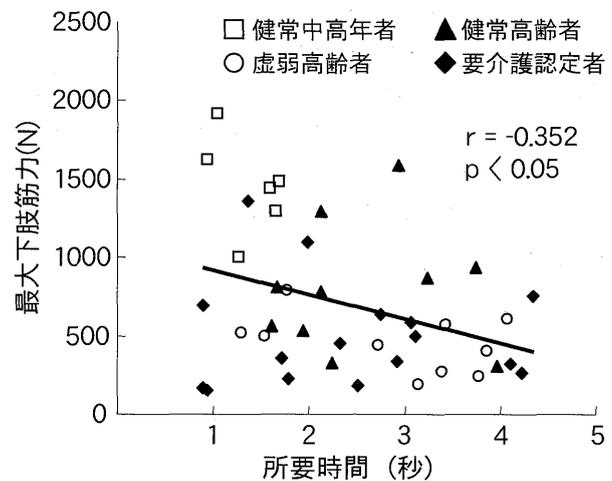


図2 最大下肢筋力とそれに到達するまでの所要時間との相関

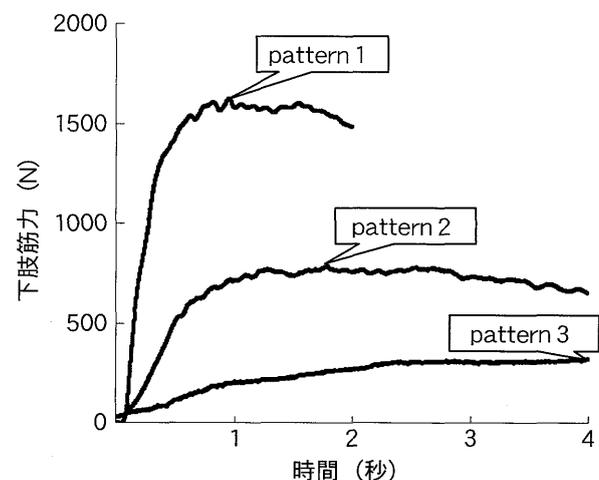


図3 代表的な下肢筋力発揮様相

被検者の筋力発揮様相をTangoの方法¹⁵⁾を参考に、level1からlevel3までの3群に分類した(図4)。

3. 膝関節伸展筋力

健常高齢者群の膝関節伸展筋力は 22.6 ± 6.55 kgf、虚弱高齢者群は、 14.7 ± 6.6 kgfであり、虚弱高齢者群の方が有意 ($p < 0.05$) に小さかった。

4. 歩行速度

歩行速度は、健常中高年者群が他の群に比較して有意に高い値を示し、健常高齢者群と虚弱高齢者群間にも有意差が認められた(図5)。また、歩幅においても、同様の傾向がみられた。

5. 下肢筋力と各測定項目との関係

筋力が加齢とともに低下することは周知のことであるが¹³⁾、本研究においても年齢と最大下肢筋力との間に有意な負の相関がみられた ($r = -0.623$, $p < 0.01$)。また下肢筋力と身長および体重との間にも正の相関がみられた。膝関節伸展筋力と下肢筋力の間には正の相関があり ($r = 0.733$, $p < 0.01$)、本研究の下肢筋力が膝関節伸展筋力を含む下肢筋群の発揮する筋力を十分に反映していることが示された。下肢筋力と歩行速度、歩幅にも強い正の相関がみられた(図6)。

6. 歩行と膝関節伸展筋力および下肢筋力の関係

歩行速度と膝関節伸展筋力および下肢筋力との関係を図7に示す。下肢筋力の方が歩行速度との関連性が高いことが示された。また、膝関節伸展筋力と自由歩行幅、下肢筋力と自由歩行幅でも下肢筋力と歩幅の方が高い相関が得られた。

下肢筋力発揮様相曲線の分類から得られたレベル毎に、歩行速度と歩幅の相関をみた(図8)。歩行能力に必要な筋力を提示する上で有効な結果が示された。

IV 考察

最大下肢筋力に至るまでの所要時間をみるとADLレベルが低い群ほど、所要時間が長くなるといった傾向がみられた。筋は筋線維の集合体であり、筋線維には力が強くスピードの速いType II線維とスタミナのあるType I線維とがある。身体各筋は両筋線維が混在しているが、加齢に伴いType II線維

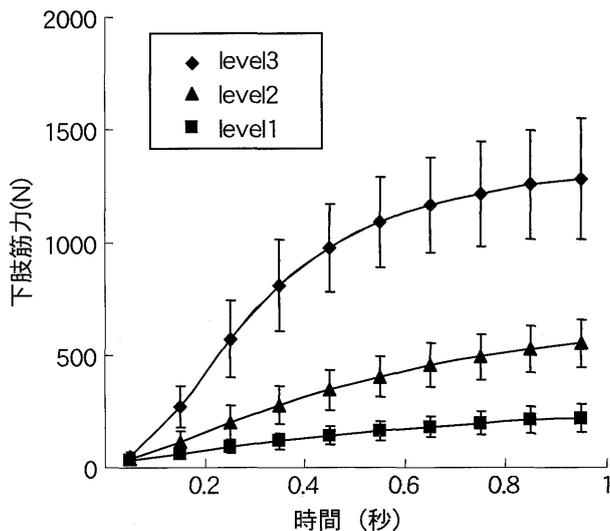


図4 下肢筋力発揮様相の分類

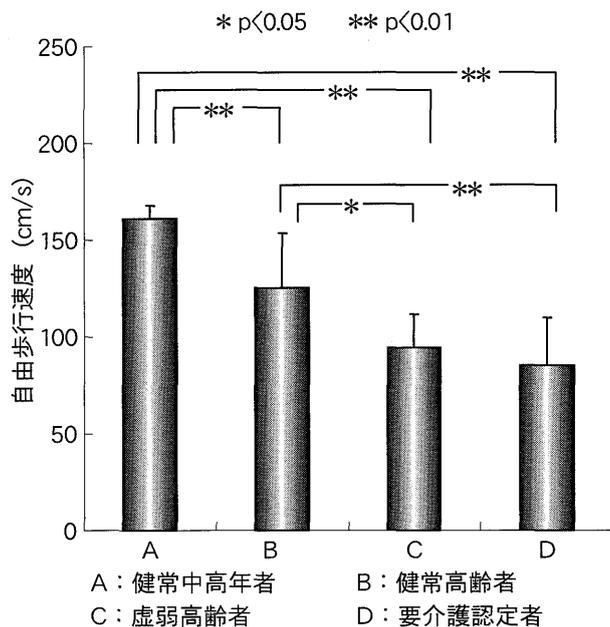


図5 グループ別平均自由歩行速度の比較

がより萎縮しやすいといわれている¹¹⁾。本研究では、最大下肢筋力と所要時間の間には有意な負の相関 ($p < 0.05$) があり、最大下肢筋力の小さい者ほど、その筋力が最大になるまでの時間が長いという傾向がみられた。このことは、下肢筋力の低下に、力が強くスピードの速いType II線維の萎縮が大きく関わっていることを示すものであり、下肢筋力の小さい者ほど、咀嚼の行動がとりにくくなっていると考えられる。

下肢筋力の発揮様相で、代表的な3本の筋力発揮曲線が得られた(図4)。level3は、20歳代並みの

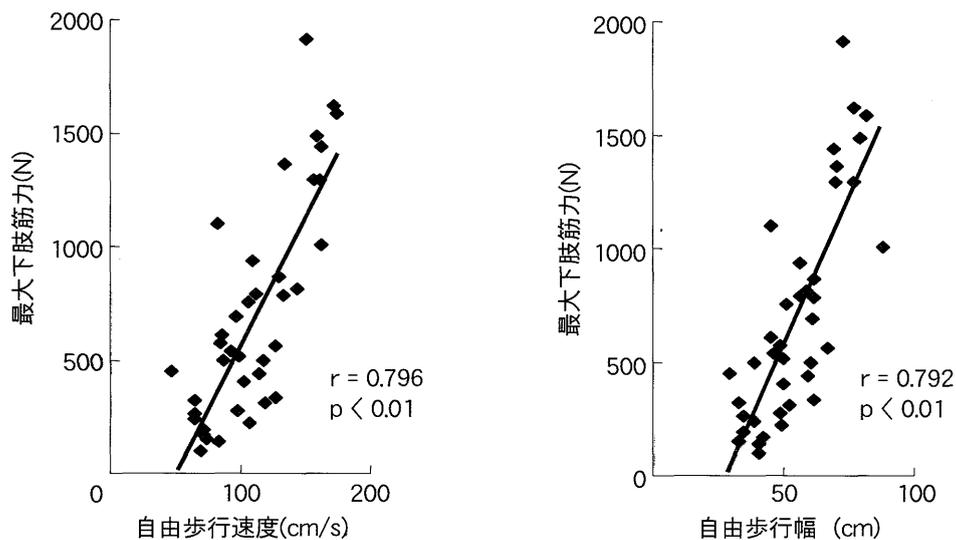


図6 最大下肢筋力と自由歩行速度および歩行幅との相関

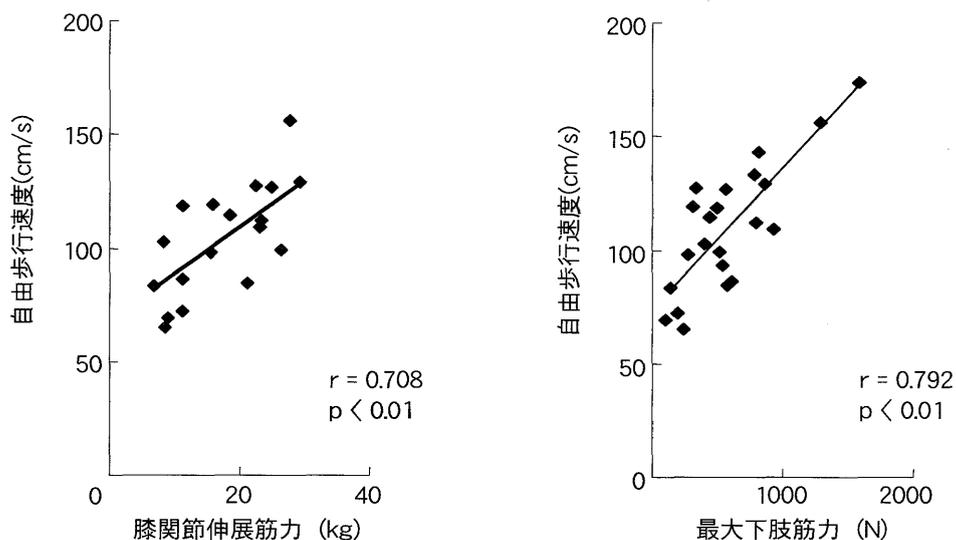


図7 自由歩行速度と最大下肢筋力及び膝関節伸展筋力との相関

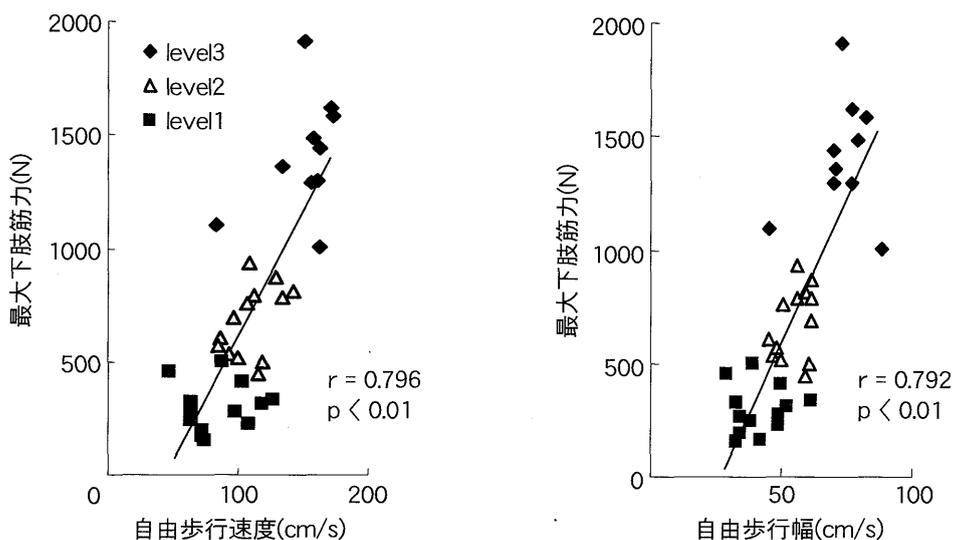


図8 下肢筋力レベル別にみた最大下肢筋力と自由歩行速度及び歩行幅との相関

速度はないものの、十分な速度と力をもった曲線である。これに対しlevel2は、速度、力ともに減弱した要注意の曲線であり、level1は危険な曲線と考えられる。介護予防の観点からみると、level3に対しては、現状維持のための筋力トレーニング、level2に対しては転倒への注意を喚起しつつより高いレベルを目指した筋力トレーニングが必要と思われる。level1は既に要介護状態である可能性が高く、現状よりもADLを低下させない取り組みが必要になると考えられる。

各測定グループの自由歩行速度と年齢との関係を、他の先行研究⁴⁾から得たデータと比較した(図9)。健常中高年者、健常高齢者は、歩行速度が速く、同年代で比較すると虚弱高齢者、要介護認定者の方が遅いことが伺える。本研究による年齢と歩行速度の相関係数は、 -0.666 であり、有意な負の相関($p < 0.01$)がみられた。歩行速度は加齢とともに明らかに低下し、高齢者の体力・運動能力のよい指標になることが確かめられている^{1), 5)}。

加齢に伴う歩行速度の低下の大きな原因は、歩幅の減少によることが知られている¹¹⁾。本研究においても、歩行速度と歩幅の相関係数は 0.954 であり、強い正の相関($p < 0.01$)があった。歩行に関わる筋には、ハムストリング、下腿三頭筋や大腿伸筋があるが、歩行能力の維持に最も重要なのは、大腰筋であると考えられている¹¹⁾。下肢筋力測定装置によつ

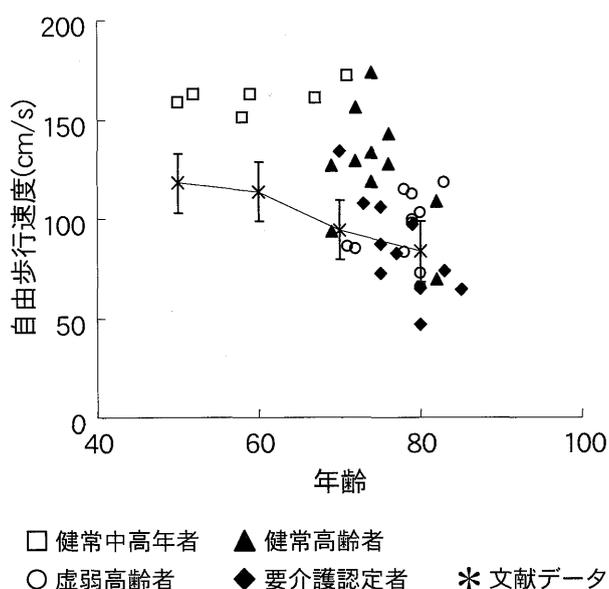


図9 グループ別年齢別にみた自由歩行速度と文献⁶⁾との比較

て測定される筋力は、股、膝および足の下肢三大関節とそれぞれ近接する筋とから成り立っており、各構成部分が互に力学的影響を及ぼし合う多重連鎖機構によって発揮されていると考えられる。大腰筋は、歩行中に脚を引き上げながら前方へ押し出すという役割を担っており⁸⁾、本装置はその筋力もとらえている可能性が高い。本装置の有用性を高める上で、下肢筋力に関わる各筋の割合を明確にしていくことも必要と考える。

歩行速度との関連において、膝関節伸展筋力よりも下肢筋力の方が、相関が高かったことから、高齢者の下肢機能を評価する上では、ある特定の筋に着目するより、下肢筋全体としてとらえた方が、有用性が高いと思われる。整形外科疾患などにより個別筋に筋力低下を生じた場合、膝伸展筋単独の評価では、下肢支持力を妥当に評価できないことも報告されている¹²⁾。

高齢者のADLの維持とQOLの向上において、歩くことができるということの意義は大きい。歩行障害が顕在化したとしても、それが筋力低下に起因するのか、バランスなどの他の要因に起因するのかを判別することは容易ではなく、この問題を解決するには、下肢筋力が歩行能力を維持するうえで十分な水準にあるか否かについて検討することが必要である¹⁶⁾。本研究で得られた、下肢筋力の3段階のレベルと歩行速度との相関図から、要介護認定者はずすと、相関係数は 0.796 から 0.849 まで上昇する。これは、要介護認定者の中に、脳梗塞後遺症や軽度認知症を有するものがあるためと考えられる。相関係数を下げた要因として、脳梗塞後遺症のため、筋力はあるがバランス能力が不足し、歩行速度が低下している事例がある。つまり、脳梗塞後遺症では、バランス能力を高める訓練を優先的に行う必要があると考えられる。また、歩行速度が速いにも関わらず筋力が小さい者は、既に獲得されている運動動作に問題はないが、新たな運動動作の習得にはうまく適応できなくなっている可能性があり、その動きの主働筋だけではなく協働筋のトレーニングが必要と推察される。

以上のことから、本研究による下肢筋力と歩行速度の相関図は、高齢者の下肢機能、歩行能力を評価する上で有用性が高いと思われる。最大下肢筋力 1000N 以上を良好、 $500\sim 1000\text{N}$ を要トレーニングI、 500N 未満を要トレーニングIIとして、運動介入の

目安とすることが可能と考えられる。今後は、高齢者のトレーニング効果が、どのように下肢筋力に反映するかを検証し、評価指標としての下肢筋力の有用性を実証することが課題である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、広島県薬業株式会社ならびに株式会社ウェルウェルのスタッフの皆様にご多大なる御協力を得たことをここに記し深謝申し上げます。

参考文献

- 1) Cunningham DA, Rechnitzer PA, Pearce ME, Donner AP : Determinants of self-selected walking pace across ages 19 to 66. *J Gerontol*, 37(5), 560-564, 1982.
- 2) Dutta C : Significance of sarcopenia in elderly humans. *J Nutr*, 127, 992s-993s, 1997.
- 3) Fiatarone MA, O'Neill EF, Ryan ND, Clements KM, Solares GR, Nelson ME, Roberts SB, Kehayias JJ, Lipsitz LA, Evans WJ. Fiatarone MA et al : Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *N Engl J Med*, 330(25), 1769-1775, 1994.
- 4) 花元丈彦 : 加齢に伴う歩行様式の変化に関する研究、筑波大学大学院修士課程体育研究科平成10年度修士論文、1998.
- 5) 金子公宥 : 高齢者の歩行運動、*Jpn J Sports Sci*, 10, 729-733, 1991.
- 6) 河村顕治 : CYBEX6000を用いた新しい下肢筋力評価訓練法、運動療法と物理療法、8(6)、126-131、1997.
- 7) 小池晃彦、葛谷雅文、井口昭久 : Sarcopeniaの対策、*Geriatric Medicine*, 42(7)、919-923、2004.
- 8) 久野譜也、坂戸洋子 : 高齢者になぜ筋力トレーニングが必要か、*体育の科学*, 54(9)、2004.
- 9) 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*, 84 (2-3) , 275-94, 1988.
- 10) 眞竹昭宏 : 介護予防における下肢筋機能測定評価装置の研究開発、山口県立大学社会福祉学部紀要、12、47-52、2006.
- 11) 岡田守彦、松田光生、久野譜也 編著 : 高齢者の生活機能増進法、東京、有限会社ナップ、2000.
- 12) 大森圭貢、山崎裕司、横山仁志、青木詩子、笠原美千代、平木幸治 : 立ち上がりの可否と下肢筋力との関係—高齢入院患者における検討、総合リハ、30(2)、167-171、2002.
- 13) 小菌康範 : Sarcopeniaの発生機序、*Geriatric Medicine*, 42(7)、889-893、2004.
- 14) 生命工学工業技術研究所編 : 設計のための人体計測マニュアル、東京、日本出版サービス、1994.
- 15) Tango T : Estimation of age-specific reference ranges via smoother AVAS. *Stat Med*, 17(11), 1231-1243, 1998.
- 16) 山崎裕司、横山仁志、青木詩子、黒澤保壽、山田純生、青木治人、田辺一彦、長田尚彦 : 高齢患者の膝伸展筋力と歩行速度、独歩自立との関連、総合リハ、26(7)、689-692、1998.

Title : Relationship between characteristics of lower limb muscle strength on exercise in closed kinetic chain and walking function in elderly people

Author : Yukiko MIURA*, Asami HANAMOTO**, Akihiro MATAKE***

* Yamaguchi Prefectural University, School of Nursing, Physical Fitness & Sports Science Lab.

** Yamaguchi Grand Medical Center

*** Yamaguchi Prefectural University, School of Nursing

It is important to maintain independent walking ability so that elderly people live healthy. Recently, for functional improvement of that, strength training is carried out preponderantly. In the elderly, evaluation methods of leg strength were reviewed in various ways, but most of methods were how to measure knee extensor strength. However, it is difficult for this method to measure people with knee pain and knee disorder. Furthermore, a role of quadriceps femoris is important in relationship between walking function and strength, but it is not only that. Therefore, the study measured lower limb muscle strength by leg function measurement evaluation device(MANAP). We considered relationship between characteristics of its strength and walking function.

The results were as follows,

- 1) There was negative correlation between maximal lower limb muscle strength and the time became that, significantly. It had a tendency that the weaker who had maximal muscle strength, the longer it took time strength became maximum.
- 2) As a result of having classified strength curve until one second, it was classified in three kinds of strength curve. It suggested that it was possible to make use of that as lower limb function point of reference.
- 3) There was positive correlation between lower limb muscle strength by this experiment and knee extensor strength, significantly. It suggested that this experiment can measure compound strength including knee extensor strength.
- 4) There was positive correlation between lower limb muscle strength and walking speed, lower limb muscle strength and step, respectively, significantly. It suggested that strength curve of this experiment had possibility to become guideline to evaluate walking ability.

Key words : elderly, closed kinetic chain, lower limb muscle strength, knee extensor strength, walking function
