

多関節複合動作の下肢筋力測定： 高齢者における負担軽減プロトコルの開発

相羽 達弥、大久保善郎、大須賀洋祐、辻本 健彦、鄭 松伊、
ラファエル・フィゲロア、金 甫建、金 泰浩、石井 直方、田中喜代次

Development of a burden reduction protocol for lower-extremity multi-joint muscle strength measurement in older adults

Tatsuya AIBA^{*1}, Yoshiro OKUBO^{*1*2}, Yosuke OSUKA^{*2*3},
Takehiko TSUJIMOTO^{*3}, Songee JUNG^{*3}, Figueroa RAFAEL^{*1},
Bokun KIM^{*1}, Taeho KIM^{*1}, Naokata ISHII^{*4}, Kiyoji TANAKA^{*3}

Abstract

Measuring lower-extremity extension force and power can be useful for assessing fall risk and the need for assistive devices in older adults. A servo-controlled dynamometer can measure strength exhibited during a lower-extremity extension movement under multiple conditions, but it creates too great of a physical burden for some older adults. The purpose of this study was to estimate the maximum isometric extension force and unloaded velocity achieved during lower-extremity, multi-joint movement in older adults and to investigate the validity of a new burden reduction protocol that excludes measurement conditions that place a heavy burden on older adults. We measured muscle force and velocity during lower-extremity, multi-joint movement using a servo-controlled dynamometer in 50 older adults aged 65-78 years (17 males, 33 females; 70.3 ± 3.9 years). As a conventional protocol, five testing velocities ranging from low to high were used to estimate the maximum isometric lower-extremity extension force (Fm5) and the maximum unloaded velocity (Vm5). As a new burden reduction protocol, three moderate testing velocities were used to estimate the maximum isometric lower-extremity extension force (Fm3) and the maximum unloaded velocity (Vm3). We measured six physical functions (5-m usual gait speed, 5-m maximum gait speed, timed up and go, one-leg stance with eyes open, five-times chair stand test and alternate step) and also measured the maximum isometric knee extension force using a Biodex dynamometer. The validity of the burden reduction protocol was examined through correlation coefficients with a conventional protocol, six physical functions and a knee strength measurement. Results indicated significant correlations ($r = 0.646 - 0.926$) between the Fm3, Vm3 and Fm5, Vm5. There were also significant correlations between Fm3 and the 5-m maximum gait speed ($r = 0.428$), timed up and go ($r = -0.305$), alternate step ($r = -0.383$) and the maximum isometric knee extension force ($r = 0.667$). These results suggest that muscle strength measurement of lower-extremity, multi-joint movement using three moderate testing velocities and a servo-controlled dynamometer is useful for evaluating dynamic lower-extremity function in older adults. This method is a simple and low-burden alternative to the conventional protocol using five low to high testing velocities.

Keywords: muscle strength, multi-joint movement, force-velocity relationship, older adults, physical burden

^{*1} 筑波大学大学院人間総合科学研究科 Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan
住所 茨城県つくば市天王台1-1-1 総合研究棟D-616 氏名 相羽 達弥 電話番号 029-853-5600 (8365), 090-1814-2849

^{*2} 日本学術振興会 Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, Japan

^{*3} 筑波大学体育系 Faculty of Health & Sport Science, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

^{*4} 東京大学大学院総合文化研究科 Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

I. はじめに

高齢者の下肢筋力の顕著な低下は、転倒の発生要因ならびに基本的・手段的日常生活動作能力(歩行、階段昇降、立ち上がり動作)の低下に影響を及ぼすことが報告されている。加齢による下肢筋力の低下は免れないものの、下肢筋力を可能な限り維持し、活動性の低下や身体機能虚弱化の進行を遅らせることは重要課題である¹⁻⁵⁾。Bassay et al.によると、高齢者を対象とした下肢筋力測定では、下肢伸展筋力やパワーと歩行および階段昇降、椅子からの立ち上がりなど日常生活動作能力との有意な正の相関関係を報告し、下肢伸展筋力やパワーの測定は高齢者の転倒リスクや補助器具の必要性を検討する際に有用であることが示唆されている⁶⁾。

これまで、下肢の筋機能測定には、徒手筋力計や据え置き型の単関節動作による筋力測定機器が用いられてきた^{7,8)}。単関節動作による筋力測定では、単関節動作を回転運動としてとらえ、特定筋群の筋力やパワーを測定し、その筋機能を解析することが多い。この測定法はリハビリテーションの際の筋力の左右差やリハビリテーション開始前後の差の測定、評価に適しており、信頼性および妥当性のある方法の一つである。しかしながら、単関節動作による筋力測定の動きは、生活動作としては生じにくい動きのパターンである⁹⁾。「立つ」、「歩く」などの日常生活動作は、直線的動作で、股関節、膝関節、足関節など複数の関節、大腿四頭筋(大腿直筋、内側広筋、中間広筋、外側広筋)および股関節の伸展動作に関わる臀筋、ハムストリングス(大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋)の筋が関与する多関節複合動作であり、遠心性・求心性運動を巧みに組み合わせ、調整しながら行われている¹⁰⁻¹³⁾。このような下肢における多関節複合動作を測定するために、近年、サーボ制御式膝・股関節ダイナモメータが開発された¹⁴⁾。この装置による測定では、サーボ制御により一定の負荷条件を保ち、その条件での膝・股関節の伸展動作中に発揮される力および動作速度を片脚および両脚にて動的に測定する。複数の負荷測定条件の結果から力-速度関係を作成し、等尺性最大筋力、無負荷最大速度を推定する^{15,16)}。

多関節複合動作の下肢筋力測定は、日常動作能力を直接的に評価することができるメリットを有する。若年者を対象とした測定では、低速度条件から高速度条件までの範囲において少なくとも5つの負荷測定条件でおこなわれるが、高齢者を対象とした場合、低速度条件、高速度条件では測定精度および安全面における注意が必要である^{17,18)}。まず、高齢者における低速度条件の測定では、大きな力発揮を必要とし、測定動作である膝・股関節の伸展動作を開始できず、測定値を検出することができない

ことがある。また、最大等尺性筋力測定のような力発揮の場合には、測定中の血圧が上昇することもある¹⁷⁾。一方、高齢者における高速度条件の測定では、設定速度に到達する前に測定動作が終了してしまう。吉野ら¹⁸⁾は、単関節動作による筋力測定機器を用いた膝伸展筋力測定において、450deg/sの膝伸展運動、膝屈曲運動において等速性運動域に達した者がいなかったことを報告している。このように低速度条件、高速度条件では測定動作を達成することが出来なかった場合、再測定が求められ、測定回数、測定時間が増え、高齢者には負担のかかる測定となる。そこで、我々は高齢者の負担を軽減させるため、低速度と高速度条件を除いた中速度3条件のみによる多関節複合動作の下肢筋力測定プロトコルを開発した。

本研究の目的は、高齢者における多関節複合動作の下肢筋力測定の負担軽減プロトコルの基準関連妥当性および併存的妥当性を検討することとした。

II. 方法

A. 対象者

対象者は、2012年と2013年に筑波大学にて開催した体力測定会に参加した65~78歳の地域在住の高齢者である。募集には、地域の広報誌を利用し、247名の応募を電話により受け付けた。その内、1)要介護・要支援認定を受けていない、2)医師から運動を制限されていない、3)普段ほとんど運動をしていない、の3条件を満たす102名を対象者とした。対象者は、体力測定会に本人の意思で参加した。

全ての対象者に、研究および体力測定会の目的、基本情報、形態測定、筋力測定などの測定項目、測定データの取り扱いについて説明した。また、データ分析の際にはIDにより匿名化し個人を特定できないよう配慮すること、研究に伴う不利益が生じた場合、一度同意した場合でも随時撤回でき、その場合でも対象者本人に不利益がないことを口頭および文書にて伝え、自筆署名による承諾を得た。対象者のうち、下肢(足関節、膝関節および股関節)、腰部に疾患もしくは痛みを有する者(43名)、体力測定会のいずれかの測定データが欠損した者(9名)を除外し、50名(男性17名、女性33名、平均年齢70.3±3.9歳)を分析対象者とした。本研究は、筑波大学に帰属する倫理委員会の承認を受けた(承認日2012年3月29日 承認番号体23-33号)。

B. 測定項目および測定方法

1. 基本情報および形態、体力測定

体力測定会において、基本情報を聴取し、形態指標を測定した。基本情報は性、年齢、服薬状況、疾患や関節

痛の有無、歩行や階段昇降の困難性、椅子からの立ち上がり困難とした。形態指標として、身長計 (YG-200、ヤガミ社製) を用いて 0.1 cm 単位で身長を、体組成計 (DC-190、TANITA 社製) を用いて 0.1 kg 単位で体重と body mass index: BMI (kg/m^2) を測定した。

多関節複合動作による下肢筋機能測定において低速度から高速度の 5 条件から得られた推定値と中速度 3 条件から得られた推定値との関連性を検討するにあたり、基本的移動能力と日常生活動作に関連の深いと考えられる 6 項目 (5 m 通常歩行、5 m 最大歩行、アップ&ゴー、開眼片脚立ち、5 回椅子立ち上がり、ステップテスト)¹⁹⁻²¹⁾、さらに、単関節動作による最大等尺性膝伸展筋力を測定した。

単関節動作による最大等尺性膝伸展筋力は、多用途筋機能評価運動機器 (バイオデックス® システム 3、Biodex Medical Systems 社製) を利用し、左右の膝関節にて片側ずつ測定した。Suetta et al. の報告²²⁾ を参考に、最大関節トルクが発揮できる膝関節 60 度屈曲位を用いた。膝関節 60 度屈曲位での膝伸展運動を最大努力で 3 秒間、休息 15 秒間のセットを 3 セット試行してもらい、最大等尺性膝伸展ピークトルク値を測定した。

2. 多関節複合動作による下肢伸展筋力

多関節複合動作による下肢伸展筋力は、98~4905 N (10~500kg) の筋力検出、0.0~1.3m/s の速度検出が可能で、10m/s の時間分解能で制御されるサーボ制御式膝・股関節ダイナモメータを用いた筋力測定機器 (パワーメータ、メディモワールド社製) を利用した。Yamauchi et al.²³⁾ の方法を参考にし、Figure 1 に示すように、対象者は座面と背もたれのなす角度を 120 度に設定された椅子に体幹、脚部などの固定をしない状態で座り、左右脚ならびに両脚にてそれぞれ膝・股関節の伸展動作であるレッグプレスをおこなった。レッグプレス動作の開始点は、膝関節 90° 屈曲位とし、動作終了点は、膝関節が完全伸展位とならない軽度屈曲位とした。測定は、5 つの設定速度 (0.1m/s、0.3m/s、0.5m/s、0.8m/s、1.0m/s) においてそれぞれ 3 回ずつ最大努力で設定速度の等速性下肢伸展運動をおこなう。筋力および下肢伸展運動中の実速度は、サーボ制御式膝・股関節ダイナモメータを用いた筋力測定機器の電磁トルクモータから検出、記録された。測定は、0.5m/s、0.8m/s、1.0m/s、0.3m/s、0.1m/s の順におこない、各測定間で 30 秒間の休息を設けている。対象者に最大努力を発揮させるために、測定中は対象者に対して声かけをおこない、両手は座面に設置されたグリップを把持させた。すべての測定は、測定を熟知した同一の検者が担当した。

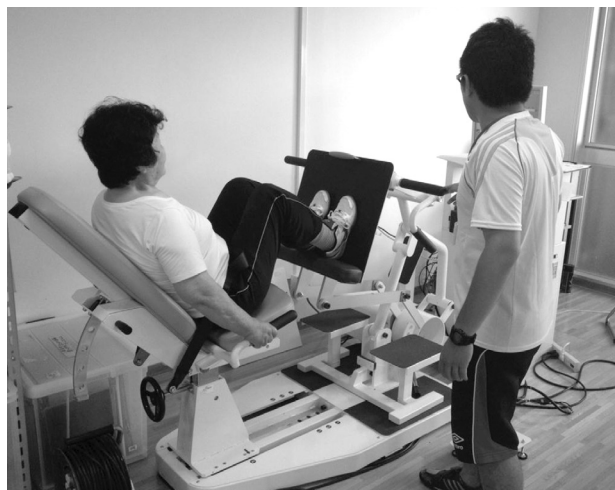


Figure 1. A servo-controlled dynamometer, Power meter

評価項目は、膝関節 90 度屈曲位から膝関節軽度屈曲位までの可動範囲において筋力が安定する 80% 地点の筋力と実速度とした²³⁾。各設定速度において測定した実速度および筋力をプロットし、速度-力関係の近似直線を作成した。速度軸との切片 (0m/s) の値を最大等尺性膝・股関節伸展筋力、すなわち多関節複合動作による最大下肢伸展筋力 (maximum isometric lower-extremity extension force of multi-joint: F_m) とし、同時に筋力軸との接点 (0kg) の値、つまり無負荷の状態における速度を最大下肢伸展速度 (maximum unloaded velocity of multi-joint: V_m) として推定した。0.1m/s から 1.0m/s の 5 条件下から最大下肢伸展筋力 (F_{m5})、最大下肢伸展速度 (V_{m5}) を推定し、低速度条件 0.1m/s、高速度条件 1.0m/s を除いた中速度域の 3 条件 0.3m/s、0.5m/s、0.8m/s から最大下肢伸展筋力 (F_{m3})、最大下肢伸展速度 (V_{m3}) を推定した。

C. 統計解析

各項目の測定結果は、平均値 ± 標準偏差で示した。 F_{m5} および V_{m5} と F_{m3} および V_{m3} の比較、左右脚、両脚の比較には対応のある t 検定を適応した。筋力の両側性欠損の検討には、左右脚の結果の合計値を用いた。また、 F_{m5} 、 V_{m5} と F_{m3} 、 V_{m3} との相関関係、 F_{m3} 、 V_{m3} と各体力測定結果、単関節動作による最大等尺性膝伸展筋力との相関関係はピアソンの積率相関係数 (r) により検討した。すべての統計解析は IBM SPSS Statistics 21 を用い、統計的有意水準は 5% とした。

Ⅲ. 結果

分析対象者の身体的特徴を Table 1 に示した。平均年齢は 70.3 ± 3.9 歳であった。Table 2 にサーボ制御式膝・股関節ダイナモメータを用いて、 F_{m3} と V_{m3} 、

Fm5、Vm5の統計値を示した。Fm3は、Fm5と比較して左右脚、両脚ともに有意に低値 ($P < 0.05$) を示し、Vm3はVm5と比較して左右脚、両脚ともに有意に高値 ($P < 0.05$) を示した。また、左右脚のFm3、Fm5はそれぞれ有意な差は見られなかった。両脚のFm3、Fm5は左右脚の合計値の87%、両脚のVm3、Vm5は左右の結果との間に有意な差は見られなかった。

Figure2にFm3とFm5、Vm3とVm5との関連性を示した。Fmでは $r = 0.885 \sim 0.926$ 、Vmでは $r = 0.646 \sim 0.793$ とそれぞれ有意な相関関係がみられた ($P < 0.05$)。

Table3には、日常生活動作に用いた体力測定6項目、単関節動作による最大等尺性膝伸展筋力の平均値 ± 標準偏差、Fm3、Vm3と各体力測定、最大等尺性膝伸展筋力との相関係数を示した。Fm3は5m最大歩行、アップ&ゴー、ステップテスト、最大等尺性膝伸展筋力との間でそれぞれ有意な相関関係がみられた ($P < 0.05$)。

Vm3では、最大等尺性膝伸展筋力を除き、相関関係はみられなかった。

IV. 考察

サーボ制御式膝・股関節ダイナモメータを用いて高齢者に対する多関節複合動作の筋機能を測定した結果、左右脚で差はみられず、両脚のFm3、Fm5は左右の合計値の87%、つまり13%の両側性欠損がみられ、両脚のVm3、Vm5は左右脚の結果に有意な差は見られなかった。Greenberg et al.²⁴⁾ やThompson et al.²⁵⁾ は、測定に使用する機器が異なる場合、出力されるピークトルクに違いが生じると述べている。本研究と先行研究で使用した装置が異なるため、単純な比較はできないが、高齢者の下肢伸展筋力の両側性欠損はおよそ10%~25%^{16,26,27)}、速度はほぼ同値である¹⁶⁾ ことが示されており、本研究でも同じような傾向であった。

Table 1. Characteristics of the study participants (n = 50)

Variables	Mean ± SD or % (n)
Age, yr	70.3 ± 3.9
Height, cm	156.2 ± 7.9
Weight, kg	54.4 ± 10.7
BMI, kg/m ²	22.3 ± 4.3
Medication, yes	46.0 (23)
No. of medications per participant	2.2 ± 1.8
Mobility limitation, yes	6.0 (3)

Notes: SD: standard deviation, BMI: body mass index, Mobility limitation includes the difficulty for walking, climbing stairs, and/or standing up from a chair.

Table 2. Comparison between lower-extremity, multi-joint strength values estimated from five and three testing velocities (n = 50)

Variables	Five velocities	Three velocities
Maximum isometric lower-extremity extension force F _m , N		
Right lower-extremity	739.3 ± 160.9	622.0 ± 161.1*
Left lower-extremity	738.6 ± 172.5	629.9 ± 161.2*
Both lower-extremities	1270.5 ± 364.5	1087.1 ± 311.3*
Maximum unloaded velocity V _m , m/s		
Right lower-extremity	1.08 ± 0.19	1.18 ± 0.24*
Left lower-extremity	1.09 ± 0.15	1.16 ± 0.18*
Both lower-extremities	1.13 ± 0.12	1.19 ± 0.16*

Notes: Values are mean ± standard deviation, *Significant difference ($P < 0.05$) from five testing velocities.

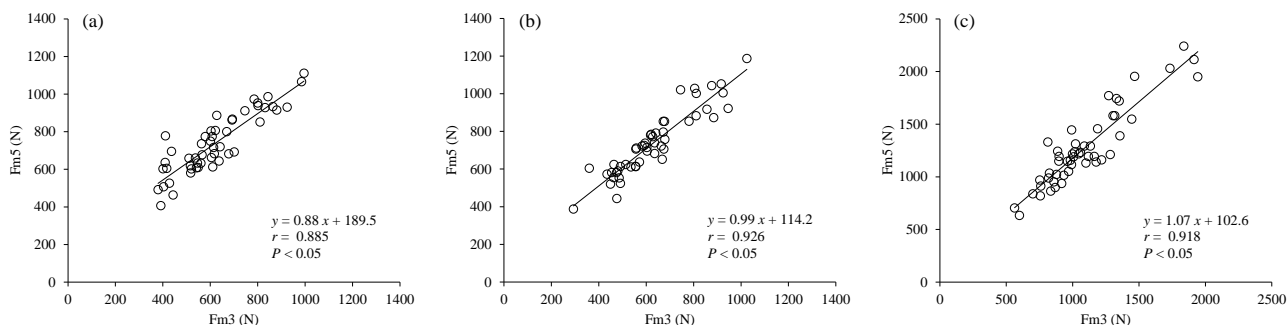


Figure 2A. Maximum isometric lower-extremity extension force of multi-joint ; (a) right; (b) left; and (c) both lower-extremities

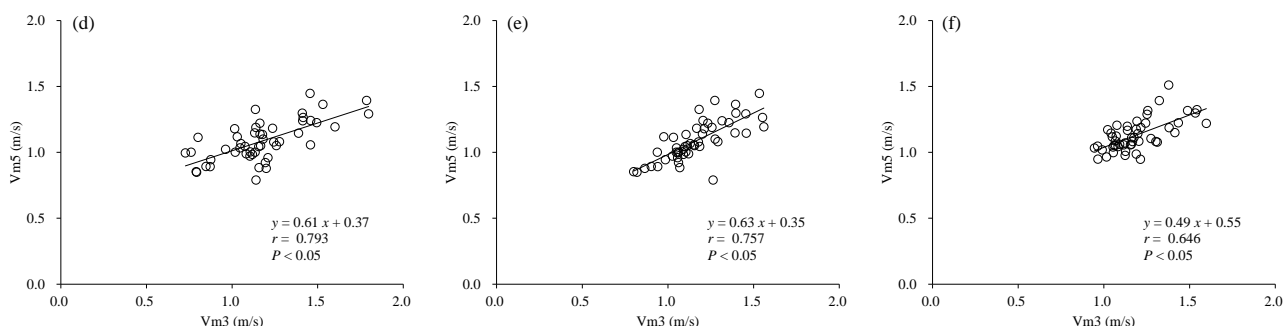


Figure 2B. Maximum unloaded velocity of multi-joint ; (d) right; (e) left; and (f) both lower-extremities

Figure 2. Scatter plots of lower-extremity multi-joint muscle strength values estimated from five and three testing velocities

Note: Fm3: maximum isometric lower-extremity extension force of multi-joint in 3 testing velocities, Fm5: maximum isometric lower-extremity extension force of multi-joint in 5 testing velocities, Vm3: maximum unloaded velocity of multi-joint in 3 testing velocities, Vm5: maximum unloaded velocity of multi-joint in 5 testing velocities.

Table 3. Physical function values and their correlation coefficients with lower-extremity, multi-joint strength values estimated from three testing velocities (n = 50)

Variables	Mean ± SD	vs Fm3 (r)	vs Vm3 (r)
Usual gait speed, m/s	1.38 ± 0.19	0.049	-0.21
Maximum gait speed, m/s	2.03 ± 0.29	0.428 [#]	0.187
Timed up & go, s	6.3 ± 0.8	-0.305 [#]	0.014
One-leg stance with eyes opened, s	38.5 ± 22.3	0.113	-0.080
Five-times chair stand test, s	6.9 ± 1.5	-0.098	-0.069
Alternate step, s	4.4 ± 0.6	-0.383 [#]	-0.146
Knee extension force, Nm	92.6 ± 33.3	0.667 [#]	0.527 [#]

Notes: SD: standard deviation, Fm3: maximum isometric lower-extremity extension force of multi-joint in three testing velocities, Vm3: maximum unloaded velocity of multi-joint in three testing velocities, [#] P < 0.05.

A. 中速度3条件による高齢者の負担軽減プロトコルの基準関連妥当性

サーボ制御式膝・股関節ダイナモメータを用いて高齢者に対する多関節複合動作の筋機能測定の負担を軽減するために、低-高速度5条件の推定値と中速度3条件の推定値を比較するとともに、両者の関連性について検討した。その結果、Fm3は、Fm5に比べて低値を示し、一方Vm3はVm5に比べて高値を示した。また、中速度3条件の多関節複合動作筋力推定は、Fm5 ($r = 0.885 \sim$

0.926)、Vm5 ($r = 0.646 \sim 0.793$) と相関関係がみられ、負担軽減プロトコルの基準関連妥当性が確認された。

若山ら²⁸⁾は、等速性筋力測定装置を用いて、単関節運動による膝伸展筋力を測定し、3速度の数式化と5速度の数式化を比較した。最大筋力と3速度、5速度のそれぞれの結果に統計的な差はなく、相関関係も得られ、対象者の疲労や測定の簡便さから3速度での測定が推奨されることを報告している²⁸⁾。本研究では、先行研究²⁸⁾と同様に低-高速度5条件からの結果と中速度3条件の結

果との間に相関関係は見られたが、中速度3条件と低-高速度5条件から得られた値の間には差が認められた。これは、0.0m/sに近い低速度条件では、筋出力の横ばい状態の可能性があること²⁸⁾、高速度条件では、角速度達成率が悪く、設定速度に到達する前に測定動作が終了してしまうこと^{18,29,30)}が低-高速度5条件の推定結果に影響し、Fm3とFm5間、Vm3とVm5間に誤差が生まれたと考えている。Fm3とFm5間、Vm3とVm5には比較的高い相関係数が得られたものの、若干の誤差を含んでいる可能性を完全に否定することはできない。今後、測定精度の向上を図るとともに、データのさらなる蓄積が必要である。

高齢者では、測定中の血圧上昇¹⁷⁾などの身体的リスクが考えられる。また先行研究が報告^{18,29,30)}したように高速度条件の測定は、角速度達成率が悪く、設定速度に到達する前に測定動作が終了してしまう。中速度3条件で生じた誤差については3つの負荷速度条件を変更するなど、追加の検討が必要であるが、負荷の大きい速度を除いた中速度3条件を利用することは、上記のような点を改善できるメリットがあると考えられる。

B. 中速度3条件による高齢者の負担軽減プロトコルの併存的妥当性

中速度3条件の測定について基本的移動能力および日常生活動作に関連の深い体力測定、単関節動作による最大等尺性膝伸展筋力との関連性から検討するために、Table 3にその結果を示した。Fm3は5m最大歩行、アップ&ゴー、ステップテストの複合的動作能力、敏捷性などの要素が含まれる体力測定項目³¹⁾、単関節動作による最大等尺性膝伸展筋力との有意な相関関係がみられ、中速度3条件による高齢者の負担軽減プロトコルが一定の併存的妥当性を有することが示唆された。しかし、80~99歳の高齢者26名を対象に下肢伸展パワーと体力測定項目との関連性について検討した先行研究⁶⁾と比べると本研究で得られた相関係数はやや低値であった。また、5m通常歩行、開眼片脚立ち、5回椅子立ち上がりとの相関関係はみられなかったが、この理由としてデータのばらつき、バランス能力や心理的要因などが影響した可能性が考えられる^{32,33)}。中谷ら³⁴⁾は、30秒椅子立ち上がりテストと筋力測定装置を用いた動的な筋力測定との関連性を検討したが、姿勢やベルト固定といった測定上の条件から下肢筋の力発揮が難しく、正確な筋力測定をおこなうことが出来なかったと報告している。一方、本研究では、負担軽減プロトコルを用いたFm3が、基本的移動能力、動的な運動能力を反映する体力測定項目や最大等尺性膝伸展筋力と有意な相関関係が示さ

れた。そのため、本研究で用いた中速度3条件による多関節複合動作の下肢筋力推定は、対象者への負担を軽減しつつ、動的な日常生活動作と関連する体力をより正確に評価できる可能性がある。

C. 研究の限界

本研究はいくつかの限界を有している。1点目に本研究の対象者は茨城県に在住する者であり、本研究の外的妥当性は必ずしも高くない。自発的に体力測定会に参加したことを考慮すると、比較的体力や意欲が高い集団である可能性がある。2点目に中速度3条件を0.3m/s、0.5m/s、0.8m/sとしている点である。低速度条件、高速度条件の中でも負担の小さい速度、例えば0.2m/s、0.9m/sを取り入れた3条件についても検討することが望ましかったが、本測定装置の速度条件の設定上限は1.0m/s、設定下限は0.1m/sであること、65~78歳の高齢者を対象とした体力測定会であり、身体的負担を極力最小限にするために測定条件を限定している。今後は、さらに様々な測定条件下で検討することが望ましい。また、縦断データでの研究に加え、疾患別や移動能力レベルに応じた研究が必要であろう。

V. 結語

本研究では、高齢者を対象として多関節複合動作時の下肢筋力を推定するための中速度3条件を用いた負担軽減プロトコルの妥当性を検討した。その結果Fm3、Vm3とFm5、Vm5との間に有意な相関関係がみられ、負担軽減プロトコルと従来のプロトコルとの間の基準関連妥当性が示唆された。またFm3は複合的動作、敏捷性などの要素を含む体力測定項目や単関節動作による最大等尺性膝伸展筋力との間に相関関係がみられ、併存的妥当性を確認した。

サーボ制御式膝・股関節ダイナモメータによる中速度3条件による多関節複合動作の筋力測定は、負荷の小さい簡便な方法として高齢者の動的な下肢筋機能の評価に有用である可能性を示した。

謝辞

本研究にご協力いただいた対象者の皆様、筑波大学関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。勤務先である(独)宇宙航空研究開発機構 宇宙医学生物学研究室の皆様からは就学へのご理解、(独)労働安全衛生総合研究所 松尾知明氏からは論文執筆においてご助言を賜りました。心より御礼申し上げます。

文献

- 1) Guralnik JM, Ferrucci L, Simonsick EM, et al., Lower-extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability, *N Engl J Med*, 1995;332:556-561.
- 2) Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, et al., A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission, *J Gerontol* 1994;49:M85-94.
- 3) Judge JO, Schechtman K, Cress E, The relationship between physical performance measures and independence in instrumental activities of daily living, The FICSIT Group, Frailty and Injury: Cooperative Studies of Intervention Trials, *J Am Geriatr Soc*, 1996;44:1332-1341.
- 4) Phillips WT, Haskell WL, "Muscular Fitness" - easing the burden of disability in elderly adults, *J Aging Phy Activ*, 1995;3:261-289.
- 5) Stump TE, Clark DO, Johnson RJ, et al., The structure of health status among Hispanic, African American, and white older adults, *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 1997;52:49-60.
- 6) Bassey EJ, Fiatarone MA, O'Neill EF, et al., Leg extensor power and functional performance in very old men and women, *Clin Sci*, 1992;82:321-327.
- 7) Brown M, Sinacore DR, Host HH, The relationship of strength to function in the older adult, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 1995;50:55-59.
- 8) Akima H, Kano Y, Enomoto Y, et al., Muscle function in 164 men and women aged 20-84 yr, *Med Sci Sports Exerc*, 2001;33:220-226.
- 9) 森井秀樹、山岡憲二、股関節屈曲が脚筋力の発揮に及ぼす影響、*京都文教短期大学研究紀要*、2011;50:16-20.
- 10) Nisell R and Ericson M, Patellar forces during isokinetic knee extension, *Clin Biomech*, 1992;7:104-108.
- 11) Bynum EB, Barrack RL, Alexander AH, Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction, A prospective randomized study, *Am J Sports Med*. 1995;23:401-406.
- 12) Wilk KE, Escamilla RF, Fleisig GS, et al., A comparison of tibiofemoral joint forces and electromyographic activity during open and closed kinetic chain exercises, *Am J Sports Med*, 1996;24:518-527.
- 13) Palmitier RA, An KN, Scott SG, et al., Kinetic chain exercise in knee rehabilitation, *Sports Med*, 1991;11:402-413.
- 14) 石井直方、山内潤一郎、中山敏、サーボ制御式脚・股関節ダイナモメータの開発と応用、*体力科学*、2001;50:770.
- 15) Yamauchi J, Mishima C, Fujiwara M, et al., Steady-state force-velocity relation in human multi-joint movement determined with force clamp analysis, *J Biomech*, 2007;40:1433-1442.
- 16) Yamauchi J, Mishima C, Nakayama S, et al., Force-velocity, force-power relationships of bilateral and unilateral leg multi-joint movements in young and elderly women, *J Biomech*, 2009;42:2151-2157.
- 17) Yamauchi J, Nakayama S, Ishii N, Blood pressure response to force-velocity properties of the knee-hip extension movement, *Eur J Appl Physiol*, 2008;102:569-575.
- 18) 吉野直美、三和真人、鈴木克彦、他、等速性筋力測定装置Cybexの運動角速度の検証、*山形保健医療研究*、2002;5:51-56.
- 19) 田中喜代次、金美芝、清野諭、他、元気高齢者から虚弱高齢者(特定高齢者)の身体機能を評価できる包括的評価指標の提案、*体力科学*、2009;58:38.
- 20) 岩瀬弘明、村田伸、久保温子、他、地域在住高齢者のQOLと身体機能との関係、ヘルスプロモーション理学療法研究、2014;2:65-70.
- 21) 大須賀洋祐、藪下典子、金美芝、他、高齢期における日常的な座位行動時間は中高強度身体活動時間から独立して下肢パフォーマンスと関連するか - 1軸加速度計を用いた横断的検討 -、*体力科学*、2014;63:169-176.
- 22) Suetta C, Aagaard P, Magnusson SP, et al., Muscle size, neuromuscular activation, and rapid force characteristics in elderly men and women: effects of unilateral long-term disuse due to hip-osteoarthritis, *J Appl Physiol*, 2007;102:942-948.
- 23) Yamauchi J, Mishima C, Fujiwara M, et al., Steady-state force-velocity relation in human multi-joint movement determined with force clamp analysis, *J Biomech*, 2007;40:1433-1442.
- 24) Greenberger HB, Wilkowsky T, Belyea B,

- Comparison of Quadriceps Peak Torque Using Three Different Isokinetic Dynamometers, *J Orthop Sports Phys Ther*, 1993;17:48-49.
- 25) Thompson MC, Shingleton LG, Kegerreis ST, Comparison of Values Generated During Testing of the Knee Using the Cybex II Plus and Biodex Model B-2000 Isokinetic Dynamometers, *J Orthop Sports Phys Ther*, 1989;11:108-155.
- 26) Owings TM, Grabiner MD, Normally aging older adults demonstrate the bilateral deficit during ramp and hold contractions, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 1998;53:425-429.
- 27) Kuruganti U, Parker P, Rickards J, Tingley M, et al., Bilateral isokinetic training reduces the bilateral leg strength deficit for both old and young adults, *Eur J Appl Physiol*, 2005;94:175-179.
- 28) 若山章信、柳等、小嶋俊久、他、等速性筋力測定法による膝伸展筋の力-速度曲線および最大パワーの評価、*体力科学*、1996;45: 413-418.
- 29) 三浦雅史、川口徹、吉岡利忠、等速性筋力測定時の角速度変化：第1報 男子大学生の膝屈伸運動について、*体力科学*、2000;49: 915.
- 30) 川口徹、三浦雅史、吉岡利忠、等速性筋力測定時の角速度変化：第2報 女子大学生の膝屈伸運動について、*体力科学*、2000;49: 916.
- 31) 清野諭、藪下典子、金美芝、他、特定高齢者の体力を把握するためのテストバッテリー、*日本公衆衛生雑誌*、2009;56:724-736.
- 32) Lord SR, Murray SM, et al., Sit-to-stand performance depends on sensation, speed, balance, and psychological status in addition to strength in older people, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2002;57:539-543.
- 33) Netz Y, Ayalon M, Dunskey A, et al., 'The multiple-sit-to-stand' field test for older adults: what does it measure?, *Gerontology*, 2004;50:121-126.
- 34) 中谷敏昭、灘本雅一、三村寛一、他、日本人高齢者の下肢筋力を簡便に評価する30秒椅子立ち上がりテストの妥当性、*体育学研究*、2002;47:451-461.