超音波測定による大腿前面筋厚と膝伸展筋力の関係

Relationship between Knee Extension Strength and the Quadriceps Femoris Muscle Thickness Measured by Ultrasound

大渕 修一¹⁾ 新井 武志^{1,2)} 小島 基永¹⁾ 河合 恒¹⁾ 小島 成実¹⁾

SHUICHI OBUCHI, RPT, PhD¹⁾, TAKESHI ARAI, RPT, PhD^{1,2)}, MOTONAGA KOJIMA, RPT, MS¹⁾,
HISASHI KAWAI PhD¹⁾, NARUMI KOJIMA, MS¹⁾

¹⁾ Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology: 35-2 Sakae-cho, Itabashi-ku, Tokyo 173-0015, Japan. TEL +81 3-5285-8440
FAX +81 3-5285 8550

²⁾ Faculty of Health Sciences, Meiji University

Rigakuryoho Kagaku 24(2): 185-190, 2009. Submitted Aug. 1, 2008. Accepted Nov. 11, 2008.

ABSTRACT: [Purpose] In this study, we investigated the relationship between the muscle thickness of the quadriceps measured by an ultrasound imaging system and physical function. [Subjects] The subjects were 98 community-dwelling older women aged over 60: average age, 72.7. [Methods] The muscle thickness of the quadriceps femoris at 10 cm above the upper border of the patella was evaluated by an ultrasound imaging system, and physical fitness which included knee extension strength was evaluated. [Results] There were significant correlations between muscle thickness and knee extension strength ($r = .333$, $p < .001$), hand-grip strength ($r = .255$, $p < .05$), and one-legged standing time ($r = .278$, $p < .001$). [Conclusion] The muscle thickness was correlated with physical fitness. However, multiple linear regression analysis indicated that muscle thickness did not predict the strength of knee extension precisely enough.

Key words: ultrasound imaging system, muscle thickness, strength of knee extension

要旨: [目的] 超音波画像計測装置を用いて測定した大腿前面の筋厚が、膝関節伸展筋力を含めた身体機能と関係しているのか、また筋厚から膝関節伸展筋力の推定が可能かを調査した。[対象] 地域在住の女性高齢者98名とした(平均年齢 72.7 ± 5.4 歳)。[方法] 対象者の大腿前面の筋厚を超音波画像計測装置にて計測した。また身体機能として、等尺性の膝関節伸展筋力(N)、握力(kg)、通常歩行速度(m/分)、開眼片足立ち時間(秒)、下肢のしなやか度を測定した。[結果] 大腿前面の筋厚は膝関節伸展筋力、握力、開眼片足立ち時間と有意な正の相関が認められた。一方、重回帰分析の結果では、膝関節伸展筋力を予測する因子としては、大腿前面筋厚の寄与率は低いことがわかった。[結語] 超音波画像計測装置で計測した大腿前面の筋厚は、地域在住女性高齢者の身体機能を反映する指標とはなりうるものの、膝関節伸展筋力を推定するためにはさらに検討が必要と考えられた。

キーワード: 超音波画像計測装置, 筋厚, 膝伸展筋力

¹⁾ 東京都老人総合研究所 介護予防緊急対策室: 東京都板橋区栄町35-2 (〒173-0015) TEL 03-5285-8440 FAX 03-5285-8550

²⁾ 目白大学 保健医療学部理学療法学科

受付日 2008年8月1日 受理日 2008年11月11日

I. はじめに

介護保険制度は施行後5年を経て見直しが行われ、改正された介護保険法による運用が平成18年4月より始まった。今般の見直しの1つの柱として予防重視型システムへの転換が図られることになった。この転換によって、高齢者が要介護状態に陥るのを予防するために介護予防プログラムが展開されることとなり、中でも虚弱高齢者に対する筋力増強運動など、積極的な運動介入が地域で実施されるようになってきている。

一方、今回の制度改正では事業評価の重要性も謳われている。前述の筋力増強運動を中心とした運動介入の効果を測定する際には、下肢の機能評価の1つの方法として膝関節伸展筋力測定が用いられている。しかし、介護予防における運動介入の中心的な対象と考えられる虚弱高齢者に於いては、低下した身体状況との兼ね合いから、膝関節伸展筋力の測定では次のようなリスクが高くなることが想像される。第一に、最大の筋力発揮を求めることによって関節周囲に一次的に大きな負荷を与え、関節組織に損傷を与える危険性がある。一般的に実施されている膝関節90度屈曲位での等尺性収縮力の測定では、比較的関節にかかるリスクが低く測定できると考えられるものの、身体機能の廃用が進んでいる虚弱高齢者を対象とした場合にはその不安は残される。第二に、被検者は最大努力で筋力を発揮する必要があり、事前に指導を行ったとしても、被検者によっては測定中に一次的に呼吸を止めて息んでしまう場合がある。このような場合は、バルサルバ効果^{1,2)}によって血圧の著しい上昇と下降を生じるため循環器系に大きな負担が生じると考えられている。

以上のことから、虚弱高齢者に対する測定においては、非侵襲的な方法で膝関節の伸展筋力が推定できればより安全な測定であるといえる。しかしながら、評価方法は測定の妥当性と測定の持つデメリットの双方を考慮したうえで選択されるべきであって、安全であっても評価の目的を成しえない測定では意味がない。したがって、下肢機能の評価にはリスクを伴わない形態学的な測定によって機能が推定できること、さらに運動介入の効果を反映できる感度を持っていることなどが求められる。

近年、超音波測定によって筋の厚さを測ることができるようになり、その測定の妥当性が確認されている³⁻⁵⁾。また、地域でも測定できる携帯型の筋厚を調べる目的の専用機器が開発されている⁶⁻⁸⁾。そこで、本研究では、地域在住女性高齢者を対象に、大腿前面の筋の厚さを超音

波画像計測装置で測定し、1) 大腿前面の筋の厚さが、最大膝関節伸展筋力やその他の身体機能測定と相関があるのかどうかを調べ、2) 1) が確認された場合、筋厚を含む形態学的な測定のみで、最大膝関節伸展筋力が推定できるかどうか調べることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

本研究では、東京都の2つの地域に於いて開催された介護予防イベントに参加した、自立歩行可能な60歳以上の女性を対象とした。本研究では、参加申込みがあった者に問診を実施し、以下の条件に該当する者は測定の対象から除外した。除外基準に該当しなかった参加者98名の平均年齢は 72.7 ± 5.4 歳（平均値 $\pm$ 標準偏差）であった。

除外基準

- ①狭心症、心筋梗塞にかかっている（何らかの心臓病がある）
- ②血圧値が収縮期180 mmHg以上、または、拡張期血圧100 mmHg以上である
- ③脈拍が100回/分以上ある
- ④重い糖尿病にかかっている
 - ・過去に低血糖発作を起こしたことがある
 - ・空腹時血糖200 mg/dl以上である
 - ・網膜症、腎症などを合併している
- ⑤最近6ヶ月以内に心臓発作、脳卒中発作を起こした
- ⑥急性期の整形外科的疼痛、および、神経症状がある（腰部脊柱管狭窄症など）
- ⑦骨粗鬆症で、かつ、圧迫骨折の既往がある
- ⑧体調に関して「いきむ」ことが心配である
- ⑨体調がいつも通りではない
- ⑩医師から運動を制限されている

この研究計画は独立倫理委員会に付託し承認を得た（東京都老人総合研究所倫理委員会 承認番号1 平成19年5月18日）。対象者には、事前に研究概要を説明し、書面にて参加の意思を確認した。

2. 方法

対象者に対し、専門のスタッフ（測定方法の訓練を受けた者）が、握力、開眼片足立ち時間、通常歩行速度、最大膝関節伸展筋力、下肢のしなやか度、大腿前面筋厚および脂肪厚を測定した。

握力測定は市販の握力計（竹井機器社製）を使用し、立位で握力計を体側に保持して測定を行った。測定は

表1 対象者の基本情報

項目	n	平均値±標準偏差	範囲
年齢 (歳)	98	72.7±5.4	62-88
握力 (kg)	90	20.8±4.9	7.5-35.0
開眼片足立ち時間 (秒)	97	37.5±22.1	2.0-60
通常歩行速度 (m/分)	97	80.3±14.5	39.0-111.1
最大膝伸展筋力 (N)	88	224.3±73.2	32.0-347.0
しなやか度 (msec)	91	96.4±15.2	61.0-143.0
大腿前面筋厚 (mm)	95	16.7±5.1	7.5-30.0
大腿前面脂肪厚 (mm)	95	7.5±2.1	2.6-14.6

利き手あるいは麻痺や痛みがなく強い力が出せる手で1回行い、小数点以下第1位まで記録した (kg)。開眼片足立ち時間の測定では、被検者は自分のタイミングで片足立ち姿勢 (両腕を体側に垂らし、どちらかの足を床面から離す) をとり、検者は被検者がその姿勢を維持できなくなるまでの時間 (秒) をストップウォッチにて測定した。測定は開眼とし、練習の後1回測定し記録とした。その際、高齢では120秒、あるいは90秒の測定は負担となるため、厚生労働省の運動器の機能向上マニュアルに準拠し上限時間を60秒に設定した。通常歩行速度の測定では、被検者は5 mの歩行時間測定区間の前後に3 mずつの加速および減速路を取った合計11 mの平坦な歩行路を歩いた。検者はストップウォッチにて被検者が測定区間の5 mを通過する時間を測定し、そこから分速 (m/分) を小数点以下第1位まで計算した。被検者に対する教示は「いつも歩いている速さで歩いてください」と統一した。測定は原則として1回行った。最大膝関節伸展筋力の測定では、被検者は十分な高さのある椅子に端座位姿勢をとり、下腿部を下垂させ膝関節を90度屈曲させた開始姿勢から、利き足あるいは麻痺や痛みがなく強い力が出せる足の等尺性の最大膝関節伸展筋力 (N) を簡易型膝伸展筋力測定器 (Isoforce GT610S : OG技研社製) を用いて計測した。検者は事前に被検者の膝関節に痛みがないことを十分確認し、さらに練習を行って痛みがないこと、呼吸が止まらないことを確認した上で測定を実施した。測定は十分な休憩を挟んで2回行い大きい値を記録とした。下肢のしなやか度とは、その場ジャンプの着地衝撃緩衝能を、着地からの床反力ピーク出現時間を指標として数値化したものである⁹⁾。しなやか度の測定にはフレックステスター (ケアメディックス社製) を用いた。測定は数回の練習の後3回行い、3回の平均値を記録とした。

大腿前面の筋厚、脂肪厚の測定には、超音波画像計

測装置「みるキューブ」(グローバルヘルス社製) を使用した。測定は、被検者を膝関節90度屈曲位で床に足をつけて座らせ筋を弛緩させた。次に膝蓋骨の上縁から筋に沿って10 cmのところ、筋の走行に垂直に超音波プローブをあて、大腿骨が最もよく観察されるように超音波プローブの角度を微調整した (通常大腿骨に垂直)。この時の画像をパーソナルコンピュータに記録し、皮膚表面から大腿直筋筋膜までの厚さ (脂肪厚)、大腿直筋筋膜から大腿骨までの厚さ (筋厚) を付属のソフトウェアを用いて計測した。

統計解析は、大腿前面の筋厚と身体機能諸変数の関係および最大膝関節伸展筋力と身体機能諸変数との関係をPearsonの相関係数を用いた。最大膝関節伸展筋力の推定には、前記の単回帰分析の結果有意な相関を認めた身体機能を独立変数とした直線回帰分析 (重回帰分析) を行った。本研究で扱ったすべての変数で、どれくらい寄与率があるのかを確認するため、まず強制投入法を用いた。次に、強制投入法で求めたモデルを大きく損なわない範囲で、変数を選択するとどうなるか検討するため変数減少法を用いた。統計処理にはSPSS ver15.0Jを用いた。

III. 結 果

参加除外基準に該当しない98名の測定が実施された。各測定項目の平均値を表1に示した。被検者の身体状態を考慮したうえで実施できる測定項目を選択したため、表1には測定が実施できた被検者についての平均値を示した。

大腿筋厚と有意な相関が認められたのは、握力 ($r=.255, p<.05$)、開眼片足立ち時間 ($r=.278, p<.001$)、最大膝関節伸展筋力 ($r=.333, p<.001$) であった。一方、年齢 $r=.057$ ($p>.05$)、通常歩行速度 $r=.185$ ($p>.05$)、平均

表2 大腿前面筋厚および膝伸展筋力と各測定項目の相関係数

項目	大腿前面筋厚			最大膝伸展筋力		
	n	r	p 値	n	r	p 値
年齢 (歳)	95	.057	.583	88	-.210	.049
握力 (kg)	87	.255	.017	87	.644	<.001
開眼片足立ち時間 (秒)	94	.278	.007	87	.354	.001
通常歩行速度 (m/分)	94	.185	.074	87	.524	<.001
しなやか度 (msec)	88	.073	.501	86	.175	.107
最大膝伸展筋力 (N)	85	.333	.002	---	----	----
大腿前面筋厚 (mm)	---	----	----	85	.333	.002

r: Pearson の積率相関係数

表3 膝関節伸展筋力を従属変数とした重回帰分析 (変数減少法) の結果

重相関係数 (R) = .569, 自由度調整済み決定係数 (adjusted R ²) = .307, 推定値の標準誤差 = 60.5			
従属変数 (= 膝関節伸展筋力)	非標準化回帰 係数 (B)	標準化偏回帰 係数 (β)	p
独立変数			
定数	-16.559		.675
通常歩行速度 (m/分)	2.333	.473	.000
大腿筋厚 (mm)	3.185	.231	.016

しなやか度 $r=.073$ ($p>.05$) では有意な相関関係が認められなかった (表2)。また、最大膝関節伸展筋力と有意な相関が認められた身体機能諸変数は、握力 ($r=.644$, $p<.001$)、開眼片足立ち時間 ($r=.354$, $p<.01$)、大腿筋厚 ($r=.333$, $p<.01$)、通常歩行速度 ($r=.524$, $p<.001$) であった。

上記変数のうち、握力測定には膝関節伸展筋力測定と同様、組織の損傷やバルサルバ効果のリスクがあると考えられるため除外し、残りの身体機能諸変数 (大腿筋厚、片足立ち時間、通常歩行速度) を独立変数とした重回帰分析を行った結果、強制投入法では $R=.587$, $\text{adjusted } R^2=.320$ の統計的に有意な回帰式を得た。変数減少法の結果、通常歩行速度、大腿筋厚が選択され、 $R=.569$, $\text{adjusted } R^2=.307$ となった (表3)。このモデルで、推定式を作成し残差を求めると、残差は標準偏差 $\pm 59.7\text{N}$, $N=84$ の分布を持つ正規分布が推定された。

ところで、開眼片足立ち時間には60秒の天井効果があり、今回39名 (41.5%) の対象者が60秒を達成したため測定値の分布をいびつなものにしている。そこで、開眼片足立ち時間が60秒の対象者を除き同様の解析を繰り返すと、通常歩行速度と開眼片足立ち時間が選択され大腿筋厚は除外された (表4)。

IV. 考 察

虚弱高齢者の歩行能力を高めるためには、抗重力筋の機能向上が必須であり、その運動処方や効果判定には筋力を測定する必要があると考えられる。身体機能が低下した虚弱高齢者の身体機能を非侵襲的に測定できる方法が開発されれば、安全に運動器の機能向上プログラムの評価を行うことができ望ましいといえる。特に、運動介入プログラム開始時に行われる事前評価では、対象者の身体・心理状態も十分に把握されていない介入の初期段階に最大能力の発揮を求めるため、循環器系への負担や運動器系の損傷といったリスクが高くなると考えられる。また、運動についての効用をまだ感じていない介入初期に事故が生じれば、それが大きなトラブルに発展することも予想される。しかし、これまでの高齢者の身体能力の測定については、東京都老人総合研究所による多数の高齢者に対する実施例などが報告されており、事故の記述も無い^{10,11)}。したがって、除外基準も含めて適切な測定プロトコルが遵守されている限り、虚弱高齢者に対して最大能力の発揮を求める測定をすることは可能であり、現状では妥

表4 膝関節伸展筋力を従属変数とした重回帰分析（変数減少法）の結果（開眼片足立ち60秒の対象を除いた解析）

重相関係数 (R) = .594, 自由度調整済み決定係数 (adjusted R ²) = .326, 推定値の標準誤差 = 59.7			
従属変数 (= 膝関節伸展筋力)	非標準化回帰 係数 (B)	標準化偏回帰 係数 (β)	p
独立変数			
定数	8.437		.860
通常歩行速度 (m/分)	2.090	.405	.001
開眼片足立ち時間 (秒)	1.869	.405	.001

当な測定であるといえる。

一方で、前述したように、筋力測定においては循環器への影響や強い張力を発生させることによる運動器への有害な影響も考えられることから、最新機器の導入などによりこの測定に伴う危険を少しでも減らした妥当な測定方法が開発できるのであれば、評価、効果判定、フォローアップなどで利用価値があるものと考えられる。本研究では、超音波画像計測によって下肢の筋機能測定の代用ができるかどうかを検討した。その結果、超音波画像を用いた大腿前面筋の筋厚測定は、握力、開眼片足立ち時間、膝伸展筋力などの身体機能との相関があり、高齢期女性の機能を表す指標として用いることは妥当であると判断できた。また、膝関節伸展筋力を従属変数とした回帰式を作成することができ、超音波画像計測装置による筋厚測定は直接的な身体機能測定に替わるものとして検討の価値があることがわかった。しかしながら、残差解析の結果、誤差が大きいことがわかり、スクリーニングとして、大まかな筋力を推定することには応用できるものの、これが介入効果など、より少ない変化を示す指標とは成り得ないと考えられた。これまでの研究では、我々の研究同様、筋厚が筋力などの身体機能と相関が高いと報告しているものがあるが^{2,12,13}、筋厚をもって筋力を推定できているものは見当たらない。形態学的には、筋力と筋肥大の関係では、筋の効率がよくなることによって筋肥大を生じることなく筋力が増強することが一次的な変化で、それが継続すると二次的に筋肥大となることがわかっている¹⁴。したがって、筋厚の変化をもって筋力トレーニングなどの介入効果を示すとするには無理があるかもしれない。そのため、現時点ではこれまで行われてきた直接的な等尺性の膝関節伸展筋力の測定を正確かつ安全に実施することが求められる。

病気の方であれば、評価に対するリスクは治療上必要なものとしてある程度許容できる。ところが、虚弱とはいえ健常高齢者を対象にする場合には、疾病といったリスクを凌駕するだけの、問題がない場合には、少しのリスクでも社会的に大きな問題になる。長期的に見て、廃用症候群の予防は重要であるものの、その重要性の理解は病気治療に比べて低い。例えて言えば、年寄りの冷や水として捉えかねない。したがって、非侵襲的でより安全で正確な筋力評価の開発が強く期待される。今回用いた超音波画像診断装置を用いた測定では、筋や皮下脂肪の厚さの評価に加えて、組織に当たって反射した超音波の強度の情報も得られる。その強度は、超音波を反射しやすい組織では高く、逆に吸収しやすい組織では低くなる。具体的には、骨や脂肪組織ではこの反射強度が高く、筋組織で低くなる。したがって、この強度は組織の質を評価することに利用可能であるかもしれない。例えば、介入によって組織の血流が増した状態であれば、当然超音波を吸収しやすい性質を持つ。このような情報量を加えることによって、スクリーニングのみでなく、介入効果を評価できる可能性がある。今後は、筋の厚さの評価に加えて、反射波の強度を加えて筋力推定の精度が上がるかどうかを検討するなど、さらなる検索の価値はあると思われる。

この研究の限界は、今回回帰分析に直接必要とするものではないが、身長、体重などの基礎情報が不足している。また、介護予防イベントが実施された会場に自ら赴いた比較的心身機能が高く健康に対する関心も高い対象者の結果であり、より虚弱度の高い対象者で同様の傾向を示すかどうかは不明である。

超音波画像計測によって測定した大腿前面筋厚によって、スクリーニングに用いる程度の最大膝関節伸展筋力の推定は可能であることがわかった。スクリーニングに用いる場合の例として、筋厚が何mm以下は、

要介護になるリスクが高い,あるいは,筋厚何mm以上,何mm以下の人が運動器の機能向上サービスの対象となる,などといった利用方法が考えられる。しかしながら,今回の結果からは介入効果を評価できるほど十分な妥当性を持っていないことがわかった。虚弱高齢者に対する初回評価でのリスクを少しでも少なくすることは重要であり,筋の厚さに加えて,筋組織の質などの指標を加え,さらなる探索が必要であると考えられた。

引用文献

- 1) Seals DR, Washburn RA, Hanson PG, et al.: Increased cardiovascular response to static contraction larger muscle groups. *J Appl Physiol*, 1983, **54**: 434-437.
- 2) 西本哲也, 西本千奈美, 渡邊 進・他: 等尺性運動, バルサルバが健常成人の血圧・心拍に及ぼす影響. *川崎医療福祉学会誌*, **7**: 405-409, 1997.
- 3) 池添冬芽, 浅川康吉, 島 浩人・他: 加齢による大腿四頭筋の形態的特徴および筋力の変化について: 高齢女性と若年女性の比較. *理学療法学*, 2007, **34**: 232-238.
- 4) Miyatani M, Kanehisa H, Ito M, et al.: The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *Eur J Appl Physiol*, 2004, **91**: 264-272.
- 5) 福永哲夫, 松尾彰文, 石田良恵・他: 超音波Bモード法による皮下脂肪厚および筋厚の測定方法の検討. *Jpn J Med Ultrasonics*, 1989, **16**: 170-177.
- 6) 福田 修, 椿井正義, 佐藤広徳・他: 体脂肪・筋肉量測定を目的としたヘルスケア用超音波エコーの開発. *医機学*, 2008, **78**: 113-124.
- 7) 金子秀雄, 佐藤広徳: 超音波診断装置による若年者と高齢者の側腹筋圧の比較. *理学療法福岡*, 2005, **18**: 23-32.
- 8) 金子秀雄, 佐藤広徳, 丸山仁司: 超音波診断装置を用いた側腹筋厚測定の信頼性. *理学療法科学*, 2005, **20**: 197-201.
- 9) 水田亜矢, 大淵修一, 柴 喜崇・他: 幅広い対象に適応可能な衝撃緩衝能の測定方法について. *北里理学療法*, 2005, **8**: 121-124.
- 10) 東京都老人総合研究所: 長期プロジェクト研究報告書「中年からの老化予防総合的長期追跡研究」2000.
- 11) 鈴木隆雄, 杉浦美穂, 古名丈人・他: 地域高齢者の転倒発生に関連する身体的要因の分析的研究: 5年間の追跡調査から. *日老医誌*, 1999, **36**: 472-478.
- 12) Sipila S, Suominen H: Muscle ultrasonography and computed tomography in elderly trained and untrained women. *Muscle Nerve*, 1993, **16**: 294-300.
- 13) 市橋則明, 大畑光司, 西村 純・他: 超音波画像解析による大腿四頭筋の形態的特性と膝伸展筋力の関係. *理学療法学*, 2005, **32**(Suppl 2): 73.
- 14) 後藤勝正: 筋力増強のメカニズム. *理学療法*, 2007, **24**: 914-922.