

立ち上がり動作時の床反力を用いた サルコペニアスクリーニング法の妥当性の検討

Validation study of screening formula for sarcopenia using ground reaction force during sit-to-stand motion

解良武士^{1) 3)}、小野沢浩²⁾、齊田高介¹⁾、樋口大輔¹⁾、篠原智行¹⁾、河合恒³⁾、大淵修一³⁾

Takeshi Kera^{1) 3)}, Hiroshi Onozawa²⁾, Kosuke Saida¹⁾, Daisuke Higuchi¹⁾,
Tomoyuki Shinohara¹⁾, Hisashi Kawai³⁾, Shuichi Obuchi³⁾

要旨：【目的】本研究の目的は、我々が開発した立ち上がり時の床反力値を用いたサルコペニア判定式の妥当性を検証することである。【方法】デイケア施設の利用者105名を本研究の対象者とした。対象者には、サルコペニア判定のために骨格筋量、握力、歩行速度を測定した。立ち上がり時の床反力の測定には運動機能分析装置を用いた。対象者には椅子からできるだけ素早く立ち上がるように指示し、立ち上がり動作時の最大床反力Fを算出した。F、年齢、性を用いたサルコペニア判定式でサルコペニア確率値Pを求め、サルコペニア判定のカットオフ値とROC曲線によって妥当性を評価した。【結果】サルコペニア判定式は、サルコペニアに対する感度が88.2% (95%CI:76.1-95.6%)、特異度は42.6% (95%CI:29.2-56.8%)、AUCは0.753 (95% CI:0.660-0.847)で、以前の開発での評価に比べると特異度とAUCが低かったものの、中程度の成績であった。【考察】我々が提案したサルコペニア判定式とそのカットオフ値は、サルコペニアに対する感度が高くスクリーニングとしての性能は十分である。
キーワード：サルコペニア・立ち上がり動作・床反力

- 1) 高崎健康福祉大学
〒370-0033 群馬県高崎市中大類町27
Takasaki University of Health and Welfare
27, Nakaorui-machi, Takasaki-shi, Gunma 370-0033, Japan
 - 2) 日高デイトレセンター
〒370-0004 群馬県高崎市井野町1037-1
The Hidaka Day-Training Center
1037-1, Ino-machi, Takasaki-shi, Gunma 370-0004, Japan
 - 3) 東京都健康長寿医療センター研究所
〒173-0015 東京都板橋区栄町35番2号
Tokyo Metropolitan Institute for Geriatrics and Gerontology
35-2, Sakaecho, Itabashi Ku, Tokyo To, 173-0015, Japan
- (受付日 2024年7月7日/受理日 2024年11月1日)

I. 目的

サルコペニアは骨格筋量の減少を主とした病態で、将来の身体機能障害、要介護状態、死亡などの負の健康アウトカムと関係している。我が国における近年の報告では、その有病率は男性で11.5%、女性で16.7%であり、年齢が高いほど有病率は高くなること

が明らかになっており¹⁾、地域保健活動においてはサルコペニアの発見と早期の介入が重要である。

高齢者のサルコペニアに関する欧州ワーキンググループ (EWGSOP; European Working Group on Sarcopenia in Older People)²⁾ やアジアにおけるサルコペニアワーキンググループ (AWGS; Asian

Working Group for Sarcopenia)³⁾によるサルコペニアの診断基準は、測定が困難である骨格筋量だけにこだわらず低握力や低身体機能があるだけでサルコペニアの疑いとして介入することを推奨しており、研究機関や大規模医療機関だけではなく、地域での保健活動を含む様々なセッティングでサルコペニアを判定してその対策が行えるものとなっている。

ところで、ヒトの立ち上がり動作は下肢筋力やバランス能力が要求される課題であり、単位時間当たりの立ち上がり回数や5回反復回数の所要時間などがパフォーマンステストとして利用されており⁴⁾、EWGSOPやAWGSでも採用されている^{2, 3)}。立ち上がり動作時の床反力計から得られる体重で標準化した最大床反力 (F; peak reaction force) やその増加率などは身体機能と関係があり⁵⁾、転倒経験や起居移動能力とも関連がある⁶⁾。立ち上がり試験の成績はサルコペニアとも関連があるため⁷⁾、我々は立ち上がり動作時の床反力から得られる鉛直成分Fを用いてサルコペニアを判定する式を開発した⁸⁾。家庭用電子体重計や体組成計に搭載されたストレングージ等の力学センサーでも、鉛直成分に限れば床反力の測定は可能であると考えられるため、このプログラムを搭載した家庭用健康管理機器の開発も見込まれる。本研究の目的は、開発したサルコペニア判定式を用いたサルコペニア判定の妥当性を検証することである。

II. 対象

群馬県内の大規模デイケア施設を利用している歩行が可能な105名（男性30名、女性75名）を本研究の対象者とした。取り込み基準は自立歩行及び自身で立ち上がり出来るものとして、立ち上がりや歩行時に杖や歩行器、手すりを使用しても可とした。除外基準は、血圧が高値のもの、体内にペースメーカーがあるもの、歩行が不可能なもの、中枢神経または運動器疾患により測定が困難なものとした。対象者には、研究の目的、方法、研究への参加と拒否の自由、個人情報扱い、利害や利益の可能性、結果の公表について十分に説明し、書面により同意を取得した。本研究は本学の研究倫理審査委員会の承認を経て実施された（高崎健康福祉大学研究倫理委員会 承認番号第1981号）。

III. 方法

サルコペニアの判定

対象者には基本属性の他、サルコペニア判定のために骨格筋量、握力、歩行速度を測定した。骨格筋量はInbody 270 (Inbody) を用いて測定した。対象者には足底を清拭後、裸足で測定器に立位をとらせて測定した。両上肢・下肢の骨格筋量を加算して四肢骨格筋量 (ASM; Appendicular skeletal muscle) を算出し、これを身長²で除して、骨格筋指数 (ASM/身長²) を求めた。握力は握力計 (TKK-5401、竹井機器工業) を用いた。対象者には起立位で握力計を把持させ、利き手で2回連続測定し、高値を採用した。歩行速度の測定は6mの歩行路を用いた。対象者には普段の速さで歩くように教示し、手動ストップウォッチで時間を測定し、歩行速度を算出した。サルコペニアはアジアの基準³⁾を用い判定し、サルコペニアと重症サルコペニアは区別しなかった。

立ち上がり時の床反力測定

立ち上がり時の床反力の測定には運動機能分析装置zaRitz (BM-220, TANITA) を用いた。zaRitzは体重計型の可搬型床反力計とPCで構成された機器で、床反力計の上で立ち上がりを行うことで動作中の床反力をサンプリング周波数80Hzで記録することができる。この機器を用いて立ち上がり時の床反力の波形データを記録した。まず、座面高40cmの一般的な椅子を用意し、その前方にzaRitzを設置した。対象者には手を胸の前で“クロス”してもらい、椅子からできるだけ素早く立ち上がり立位で静止するように指示した。バランスが悪かったり不安定さを訴える場合は、前方の支持物を把持することを許した。測定は連続3回繰り返し施行した。

床反力値によるサルコペニア判定

PC内に記録された各対象者の経時的な床反力値をテキストファイルで出力し、これをLabChart Ver.8 (ADInstruments) に取り込み、作成したマクロを用いて半自動的にFを算出した。観測開始後、最低床反力値を観測した時点を起立開始、その後観測される床反力の最大値をFと定義した⁶⁾ (図

1)。3回の施行のうち、Fがもっとも高値であった施行を解析の対象とした。

我々はこのうちFを用いてサルコペニア判定式を開発している⁸⁾。F、年齢、性を用いたサルコペニア判定式でscoreを求め、サルコペニアの可能性Pを対象者ごとに算出した(式)。

男性

$$\text{Score} = 0.1103637 \times \text{年齢 (year)} - 0.1226515 \times F \text{ (kgf)} - 0.3377678 \text{ (定数)} \cdots \text{式 1}$$

女性 Score=0.0902132×年齢 (year)

$$-0.1510567 \times F \text{ (kgf)} - 0.5249030 \text{ (定数)} \cdots \text{式 2}$$

Probability of sarcopenia

$$P = 1 / (1 + \exp(-1 \times \text{score})) \cdots \cdots \text{式 3}$$

Pのカットオフ値は>0.1023494(男性)、>0.0627165(女性)として、サルコペニアを判定した。

統計処理

統計処理にはSPSS ver.29.0 (IBM)を用いた。連続変数は平均値(標準偏差)で、カテゴリ変数は人数(%)で表記した。2群の比較は正規分布している場合は独立2群のt検定を、正規分布していない場合はMann-Whitney U検定を用いた。カテゴリー

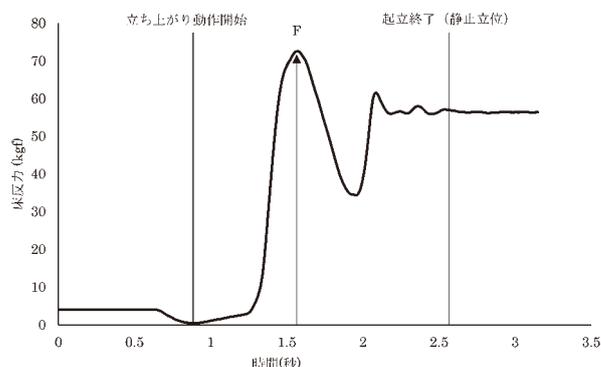


図1. 立ち上がり動作時の床反力の推移とFの定義⁸⁾

起立開始前の床反力値は接地した下肢の重さである。立ち上がり運動が開始すると、体幹が前傾するが、その際下肢が床面を押す力が減ずる。このもっとも小さい値を立ち上がり動作開始の起点と定義した。体幹の前傾角度が増しながら離殿した後、下肢の伸展に伴い床反力が増加していく。完全に伸展する直前に床反力は最大値(F)を迎える。その後、慣性により床反力は大きく減じたのちに速やかに床反力値は体重に相当する値に収束する。
(文献8を改変して掲載)

変数については、カイ2乗検定を用いた。算出されたPの妥当性の検証は混同行列とROC曲線を用いた。骨格筋量、握力、歩行速度で判定したサルコペニアに対する判定式とカットオフ値での感度、特異度とその95%信頼区間(95%CI)を求め、さらに判定式で求めたP値のAUC(Area under the curve)を求めた。妥当性を裏付けるために、サルコペニア判定のカットオフ値を用いた低骨格筋指数(男性;<7.0kg/m2、

表1. 対象者属性

	非サルコペニア 54	サルコペニア 51	p
女性, 人 (%)	39 (72.2)	36 (70.6)	>0.999
年齢, 歳	79.9 (9.8)	82.3 (9)	0.157
身長, cm	154.2 (9.7)	150.3 (9.9)	0.042
体重, kg	57.1 (13.5)	50.1 (9.2)	0.004
BMI, kg/m2	23.6 (3.8)	22 (2.8)	0.037
下腿周囲径, cm	34.6 (3.7)	31.2 (2.6)	<0.001
握力, kg	23.5 (6.5)	20.3 (5.7)	0.019
歩行速度, m/s	1 (0.3)	0.8 (0.2)	<0.001
高血圧, 人 (%)	27 (50)	26 (51)	>0.999
脳卒中, 人 (%)	11 (20.4)	10 (19.6)	>0.999
心臓病, 人 (%)	14 (25.9)	16 (31.4)	0.666
糖尿病, 人 (%)	5 (9.3)	11 (21.6)	0.105
脊柱管狭窄症, 人 (%)	9 (16.7)	18 (35.3)	0.440
腰痛症, 人 (%)	19 (35.2)	25 (49)	0.170
骨折歴, 人 (%)	21 (38.9)	19 (38)	>0.999
介護保険*, 人	15/9/17/6/5/1/0/1	0/8/21/4/2/1/0/0	0.783

*総合事業対象者/要支援1/要支援2/要介護1~5 (調査時の認定状況)

表2. 床反力によるサルコペニア判定式の各状態に対するROC曲線解析のAUC

	男性		女性	
	AUC (95% CI)	p	AUC (95% CI)	p
サルコペニア	0.747 (0.558-0.936)	0.021	0.749 (0.638-0.860)	<0.001
低骨格筋指数	0.871 (0.706-1.000)	0.001	0.833 (0.742-0.923)	<0.001
低握力	0.741 (0.554-0.928)	0.025	0.640 (0.505-0.775)	0.048
低歩行速度	0.706 (0.505-0.906)	0.057	0.646 (0.517-0.776)	0.040

AUC: area under the curve, ROC; Receiver Operating Characteristic, 95%CI; 95% 信頼区間

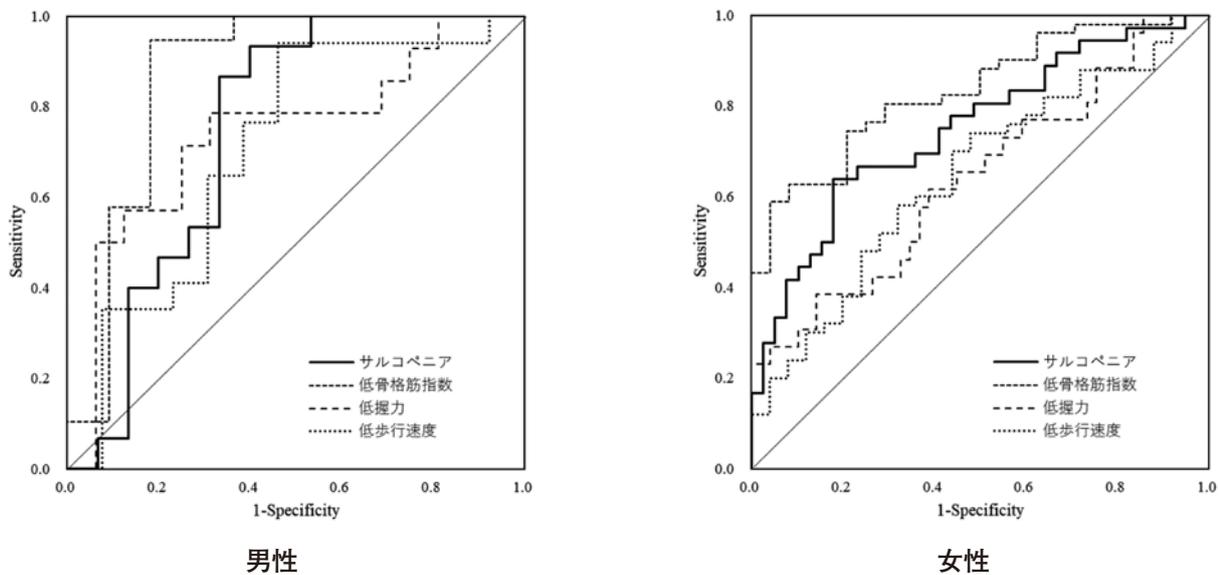


図2. サルコペニア判定式スコアのサルコペニア有無に対するROC曲線

女性；<5.7kg/m²）、低握力（男性；<28kg、女性；<18kg）、低歩行速度（<1.0m/s）についても男女別にROC曲線による評価を行った。AUCは0.9～1.0：高い（high accuracy）、0.7～0.9：中程度（good）、0.5～0.7：低い（low accuracy）と評価した。

IV. 結果

参加者の属性を表1に示す。全参加者中51名（48.6%）がサルコペニアと判定された。サルコペニアは身長、体重、BMI、下腿周囲径、握力、歩行速度が低かったが、併存症や介護保険の認定には差がなかった。

我々が開発したサルコペニア判定式では、サルコペニアに対する感度が88.2%（95%CI；76.1-95.6%）、特異度は42.6%（95%CI；29.2-56.8%）であった。サ

ルコペニア、低骨格筋指数、低握力、低歩行速度のカットオフ値未満に対する評価の結果を表2および図2に示す。サルコペニアに対するAUCは0.747/0.749と中程度であったが、低骨格筋指数に対しては0.871/0.833と高値であった。一方、低握力に対しては0.741/0.640、低歩行速度に対しては0.706/0.646と女性はAUCが低値であった（いずれも男性／女性）。

V. 考察

先行研究では、立ち上がり動作時の床反力に関する変数のうち、F以外に床反力の最低点（本研究では運動の開始点として定義）から最高点（F）の差や増加率、それらの体重比、Fまであるいは静止起立位までの時間などの変数において身体機能との関

連等が検討されている。床反力の最高値であるFを観測する相では、大腿四頭筋や大殿筋、脊柱起立筋など多くの筋が動員されるので⁹⁾、F値は下肢機能を反映すると考えられる。立ち上がり動作を用いたパフォーマンステストとしてはCS30；(time protocol) と5回立ち上がり時間 (number of stands' protocol) がある¹⁰⁾。これらの成績は下肢機能とよく相関するので、立ち上がり試験は下肢機能を評価する方法として有用である。

サルコペニアのスクリーニングには様々な方法が考案されており、例えばSARC-F¹¹⁾ やMini-sarcopenia risk assessment¹²⁾、Rapid sarcopenia screening¹³⁾などは質問紙法によるスクリーニングツールで、一般診療における診察室や地域保健活動においても利用しやすい。Ishii test¹⁴⁾はサルコペニアの診断に直接利用する握力と下腿周囲計測定に加えてスコア表を用いて採点する必要があるが、高い感度特異度特性を持つ優れたスクリーニングツールである。このように医療現場や地域保健活動においてはサルコペニアを発見する方法が複数あり、利用する現場や状況に合わせて選択することもできる。我々はその一つとして、立ち上がり動作時の床反力を用いたサルコペニア判定式を開発した⁸⁾。

我々が今回検証した判定式は、サルコペニアの有無を従属変数に、事前のROC曲線による分析結果から研究者が選んだFと年齢を独立変数に、性ごとに2項ロジスティクス回帰分析を行い、その結果から開発された⁸⁾。その判定式が出力するP (式1参照)はサルコペニアの可能性に対する確率値であるが、これをスコアに利用したときの同じ開発データセットに対するAUCは男性で0.906、女性で0.858と極めて高かったが開発と確認に用いたサンプルが同じため、この評価結果には過学習の問題がある。そのため、評価データセットとしてデイケア施設の利用者のデータを選んだ。一般的に、開発データセットで開発した判定式で同じデータセットを用いて再評価・確認した結果に比べると、別に用意した評価データセットでのAUCは低くなるが、今回の結果ではサルコペニアに対してのAUCは中程度の成績で当初の期待ほどは高くはなかった。しかし設定し

たカットオフ値で判定した場合での感度は80%を超えるため、開発したサルコペニア判定式はサルコペニアのスクリーニングとしてはある程度の有用性はあると考えられる。ただし、サルコペニアの診断基準を適用した低骨格筋指数、低握力、低歩行速度に対するAUCを観察すると低骨格筋指数が男女とも0.8を超えている。サルコペニア判定式の成績には低骨格筋指数が関係していると思われるが、おそらく骨格筋の減少の影響は体重減少に及ぶためであろう。

高齢者を対象とした地域保健活動では、サルコペニアやフレイルといった虚弱的状態となっているものの発見は重要であるが、それ以前の状態である高齢者においてもそれらの予防についての関心を高め維持するために、様々な機会やツールが用意されているとよい。本法をプログラムとして搭載した電子体重計等の家庭用健康管理機器があれば、理学療法士による地域保健活動等での活用が見込まれる。

本研究の限界としては、有病率が以前の開発データセットと比べて高い点である。今回検討していないが有病率は陽性的中率に影響する。またスクリーニングツールの性能がデータセットによって異なる spectrum bias¹⁵⁾の存在も否定できない。

謝辞

本研究にご参加いただきましたデイケア施設の高齢者の皆様へ感謝申し上げます。本研究は、財団法人群馬健康医学振興会の研究助成を受けて実施した。

利益相反

本研究に関して、開示すべきCOI (Conflict of Interest) 関係にある団体・企業などはない。

VI. 引用文献

- 1) Kitamura A, Seino S, et al.: Sarcopenia: prevalence, associated factors, and the risk of mortality and disability in Japanese older adults. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 12 (1): 30-38, 2021.
- 2) Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, et al.: Sarcopenia:

- revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* 48 (1): 16-31, 2019.
- 3) Chen L-K, Woo J, et al.: Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment. *J Am Med Dir Assoc* 21: 300-307, 2020.
 - 4) Nakazono T, Kamide N, et al.: The Reference Values for the Chair Stand Test in Healthy Japanese Older People: Determination by Meta-analysis. *J Phys Ther Sci* . 26 (11): 1729-1731, 2014.
 - 5) 中谷敏昭,上英俊: 椅子からの立ち上がり動作を利用した下肢筋力評価法. *体力科学*53 (1): 183-188, 2004.
 - 6) 辻 大, 三ッ石 泰・他: 地域在住高齢者を対象とした椅子立ち上がり動作時の地面反力と身体機能, 転倒経験, 転倒不安, 起居移動動作能力との関連性. *体力科学*60 (4): 387-399, 2011.
 - 7) Sawada S, Ozaki H, et al.: The 30-s chair stand test can be a useful tool for screening sarcopenia in elderly Japanese participants. *BMC Musculoskeletal Disorders* 22 (1): 639, 2021.
 - 8) Kera T, Kawai H, et al.: Development of a screening formula for sarcopenia using ground reaction force during sit-to-stand motion. *Gait Posture* 93: 177-182, 2022.
 - 9) 星文彦, 山中雅智・他: 椅子からの立ち上がり動作に関する運動分析. *理学療法学*19 (1): 43-48, 1992.
 - 10) 中谷敏昭, 灘本雅一・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*47 (5): 451-461, 2002.
 - 11) Malmstrom TK, Morley JE: SARC-F: a simple questionnaire to rapidly diagnose sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc* 14 (8): 531-532, 2013.
 - 12) Rossi AP, Micciolo R, et al.: Assessing the risk of sarcopenia in the elderly: The Mini Sarcopenia Risk Assessment (MSRA) questionnaire. *J Nutr Health Aging* 21(6):743-749, 2017.
 - 13) Kera T, Osuka Y, et al.: Development and validation of a rapid sarcopenia screening questionnaire: The Otassha study. *Geriatr Gerontol Int* 23 (12): 945-950, 2023.
 - 14) Ishii S, Tanaka T, et al.: Development of a simple screening test for sarcopenia in older adults. *Geriatr Gerontol Int* 14 Suppl 1:93-101, 2014.
 - 15) Kera T, Saida K, et al.: Utility of SARC-F in daycare facilities for older people. *Geriatr Gerontol Int* 22 (10): 889-893, 2022.