

[研究論文]3 段階のリズムによる足踏み運動を用いた 高齢者の歩行機能の検討

牟田光孝¹・山口雄大¹・高橋勝美²・日浦幹夫³・西山哲成⁴

1 先進技術研究所

2 神奈川工科大学

3 青森大学

4 日本体育大学

Examination of walking function in elderly people using the stepping exercise at three types of rhythm

Akitaka MUTA¹, Yuta YAMAGUCHI¹, Katsumi TAKAHASHI², Mikio HIURA³, Tetsunari NISHIYAMA⁴

Abstract

Walking ability is an important factor for independent living, and its evaluation method using limited space is required in clinical practice and research. Here, we examined the validity of the stepping exercise at using three types of rhythm (80, 110, and 140 bpm) as an assessment tool for measuring walking ability in older people. We measured lower-limb muscular power, maximal and preferred walking speed, and ground reaction force in older people performing a chair stand test, 6m walking test, and stepping exercise test, respectively. Ground reaction force at stepping with the rhythm of 110 bpm correlated significantly with maximal walking speed. In conclusion, the ground reaction force obtained from the stepping exercise test using the rhythm of 110 bpm could be useful to assess the walking ability in older people.

Keyword: rhythm exercise, locomotive

1. まえがき

少子高齢化社会が進行している日本において、高齢者が自立した生活を維持することが求められている。歩行能力は自立した生活を送るうえで極めて重要な能力であると考えられ⁶⁾、加えて歩行能力(歩行速度)は4年後の死亡および活動性の維持を予測する因子となりえることが報告されている⁵⁾。

歩行能力の評価は、比較的簡易および安全に行うことができることから、加齢研究や臨床現場などで広く活用されている。一般的に、歩行能力は最大歩行速度、自由歩行速度、歩行率などの指標を用いて評価される。Himann et al. (1988) は男性 289 名(19-102 歳)、女性 149 名(22-95 歳)を対象に加齢と歩行速度との関係を調査しており、男女ともに 62 歳以降から歩行速度が低下することを示した。日本国内においても同様の結果が

報告されており、伊東ほか(1989)は、22-79 歳までの健常男性を対象とした加齢と最大努力歩行の関係から、最大歩行速度と歩行率が 60 歳以降に著しく低下することを報告した。この結果に関して、筋力の低下による歩幅の減少、歩行率の低下が影響していると述べており、特に歩行率の低下は、加齢に伴うリズム運動の変化、バランス能力の低下が関係していると報告した³⁾。

一般的に歩行能力を評価するテストは、10-11m 歩行させた際の時間と歩数を計測する方法³⁾⁵⁾⁶⁾や、近年では座位から立ち上がり 3m 先のポールを回って再び着座するまでの時間を計測する Timed up and go test が用いられている⁸⁾。しかしながらこれらの方法を用いた測定には、広いスペースの環境が必要とされる。この問題に対し、その場で足踏み運動を行わせることで、歩行能力を擬似的に評価しようとした試みが行われている⁷⁾。その場足踏み運動を用いた測定では、広いスペースを必要とせず、

比較的簡易に測定も可能であり、歩行能力の測定を広く勧めるためには有効な手段と考える。

そこで本研究は、その場足踏み運動を3種類のテンポで行わせる方法（以降リズムステップ）を提案し、高齢者の歩行能力を評価する尺度として妥当であるかを検討した。

2. 方法

本研究は、一軸小型床反力計とマットスイッチを組み合わせた装置を作成し、提示されたリズムに対する時間のズレ、足踏み運動によって生じる床反力を対象に分析を行う。すなわちリズムステップから得られるパラメータと歩行能力および、加齢に伴ったリズム運動並びに脚筋力との関係性から検討した。

被験者

本研究の参加者は、健康な高齢者であった。実験に先立って参加者には研究目的、実験内容、データの取り扱いなどを説明し協力の同意を得た。なお、本研究は、神奈川県工科大学ヒト倫理審査委員会の承認を得て行っている（承認番号 第20190723-06）。

実験試技

本研究は、同一の参加者に立ち上がり筋力測定、歩行能力測定、リズムステップ測定の計3つの測定を行った。

1. 立ち上がり筋力測定

立ち上がり筋力は、一軸床反力計（400×450mm, DKH社製）を用いて評価した。参加者は、40cmの高さの椅子に立ち上がりやすい姿勢で座り、両足は床反力計上に腰幅の広さで位置させた。座位姿勢は、両腕を胸の前で交差させ、膝関節角度を70度とし、足裏全面が地面に接地している状態とした。座位姿勢を保持した状態から、測定者の合図の後、最大努力にて素早く立ち上がり、直立姿勢を2秒以上保持させた。得られた床反力データから最大脚筋力、体重で除した相対最大脚筋力をそれぞれ算出した（図1）。

2. 歩行能力測定

歩行能力測定は、歩行能力評価システム（Anakin, DKH社製）を用いて歩行能力を評価した（図2）。本システムは、深度センサ（Kinect, Microsoft社製）を搭載したキネクトを3台使用し、参加者の歩行動作を即時的に三次元構築することが可能である。映像の撮影範囲は6×2mとし、参加者には撮影範囲内を直進歩行させた。

参加者は、スタートラインに直立した状態から測定者の合図のあと、6mの直線コース上を歩行した。なお自由歩行条件と最大速度歩行条件の2試技を行い、それぞれの条件で歩幅が安定した連続する2歩から平均歩幅、歩行率を算出し、それらの関係から歩行速度を算出した。

3. リズムステップ測定

リズムステップ測定は、一軸床反力計（400×450mm）

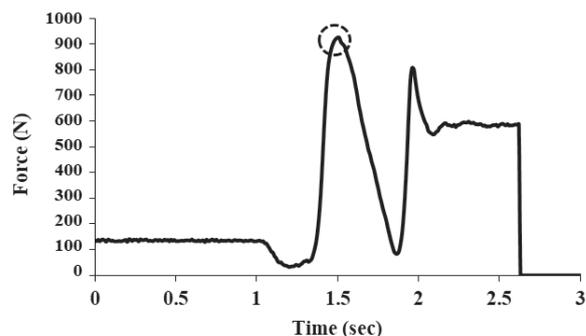


図1 立ち上がり筋力測定で得られた床反力データ。実線は床反力データを示し、破線の円はピーク床反力を示す。

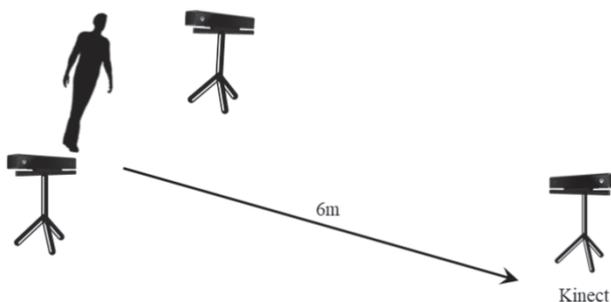


図2 歩行能力測定時の測定環境。深度センサを搭載したキネクト3台を用いて歩行能力を計測した。

の上にマットスイッチ（500×500 mm, DKH社製）を乗せたリズムステップ測定装置を作成し、本装置上でその場足踏み運動を行わせた。参加者には正面に置かれたボックスから発するブザー音とランプに合わせ、それぞれのリズムで足踏み運動を行わせた。リズムは80bpm, 110bpm, 140bpmの順で3段階漸増させ、各ステージ20回ずつ行わせた。

マットスイッチからの信号と床反力データを用い、信号に対する動作のズレ、足接地時の床反力ならびに体重で除した相対床反力を算出し、それぞれ各ステージの後半10回の平均値を評価値として採用した（図3）。

統計処理

すべてのデータは平均値±標準偏差で示した。リズムステップ測定で得られた変数を独立変数、立ち上がり筋力測定ならびに歩行能力測定で得られた変数を従属変数とし相関分析を行った。変数が正規分布に従うか明らかにするためにShapiro-Wilkの正規性検定を行い、正規性が示された場合はPearsonの積立相関分析を行った。正規性が示されなかった変数においては、Spearmanの順位相関係数を行った。すべての統計処理における有意水準は5%未満とした。

3. 結果

対象者85名の年齢は74.9±5.9歳、身長は151.0±5.9 cm、体重は50.3±6.8 kgであった。立ち上がり筋力

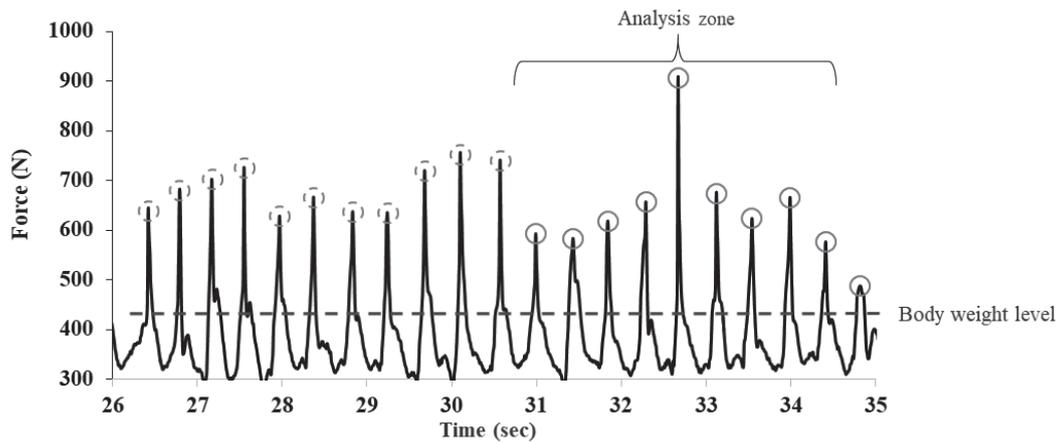


図 3 リズムステップ測定によって得られた床反力データ。実線は地面反力、破線の円はピーク地面反力を示し、破線は体重レベルを示す。参加者は各段階で 20 ステップを実行し、後半の 10 ステップを分析の対象とした。

測定より得られた最大脚筋力は 68.5 ± 11.2 N, 相対最大脚筋力は 1.33 ± 0.13 N/kg であった。歩行能力測定より得られた自由歩行速度は 1.4 ± 0.2 m/秒, 最大歩行速度は 1.8 ± 0.3 m/秒であった。リズムステップ測定より得られた相対床反力は, 80 bpm では 0.13 ± 0.02 N/kg, 110 bpm では 0.15 ± 0.02 N/kg, 140 bpm では 0.15 ± 0.02 N/kg であった。

正規性検定によって体重, 通常歩行速度, 最大歩行速度, 80 bpm, 110 bpm, 140 bpm での床反力は正規分布に従うが, 80 bpm, 110 bpm, 140 bpm での相対床反力は正規分布に従わなかった。

Spearman の順位相関分析より求められた 80 bpm, 110 bpm, 140 bpm での相対床反力と通常歩行速度, 最大歩行速度の関係性を表 1 に示す。その結果, 110 bpm, 140 bpm での相対床反力と通常歩行速度, 最大歩行速度との間で有意に相関が見られた。また, 表 2 に示すように, 110 bpm, 140 bpm での相対床反力と通常歩行速度, 最大歩行速度は, それぞれ立ち上がり筋力測定による相対脚筋力と相関が認められた。そのため, 110 bpm, 140 bpm での相対床反力と通常歩行速度, 最大歩行速度が疑似相関を示している可能性を疑い, この関係について相対脚筋力で統制して偏相関係数を求めた。その結果を表 3 に示す。相対脚筋力で統制すると, 110 bpm での相対床反力と最大歩行速度のみで相関が見られた。

4. 考察

本研究では, 足踏み運動による高齢者の歩行能力評価の妥当性について検討し, 110 bpm での足踏み運動によって得られる相対床反力と最大歩行速度が有意に相関する知見を得た。また, 110 bpm での相対床反力と通常歩行速度, ならびに 140 bpm での相対床反力と通常歩行速度, 最大歩行速度は相対最大脚筋力を媒介とした疑似相関を示すことを明らかにした。

歩行能力評価における歩行速度計測では, 通常歩行速度と最大歩行速度が用いられる。参加者の有する歩行パ

フォーマンスを引き出すには, 通常歩行速度よりも最大歩行速度が優れていることが報告されている⁹⁾。これは, 最大歩行速度において歩行パターンを意図的に制御できないことによって, 参加者の歩行能力の最大値が発揮されることに起因すると考えられている⁹⁾。本研究の結果から, 最大歩行速度が 110 bpm でのその場足踏み運動と有意に相関を示したことから, 高齢者の歩行能力を評価する尺度として, リズムステップ運動が妥当であることが示唆された。

歩行速度は歩幅とケイデンスによって決定されるが,

表 1 リズムステップ測定による相対床反力と歩行能力測定による歩行速度の順位相関係数

	通常歩行速度	最大歩行速度
80bpmでの相対床反力	0.136	0.172
110bpmでの相対床反力	0.257*	0.258*
140bpmでの相対床反力	0.242*	0.280**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

表 2 立ち上がり筋力測定による相対脚筋力とリズムステップ測定による相対床反力ならびに歩行能力測定による歩行速度の順位相関係数

	相対脚筋力
110bpmでの相対床反力	0.254*
140bpmでの相対床反力	0.238*
通常歩行速度	0.298**
最大歩行速度	0.325**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

表3 立ち上がり筋力測定による相対脚筋力を制御変数とした際の、リズムステップ測定による相対床反力と歩行能力測定による歩行速度の偏相関係数

制御変数	通常歩行速度	最大歩行速度	
相対脚筋力	110bpm での相対床反力	0.161	0.254*
	140bpm での相対床反力	0.136	0.204

*p<0.05, **p<0.01

高齢者における歩行速度の低下にはケイデンスよりも歩幅の低下が影響する^[1]。歩幅の低下は、筋力の低下や神経系調節能力の低下、足関節、膝関節、股関節の可動域低下などに起因する^[8]。また、その場足踏み運動において、股関節外転時の関節運動および関節モーメントは歩行時と同様である^[4]。このことから、その場足踏み運動時における床反力が股関節の関節運動および関節モーメントから受ける影響について本研究で明らかにすることはできないものの、高齢者におけるこれらのパラメーターを介することで、その場足踏み運動時の床反力を用いて最大歩行速度を評価し得る要因となったことが推測される。

本研究では、健康かつ積極的に身体運動を行う高齢者を対象としたことから、自立度の低い高齢者を対象とした場合とは結果が異なる可能性が考えられる。リズムステップ測定を歩行能力の評価尺度として臨床現場で用いるためには、こうした自立度の低い高齢者も対象とした調査が必要であると考えている。また、本研究の参加者は女性に偏っていた。高齢者の歩行能力に性差があること^[2]を考慮すると、性差を含めてリズムステップ測定の妥当性について検討する余地がある。

5. まとめ

本研究は、85名の高齢者を対象にリズムステップ測定を実施し、歩行能力を評価する尺度となりえるか検討した。本研究の結果から、最大歩行速度とリズムステップ測定で得られる110bpmでの相対床反力が有意な相関関係にあることが示された。以上の結果から、その場足踏み運動を行うリズムステップ測定は、簡易的に歩行能力を評価する尺度として有効であることが示された。

参考文献

- [1] Laufer, Y: Effect of age on characteristics of forward and backward gait at preferred and accelerated walking speed. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 60, 5, 627-32, (2005)
- [2] S. Ko, MI. Tolea, JM. Hausdorff, L. Ferrucci: Sex-specific differences in gait patterns of healthy older adults: Results from the Baltimore Longitudinal Study

of Aging, *J Biomech.* 44, 10, 1974-1979, (2011)

- [3] 伊東元, 長崎浩, 丸山仁司, 橋詰謙, 中村隆一: 健康男子の最大速度歩行時における歩行周期の加齢変化, *日本老年医学会雑誌*, 26, 4, 347-352, (1989)
- [4] 金子誠喜, 田口孝行, 中俣修: 足踏み動作の運動分析 (第1報) : 予備的分析, 1, 2, 206-209, (1999)
- [5] 杉浦美穂, 長崎浩, 古名丈人, 奥住秀之: 地域高齢者の歩行能力 -4年間の縦断変化-, *体力科学*, 47, 443-452, (1998)
- [6] 田井中幸司, 青木純一郎: 高齢女性の歩行速度の低下と体力, *体力科学*, 51, 245-252, (2002)
- [7] 田中颯, 中島弘貴, 村木里志: 足踏み動作と歩行動作における関係性の検討, *人間工学*, 53, 1, 256-257, (2017)
- [8] 高柳直人, 須藤元喜, 山城由華吏, 仁木佳文, 金美芝, 金憲経: 日本人女性における日常歩行速度と歩容との関連, *日本生理人類学会誌*, 20, 4, 197-205, (2015)
- [9] 村田伸, 忽那龍雄, 北山智香子: 最適歩行と最速歩行の相違 -GAITRiteによる解析-, *理学療法科学*, 19, 3, 217-222, (2004)