

Verbal Counting while Walking Stabilize Gait Rhythm? -Application to Lower-Physical-Fitness Elderly-

Yuya WATANABE*, Naomi TSUGITA**, Emi YAMAGATA***, Yasuko OKAYAMA***

(Received March 31, 2017)

This study was conducted on 19 lower-physical-fitness elderly including people with long-term care certification (76.7 ± 8.5 years), investigating whether their own verbal count while walking improves their gait rhythm. Participants were instructed to walk continuously at a self-determined pace for 4 min. Stride interval was obtained using footswitches set in the participants' shoes, and then fractal scaling index (α) was calculated. The mean α while walking without verbal counting in lower-physical fitness elderly was 0.69. This value was lower than that of our previous study for healthy adults (0.84), indicating that gait rhythm in the lower-physical fitness elderly was unstable. There was no significant difference in α between walking with and without own verbal counting in all participants. In the present study, participants were divided into two groups by median α , and two-way analysis of variance was carried out (interaction: $p = 0.055$). In the lower α group, own verbal counting increased α while walking ($0.57 \pm 0.08 \rightarrow 0.63 \pm 0.18$). Therefore, own verbal counting while walking may stabilize gait rhythm in lower-physical fitness elderly.

Key words : gait rhythm, verbal counting, DFA

キーワード : 歩行リズム, 掛け声, フラクタル解析

歩行中の自身による掛け声は歩行リズムを安定化させるか —低体力高齢者への応用—

渡邊 裕也, 續田 尚美, 山縣 恵美, 岡山 寧子

1. はじめに

超高齢社会を迎える今日、健康寿命延伸の観点から、安定した歩行能力を維持、獲得することの価値はますます高まっている。ヒトの歩行は、加齢とともに変化する^{1,2)}が、歩行能力の低下には、運動器などの抹消機能の低下³⁾のみならず、中枢神経系の機能低下も影響していると考えられている⁴⁾。

中枢パターン発生器 (Central pattern generator : CPG) は歩行のリズムを生成しているとされ、近年

では、歩行リズムに含まれる特徴的なゆらぎの性質が注目されている⁵⁾。通常、ヒトの歩行は過去のストライド時間の増減変化の影響を受けて決定され、過去の一步と新たな一步には正の相関関係がある。しかし、新たな一步は完全に過去の一步によって決定されているわけではない。予期せぬ外乱に柔軟に対応できる歩行のゆらぎは $1/f$ ゆらぎに近く、安定した歩行リズムとなる。一方、パーキンソン病やハンチントン舞踏病のような、歩行障害を呈する神経疾

*Faculty of Health & Sports Science, Doshisha University, Kyoto

Telephone and FAX: +81-774-65-6720, E-mail: yuwatana@mail.doshisha.ac.jp

**Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University, Kyoto

***Faculty of Nursing, Doshisha Women's College of Liberal Arts, Kyoto

患や高齢者の歩行では、1/f ゆらぎから遠ざかり、不安定な歩行リズムとなる^{6,7)}。

先行研究では、歩行障害を呈する神経疾患患者がメトロノームや音楽に合わせて歩行することで、歩行障害が改善することが知られている⁸⁾。この結果は、外的な音刺激が歩行リズムに影響を与える可能性を示している。しかし、歩行障害のない健常者(若齢者および高齢者)が、メトロノームに歩行を合わせても、歩行リズムが改善することはなく⁹⁾、むしろ悪化する傾向が報告されている¹⁰⁾。したがって、明らかな歩行障害のない高齢者の歩行リズムを改善させるには、何らかの工夫を加味する必要がある。

我々は、医療現場における歩行訓練で広く用いられている、「いちに、いちに・・・」という掛け声に着目している。自らの掛け声は自身の体内で生成された内発的なリズムであり、ゆらぎの性質が含まれると予想される。

我々の研究グループはこれまで、明らかな歩行障害がない健常な成人(39~78歳)で、歩行が不安定と判断された者において、自らが最も歩きやすいと感じるリズムで「いちに、いちに・・・」と掛け声をしなが歩行した場合、歩行リズムが安定するという結果を得ている¹¹⁾。そこで、本研究では、上記の知見、すなわち歩行中における自らの掛け声の効果が、低体力高齢者にも当てはまるか否かを検証した。

2. 方法

2.1 対象者

本研究では、低体力高齢者として短時間デイサービスの通所者から研究参加者を募集した。65歳以上で、歩行に痛みを伴わず、歩行課題を無理なく実施可能なことを適格条件とし、施設スタッフおよびケアマネージャーが研究参加可能と判断した約30名に対して説明を行った。

測定には20名(男女各10名)が参加した。対象者の内訳は、事業対象者3名、要支援高齢者11名(要支援1,5名;要支援2,6名)、要介護高齢者6名(要介護1,4名;要介護3,2名)であった。

すべての参加者に対して、測定当日に再度研究概

要を説明し、自筆署名付きの同意書を得た。さらに、測定直前に体温、脈拍、血圧、呼吸数、経皮的動脈血酸素飽和度(SpO₂)を評価するとともに、歩行に痛みを伴わないことを確認したうえで測定を実施した。

本研究は、同志社女子大学倫理委員会「人を対象とする研究」の審査を受け、承認を得て実施された(承認番号:ERB-E-77)。

2.2 歩行課題

本研究では、体育館に作成した全長30m(直線10mおよびカーブ5m)の楕円形歩行路にて、対象者に以下の歩行課題を実施させた。歩行課題は、掛け声なしで歩行する試行(Control条件:CON)と、掛け声をかけながら普段どおりの歩行を行う試行(Voice条件:VO)のふたつとした。

両課題とも、歩行中の手・腕の振りの大きさ、速さ、歩幅は対象者の自由とし、対象者には「いつも通りの速さで、普段通りに歩いてください。手と腕の振りの大きさや、歩幅の決まりはありませんが、極端に手や腕を大きく振ったり、足を大きく挙げて歩行しないように注意してください。」と説明した。

対象者は、スタート地点に引かれたラインにつま先が当たる位置に立ち、測定者の合図とともに歩行を開始した。CONでは、歩数や数をカウントするなど、歩行中にリズムを意識しないように指示した。VOにおける掛け声は、日本人に馴染みがあり、理学療法における歩行訓練でも広く用いられている「いちに、いちに・・・」とし¹²⁾、自らが最も歩きやすいと感じるリズムで行うように説明した。CONにおいて歩行リズムを意識しないよう、すべての対象者においてCON、VOの順で実施した¹¹⁾。実施時間は両条件とも4分間とした。なお、条件間には10分間の休憩時間を設け、その間にVOの歩行動作を確認した。

2.3 時系列データの取得およびデータ処理

本研究では、片方の足の接地から再び同側の足の接地にかかる時間の時系列データを歩行リズムと定義した。歩行中の踵の接地、すなわちオフ(遊脚位)

からオン（立脚位）に変化するタイミングをオン・オフのデジタルデータとして、靴のインソールに設置したフットスイッチ（OT-NO-2, 大阪自動電気社, 米国製）から取得した。取得したオン・オフのデータは、腰部に装着した小型データロガー（FA-DL-2000, フォーアシスト社, 日本製）にサンプリング周波数 1000Hz で記録した。

歩行に含まれるゆらぎの性質を評価するため、Detrended Fluctuation Analysis（DFA）によりフラクタル指数（ α ）を求めた。DFA とはフラクタル次元を計算する解析方法で、過去のデータが、新たなデータとどれだけの強さの相関関係を有しているかを示す手法である。DFA の手順¹³⁾は以下のとおりである。

まず、元の歩行データ（データ長 N ）の平均値を求め、これを元の歩行データのすべての要素から減ずる。さらにこの 1 番目から i 番目のデータまでの積分値を i 番目のデータとする新たな時系列データ（データ長 N ）を作る。この新たな時系列データは、元のデータで平均値より小さな値が続けば減少し、平均値より大きな値が続けば増大し、平均値より大きな値と小さな値が交互に続く場合は 0 の周辺にとどまることとなる。

次に、このデータを等しい長さ n のいくつかのボックスに区切る。各々のボックスに含まれるデータを元に、最小二乗法によってボックス内で最もよくデータにフィットする直線を求める。これをそのボックス内の部分的なトレンドと考える。ボックス内で各データの直線からの差分を求め（この操作はトレンドの除去操作に当たる）、これをデータ長 N にわたって二乗平均して $F(n)$ を得る^{5,14)}。

$F(n)$ は n の増大につれて増大する値であり、 $\log(n)$ と $\log F(n)$ の間にはほぼ直線的な関係が存在する。この線形回帰直線の傾き α が、DFA で得られるフラクタル指数である¹⁵⁾。

α は正の値をとり、元のデータのゆらぎの性質をあらわす値である。 $\alpha = 0.5$ のときゆらぎは完全にランダムノイズであり、過去の歩行が次の新たな一歩とまったく相関関係を持たないことを示す。 $\alpha > 0.5$ のとき、過去の歩行リズムが新たな一歩と正の相関

関係を持つ。すなわち、過去の変動が次の新たな一歩に影響を与えていると考えられている。この相関関係が強いほど α も大きくなる。 $\alpha = 1.0$ のとき、自然界や生体のゆらぎにしばしば見られる $1/f$ ゆらぎとなる¹⁵⁾。

一般的に、安定した歩行における α は 0.8~1.0 であり、パーキンソン病やハンチントン舞踏病等に伴う歩行障害を有する者や、転倒歴を有する者の歩行における α は 0.5 に近いと報告されている^{6,7,15)}。しかし、安定した歩行に関する α の基準は明確にされていないのが現状である。なお、本研究では右足の時系列データを使用し、両課題とも最初の 10 サイクルを除いて計算を行った¹¹⁾。

2. 4 統計処理

統計処理は SPSS（IBM SPSS Statics ver.23.0, 日本 IBM, 日本製）を用いて行った。各測定から得られたデータの代表値と散布度は平均 \pm 標準偏差で示した。 α の性差は対応のない t 検定を用いて評価した。有意な性差が認められなかった場合、男女のデータを合わせて分析を行うこととした。また、対象者を α の中央値で二群に分け、二元配置分散分析を用いて群間比較を行った。すべての検定において $p < 0.05$ を有意とした。

3. 結果と考察

CON と VO の両条件（各 4 分間）を完遂した 19 名（男性 10 名、女性 9 名：男性 73.0 ± 9.2 歳；女性 80.9 ± 5.5 歳、身長：男性 164.8 ± 4.9 cm；女性 149.5 ± 4.9 cm、体重：男性 63.4 ± 6.8 kg；女性 53.3 ± 6.4 kg、BMI：男性 23.4 ± 2.8 kg/m²；女性 23.9 ± 2.4 kg/m²）を分析の対象とした。

α の性差を検定したところ、統計学的に有意な男女差を認めなかった（Table 1）。したがって、男女のデータを合わせて分析を行った。

本研究で得られた CON 条件での α は 0.69 ± 0.15 であり、健常な成人を対象とした我々の先行研究（ 0.84 ± 0.26 ）¹¹⁾と比較して明らかに低値を示した。この結果は低体力高齢者の歩行リズムが安定域から逸脱していることを裏付けている。一方、低体力高

齢者においても α が安定域にある者が存在していた。この結果は、本研究の価値ある知見のひとつであり、歩行の安定性は体力要素のみで決定されないことを強く支持している。

Table 1. Fractal scaling index in all participants.

	All (n = 19)	Male (n = 10)	Female (n = 9)	p value
CON	0.69 ± 0.15	0.64 ± 0.13	0.74 ± 0.16	0.142
VO	0.66 ± 0.16	0.66 ± 0.12	0.66 ± 0.21	0.957

Values are mean ± standard deviation.

CON: walking without own verbal counting

VO: walking with own verbal counting

全対象者における CON と VO の比較では、統計学的に有意な差が認められなかった ($p = 0.490$; Fig. 1)。したがって、全対象者では、歩行中の掛け声が歩行リズムの安定性に有意な変化を及ぼすには至らないと解釈できる。

健常な成人を対象とした先行研究では、CON における α が低値な者において、自らの掛け声が歩行の安定化を導くことが明らかになっている¹¹⁾。本研究においても同様に、 α を CON の中央値 (0.66) で低値群と高値群に分けて二元配置分散分析を行った。その結果、本研究の対象者においては、有意な交互作用が観察されるにはわずかに至らなかった ($p = 0.055$; Fig. 2)。

α 低値群、高値群別に掛け声の有無による α の変化をみると、低値群では VO は CON に比べて α が高値を示し、歩行リズムが改善する方向に変化した (CON, 0.57 ± 0.08 ; VO, 0.63 ± 0.18)。この結果から、統計学的に有意ではないものの、低体力高齢者においても歩行リズムが不安定と考えられる者は、自らが最も歩きやすいと感じるリズムで掛け声をするので、安定した歩行リズムに近づく傾向があることが示された。一方、高値群では、VO は CON に比べて α が低値を示し (CON, 0.80 ± 0.11 ; VO, 0.69 ± 0.15)、低値群とは反対の結果が得られた。つまり、歩行が

安定していると考えられる者では、掛け声により歩行リズムはポジティブに変化しなかった。この現象は健常な成人を対象とした先行研究¹¹⁾においても確認されている。

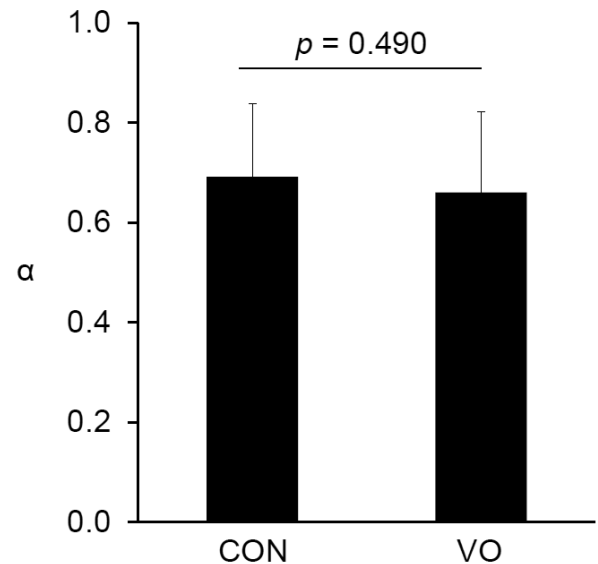


Fig. 1. Comparison of α in CON and VO in all participants.

α : fractal scaling index

CON: walking without own verbal counting

VO: walking with own verbal counting

我々がこれまでに得た結果¹¹⁾や本研究結果は、掛け声が歩行動作に影響を及ぼすことを示唆している。ヒトには、環境音と生体リズムの相互作用を示す、引き込み現象と運動制御が存在し、背景音のリズムに身体運動が同期すると報告されている^{16, 17)}。掛け声に合わせて歩行することで歩行リズムが安定域に近づくという結果には、引き込み現象が影響している可能性が考えられる。しかし、前述の通り掛け声によるアプローチは α 高値群にとっては必ずしも良い影響を与えるわけではない。これは、高齢者を対象とした一律の歩行訓練には限界があり、個別特性に応じた働きかけが重要であることを意味している。

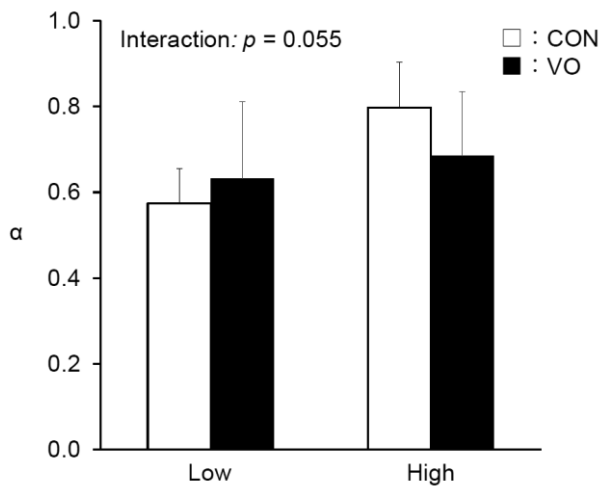


Fig. 2. Comparison of the differences of α in both groups (Low and High).

α : fractal scaling index

Low: lower α group ($n = 9$)

High: higher α group ($n = 10$)

CON: walking without own verbal counting

VO: walking with own verbal counting

4. 結論

本研究の結果、要介護認定者を含む低体力高齢者のうち、歩行が不安定と判断された者において、自らが最も歩きやすいと感じるリズムで掛け声をしながら歩行した場合、有意ではないが歩行リズムが安定域に近づく現象が観察された。歩行安定性が低下した高齢者には自身の掛け声を利用した歩行訓練が有効と考えられる。本研究により得られた知見は転倒予防策の発展に資するものである。

本研究は、2016年度同志社大学ハリス理化学研究所助成金および日本学術振興会科学研究費助成事業（研究活動スタート支援：15H06732）によって行われた。また、本研究の遂行にあたり、測定に参加いただいた皆様、株式会社 PAS-T 代表の萩野次郎氏、デイサービス achieve 関係者の鈴木徳一氏をはじめ多くの方々から多大な協力を受けた。ここに記して深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 大内尉義 監修, 日常診療に活かす 老年病ガイドブック 1 老年症候群の診かた, (メジカルビュー社, 東京都, 2005), pp. 146-206.
- 2) トレーニング科学研究会, シリーズトレーニングの科学 4 加齢とトレーニング, (株式会社 朝倉書店, 東京都, 1999), pp. 39-44.
- 3) B. E. Maki, "Gait Changes in Older Adults: Predictors of Falls or Indicators of Fear", *J Am Geriatr Soc*, **45**, 313-320 (1997).
- 4) S. Grillner, "Neurobiological Bases of Rhythmic Motor Acts in Vertebrates", *Science*, **228**, 143-149 (1985).
- 5) J. M. Hausdorff, C. K. Peng, Z. Ladin, J. Y. Wei, A. L. Goldberger, "Is Walking a Random Walk? Evidence for Long-Range Correlations in Stride Interval of Human Gait", *J Appl Physiol*, **78**, 349-358 (1995).
- 6) J. M. Hausdorff, S. L. Mitchell, R. Firtion, C. K. Peng, M. E. Cudkowicz, J. Y. Wei, A. L. Goldberger, "Altered Fractal Dynamics of Gait: Reduced Stride-Interval Correlations with Aging and Huntington's Disease", *J Appl Physiol*, **82**, 262-269 (1997).
- 7) J. M. Hausdorff, Y. Ashkenazy, C. K. Peng, P. C. Ivanov, H. E. Stanley, A. L. Goldberger, "When Human Walking Becomes Random Walking: Fractal Analysis and Modeling of Gait Rhythm Fluctuations", *Physica A*, **302**, 138-147 (2001).
- 8) G. C. McIntosh, S. H. Brown, R. R. Rice, M. H. Thaut, "Rhythmic Auditory-Motor Facilitation of Gait Patterns in Patients with Parkinson's Disease", *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, **62**, 22-26 (1997).
- 9) J. P. Kaipust, D. McGrath, M. Mukherjee, N. Stergiou, "Gait Variability is Altered in Older Adults When Listening to Auditory Stimuli with Differing Temporal Structures", *Ann Biomed Eng*, **41**, 1595-1603 (2013).
- 10) P. Terrier, O. Deriaz, "Persistent and Anti-Persistent Pattern in Stride-to-Stride Variability of Treadmill Walking: Influence of Rhythmic Auditory Cueing", *Hum Mov Sci*, **31**, 1585-1597 (2012).
- 11) 續田尚美, 渡邊裕也, 横山慶一, 吉中康子, 木村みさか, 岡山寧子, "健常な成人における歩行中の掛け声と歩行リズムの関係", 日本生理人類学会誌, **21**, 51-58 (2016).
- 12) 野口美和子, 新体系看護学全書<別巻> 機能障害からみた成人看護学 4 脳・神経機能障害 感覚機能障害, 中村美鈴 編, (メジカルフレンド社, 東京都, 2014), pp. 144.
- 13) 木村みさか, 横山慶一, 小田伸午, 永田晟, "Detrended Fluctuation Analysis(DFA)を用いて高齢者の歩調のゆ

- らぎを測る（「しなやかさ・力強さ」指標から高齢者の歩行機能低下防止策を探る）”, *デサントスポーツ科学*, **29**, 88-97 (2008).
- 14) C. K. Peng, S. V. Buldyrev, A. L. Goldberger, S. Havlin, M. Simons, H. E. Stanley, “Finite-Size Effects on Long-Range Correlations: Implications for Analyzing DNA Sequences”, *Phys Rev E*, **47**, 3730-3733 (1993).
- 15) T. Herman, N. Giladi, T. Gurevich, J. M. Hausdorff, “Gait Instability and Fractal Dynamics of Older Adults with a “Cautious” Gait: Why Do Certain Older Adults Walk Fearfully?”, *Gait Posture*, **21**, 178-185 (2005).
- 16) 栗林竜馬, 入戸野宏, “背景音のテンポが行動ペースに与える効果”, *広島大学大学院総合科学研究科紀要 I 人間科学研究*, **9**, 17-29 (2014).
- 17) S. J. Phillips, C. A. Aktipis, G. A. Bryant, “The Ecology of Entrainment: Foundations of Coordinated Rhythmic Movement”, *Music Percept*, **28**, 3-14 (2010).