

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：21501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350620

研究課題名(和文)非線形解析による歩行ダイナミクスの評価とその臨床的応用に関する研究

研究課題名(英文)Evaluation of gait dynamics by nonlinear analysis and its clinical application

研究代表者

真壁 寿(Makabe, Hitoshi)

山形県立保健医療大学・保健医療学部・教授

研究者番号：60363743

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は歩行時のストライドインターバル(SI)の変動を非線形解析によって評価し、その臨床的な有用性を検討することである。非線形解析の評価パラメータは、スケーリング指数(α)と近似エントロピー(ApEn)とした。 α はSIの変動の長期相関を表し、ApEnはSIの変動の規則性を表す。研究の結果、杖使用、脚長差によって α とApEnは有意に変化した。 α とApEnは年齢によって有意に変化し、特に認知課題を負荷することによって、その差は顕著になった。これらは年齢による歩行中の脳内ネットワーク機能の低下によりもたらされたと考えられ、 α とApEnは脳内ネットワーク機能の低下を示す有益な指標と考えられた。

研究成果の概要(英文)：This study was aimed at analyzing stride interval (SI) variability during gait by using nonlinear analysis and examining its clinical usefulness. The scaling exponent (α) and approximate entropy (ApEn) were determined as evaluation parameters in the nonlinear analysis. α showed long-range correlation in SI variability, while ApEn presented regularity in SI variability. The results of this study showed a significant difference in α and ApEn by walking stick use and leg-length difference. Significant differences were observed in α and ApEn, depending on age, and the difference became remarkable, especially by loading a cognitive task. Those may be caused by deterioration of brain network function during gait due to aging. Hence, α and ApEn may be useful indicators of deterioration of brain network function.

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：歩行 関連 ストライドインターバル 非線形解析 スケーリング指数 近似エントロピー 認知課題 長期 規則性

1. 研究開始当初の背景

自然界には単純な法則からなる現象でもわずかな変動で予測が不可能になってしまう現象がある。このような現象をカオス現象という。生体反応にも「ゆらぎ」というカオス現象があることが知られている。脳の情報処理過程、心拍変動、歩行時のストライドインターバルなどにカオス現象が存在すると報告されている。1995年にHausdorffが初めて非線形解析を行い、歩行時のストライドインターバルがカオス性を呈し、年齢や疾患によってそのフラクタル構造が変化することを報告している。しかし、これ以降、歩行時のカオス性に関する報告は少なく、年齢や疾患などによって歩行時のカオス性がどのように変化するか、またその临床上の有用性について十分に検証されていない。そこで、本研究の目的は、これらの点を明らかにし、临床上の有用性を検討する事にある。

2. 研究の目的

- (1) 歩行時のストライドインターバルが杖使用と脚長差によってどのように変化するかを明らかにする。
- (2) 歩行時のストライドインターバルが年齢や膝関節置換術前後においてどのように変化するかを明らかにする。
- (3) 歩行時の認知課題の有無がストライドインターバルに及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 神経学および整形外科的疾患を有さない健康成人20名(平均年齢:21.5±1.2歳、平均身長:159.4±5.6cm、平均体重:54.4±4.3kg)とした。20mの8字歩行路を快適歩行速度で10分間歩行した(図1)。

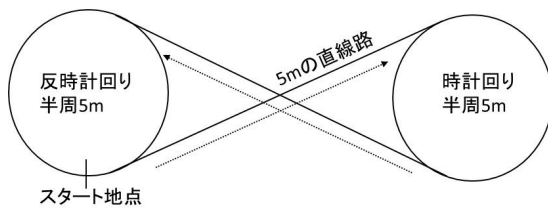


図1 8字歩行路模式図

C7、L3、両踵に3軸加速度センサーを貼付し、ストライドインターバルを求め、トレンド除去ゆらぎ解析法(Detrended Fluctuation Analysis = DFA、以下DFA)によりストライドインターバルのスケーリング指数(以下、)近似エントロピー(Approximate Entropy = ApEn、以下ApEn)を求めた。はストライドインターバルの長期相関を表し、ApEnはストライドインターバルの規則性を表す。杖なし歩行、2動作杖歩行、3動作杖歩行とした(図2)。杖把持は右手とした。脚長差の影響は脚長差なし、脚長差2cm、脚長差4cmとした。各条件間の比較は、データの正規性を確認後、反復測定分散分析とWilcoxon順位和

検定を用いて比較検討した。

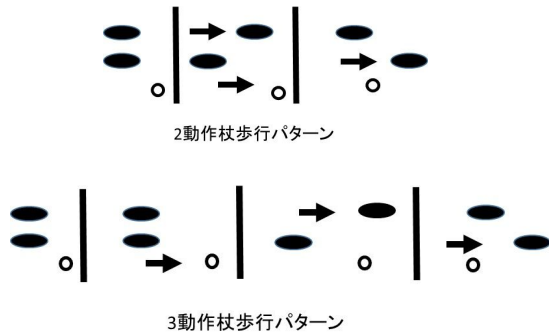


図2 杖歩行パターン

(2) ストライドインターバルの年齢による違いを以下の対象において検討した。神経学および整形外科的疾患を有さない健康若年者20名(平均年齢:21.5±1.2歳、平均身長:159.4±5.6cm、平均体重:54.4±4.3kg)と健康高齢者20名(平均年齢:72.2±3.5歳、平均身長:163.6±6.4cm、平均体重66.8±7.8kg)を対象とした。20mの8字歩行路を快適歩行速度で10分間歩行した。L3、両踵に3軸加速度センサーを貼付し、ストライドインターバルを求め、及びApEnを求めた。また、膝関節置換術前後によるストライドインターバルの変化を以下の対象において検討した。膝関節置換術を施行した患者20名(平均年齢:74.1±9.3歳、平均体重:62.2±8.8kg)を対象とした。

(3) 歩行時の認知課題がストライドインターバルに及ぼす影響を検討した。対象は健康若年者20名(平均年齢:21.2±0.9歳、平均身長:171.4±5.1cm、平均体重:64.0±6.9kg)と健康高齢者20名(平均年齢:70.4±3.5歳、平均身長:163.4±7.0cm、平均体重:61.5±9.9kg)とした。課題動作は1)歩行動作のみの単一課題(single task, ST)、2)タブレット端末でストループ課題を行いながら歩行する課題(dual task, DT)とした(図3)。



図3 ストループ課題を行いながらの歩行 1周20mの8字型歩行路を快適歩行速度で12分間歩行した。トレンド除去ゆらぎ解析法(DFA)によって短期スケーリング指数を

求め、ストライドインターバルの長期相関を評価した。また、ストライドインターバルの変動の規則性を近似エントロピーApEn で評価した。上記2課題において短期スケーリング指数 と近似エントロピーApEn の群間、群内比較を行った。

4. 研究成果

(1) 杖使用による影響は以下となった。杖なし歩行に比べ、2動作杖歩行(T-cane2)と3動作杖歩行(T-cane3)のスケーリング指数は有意に低下した(図4)。また、杖なし歩行に比べ、2動作杖歩行と3動作杖歩行のApEnは有意に低下した(図5)。2動作杖歩行より3動作杖歩行においてApEnが有意に低下した。以上より杖を使用することによって、ストライドインターバルの長期相関が低下し、その規則性は向上することが明らかになった。また、2動作杖歩行より3動作杖歩行の方が、ストライドインターバルの規則性が向上することが明らかになった。

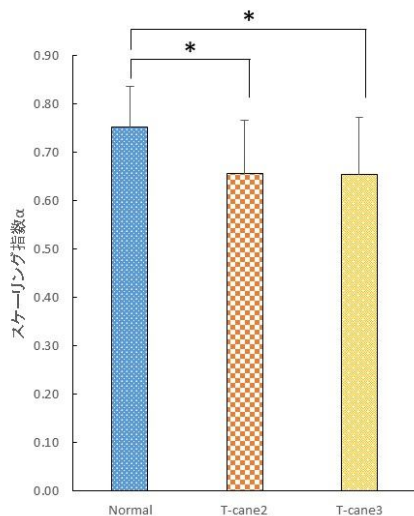


図4 2動作と3動作杖歩行時の左下肢スケーリング指数

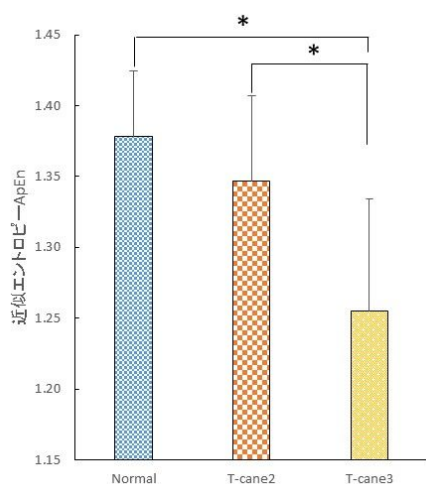


図5 2動作と3動作杖歩行時の左下肢近似エントロピーApEn.

脚長差による影響は以下となった。脚長差2cmでは脚長差なしと比べ、スケーリング指数とApEnは有意な差がなかった。脚長差4cmでは脚長差なしと比べ、スケーリング指数は有意に低下し、ApEnは有意に増加した(図6、図7)。以上の結果より、脚長差4cmではストライドインターバルの長期相関が低下し、その規則性が低下することが明らかになった。

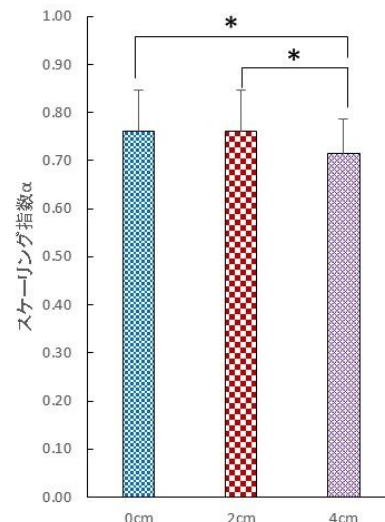


図6 各脚長差における右下肢スケーリング指数 (補高は右脚に設定)

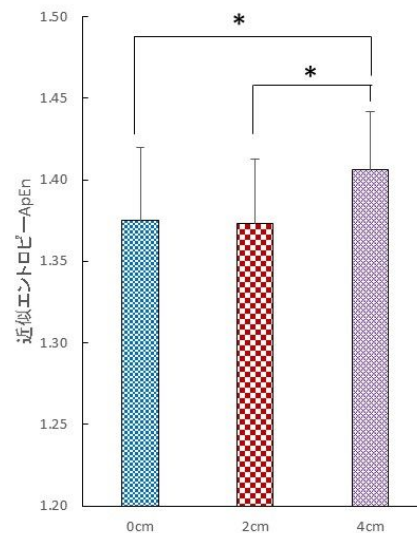


図7 各脚長差における右下肢近似エントロピーApEn. (補高は右脚に設定)

(2) ストライドインターバルの年齢による違いは以下となった。健常若年者のスケーリング指数の平均(0.76±0.08)、健常高齢者のスケーリング指数の平均(0.64±0.12)であり、健常高齢者においてその値は有意に低かった。また、近似エントロピーApEnの平均は、健常若年者(1.38±0.05)、健常高齢者(1.38±0.07)で年齢による有意な差は認められなかった。

次に膝関節置換術前後におけるストライドインターバルのスケール指数 α と近似エントロピーApEnの結果は以下となった。術前においてスケール指数 α は健常若年者と比べ、その値が高いあるいは低い者もいるが、膝関節置換術後はその値が健常若年者の値のレベルまで回復する傾向がみられた。一方、膝関節置換術患者の術前後において有意な変化がないことが明らかになった。今後、膝関節置換術患者に関して術前術後の膝の状態（痛み、腫れ、筋力など）や測定時期を再検討し、スケール指数 α と近似エントロピーApEnの有効性を再評価する必要性が考えられた。

(3) 歩行時の認知課題がストライドインターバルに与える影響は以下となった。単一課題(ST)における群間比較では、健常高齢者において短期スケール指数 α が有意に低下し、近似エントロピーは有意な差はなかった(図8、図9)。二重課題(DT)における群間比較では、健常高齢者において短期スケール指数 α が有意に低下し、近似エントロピーApEnが有意に増加した(図8、図9)。

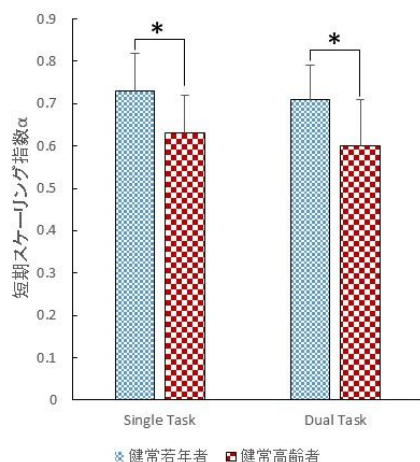


図8 短期スケール指数 α の変化

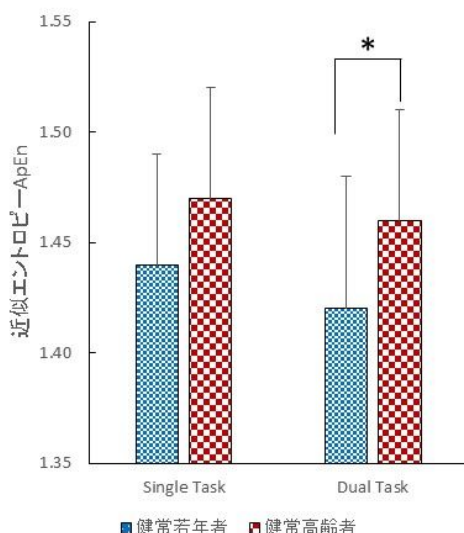


図9 近似エントロピーApEnの変化

認知課題を与えることによって、短期スケール指数 α のみならず近似エントロピーApEnにおいても年齢による有意な差が見出された。これらの差は年齢による歩行中の脳内ネットワーク機能の低下よりもたらされたと考えられ、短期スケール指数 α とApEnは脳内ネットワーク機能の低下を示す有益な指標と考えられた。

今後はこれら2つの指標に、より鋭敏に反応する認知課題を探ること、対象者を軽度認知機能障害(mild cognitive impairment, MCI)を有する者に広げ、その有用性を検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

高橋裕香, 真壁寿: 杖歩行パターンがストライドインターバルの変動に及ぼす影響. 山形理学療法学, 11: 19-22, 2014.

〔学会発表〕(計3件)

(1) 高橋裕香, 真壁寿: T字杖歩行がストライドインターバルの変動に及ぼす影響. 第23回山形県理学療法学会大会, 2014.

(2) Take H, Makabe H, Takahashi Y. Effect of leg length discrepancy on the dynamics of stride interval during self-paced walking. World Confederation for Physical Therapy Congress, 2015.

(3) Makabe H, Takahashi Y, Kaneko K, Sakamoto K. Influence of using t-cane on variability of stride interval at a self-selected gait speed. International Society of Electrophysiology and Kinesiology, 2016.

〔その他〕

ホームページ等

http://www.yachts.ac.jp/off/info_education.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

真壁 寿 (MAKABE HITOSHI)

山形県立保健医療大学・保健医療学部・教授
研究者番号: 60363743

(2) 連携研究者

神先秀人 (KANZAKI HIDETO)

山形県立保健医療大学・保健医療学部・教授
研究者番号: 10381352

南澤忠儀 (MINAMISAWA TADAYOSHI)

山形県立保健医療大学・保健医療学部・講師
研究者番号: 40347208