

令和 6 年 6 月 2 日現在

機関番号：34417

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11198

研究課題名（和文）高齢者を対象とした、シナジー理論に基づく新しい歩行リハビリテーション法の開発

研究課題名（英文）Development of a new gait rehabilitation method based on synergy theory for the older adults

研究代表者

浅井 剛 (Asai, Tsuyoshi)

関西医科大学・リハビリテーション学部・准教授

研究者番号：50411880

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高齢者の歩行の特徴を下肢の協調性の観点から調査した。地域の高齢者を対象に、筋電センサを用いて歩行中の筋活動を測定した。歩行の条件は通常の歩行と計算を行う二重課題歩行とした。二重課題は、歩行中の神経機能を評価する方法であり、簡単な計算と難しい計算の2種類を採用した。その結果、難しい計算の課題で筋モジュール（下肢動作を生成する複数の筋から構成される筋グループ）の数が通常歩行より減少し、これらの変化は足を床に付けるタイミングの前後で生じることが分かった。高齢者には、左右の下肢動作の切り替えを意識したトレーニングが必要である可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果から、高齢者の歩行における筋協調性が認知負荷によって影響を受けることが明らかになった。本研究は高齢者における歩行中の神経機能と筋活動の関連性を示す新たな知見を提供し、歩容異常の発生プロセスの理解を深める可能性がある。社会的意義としては、高齢者の安全な歩行を維持するためのより効果的なリハビリテーションや運動療法の設計の一助になると考える。特に、認知負荷の高い状況でも安定した歩行を可能にするための予防的介入や運動プログラムの開発が期待される。

研究成果の概要（英文）：This study examined the characteristics of walking in older adults with respect to lower limb coordination. Muscle activity during walking was measured using electromyography sensors. The walking conditions were a normal walking condition and a dual-task walking condition in which individuals were asked to walk while performing a calculation. Dual-tasking is a method to assess neurological functions during walking. In the present study, two types of calculations were used: easy and difficult. The results showed that the number of modules: a muscle group composed of a number of muscles that generate lower limb movements, decreased during the difficult calculation task compared to the normal walking condition. These changes occurred before and after the timing of foot placement on the ground. These results suggested that older adults may need training to switch between left and right lower limb movements to adapt the complicated circumstances; e.g. daily life situation.

研究分野：リハビリテーション学

キーワード：歩行 高齢者 筋シナジー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトの歩行は、動作によるエネルギー消費を最小化するように下肢、体幹の筋群が高度に協調化した滑らかな動作である。近年、下肢筋群の筋電図的検証により、歩行は複数の“基本要素”となる単純な身体動作で構成されていることが明らかとなっている。これは神経学的には脳における膨大なシナプスの発火が筋の収縮による動作として現れるまでに情報の統合や削減を行い、動作を限界まで単純化し、その上でその動作のタイミングと強さを調整して、歩行という動作にしていることを意味する。この情報の削減プロセスはあらゆる動作に適用でき、動作解析等の研究にも近年用いられている。生活動作の獲得を目的としているリハビリテーションにこの論を適用する場合、前提としてあらゆる動作を“基本要素”に分解することが必要である。“基本要素”をベースにしたトレーニングをリハビリテーションにおいて適用することが出来れば、トレーニング効率は有意に向上すると推測される。しかし、現状のリハビリテーションではこのような動作を“基本要素”に分解する作業が行われていないため、単に筋力トレーニングや歩行の量を増やすにトレーニングに留まっている。

申請者らは、歩行動作の定量化を目的とした研究を行ってきた。デバイスには当初から一貫して一般化可能性を高めるため小型慣性センサを使用している。しかし、歩行トレーニングによって、小型完成センサから得られる歩容指標や我々の開発した歩行スコアが改善するのかが分かっておらず、現段階では歩行の評価のみに留まっている。シナジー理論により抽出した基本要素となる動作を含むトレーニングによって、このスコアがどのように改善するかを明らかにすることで、歩容指標や歩行スコアの改善に向けた個別性の高い運動処方を作成につながると考える。

2. 研究の目的

【研究1】一般的なデジタルカメラを採用した可搬性の高い動作解析システムを導入すること

【研究2】高齢者の身体機能と筋シナジーの関連を調べること

【研究3】難易度の異なる二重課題における、歩行中の筋シナジーの変化を比較すること

本研究の前半はコロナの影響により、大幅な遅延が生じた。そのため、当初予定していた運動処方の作成には至らず、観察研究による知見を得るにとどまった。

3. 研究の方法

【研究1】対象は若年者1名(男性、19歳)とした。3次元動作解析装置(MAC3D System、NAC)と2台のデジタルカメラ(FDR-AX45, SONY)を用いて、歩行動作を計測した。歩行条件は、主観的な速さで、遅い、普通、速い、の3条件とし、各条件は10回ずつ行った。3次元動作解析装置によって得られた画像データから歩行中の下肢関節角度などのデータを算出した。また、デジタルカメラから得られたデータは、姿勢推定AIであるOpenPoseを利用して、同様のデータを算出した。

【研究2】対象は地域在住の歩行の自立した高齢者17名(女性:13名(76%)、年齢:76.1±6.6歳)であった。認知課題を付加した歩行(二重課題歩行)中の下肢の主要筋の筋活動を計測し、歩行中の姿勢および下肢の協調的な活動(筋シナジー、非負値行列因数分解)の変化について検討を行った。歩行条件は3条件とした(普通歩行、ゆっくり歩行、二重課題歩行(100からの逆唱)、下肢の筋電活動は、歩行の主動筋群8筋を選択し、無線筋電センサを用いて計測した。得られた筋電波形に対して非負値行列因数分解を行い、歩行動作における筋モジュール数を求めた。運動機能計測としてtimed up and go test(TUG)と5 chair stand test(5CS)を実施し、筋モジュール数との関連をPearsonの積率相関係数を用いて調べた。

【研究3】対象は地域在住の歩行の自立した高齢者16名(女性:13名(81%)、年齢:75.8±6.7歳)であった。認知課題を付加した歩行(二重課題歩行)中の下肢の主要筋の筋活動を計測し、歩行中の姿勢および下肢の協調的な活動(筋シナジー、非負値行列因数分解)の変化について検討を行った。歩行条件は4条件とした(普通歩行、ゆっくり歩行、難易度の異なる二種の二重課題歩行(易課題:100からの逆唱、難課題:100から連続した3の引き算)、歩行中の姿勢の評価のために、小型3軸加速度センサを体幹下部(腰椎第3棘突起部)に取り付けた。得られた加速度波形に解析を加え、歩容パラメータ(ストライド時間の変動係数、Harmonic ratio, 自己相関係数)を抽出し、歩行条件による歩容パラメータの変化を反復測定一元配置分散分析で調べた。下肢の筋電活動は、歩行の主動筋群8筋を選択し、無線筋電センサを用いて計測した。得られた筋電波形に対して非負値行列因数分解を行い、歩行動作における筋モジュール数を求めた。さらに、筋の重みづけ要素と時間パターン要素について普通歩行と2種の二重課題歩行とのPearsonの積率相関係数を求め、課題の難易度の違いがどちらの要素に現れるのかを、Wilcoxon検定で比較した。

4. 研究成果

【研究1】

デジタルカメラから得られた二次元データから姿勢推定を行うために、フリーソフトウェアである python で OpenPose を含む解析プログラムを作成した。このプログラムから得た歩行中の関節運動データの推定値の信頼性について、共同研究者とともに検討を行った。その結果、歩行解析において二次元データをベースとした場合、検証に有効なデータ取得の計測範囲が極めて狭く（2m程度）また、カメラの位置によって動作の特徴点の誤認識が起こりやすいことが判明した。この欠点を改善するためには、使用するデジタルカメラの台数を増やすことが選択肢として挙げられたが、計測条件に制限が生じることから、将来的なことを考慮して、本研究においてはデジタルカメラを用いることはせず、動作の計測には小型の慣性センサのみを使用することとした。

【研究2】

計測時の不具合および対象者の状態によって、得られた運動機能テストデータ数は異なった。TUG は 16 名、5CS は 13 名であった。歩行条件における筋モジュールの数と身体機能のスコア

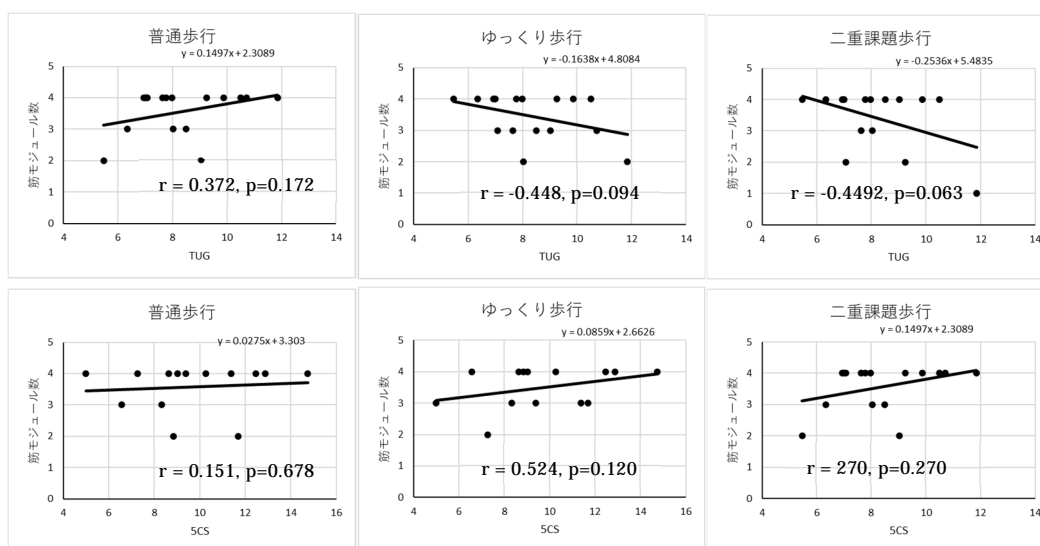


図1 筋モジュール数と運動機能との関連

(TUG と 5CS) の相関係数の結果を図 1 に示す。すべての組み合わせにおいて有意な関連は認められなかったが、普通歩行以外の条件では関連性が強くなる傾向が見られた。これらの結果から、高齢者では、運動機能が低下すると、脳機能を含めた身体機能に負荷がかかった歩行における下肢の協調性に影響する可能性のあることが示唆された。したがって、筋シナジーによる歩行機能の検討を行うには、脳機能を含めた身体機能に負荷のかかるゆっくり歩行や二重課題歩行を歩行条件とすることが望ましいと考えられた。

【研究3】

各歩行条件における歩容パラメータの結果を表 1 に示す。その結果、歩行速度は普通で最も速く、二重課題を挟んで、ゆっくりの順となった ($p < 0.001$)。ストライド時間の変動は、普通、ゆっくり、二重課題の易課題、二重課題の難課題の順で大きくなった ($p < 0.001$)。Harmonic Ratio と自己相関係数は普通で最も値が大きく、その他の条件は同程度であった ($p < 0.001$)。この傾向は 3 方向（鉛直、側方、前後）で同じであった。

表 1 歩行条件における歩容パラメータ

Gait parameters	歩行条件				F-value	p-value
	普通	ゆっくり	易課題	難課題		
Gait speed, m/s	1.28 ± 0.19	0.98 ± 0.17	1.14 ± 0.26	1.13 ± 0.25	39.8	<0.001
Mean Stride time, s	1.01 ± 0.08	1.19 ± 0.12	1.10 ± 0.11	1.13 ± 0.16	6.3	<0.001
Mean cadence, 1/s	2.0 ± 0.1	1.7 ± 0.2	1.8 ± 0.2	1.8 ± 0.2	6.4	<0.001
CV, %	2.9 ± 1.1	3.4 ± 0.8	5.0 ± 2.9	5.3 ± 3.2	5.0	0.005
Harmonic ratio						
VT	3.2 ± 0.7	2.8 ± 0.6	2.8 ± 0.6	2.7 ± 0.5	6.7	<0.001
ML	2.1 ± 0.6	2.1 ± 0.5	1.9 ± 0.3	2.0 ± 0.4	2.3	0.092
AP	3.3 ± 0.9	2.8 ± 0.7	2.9 ± 0.7	2.8 ± 0.7	7.5	<0.001
Autocorrelation						
VT	0.82 ± 0.07	0.65 ± 0.09	0.66 ± 0.13	0.65 ± 0.16	17.0	<0.001
ML	0.58 ± 0.13	0.42 ± 0.12	0.39 ± 0.19	0.44 ± 0.18	9.9	<0.001
AP	0.79 ± 0.07	0.71 ± 0.08	0.66 ± 0.14	0.65 ± 0.15	9.5	<0.001

易課題：100からの逆唱、難課題：100から連続した3の引き算

歩行条件別の筋モジュール数の結果を図 1 に示す。モジュール数の範囲は 1 から 4 であった。歩行条件の普通、遅い、難易度の低い二重課題（100 から 1 の逆唱）はモジュール数 4 が最も多くなったが、難易度の高い二重課題（100 から 3 の逆唱）では、モジュール数 3 が最も多くなった。二重課題歩行における各モジュールの筋の重みづけとタイミングを、普通歩行条件と比較し、その相関係数を求めた（表 2）。その結果、筋の重みづけに関しては有意な差は認められなかったが、タイミングに関してはモジュール 1 とモジュール 4 において有意な差が認められた（ $p < 0.05$ ）。

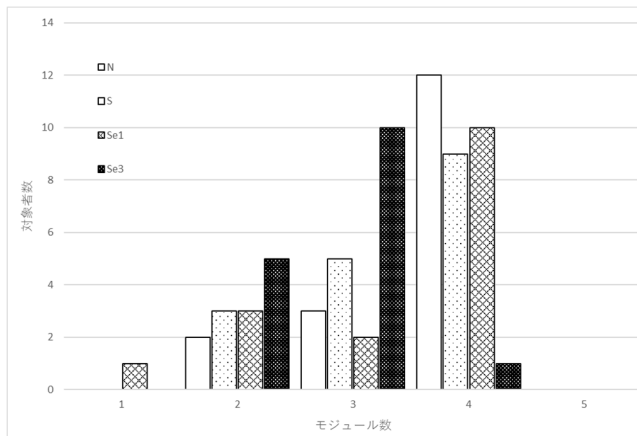


図 2 各歩行条件における筋モジュール数

表2. Correlation of muscle weightings across the walking conditions (n=16)

Module	Serial 1	Serial 3	p value
1	0.94 ± 0.05	0.80 ± 0.41	0.464
2	0.98 ± 0.01	0.89 ± 0.34	0.606
3	0.95 ± 0.07	0.90 ± 0.23	0.159
4	0.94 ± 0.07	0.83 ± 0.25	0.074

表3. Correlation of muscle timing across the walking conditions (n=16)

Module	Serial 1	Serial 3	p value
1	0.98 ± 0.01	0.88 ± 0.26	0.029
2	0.98 ± 0.02	0.92 ± 0.25	0.348
3	0.90 ± 0.06	0.84 ± 0.24	0.252
4	0.96 ± 0.04	0.90 ± 0.13	0.044

各歩行条件におけるモジュール数の結果から、二重課題によって歩行に振り分ける注意が減少すると筋モジュール数が減少し、歩容が悪化する可能性が示された。また、課題の難易度によって影響の度合いは変化し、難度が上がるほど歩容への影響が大きくなる可能性が示唆された。課題間のモジュールの相関係数を比較した結果、二重課題による歩容の変化は主に下肢運動の時間的な要素に強く表れた。有意差があった筋モジュールは踵接地のタイミングの前後で働く筋群であり、二重課題によって引き起こされる変化は遊脚期後半から立脚期前半に生じる可能性が高いことが示唆された。

本研究の結果は、高齢者が複雑な環境で歩行を行う際に生じる歩容の変化に関する知見を提供し、高齢者の歩行リハビリテーションにおけるプログラム作成の一助となるものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	三栖 翔吾 (Misu Shogo) (20824105)	甲南女子大学・看護リハビリテーション学部・講師 (34507)	
研究分担者	福元 喜啓 (Fukumoto Yoshihiro) (30636121)	関西医科大学・リハビリテーション学部・准教授 (34417)	
研究分担者	為井 智也 (Tameni Yomoya) (40548434)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・客員准教授 (14603)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関