

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月30日現在

機関番号：31202

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500514

研究課題名（和文）積雪寒冷地に生活する高齢者の歩容に関する生理的多型性と上肢・下肢協関メカニズム

研究課題名（英文）A Study on the Environmental Adaptability of the Elderly in Snowy Cold Region: A Coordination of Upper and Lower-Limb during Gait at Slippery Road

研究代表者

金子 賢一 (KANEKO KENICHI)

富士大学・大学院経済・経営システム研究科・教授

研究者番号：50337177

研究成果の概要（和文）：摩擦係数の異なる3種類の路面環境（通常の床面，雪面，氷面）において，下肢筋活動，腰部動揺，ならびに，手の振り運動から歩容を評価した．歩行路面の摩擦係数を外部変数とし，下肢から得た筋電図と上肢の加速度を内部変数として相関分析を行うことで，上肢と下肢の協関メカニズムを検討した．その結果，路面の摩擦係数が低下するに従い，歩行に関連する前脛骨筋と腓腹筋の筋活動量は増加する一方，上腕の振り運動は小さくなるという負の相関関係が認められた．摩擦係数が極度に低い氷面での実験環境では，多くの被験者が心理的な緊張や不安を示す傾向が認められ，歩容に影響を及ぼしていることが推察された．

研究成果の概要（英文）： A coordination of the upper and lower-limb during the gait at the slippery road (snow and ice road surface) was studied by using of the EMG and the acceleration signals. In order to investigate the relationships between the EMG for the lower -limb muscles and the acceleration of the hands, the simple regression analysis was carried out. In the relationship between the root mean squares for the EMGs on the tibialis anterior and the gastrocnemius medialis and the maximum amplitude of the acceleration for the upper arm, the negative correlation was found under the condition of the slippery road surfaces. There were the psychological tensions or anxieties during the experiment in the subjects. It was difficult to exclude the individual differences from the obtained data.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：健康・福祉工学

1. 研究開始当初の背景

1973年の旧建設省（現：国土交通省）による「歩車道段差切下げ・視覚障害者誘導用ブロック指針」が示されて以来，バリアフリーを検討する研究が盛んに行われるようになった．バリアフリーは，高齢者や身体障害者

を含む移動制約者等の自立した社会生活の確保を目的としており，公共交通機関や施設の整備を中心に進められている．本学が立地する岩手県は積雪寒冷地域であり，冬期には歩行者の転倒事故が地域特有のバリアとして発生する．冬期の転倒事故は障害者や高齢

者のみならず、積雪寒冷地域に生活する全ての者の社会参加や経済活動の妨げとなっており、一刻も早い転倒事故というバリアの除去が望まれている。近年ではこうした視点に立った冬期の転倒事故に関する研究報告もなされているようではあるが、その多くは実態調査レベルに留まっているのが現状である。

一方、歩行に関する研究は歴史が古く、人間工学やバイオメカニクスを始めとする様々な分野で精力的に研究されている。しかし、従来の歩行研究では対象を下肢に限定した運動学的、運動力学的な検討が多く、歩行を歩容として捉え、歩容に関する下肢と上肢の協働メカニズムから路面環境への適応について調べた研究は少ない。

2. 研究の目的

(1) 積雪寒冷地域での転倒事故を防止するために、積雪寒冷地域に生活する高齢者の歩容に関する生理的多型性に着目し、摩擦係数の低い路面環境への適応能を下肢運動と上肢運動の協働メカニズムから明らかにすることを目的とする。

(2) 外部環境への適応と運動の習熟過程を解明するために、歩容と比較すると関節自由度の小さいペダリング運動に着目し、下肢筋シナジー (MuscleSynergy) と下肢筋群 EMG の周波数特性から単純な運動への生体の適応過程を議論する。

近年、トレーニングによる運動制御の変化を筋シナジーから説明しようとする研究が行われるようになった。筋シナジーとは、複数の筋群が時間的・空間的にコヒーレントに活動することを言う。Hug ら (2010 年) は関節自由度が小さいペダリング運動に関して、トレーニングを受けたサイクリストの下肢筋群の表面筋電図 (EMG) 信号を計測し、非負値行列因子分解 (NMF: Non-negative Matrix Factorization) を施すことで、3つの筋シナジーを抽出した。本研究では、Hug らが計測した下肢筋群の中で、特に筋シナジーへの寄与率が高く、かつ、被験者間変動が小さいとされる腓腹筋 (GM: Gastrocnemius medialis) に着目し、EMG 信号のウェーブレット解析から得た時間-周波数情報をサイクリストと非サイクリストとで比較することにより、トレーニング効果の特徴とペダリング運動への適応過程を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 被験者は高齢者を対象とする前に、本学に在籍する学生 10 名とし、実験の安全性を十分に確認することとした。歩容を下肢運動と上肢運動の協働から捉えるために、下肢筋群 (外側広筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋) の筋活動をワイヤレス筋電図 (Trigno

Wireless System, DELSYS) により計測した。上肢前腕部の振り運動と腰部の動揺は 3 軸のワイヤレス加速度計 (Trigno Wireless System, DELSYS) を用いて測定を行った。筋電図の解析においては RMS (root mean square) 値を算出し、加速度は最大振幅を用いて評価することとした。筋電図の RMS 値と加速度の最大振幅情報を用いて相関分析を行うことで、歩容に関する下肢と上肢の協働関係を定量的に評価した。

路面の実験条件は、通常路面としての屋内の廊下 (ウレタン樹脂製)、積雪期間中に屋外駐車場に製作した雪面と氷面 (外気温 $-7 \sim -2^{\circ}\text{C}$) の計 3 条件とした。路面の摩擦条件を変化させることで、下肢と上肢の協働の度合いが通常路面の歩行時と比較してどのように変化するかを捉えることで、路面環境への生体の適応過程の解明を試みた。歩行速度、歩幅に関する被験者への教示は、特に行わないものとして実験を行った。

(2) 被験者は 6 年間以上ペダリングに関するトレーニングを受け、現在、トップアスリートとして活躍しているサイクリスト 5 名 (平均年齢 20 ± 1.4 歳)、非サイクリスト 9 名 (平均年齢 19.2 ± 1.4 歳) であった。

ペダリング負荷強度は、ミドルパワー (80% MVC)、ハイパワー (90% MVC) とした。ケーデンスは約 80rpm、サドル位置は被験者の好みで高さを設定するよう教示した。ペダリング姿勢はドロップハンドル姿勢とし、トークリップを用いて脚をペダルへ固定した。ペダリングに伴う腓腹筋 (GM) の筋電図は、ワイヤレス筋電計 (Trigno Wireless System, DELSYS) を用いて双極導出した。増幅された筋電図信号は、A/D 変換器 (PowerLab 4/25, ADINSTRUMENTS) を介して、分解能 16 ビット、サンプリング周波数 1 kHz にて PC に取り込んだ。ペダリング運動中のペダルの位置を確認するために、ビデオカメラ (DCR-HC30, SONY) でモニタリングすると同時に、ビデオ画像を EMG 信号と同期させた。実験終了後、オフラインにて PC を用いて解析を行った。

本研究では時間周波数解析であるウェーブレット解析を導入する。ウェーブレット解析では、時間軸方向に拡大縮小して得られる積分核を用いることで、非定常な信号の時間単位での周波数の変化を追うことが可能となった。本研究ではペダリング運動に伴う腓腹筋 (GM) の EMG 信号を 1024 点抽出し、まず、Morlet ウェーブレットアルゴリズムを用いて解析を行い、EMG 信号の時間的な周波数成分の変動を視覚的に捉えることにした。次に、Daubechies ウェーブレットアルゴリズムを用いて離散ウェーブレット解析を行った。直交変換ではウェーブレット係数の 2 乗が時刻 k に対応するレベル j の持つエネルギーとし

て解釈可能であるが、解析時間長によるエネルギーの和への影響を減ずるために、1秒あたりのエネルギーを求めることとした。レベルごとの平均エネルギー E_j は次式により計算するものとした。

$$E_j = \frac{\sum_{k=1}^N |C_{j,k}|^2 / \Delta t_j}{N}$$

(Δt_j は $2j \times$ サンプリング時間)

求めた各周波数帯域ごとのエネルギー E_j を用いて、サイクリストと非サイクリストを比較するために二元配置分散分析を行った。等分散性の検定をF検定により行い、有意差が認められた時にはTukey法による多重比較検定を行った。有意水準は1%とした。

4. 研究成果

(1) 歩行路面の摩擦係数を外部変数(通常の床面、雪面、氷面)とし、下肢から得た筋電図と上肢の加速度を内部変数として相関分析を行うことで、上肢と下肢の協働メカニズムを評価した。その結果、路面の摩擦係数が低下するに連れ、歩行に関連する前脛骨筋と腓腹筋の筋活動量は増加する一方、上腕の振り運動は小さくなるという負の相関関係が認められた。分散分析の結果、路面条件に主効果が認められた。歩行速度、歩幅に関しては路面の摩擦係数が小さくなるに伴って減少する傾向が認められ、先行研究の結果を支持するものとなった。以上の結果より、歩行路面の摩擦係数が減少すると、主に前脛骨筋と腓腹筋の活動量を増加させながら体幹部の動揺を抑制し、歩容としては動揺の小さな運動に移行していくことで外的環境としての路面条件に適応していく過程を確認した。

一方、摩擦係数が極度に低い氷面での実験環境では、多くの被験者が心理的な緊張や不安を示す傾向が認められ、歩容になんらかの影響を及ぼしていることが推察された。安全面から本実験を高齢者に行うことは不可能であり、今後、高齢者の適応能を検討するための実験方法の確立が望まれる。

(2) 腓腹筋(GM)のEMG信号に対して連続ウェーブレット変換を行った結果の一例(カラー表示)を図1に示す。横軸には時間、縦軸には周波数が示されている。サイクリストでは非サイクリストよりも全体的に低周波数領域での筋活動が認められた。特に、上死点(クランク角度 0°)から下死点(クランク角度 180°)までの踏み込み期で $35\text{Hz} \sim 45\text{Hz}$ の帯域にピークを持つ筋活動が認められた。これは腓腹筋を構成する筋線維の収縮様態がシンクロナイゼーションすることで生じた徐波化の影響ではないかと推察され、トレーニング効果を示す一つの指標になり得る可能性が示唆された。

次に、Daubechies 離散ウェーブレット解析により得られたエネルギー E_j について、各周波数帯域ごとの平均値と標準偏差を求めサイクリストと非サイクリストを比較した(図2)。エネルギー E_j に対する二元配置分散分析を行った結果、周波数帯域の効果($F_{5,72} = 4.81$, $p < 0.001$)と被験者群の効果($F_{1,72} = 8.76$, $p < 0.001$)において主効果が認められた。Tukey法による事後検定では、ミドルパワー負荷ペダリング時の4つの周波数帯域において1%有意でサイクリストと非サイクリストとに差が認められた。以上の結果より、筋シナジーを構成する寄与率の高い単一筋群を被験筋とし、EMG信号にウェーブレット解析を施すことで得られる周波数とエネルギー E_j の情報はトレーニング効果を定量的かつ簡便に評価する尺度として有効であることを見出した。

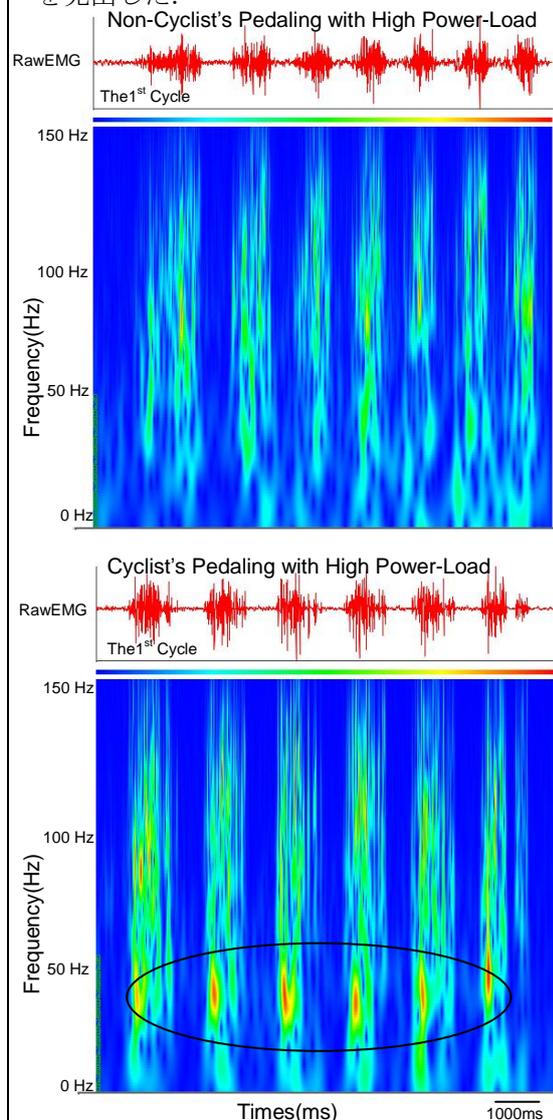


図1 腓腹筋のEMG信号に対してMorletの連続ウェーブレット変換を行い作成したカラーマップ。楕円で示した領域には、おおよそ 50Hz 以下の活発な活動が認められる。

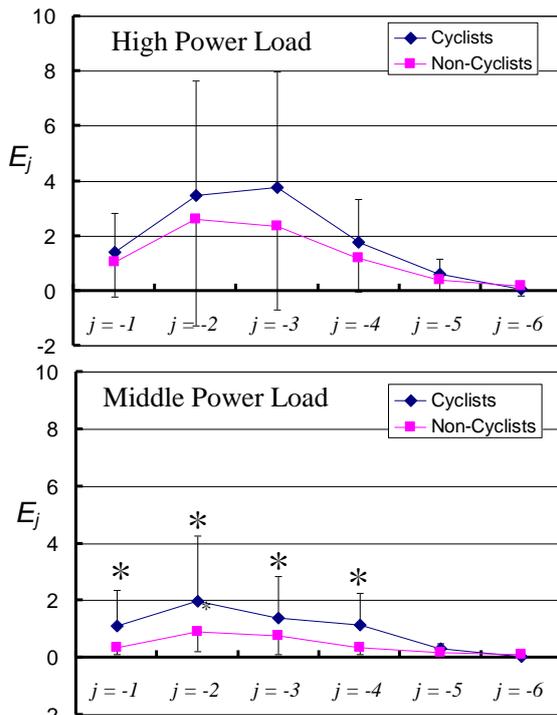


図2 平均エネルギー E_j の周波数帯域ごとの比較. $j = -1, -2, -3, -4, -5, -6$ は, それぞれ, 125-250Hz, 62.5-125Hz, 31.2-62.5Hz, 15.6-31.2Hz, 7.8-15.6Hz, 3.9-7.8Hzを表す. *は有意水準 1%.

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 4 件)

- ① 坂本和義, 苗鉄軍, 高野倉雅人, 真壁寿, 山路雄彦, 金子賢一, 関丙賛, 水戸和幸, 生体のふるえの特徴と福祉工学への応用, 日本福祉工学会誌, 査読有, Vol. 12, No. 1, 2010, pp. 2-14
- ② Kazuyuki Mito, Kenichi Kaneko, Hitoshi Makabe, Masato Takanokura, Kazuyoshi Sakamoto, Influence of age on muscular activity during isometric contraction of vastus lateralis muscle : analysis of mechanomyogram and electromyogram, Proceedings of the XVIIIth Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, 査読有, 2010, pp. 29
- ③ Kenichi Kaneko, Kazuyuki Mito, Hitoshi Makabe, Masato Takanokura, Kazuyoshi Sakamoto, Comparison between cyclists and non-cyclist on lower limb muscle activity during pedaling: An EMG investigation, Proceedings of the XIXth Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, 査読有, 2012, pp. 352

- ④ 真壁寿, 苗鉄軍, 水戸和幸, 金子賢一, 高野倉雅人, 坂本和義, 非線形解析は立位や歩行時の安定性評価に有効か?, 日本福祉工学会誌, 査読有, Vol. 15, No. 1, 2013, pp. 8-13

[学会発表] (計 5 件)

- ① 金子賢一, 歩容の生理的多型性と外的環境への適応に関する研究, 日本福祉工学会東北支部会第11回総会・研究会, 2011年10月29日, 富士大学.
- ② 金子賢一, ペダリング運動における下肢筋群 EMG のウェーブレット解析に関する研究, 第3回生体計測セミナー, 2012年9月1日, いちのせき健康の森セミナーハウス.
- ③ 金子賢一, 筋シナジーに高い寄与率を示す単一筋群のウェーブレット解析に関する研究, 日本福祉工学会東北支部会第12回総会・研究会, 2012年10月13日, 富士大学.
- ④ 金子賢一, STAI と POMS を用いた心理的緊張の評価に関する研究, 日本福祉工学会第16回学術講演会, 2012年12月1日, 千葉工業大学.
- ⑤ 金子賢一, ペダリング運動における下肢筋群筋活動のトレーニング効果に関する研究, 日本福祉工学会第16回学術講演会, 2012年12月1日, 千葉工業大学.

[その他]

ホームページ等

<http://www.fuji-u.ac.jp/jiko-com/gyouseki/059.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 賢一 (KANEKO KENICHI)

富士大学・大学院経済・経営システム研究科・教授

研究者番号: 50337177

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

坂本 和義 (SAKAMOTO KAZUYOSHI)

電気通信大学・産学官連携センター・名誉教授

研究者番号: 40017398

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

水戸 和幸 (MITO KAZUYUKI)

電気通信大学・情報理工学部・准教授

研究者番号: 90353325