

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18500542
 研究課題名 (和文) 転倒予防のための筋電図によるバイオフィードバックトレーニング法の確立
 研究課題名 (英文) Establishment of biofeedback training method by electromyogram for fall prevention

研究代表者
 西島 吉典 (NISHIJIMA YOSHINORI)
 大阪教育大学・教育学部・教授
 研究者番号： 60156073

研究成果の概要：

3 年間の研究期間において、歩行環境の違いや意図的に歩容を変えさせた際の下肢筋群の対応実態が明らかとなった。また、歩行における各時間因子の左右脚偏位の実態や偏位を修正する方法が明らかとなった。これらの知見はバイオフィードバックトレーニングの現場で有用な知見である。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	2,100,000	0	2,100,000
2007 年度	500,000	150,000	650,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	330,000	3,530,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 応用健康科学

キーワード：運動処方と運動療法

1. 研究開始当初の背景

従来から、歩行時における下肢筋群の筋電図波形にはほとんど性差がないと報告されてきた。また、加齢に伴う歩行筋電図波形の変遷を定性的に示した報告はみられるが、それらを定量的に分析した報告もほとんど見あたらない。これは、歩行筋電図波形における個体間差が非常に大きいことにより、平均波形として処理した場合、性差や加齢に伴う差異が埋没してしまうためと思われる。サン

プル数を増すとともに分析法として波形をグループ化する処理を行うなどによって性差や加齢に伴う差異が見いだされることが考えられる。それにより、自らの歩行能力の年齢に相応する評価や、経時的変調なども追跡することが可能となり、歩く能力を維持するための方策や転倒リスクの少ない動作等をフィードバックする具体的方策が明示され得る。

一方、歩行動作の時間因子的検討からは、歩行動作のストライド時間には経時的にみるとゆ

らぎがあるが、高齢者や神経的機能障害者はその周期性を失いむしろランダムノイズになることや、高齢者においては筋力に加えて敏捷性、調整力、柔軟性などを維持・向上させることがストライド時間の経時的ゆらぎを保持し、それが安定歩行につながる可能性があること、また、下り傾斜のトレッドミルを歩行する2脚ロボットにおいてもそのストライド時間にゆらぎのあることが報告されている。このように時間因子は、比較的簡易に歩行動作の現状を評価することのできるパラメータである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、中高齢者の歩行筋電図波形を評価するためのデータベースを作成することと、対象者の歩行筋電図波形をモニターし、一般的データの範囲を逸脱する筋がある場合はフィードバックトレーニング法により意識的な改善を促すシステムを構築することであった。これらの目的を達するために、まず、日常生活で遭遇する各種の歩行環境や意図的に歩行動作を改変させ通常歩行で得られた筋電図とどのように異なるかを検討した。①から④にそれぞれの目的を列記する。

- ① 坂道での歩行の特性を明らかにするため、斜度の異なる実際の歩行路面の上り・下りと平地歩行について下肢筋群の活動様式と筋活動量を比較した。
- ② 片斜面歩行は平面歩行に比し下肢筋群に対してどのような影響を及ぼすかについて、下肢筋群の活動様式と筋活動量を比較した。
- ③ 玉砂利と砂路面での歩行をフォーム分析法と筋電図法により分析し、板張り路面歩行との差異について検討した。
- ④ 足関節の背屈と底屈、膝関節の屈曲と伸展、股関節の屈曲と伸展および外転動作に

注目し、それらの関節動作を通常歩行より強調あるいは軽減する特徴的歩行の実態を筋活動様式から明らかにした。

また、⑤歩容を評価する際の一般的で簡易なパラメータである100%ストライド時間、片足接地時間および踵着床テンポ時間にみられる左右脚差の特性を、平地円路における右回り・左回り歩行、および坂道直路の上り・下り歩行と平地直路歩行との間でそれぞれ比較検討した。

3. 研究の方法

①から④について

被験者：事前に実験の主旨を説明し承諾を得ることができた男子大学生12名程度（各チームで異なる者）を対象とした。

被験筋（いずれも右脚側）前脛骨筋、腓腹筋内側頭、ヒラメ筋、内側広筋、大腿直筋、大腿二頭筋長頭および中殿筋

実験歩行路：①3%、7%、10%の直線坂道、②3度、6度、9度、12度の直線10m片斜面、③直線10mで幅0.6mの玉砂利と砂路面、および通常歩行と④各種の特徴的歩行は30mの直線平地を歩行路とした。

実験手順：①歩行筋電図の振幅の基準となる放電量を得るため、各被験者には筋電導出用電極を貼付した後、被験筋ごとに徒手筋力検査法(15)の良段階(MMT, F: Manual Muscle Testing, Fair)に準ずる動作を30往復/分となるようメトロノーム音にあわせて関節の可動域全体に及ぶ動的な反復運動として10回以上連続して行わせた。しかし、足関節底屈運動については同検査法の規定する動作ではなく、立位で自体重を負荷とする動作を今回の方法として用いた。なお、大腿直筋は膝関節伸展、大腿二頭筋は股関節伸展、中殿筋は股関節外転動作を当該筋の放電量を求めるための対象動作とした。②前述の検査の後、十分な休息をはさんで、通常歩行と

各課題とした歩行を行わせた。歩行速度は、いずれも自由歩行とメトロノーム音により120歩/分のピッチになる歩行の2種に規定した。

筋電図記録と処理：筋電図は皮膚表面双極誘導法により導出記録した。直径5mmの検波面を金メッキしたカラー付き電極を用い、筋線維の走行とモータポイントの位置を考慮して可能な限り筋腹中央部に電極間距離を20mmとし貼付した。活動電位はプリアンプ（フルサワラボ・アプライアンス社製VSM/MES-02）、8chアナログ入力ユニット（同社製VSM-01）を介して1KHzでA/D変換し、テレメーター法（同社製VSM-03L）でコンピュータに記録した。得られた筋電図データは、全波整流した後、バッタワース・セカンドオーダー・ローパスデジタルフィルタを用い3Hzの包絡線として処理した。

歩行時の筋電図振幅を標準化する基準の放電量(100%MMTF)は、基準動作としたMMT.Fの筋電図における7回の反復動作分の各ピーク値を平均して算出した。連続した歩行筋電図において1歩行サイクルを特定するため、右足靴踵部外側に装着した加速度計の衝撃波をトリガーとした。歩行筋電図データは、まず1歩行サイクル分のデータの時間軸を標準化(100%ストライド)した後、10歩行サイクル分について平均化した。被験者ごとに筋電図の振幅を標準化し、その後全被験者の平均筋電図波形を求めた。各動作で得られた筋電図波形はクラスター分析法(ウオード法)を用いて3群に分類した。また、筋放電量は、被験者の平均波形における100%ストライド分について単位時間当たりの値を求めた後、全被験者の平均放電量を算出した。

統計処理：平均放電量の差の検定(t検定)には統計ソフトSPSS9.0Jを使用し、有意水準は $p < 0.05$ とした。

⑤について

被験者 予め実験の内容を説明し、承諾が得られた健康な大学生53名(男子24名；身長 173.03 ± 6.21 cm, 体重 66.23 ± 8.35 kg；女子29名；身長 163.57 ± 7.70 cm, 体重 59.22 ± 9.28 kg)を対象にした。

歩行条件・歩行路 いずれも大学キャンパス内の既設歩行路で、30m以上の平地直路歩行(以下、平地直路)、斜度約6%の坂道直路における上り・下り歩行(以下、上り・下り)、および築山を周る半径5mの平地円路における左回り・右回り歩行(以下、左回り・右回り)をそれぞれの自由ペースで行わせた。いずれも30歩行周期以上となるまで歩行させた。

時間因子の分析法 両靴踵部にそれぞれ加速度計(フルサワラボ社製3G幅12mm×長さ22mm×厚さ5mm)を装着しそのデータは、ベルトで腰部に固定したポシェットに入れたメモリー形式の記録器(フルサワラボ社製データロガーFLA-128)に有線で記録した。その際、いずれの被験者も通常履いている靴を着用させた。パソコンを用いて、踵着床時およびつま先離床時の加速度波形変位をトリガーとして100%ストライド時間(踵着床から次の同脚踵着床まで)、片足接地時間(踵着床からつま先離床の間)および左⇒右・右⇒左への踵着床テンポを1/1000秒単位(SONY社製Vaio自作分析プログラム:F-basic95)で算出した。いずれの時間因子についても30歩行分を平均し標準偏差を求めた。

片足足圧重心動揺・重心位置の測定 キスラー社製フォースプレート(9286A)と解析プログラム(IFS-6G/IFS-3G)を用いて10秒間の片足足圧重心動揺軌跡長および肩幅に両脚を開いた立位姿勢における重心位置(いずれも水平面のみ)の測定を行った。

ラテラリティーに関する調査 ボールを蹴る際の支持足、走り幅跳びの踏切足、走り高跳びの踏切足、利き目、利き足、利き手、シャトルランにおける方向転換時の外足、平眼片足立ちの支持足、歩き出す際の後ろに残る足・半ズボンを着脱する際の支持足について聞き取り調査した。

統計処理 30歩行サイクル分の100%ストライド時間、片足接地時間および踵着床テンポを左右脚別に平均しその差の検定（ノンパラメトリック）を行なった。各時間因子の左右への偏位率は、いずれもより大きな値を示した側の値／より小さな値を示した側の値×100として求めた。片足足圧重心動揺と各時間因子の相関は、いずれも左脚の値/右脚の値×100と相対値化して算出した。

4. 研究成果

①から④に関わって

①3段階に斜度が異なる坂道歩行における上りおよび下りの筋電図波形パターンに最も顕著な違いがみられたのは、下りにおける大腿直筋であった。平地歩行と放電パターン・放電レベル共に最も違いがみられなかったのは、前傾骨筋であり、放電レベルのみに違いが見られたのは、腓腹筋・ヒラメ筋・内側広筋・中殿筋であった。

筋放電量の比較から上りでは、斜度が増すことで腓腹筋・ヒラメ筋・大腿二頭筋と中殿筋の放電量が有意に増加することが認められた。一方、下りでは斜度が増すことで内側広筋と大腿直筋では放電量は有意に増加し、腓腹筋とヒラメ筋は有意に減少することが認められた。

②4段階に角度が異なる片斜面歩行における山側脚および谷側脚の筋電図波形は、定性的にみると平面歩行に比し顕著なパターンの違いはみとめられなかった。このことから、片斜面12度以下の歩行は、山側および谷側

脚ともに平面歩行に比べ筋放電パターンを顕著に変化させるまでの環境条件の違いではないことが示唆された。

筋放電量の定量的比較から、片斜面歩行での山側脚においては、腓腹筋、ヒラメ筋、内側広筋および大腿直筋は斜度が大きくなるにしたがって平地歩行より有意に放電量が増加した。一方、谷側脚においては、斜度が大きくなるにつれて有意に放電量を増す筋（内側広筋、大腿直筋、大腿二頭筋）と、逆に放電量が減少する筋（腓腹筋、中殿筋）とが認められた。しかし、それらの筋の放電量変化は平面歩行に比べて、いずれも±3%MMT.F以内であった。

③板張り路面と比較し玉砂利および砂路面での歩行フォームは、左右大腿部の開脚角度は大きい、膝関節は屈曲位であり、さらに着床期には足底面と路面とのなす角が小さくなる傾向がみとめられた。これらが両軟路における100%ストライド長を板張り路面のそれより有意に短縮する要因と考えられる。

板張りに比べ玉砂利および砂路面歩行での筋活動パターンは、大腿筋群に顕著な違いがみられた。一方、板張りと比較し玉砂利および砂路面歩行における筋放電量は、足関節の動きに関する前脛骨筋・腓腹筋・ヒラメ筋では5%MMTF以内の増加であったが、膝・股関節の動きに関する内側広筋・大腿直筋・大腿二頭筋は、12~23%MMTFの範囲で増加した。

以上のことから、玉砂利および砂路面における歩行は、大腿筋群の活動量を増すための方法の一つとして適用できると考えられる。

④特徴的歩行は、動作によっては通常歩行よりも足関節の背屈と底屈を強調あるいは軽減され、また、膝関節の屈曲と伸展、股関節の屈曲、伸展と外転動作については強調される特性のあることが明らかとなった。このよ

うな特性は、同一関節を屈曲および伸展するという拮抗的運動において、ある種の特徴的歩行動作によっては一方の関節運動を高めると反対側の関節運動の関与が軽減され、あるいは、隣接する関節において、近位の関節運動を高めると遠位の関節運動の関与が軽減されるという関係になることが示唆された。

⑤ に関わって

平地歩行であれ坂道の上り下り歩行であれ、直線的に歩行する場合には片足接地時間と着床テンポにおける左右脚への偏位者の出現率は一定度認められ、それらの出現率はいずれの歩行条件においても近似した。しかし半径5mでの円路歩行においては、回転方向によって片足接地時間および踵着床テンポにみられる左右脚への偏位者の出現率は大きく異なり、左回りでは両時間ともに左偏位者の率が高く(55%, 40%) 右回りでは両時間ともに右偏位者の率が高い(70%, 42%)ことが明らかとなった。

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 5件)

- ① 西島吉典、加藤達雄、吉澤正尹、宮下充正
下肢筋の筋電図からみた平面と片斜面歩行の特性 ウォーキング研究 10 2006 159-164 査読有
- ② 西島吉典・吉澤正尹 他3名 特徴的な各種平地歩行動作における下肢筋活動の分析 ウォーキング研究 11 2007 207-215 査読有
- ③ 加藤達雄・西島吉典・吉澤正尹 他3名 坂道歩行中の筋活動様式ならびにその定量分析 ウォーキング研究 11 2007 201-206 査読有
- ④ 西島吉典・吉澤正尹 他6名 円路および

坂道歩行における時間因子の左右差 ウォーキング研究 12 2008 155-160 査読有

- ⑤ 加藤達雄・西島吉典・吉澤正尹 他4名 下肢筋活動ならびに動作から見た玉砂利および砂路面上での歩行特性 ウォーキング研究 12 2008 147-153 査読有
[学会発表](計 7件)
- ① 西島吉典・吉澤正尹 他3名 特徴的な各種平地歩行動作における下肢筋活動の分析 ウォーキング学会 2007.06.24
早稲田大学
- ② 加藤達雄・西島吉典・吉澤正尹 他3名 坂道歩行中の筋活動様式ならびにその定量分析 ウォーキング学会 2007.06.24
早稲田大学
- ③ 小川雅志・西島吉典・吉澤正尹 他2名 下肢筋活動からみた砂および玉砂利路面での歩行特性 日本電気生理運動学会 2007.11.17 福井大学
- ④ 西島吉典・吉澤正尹 他6名 円路および坂道歩行における時間因子の左右差 ウォーキング学会 2008.06.29 東京学芸大学
- ⑤ 加藤達雄・西島吉典・吉澤正尹 他4名 下肢筋活動ならびに動作から見た玉砂利および砂路面上での歩行特性 ウォーキング学会 2008.06.29 東京学芸大学
[図書](計 1件)
- ① 運動・認知機能改善へのアプローチ～子供と高齢者の健康・体力・脳科学～ 藤原勝夫編 (分担執筆) 第7章 歩行機能向上のためのバイオメカニクス 吉澤正尹、西島吉典 市村書店 2008 pp92-103

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西島 吉典 (NISHIJIMA YOSHINORI)

大阪教育大学・教育学部・教授

研究者番号：60156073

(2) 研究分担者

吉澤正尹 (YOSHIKAWA MASATADA)

福井大学・教育地域科学部・教授

研究者番号：30020126 (平成 18 年、19 年)

宮下充正 (MIYASHITA MITUMASA)

放送大学・教養学部・教授

研究者番号：80023571 (平成 18 年)

(3) 連携研究者

吉澤正尹 (YOSHIKAWA MASATADA)

福井大学・教育地域科学部・教授

研究者番号：30020126 (平成 20 年)