

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 17 日現在

機関番号：32206

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560311

研究課題名(和文) 歩行能力を有する脳性麻痺児におけるゲイトコレクター適用後の局所筋の定量的疲労分析

研究課題名(英文) Objective evaluation of the fatigue for the local muscle in cerebral palsied children using gait corrector

研究代表者

森田 正治 (Morita, Masaharu)

国際医療福祉大学・福岡保健医療学部・教授

研究者番号：80598475

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：歩行能力を有する脳性麻痺者におけるゲイトコレクター適用後の定量的疲労分析を行った。ゲイトコレクターは、従来の短下肢装具に比べて、下肢が交叉するはさみ足(股関節の内転・内旋の筋緊張)を抑制し、抑制した力を下肢の推進力に置き換えることが可能な装置である。歩行練習により本人の自覚はもちろんのこと、客観的にも歩容の改善を認めたと、歩行の負荷強度や下肢の緊張程度により血中酸素動態からみた歩行後の局所筋の疲労程度や歩行時の筋電図の量的変化は異なることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：We were performed quantitative fatigue analysis for cerebral palsy with walking ability after application of a gait corrector. Gait corrector is a new device capable of suppressing the scissors position (hip joint inward and internal rotation muscle tension) with which the lower extremities intersect and replacing the suppressed force with the propulsion force of the lower extremities as compared with the standard short leg brace. Although we were objectively confirmed improvement of gait by walking exercise, in addition to subjectively by themselves, we were confirmed that we although objectively confirmed improvement of gait by walking exercise, in addition to subjectively by themselves, we were confirmed that the different of the qualitative change of electromyogram during walking and the degree of fatigue in the local muscle after and during walking by load intensity of walking and the degree of muscle tonus of the lower extremities.

研究分野：複合領域

キーワード：脳性麻痺 歩行 ゲイトコレクター 局所筋 疲労分析 NIRS F波 EMG

I. 研究開始当初の背景

(1) 本研究では、ゲイトコレクターを脳性麻痺児に適用し、歩行時の筋緊張と局所筋の筋疲労との関連性を筋電図及びNIRSにより定量的に分析した。また、歩行時の異常筋緊張は動作遂行とともに亢進しやすいが、ゲイトコレクターの適用効果を確認するためにも日常的な歩行の範囲内で局所筋疲労の程度を計測及び分析する意義は大きい。実際、車椅子や杖、上肢支持による歩行器での生活を余儀なくされている多くの脳性麻痺児に対して、車椅子や上肢支持による歩行器の開発・販売は積極的に進められているが、安全な状態で立って歩かせるための装具開発はあまり行われていない。また、また、これまで脳性麻痺児に対して関節可動域の改善や下肢筋の緊張抑制作用効果が得られたとの報告[1, 2]はあるが、股関節の内・外旋を抑制し、筋緊張と局所筋の筋疲労との関連を明らかにした報告はほとんどない。我々[3]はこれまでにゲイトコレクターの開発者が考案した体幹・長下肢装具付き新型四輪歩行器（ハートウォーカー）を装着した成人脳性麻痺者における歩行前後の局所筋（外側腓腹筋、前脛骨筋）の血流状態をNIRSにて経時的に確認した。結果、歩行時間の延長に伴い酸素化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの濃度変化の差が高値を示し、この濃度変化の差を局所筋の疲労と推測するに至った。

(2) 本研究はこれまでの基礎研究をもとにゲイトコレクターの臨床的な意義を明らかにするための定量的分析として、筋電図ではウェーブレット変換による周波数解析を用い、歩行周期における痙性の高い活動筋の周波数帯を確認し、筋活動の時間因子との関連を明らかにする。また、NIRSでは足関節底背屈に関わる局所筋（下腿三頭筋、前脛骨筋）の血中酸素動態（酸素化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの濃度変化量の差）を筋疲労の値として採用し、歩行終了後10分間まで計測した。さらに、歩行前後の痙性筋の緊張程度は誘発筋電図を用いて外側腓腹筋のF波とM波の最大振幅比により確認した。

(3) 一般的に、下肢に筋緊張亢進を伴う脳性麻痺児では、歩行時に股関節の屈曲・内転・内旋、膝関節屈曲、足関節内反・尖足位での緊張が高まるため、運動性が制限されるだけでなく、ステップ時に下肢が交叉し、下肢の推進力が得られにくい。ゲイトコレクターはステップの動きを許容しながら、装置前面に取り付けた両足をつなぐリンクバーという新しい機構により下肢が交叉するようなはさみ足（股関節の内転・内旋の筋緊張）を抑制し、抑制した力を下肢の推進力に置き換えることが容易である。その結果、支持基底面積が確保され、体幹の緊張も和らぎ、歩行改善に大きな効果をもたらしているが、ゲイト

コレクター装着前後の歩行における筋活動や筋疲労の状態を表面筋電図やNIRSを用いた定量的な評価としてこれまでまったく行われていない。また、装着は簡単で、車いすやバギーに座っているときも利用できるため、足部の緊張も次第に減弱することが予想される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、下肢に筋緊張亢進を伴う脳性麻痺児・者にゲイトコレクター（図1、(株)ハートウォーカージャパン）を適用後の歩行における局所筋疲労及び筋緊張の状態を近赤外分光法（以下NIRS）及び筋電図により



図1 ゲイトコレクター

非侵襲的かつ定量的に分析し、局所筋の筋疲労と筋緊張の関連性を明らかにすることである。予備研究において、ゲイトコレクターは脳性麻痺児に対して歩行支援の効果を認めているが、具体的かつ客観的な計測・評価を実施するまでに至っていない。この研究は、脳性麻痺児の歩行機能向上を含めた新しいリハビリテーションの可能性を探る重要な意義を持っている。

3. 研究の方法

(1) 対象は、誘発電位検査の電気刺激に抵抗を示す年少児が多かったため、歩行能力は自立レベルから杖及び歩行器等の介助が必要な7名（年齢範囲8～36歳）とした。そのうち2名については、6ヶ月後のフォローアップ計測に拒否を示したため、初回計測のみとなった。

(2) 対象者の年齢範囲が大きく、また、ゲイトコレクター非装着歩行での計測が困難な対象が存在したため、計測条件はゲイトコレクター装着後、下肢筋の自覚的負荷強度（RPE）で「きつい」と訴える程度まで歩行してもらった。な

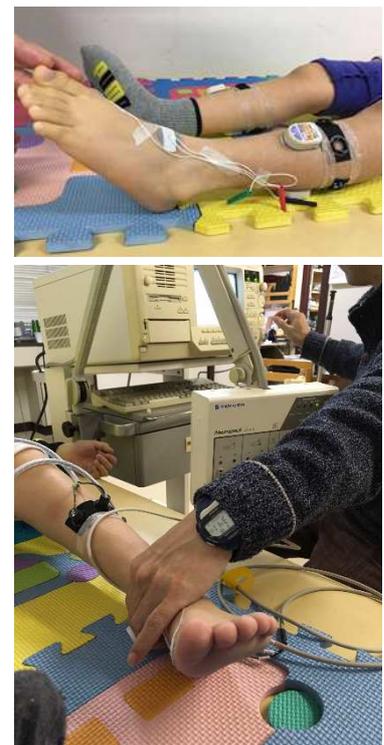


図2 誘発筋電図計測

お、パルスオキシメータ（PMP-125、パシフィックメディコ）を利用し、歩行時の心拍数を基に運動強度を測定したが、すべての対象において負荷強度20%を超える対象者はいなかった。

(3) 歩行前後の外側腓腹筋の緊張程度は、当初、M波とH波の最大振幅比を用いて検証を予定していたが、鈴木ら[4]による痙性筋の緊張亢進の程度を明らかにしたF波とM波の最大振幅比を用いた計測に変更した。歩行前、重負荷歩行直後、歩行後10分経過後の3回、誘発筋電図を用いて内果後方の母趾外転筋に記録電極、母趾の付け根に基準電極を装着し、外側腓腹筋の支配神経である脛骨神経刺激にてM波及びF波を記録した(図2)。M波の最大刺激、刺激頻度0.5Hzにて16回計測し、そのうち最大値及び最小値を除く14回分の計測データにおける平均F/M比をF波のパラメータとした。

(4) 入江ら[5]の報告を参考に、足関節の運動に関与し、矢状面における抗重力筋として代表的な、①前脛骨筋、②外側腓腹筋の左右各2筋に電極を取り付けて歩行初期及び歩行後期の筋電位を計測した。歩行時の筋電図による定量的分析としては、筋電位の波形を基にした歩容分析に加え、加藤ら[6]の報告を参考に、近年、非定常信号波形の解析手法で時間分解能に優れたウェーブレット変換による周波数解析を行った。

(5) NIRSは、近赤外光(Near infrared rays)を用いて、非観血的に血中酸素動態を測定する光計測法である。NIRSを用いた製品は、1996年に日立製作所が販売を開始した光トポグラフィに始まり、一般的には頭蓋骨内の脳活動の可視化に用いられている。NIRSを脳ではなく、筋肉部分に適用させた研究報告がいくつかある。浜岡ら[7-8]は、細胞内の生化学反応に直接関与する物質の濃度を算出することができるMRSと、血管内ヘモグロビンの酸素化状態を評価できるNIRSを組み合わせ、非侵襲的に筋代謝の測定を行うことを紹介している。村松ら[9-10]は、局所疲労と血中酸素動態の関係性を調査するためさまざまな実験を行い、疲労に伴い酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの差が大きくなることを報告している。今回、ゲイトコレクター装着のため、対象児のNIRSプローブの取り付け位置は限られたが、動作を妨げない筋腹部に筋電図電極と併行して1組ずつ取り付け(図3)、上述した局所筋肉の血中酸素動態を測定し、歩行後の筋疲労状態を確認した。過去に実施した我々の研究[7]をもとに、歩行前の



図3 NIRS装着状況

安静時から歩行終了後10分間までの血中酸素動態を測定し、酸素化ヘモグロビン(△oxy·D)と還元ヘモグロビン(△Deoxy·D)の濃度変化(△Hb·D)を分析した。

4. 研究成果

(1) 筋緊張の程度変化をみると、図4に示す対象者A~Gの7名中4名(D~F)は歩行前に比べて歩行後の平均F/M比は、変化なしあるいはわずかに

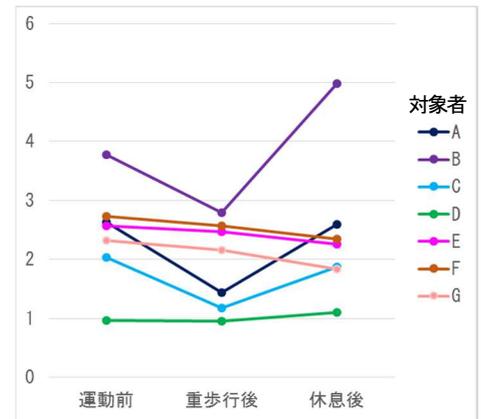


図4 歩行前後の平均F/M比の変化

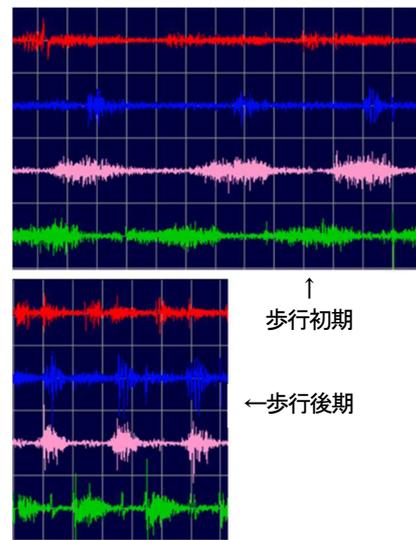


図5 筋電図変化

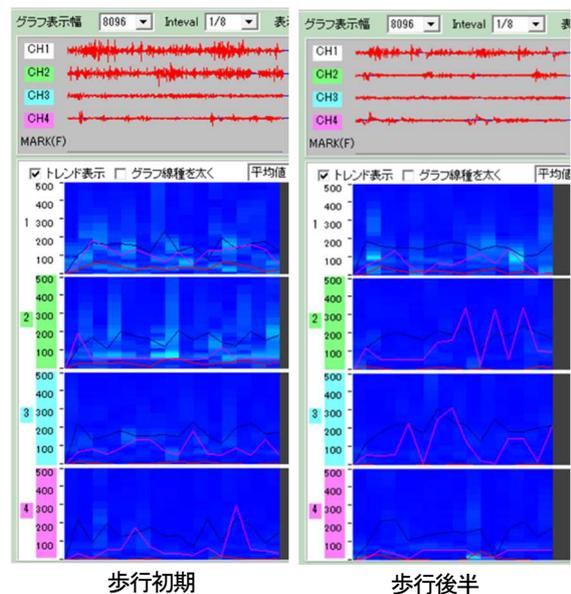


図6 Wavelet 周波数解析結果

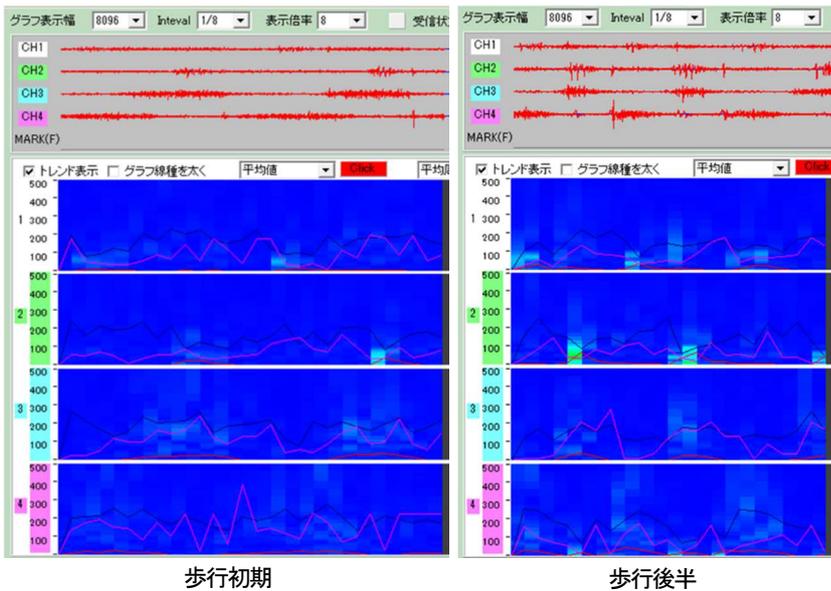


図7 下肢筋の緊張が関節可動域を制限しない対象者のWavelet 周波数解析結果

に低下していたが、日頃から足関節の他動的背屈運動に抵抗を示す3名は歩行直後では低下したが、歩行終了10分後では歩行前の状態に戻っていた。6ヶ月間の歩行練習後でも同様の変化を示した。

(2) 歩行初期及び歩行後期の筋電位を比較すると、歩行初期に比べて歩行後半では歩容の改善を認め、EMG波形では、1歩行周期が短縮、振幅が増加、筋活動が明確化などの所見が観察された(図5)。また、歩行の質的変化をWavelet 周波数解析により分析した結果、歩容は改善したもののほとんどの対象者は歩行後期で低周波域に移行し、局所筋の疲労を推測する結果を示した(図6)。しかし、一部の下肢筋の緊張が関節可動域を制限するほど出ない対象者の前脛骨筋において、歩行後半、高周波域に移行する傾向を示した(図7)。

(3) NIRSによる血中酸素動態として、軽負荷歩行後には $\Delta oxy \cdot D$ と $\Delta Deoxy \cdot D$ の差はあまり変化を認めず、一時的に変化を認めたとしても、5分程度の休息後に定常状態に回復していた。しかし、重負荷歩行後では、すべての対象において、歩行後、酸素化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの濃度格差を認め、局所筋の疲労が推測され、その疲労程度は歩行後10分間の安静後も改善を認めなかった。ただ、日頃より足部が尖足で緊張亢進している対象者において、前脛骨筋は重負荷歩行後、10分経過しても $\Delta oxy \cdot D$ と $\Delta Deoxy \cdot D$ の差は広がったままであり、局所筋の疲労が持続していることが推測された(図8)。一方、外側腓腹筋の疲労程度はほとんど観察されなかった。また、下肢筋の緊張が関節可動域を制限しない対象者の一部において、脛骨筋及び外側腓腹筋の疲労状態は重負荷歩行直後及び歩行後10分経過時点での $\Delta oxy \cdot D$ と $\Delta Deoxy \cdot D$ の差が観察されず、疲労状態になかったと推測

される。(図9)。

<引用文献>

- ①入江和隆, 森田正治・他: 痙縮の装具—ハートウォーカーの機能と効果. 日本義肢装具学会誌 22 : 90-94, 2006
- ②小林宏, 唐渡健夫, 入江和隆・他: 全麻痺でも歩けるアクティブ歩行器の臨床実験. 小児の脳神経 33 : 101-106, 2008
- ③Masaharu Morita, Yoshiki Muramatsu, Kobayashi Hiroshi, Kazutaka Irie: Trial of fatigue evaluation in cerebral palsy by near infrared spectroscopy. J. Phys. Ther. Sci 25:8, 2013 (suppl. 1)

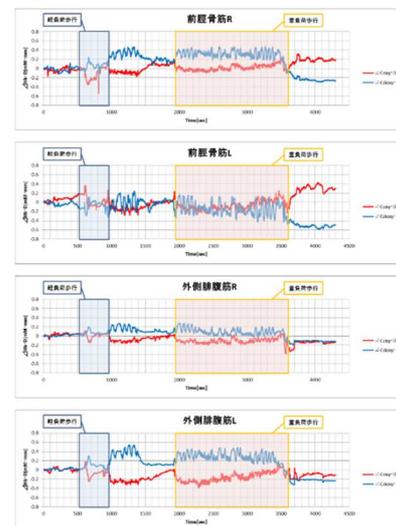


図8 外側腓腹筋が緊張亢進している対象者の血中動態変化

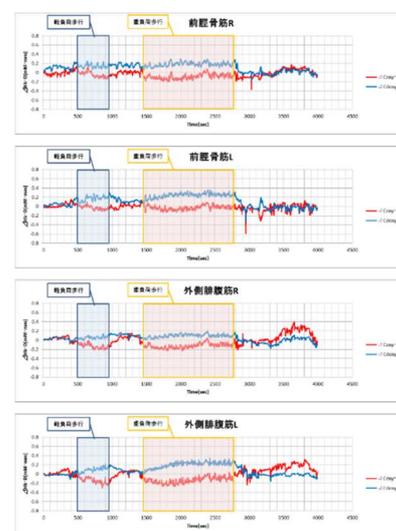


図9 下肢筋の緊張が関節可動域を制限しない対象者の血中動態変化

- ④鈴木俊明, 谷埜予士次・他: 脳血管障害片麻痺患者の麻痺側筋緊張亢進の要因は誘発筋電図により解明できる. 理学療法学 42 : 176-177, 2015
- ⑤入江和隆, 森田正治・他: 痙縮の装具—ハートウォーカーの機能と効果. 日本義肢装具学会誌 22 : 90-94, 2006
- ⑥加藤浩, 藤野英次郎, 上島隆秀, 城石晴子・他: 歩行解析における股関節中殿筋の質的評価の試み—wavelet 変換による動的周波数解析. 理学療法学 26 : 179-186, 1999
- ⑦浜岡隆文, 佐古隆之, 骨格筋循環・代謝の非侵襲測定の確立と脈管学領域への応用. 脈管学 43(6) : 239-244, 2003
- ⑧勝村俊仁, 浜岡隆文, 非侵襲的筋代謝測定. 体力化学 47(3) : 367-372, 1998
- ⑨村松慶紀, 小林宏, NIRS による筋疲労の評価. 日本機械学会論文集 80(814) : 559-567, 2011
- ⑩Masaharu Morita, Yoshiki Muramatsu, Kobayashi Hiroshi, Kazutaka Irie: Trial of fatigue evaluation in cerebral palsy by near infrared spectroscopy. J. Phys. Ther. Sci 25:8, 2013(suppl.1)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文]

[学会発表] (計1本)

- ①Masaharu Morita, Masafumi Katayama, Yu Ito, Yoshihiro Kinoshita, Kazutaka Irie, Evaluation of the local muscle in cerebral palsied children using gait corrector, 19th International Meeting of Physical Therapy Science, Silla University, Busan, South Korea, July 16, 2016

6. 研究組織

(1)研究代表者

森田 正治 (MORITA, Masaharu)

国際医療福祉大学・福岡保健医療学部・教授

研究者番号 : 8 0 5 9 8 4 7 5

(2)研究協力者

片山 雅史 (KATAYAMA, Masafumi)

伊藤 雄 (ITO, Yu)

木下 義博 (KINOSHITA, Yoshihiro)

入江 和隆 (IRIE, Kazutaka)