

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：33910

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560331

研究課題名(和文)「歩行のための脊髄固有のエネルギー代謝調節機能」が存在する可能性について

研究課題名(英文) Possibility of the existence of energy metabolism functions for walking inherent in the spinal cord

研究代表者

尾方 寿好 (OGATA, Hisayoshi)

中部大学・生命健康科学部・准教授

研究者番号：80415364

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：歩行中にはエネルギー代謝の高まりとともに、自律神経活動の亢進や酸素を筋肉へ運搬するための呼吸循環系反応が生ずる。これらの反応を引き起こす機能が、脊髄に内在するか否かを明らかにすることを目的とした。このために本研究では、外傷により頸髄を損傷した者を対象に、脚を外力により他動的に動かして歩かせた際に肺活量が増大するか否か、また、運動部位である脚への酸素供給量の増加を促すために、非運動部位の上肢への酸素供給量が減少するか否かを検討した。しかしながら、これらの反応は頸髄損傷者の他動的歩行では観察できなかった。

研究成果の概要(英文)：Enhancement of autonomic nerve activity and cardiorespiratory responses for oxygen delivery to muscles occur with energy metabolism during walking. The purpose of the present study was to determine whether there are functions of autonomic nerve activity and cardiorespiratory responses inherent in the spinal cord for walking. In order to elucidate this possibility, we determined responses of vital capacity and oxygenation level of inactive arm muscles during passive walking leg movement in individuals with spinal cord injury at the cervical level based on the assumptions that ventilatory capacity of the lungs increases and that oxygen supply to arm muscles decreases in order to increase distribution of oxygen supply to the legs during passive walking leg movement. However, there was no increase in vital capacity or decrease in oxygenation level of the arm during passive walking leg movement.

研究分野：運動生理学

キーワード：他動歩行 リハビリテーション 呼吸循環反応 自律神経活動

1. 研究開始当初の背景

- (1) 歩行の発現には“意志”に基づいた脳から下肢筋群への信号が必要であるが、その信号が届かなくなった脊髄損傷者でも、歩いているように他動的に脚を動かすと、通常歩行と同様のパターンの筋電図が下肢筋群に現れることが分かっている (Dietz and Muller Brain. 2004)。
- (2) 申請者の最近の研究では、脳と脊髄が完全に独立した脊髄完全損傷者を対象として、他動的な歩行動作を課した際の血圧反応を検討した。その結果、下肢筋群の活動に伴い血圧が上昇することを明らかにした (Ogata et al. Clin Auton Res. 2009)。
- (3) この血圧上昇は、脊髄にある交感神経細胞の興奮により生じたことが一因として考えられた。交感神経系の興奮は内分泌系を刺激しエネルギー源を産生し、さらには、気管支拡張や心筋収縮力増強など、酸素運搬に有利な生理反応を引き起こす。
- (4) 以上の考察から、申請者は、“脊髄”には「歩行のための固有のエネルギー代謝調節機能」が存在するのではないかと考えた。

2. 研究の目的

「脊髄には歩行のための固有のエネルギー代謝調節機能が存在する」ことを明らかにするために、本研究では、脊髄損傷者に他動的な歩行動作を課した際に呼吸循環器系応答が生ずるか否か、またこの応答が自律神経活動の興奮によるものか否かを明らかにすることを目的とした。

2. 研究の方法

- (1) 2年計画の1年目では、10名の頸髄損傷者 (38±7歳) を対象とした。市販の立位歩行器具を用いて(図1)、静止立位と他動歩行を課した。静止立位時と他動歩行時の肺活量、および上肢の酸素供給量のレベルを比較した。酸素供給量の変化は、近赤外線分光法装置により測定される酸素化ヘモグロビン濃度の変化から推定した。肺活量を測定した理由は、他動歩行中に酸素の取り込み量を増大させるための呼吸系の反応が生じると仮定したためである。また、上肢の酸素供給量を測定した理由は、脚の筋群への酸素供給量を増やすために、上肢筋群をはじめとする非活動部位の酸素供給量が減少すると想定したためである。
- (2) 2年目では、仰臥位にて他動歩行が実施できる運動器具を開発した後に、8名の健常者 (21±1歳、168±5cm、64±5kg) を対象に仰臥位他動歩行中の心臓自律神経

活動の応答を検討した。この理由は、他動歩行中には、呼吸循環反応を引き起こす自律神経活動の変化が起こるか否かを明らかにするためである。心臓自律神経活動は、心拍変動の低周波成分 (LF) と、高周波成分 (HF) から評価した。本研究では、LF/HF を交感神経活動の指標、HF/(LF+HF) を副交感神経活動の指標とした。これらの指標それぞれについて、仰臥位安静時の値に対する、他動歩行中の値の割合を算出した。

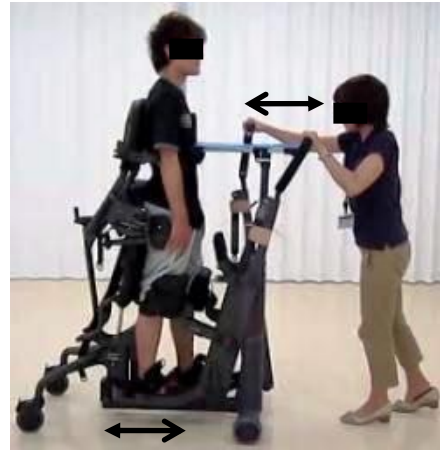


図1 立位他動歩行

実験者のハンドル操作により、被験者の足が前後に振られて他動歩行が実現する。

4. 研究成果

- (1) 1年目の研究では、頸髄損傷者を対象にした他動歩行を行わせた。本研究に参加した頸髄損傷者は、受傷後10年以上が経過しており、ASIA機能障害尺度がAの、完全麻痺を有する者であった。このうち、他動歩行を実施できた者が3名であった。残り7名については、立位姿勢により過度な起立性低血圧が起こる場合や、静止立位時または他動歩行中に筋痙縮が生じる場合があり、実験の遂行が困難であると判断されたため、中止した。測定を実施できた3名のケースのうち、肺活量測定は1名のみ実施可能であり、上肢酸素供給量レベルの測定は3名全員で実施することができた。肺活量については、静止立位時が1.68リットルであったのに対し、他動歩行中は1.70リットルであった。このように、顕著な増加は見られなかった。一方、酸素供給量の変化の典型例を図2に示した。座位から立位へ姿勢変換をすると、急激に酸素化ヘモグロビン濃度が低下した。立位開始後1分目あたりから、上昇に転じるが、その後定常状態に達した。他動歩行を開始しても、立位時定常状態のレベルから大きな変化は認められなかった。しかし、頸髄損傷者の他動歩行中には大きな昇圧反応が生じることが明らかにされている (Ogata et al. Clin Auton Res. 2009)。このた

め、上肢筋群では酸素供給量を減少させるような血管収縮は生じていたが、昇圧反応とのバランスにより、酸素化ヘモグロビン濃度の減少が生じなかった可能性がある。このように当初予測した変化は観察されなかった。

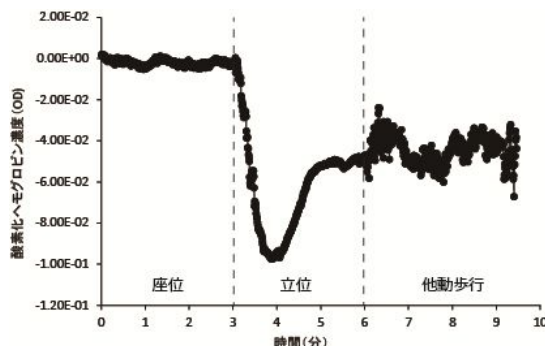


図2 他動歩行中の上肢酸素化ヘモグロビン濃度の変化

- (2) 本研究の目的を達成するための被験者の条件は、頸髄損傷を有しており、かつ完全麻痺を有することであるが、このような障害を有する被験者で、当初の目的を達成するためには、立位姿勢でなくても他動歩行が実現できることが必要であることが、課題として抽出された。そこで、この課題を解決するために2年目では新たな他動歩行器具の開発に着手した。その器具の特徴は次の通りである。

仰臥位でも他動歩行が実施できること。

股関節の屈曲伸展が行えること。
足底へ圧力を加えられること。

まず、この条件を設定した理由は、起立性低血圧の発生を防止することである。また、立位姿勢で生ずる起立性の呼吸循環反応(心拍数上昇、血圧低下、換気亢進等)は仰臥位他動歩行では生じないため、他動歩行そのものに由来する呼吸循環反応を明確にできると考えたためである。次にこの条件を設定した理由は、他動歩行時に見られる下肢筋群の活動は、股関節の動きと、足底からの圧力が重要な役割を担っているとされるため、この2つの刺激が加えられる仕様を運動器具に組み入れた。以上のようにして、他動歩行で生ずる呼吸循環反応のメカニズムを検討するための運動器具を2年目に開発した。

- (3) また、2年目では仰臥位他動歩行中の心臓自律神経活動応答を検討した。この際、足底への圧力がある場合とない場合の2通りを行った。これは、足底への圧力の有無が、他動歩行中の下肢筋群の活動の生起に密接に関連しているためである。

表1には、仰臥位安静時および仰臥位他動歩行時における心拍数、LF/HF および HF/(LF+HF)の値を示した。

表1 仰臥位安静時および仰臥位他動歩行時における心拍数および心拍変動周波数成分の変化

	心拍数 (bpm)	LF/HF	HF/(LF+HF)
安静時			
足底圧力無	69.0±11.2	2.8±1.7	0.3±0.2
足底圧力有	70.6±13.5	2.1±1.2	0.4±0.1
他動歩行時			
足底圧力無	72.5±11.6	2.3±1.7	0.4±0.2
足底圧力有	71.7±12.3	2.8±2.2	0.3±0.1

LF/HF: 交感神経活動の指標

HF/(LF+HF): 副交感神経活動の指標

全ての変数ともに、安静時と他動歩行時の値に有意差は認められなかった。また、足底への圧力の有無による差異も認められなかった。一方、安静時に対する他動歩行時の変化の割合について検討したところ、LF/HFについては、圧力有では、152±86%、圧力無しでは、100±66%であり、両者に有意差は認められなかったが、8名中6名では圧力有の方が高い値を示した。一方、HF/(LF+HF)については、圧力有では93±40%、圧力無しでは、129±21%であり、両者に有意差は認められなかったが、8名中6名では圧力有の方が低い値を示した。これらの結果から、圧力有の他動歩行の方が、交感神経活動が優位になる可能性が得られた。しかしながら、今回の研究では、仰臥位他動歩行器具の技術的な限界から、頸髄損傷者での仰臥位他動歩行は実施できていない。

- (4) 一般的に運動時の呼吸循環反応は、脳(視床下部、延髄)からの指令に基づいて発動するというのが一般的な考え方であるが、本研究では、脊髄は脳からの指令が無くても自律神経系が興奮し、呼吸循環反応が生じることを証明することを目的とした。このような点で、本研究は斬新なアイデアやチャレンジ性を有するものであった。本研究では、足底への圧力が加わる他動歩行では、高い自律神経活動が生じる可能性を見いだせた点では、目的の一部を達成できたと考える。今後は、頸髄損傷者の仰臥位他動歩行にて、足底への圧力の有無が自律神経活動ならびに呼吸循環反応に及ぼす影響について検討する必要がある。また、エネルギー代謝に関わる内分泌系の反応についても明らかにしていく必要がある。これにより、脊髄固有のエネルギー代謝機能について洞察を深めることができると考える。

- (5) 本研究の結果を受けて、今後は少なくとも以下2つの展望が考えられる。

麻痺を有する患者は、運動量が少ないために肥満に伴う生活習慣病が問題視されているが、もし脊髄固有の機能により、自律神経活動が亢進し、呼吸循環反応が生じ、エネルギー代謝が亢進することがあれば、他動歩行により脊髄機能を賦活し、生活習慣病を防止するための新たな健康運動法を提案することになる。

これからの超高齢社会では、寝たきりで運動不足になり、廃用症候群を起こす者が多くなることが予想される。本研究では仰臥位でも実施できる他動歩行の装置を開発したが、この方法により、廃用症候群の防止にも役立つことが考えられる。

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)

Hisayoshi Ogata, Ikuyo Fujimaru, Keiko Yamada, Takaharu Kondo. Higher ventilatory responses during and after passive walking-like leg movement in older individuals. J Physiol Anthropol, 査読有, Vol.32, No.1, 2013, p.20-, DOI: 10.1186/1880-6805-32-20

[学会発表](計1件)

尾方寿好, 浦井久子, 藤丸郁代, 近藤孝晴. 若年者における他動的な腕振り動作時における三角筋の筋活動応答. 『第18回日本体力医学会東海地方会学術集会』 2014.3.16, あいち健康の森健康科学総合センター(愛知県・知多郡東浦町)

6. 研究組織

(1)研究代表者

尾方 寿好(OGATA, Hisayoshi)
中部大学・生命健康科学部・准教授
研究者番号: 80415364