

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：33916

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11223

研究課題名(和文) 脊髄損傷者における歩行練習支援ロボットWPAL使用時の歩容と筋活動の評価

研究課題名(英文) Evaluation of Gait and Muscle Activity in Patients with Spinal Cord Injury Using the Walking Assist Robot WPAL

研究代表者

平野 哲 (Hirano, Satoshi)

藤田医科大学・医学部・臨床教授

研究者番号：80535419

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：脊髄損傷者がロボットで歩く際の体幹の傾きを、動画解析ソフトを用いて分析した。矢状面および前額面を撮影し、体幹側傾角(第7頸椎と第5腰椎を結ぶ線が鉛直に対して成す角度)、体幹前後傾角(肩峰と腸骨稜を結ぶ線が鉛直に対して成す角度)を算出した。頸髄損傷4名、胸髄損傷5名について、計測・解析を行った結果、神経学的レベルが高位であるほど、体幹側傾角範囲、体幹前後傾角範囲が大きかった。また、体幹側傾角範囲は歩行自立度、連続歩行距離と負の相関を認めた。体幹側傾角範囲の減少は運動学習の進捗を表す可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脊髄損傷による完全対麻痺・四肢麻痺は現在の医療では回復が困難であり、患者の主な移動手段は車いすとなるが、再び立ちたい、歩きたいと願っている患者は多い。近年では歩行自立を支援するロボットが開発されており、ロボットを用いれば歩行が可能となった患者も多い。一方で、再建された歩行は健常者とは歩容が異なり、その理想型は損傷高位によっても異なると予想される。しかし、現時点では損傷高位に応じてどのような歩容を目指して指導していくべきか明らかでない。従って、損傷高位や歩行能力に応じた、ロボットを用いた際の歩容を明らかにすることは、患者に指導をする上で有用であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The tilt of the trunk of a spinal cord injured person walking with a robot was analysed using video analysis software. The sagittal and forehead planes were filmed, and the lateral tilt angle of the trunk (the angle formed by the line connecting the seventh cervical vertebra and the fifth lumbar vertebra to the vertical) and the anteroposterior tilt angle of the trunk (the angle formed by the line connecting the acromion and iliac crest to the vertical) were calculated. Measurements and analyses of four patients with cervical spinal cord injuries and five patients with thoracic spinal cord injuries showed that the higher the neurological level, the greater the range of trunk lateral tilt angle and trunk anterior-posterior tilt angle. The range of trunk lateral tilt angle was negatively correlated with the degree of walking independence and continuous walking distance. A decrease in the range of trunk lateral tilt angle may indicate progress in motor learning.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：脊髄損傷 対麻痺 四肢麻痺 リハビリテーション ロボット 歩行分析 歩行再建

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脊髄損傷による完全対麻痺・四肢麻痺は現在の医療では回復が困難であり、患者の主な移動手段は車いすとなるが、再び立ちたい、歩きたいと願っている患者は多い。近年では歩行自立を支援するロボットが開発されており、ロボットを用いれば歩行が可能となる患者も多い。一方で、再建された歩行は健常者とは歩容が異なる。多くのロボットでは、下肢の運動は矢状面の運動に限定されるため、床反力による重心制御は困難であり、体幹が主導した重心移動となる。頸髄損傷のように体幹筋の随意性も消失/減弱している場合には、体幹筋により体幹を垂直に保つことすら困難となる。このような場合には、上肢で歩行器・杖などの補助具を操作することで、歩行周期に合わせて体幹を適切な位置に移動させることが重要である。しかし、ロボットを用いた際の歩容に関する従来の研究では、骨盤や下肢の運動について分析したものが多く、体幹の位置・姿勢について報告した例は少なく、損傷高位や歩行能力との関連を分析した報告はない。完全対麻痺・四肢麻痺患者において、下肢運動は随意的に制御できず、制御可能なのは上肢と体幹であるが、どのように体幹を制御すべきかの模範がない状況であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、脊髄損傷者が歩行補助ロボットで歩く際の体幹の姿勢を動作解析によって算出し、その特性を明らかにすることである。神経学的レベルや歩行能力との関係进行分析し、可能であれば同一患者の歩行習熟前後の歩容を比較する。神経学的レベルや歩行能力ごとの体幹の姿勢の特性が明らかになれば、歩行練習の指導を行うときに参考にできることが期待される。

3. 研究の方法

使用した歩行補助ロボットは Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) である。WPAL は内側股継手付き両長下肢装具に両側股関節・膝関節・足関節に合計 6 個のモーターを配した構造となっている。支柱やモーターなどの構造物が両下肢の間に配置されている(内側系構造)ため、自分の車いす上で装着が可能というメリットがある。また、内側股継手の採用により、外側股継手を採用した装具・ロボットよりも骨盤部分での不安定さが少なく、立位が安定するという特徴がある。もともとは完全対麻痺の歩行自立を支援するためのロボットとして開発されたが、四肢麻痺患者の歩行練習にも応用されている。

対象は WPAL にて歩行練習を行っている脊髄損傷患者で Functional Ambulation Category (FAC) 3 点 (監視歩行) 以上のものとした。第 7 頸髄棘突起、第 5 腰椎棘突起、両側肩峰、両側腸骨稜上端にカラーマーカを貼付し(図 1、図 2)、矢状面および前額面(後方より)よりビデオカメラにて連続 8 歩以上歩行を撮影した。歩行分析には、動画解析ソフト ダートフィッシュを用いることとし、連続 6 歩を解析対象とした。第 7 頸椎と第 5 腰椎を結ぶ線が鉛直に対して成す角度を体幹側傾角、肩峰と腸骨稜を結ぶ線が鉛直に対して成す角度を体幹前後傾角(体幹が前傾の場合に正)と定義し、体幹側傾角の範囲、体幹前後傾角の範囲と平均値を算出し、体幹前後傾角の平均値を体幹前後姿勢角と定義した。体幹側傾角範囲、体幹前後傾角範囲、体幹前後姿勢角と神経学的レベル、連続歩行距離、FAC との相関を検討した。なお、神経学的レベルは第 1 頸髄を 1 とし、尾側となるにつれて 1 増える(第 12 胸髄は 19 となる)と定義した。



図 1 WPAL による歩行の様子とカラーマーカの位置 (矢状面)



図 2 WPAL による歩行の様子とカラーマーカの位置 (前額面)

4. 研究成果

9名の脊髄損傷患者（頸髄損傷患者4名，胸髄損傷患者5名）を対象として計測を行った．体幹側傾角範囲，体幹前後傾角範囲，体幹前後姿勢角の中央値（最小値，最大値）はそれぞれ， 14.1° (6.0° ， 23.5°)， 20.8° (10.1° ， 39.8°)， 0.0° (-13.5° ， 14.4°)であった．神経学的レベルとこれらの角度との関係を調べたところ，体幹側傾角範囲と-0.81，体幹前後傾角範囲と-0.56，体幹前後姿勢角と-0.35の相関係数が得られた．つまり，神経学的レベルが高位であるほど，歩行中の前後，左右への体幹角度の変化が大きいたことが示された．また，それぞれの角度と連続歩行距離・FACとの相関係数を求めたところ，体幹側傾角範囲と連続歩行距離，FACの相関係数はそれぞれ-0.50，-0.62であり，中等度の相関を認めた．今回，複数回の計測を行った2名においては，上達につれて体幹側傾角範囲の減少を認めたことから，体幹側傾角範囲の減少が運動学習の進捗を表す可能性が示唆された．

研究期間中，COVID-19の流行があり，当院外来への通院リハビリテーションを中止せざるを得ない時期があった．また，患者が感染を恐れて来院を控えることもあった．そのため，予定された3年間では十分な症例数を集めることができず，研究期間を1年間延長した．その結果，神経学的レベルと体幹姿勢の関係の傾向を掴むために必要と思われる症例数はある程度確保できたが，患者の歩行の習熟が進まず，習熟前後の比較を行うことができたのは2症例に留まった．今後も研究を継続し，歩行の習熟による変化を追跡する予定である．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Koyama S, Tanabe S, Gotoh T, Taguchi Y, Katoh M, Saitoh E, Otaka Y, Hirano S	4. 巻 -
2. 論文標題 Wearable Power-Assist Locomotor for Gait Reconstruction in Patients With Spinal Cord Injury: A Retrospective Study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 frontiers in Neurobotics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnbot.2022.775724	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 松本麻由, 後藤豪志, 平野 哲, 角田哲也, 加藤正樹, 田辺茂雄, 熊澤暢宏, 北原大暉, 田口雄太, 兵藤綾乃, 伊東健斗, 熊谷綾華, 宇野秋人, 才藤栄一, 大高洋平
2. 発表標題 歩行自立支援ロボットWPALを用いた歩行の習熟過程における上肢筋活動の変化：対麻痺者1例での検討
3. 学会等名 第5回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平野 哲
2. 発表標題 歩行補助ロボットWPALによる対麻痺者の実用的歩行再建
3. 学会等名 第56回日本脊髄障害医学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Gotoh T, Hirano S, Tanabe S, Katoh M, Koyama S, Kumagai A, Tsunogai S, Tsunoda T, Uno A, Takemitsu T, Saitoh E, Otaka Y
2. 発表標題 Relationship between neurological level and walking ability with a robot in spinal cord injury patients
3. 学会等名 60th Annual Scientific Meeting of The International Spinal Cord Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔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	大高 洋平 (Otaka Yohei) (00317257)	藤田医科大学・医学部・教授 (33916)	
研究分担者	向野 雅彦 (Mukaino Masahiko) (30424170)	北海道大学・医学部・教授 (33916)	
研究分担者	才藤 栄一 (Saitoh Each) (50162186)	藤田医科大学・医学部・教授 (33916)	
研究分担者	田辺 茂雄 (Tanabe Shigeo) (50398632)	藤田医科大学・保健学研究科・教授 (33916)	
研究分担者	角田 哲也 (Tsunoda Tetsuya) (80795609)	藤田医科大学・医学部・講師 (33916)	
研究分担者	小山 総市朗 (Koyama Soichiro) (90754705)	藤田医科大学・保健衛生学部・准教授 (33916)	

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
---------	---------