

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：82404
研究種目：若手研究
研究期間：2021～2023
課題番号：21K17466
研究課題名（和文）脳卒中患者における方向転換動作の特徴解明と臨床応用のための動作計測手法の開発

研究課題名（英文）Development of motion measurement system in analyzing for turning of stroke patients

研究代表者
志水 宏太郎（Shimizu, Kotaro）
国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所 運動機能系障害研究部・流動研究員

研究者番号：90895947
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究成果は三次元動作解析装置を用いて、応用歩行動作の一つある方向転換動作について運動学的分析を行うことにより、方向転換動作に必要な構成要素を明らかにした。またこれらの動作分析を臨床現場でも行うことができるよう、RGB画像や深度データを用いた簡易的な動作解析手法についても検証し、歩行動作におけるこれらの手法の有用性と臨床応用可能性を示した。さらにこれらの手法を用い、多様な疾患を有する患者の歩行計測を行うことで、歩行動作における疾患固有の特徴抽出が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における学術的意義として、日常生活に近い応用歩行動作である方向転換動作の運動学的特徴の一部が明らかになったことで、理学療法場面における歩行機能評価としての有用性の一部を示すことができた点が挙げられる。また本研究では設備が限られる臨床現場で歩行動作の運動学的解析が可能になるよう、画像や深度データを用いた簡便な三次元動作解析手法の精度や有用性を検証しており、これらの手法が臨床現場においても活用できる可能性を示すことができた点が社会的意義として大きいといえる。これらの簡便計測手法の発展は臨床現場の運動機能評価の定量化という点において意義深い。

研究成果の概要（英文）：Results of this study showed characteristics of adaptive gait such as changing direction during walking. We also verified the accuracy and usefulness of convenient measurement using RGB image and depth image in clinical situation. In addition, we measured kinematics data of gait in various disease patient using this measurement system. These results revealed disease specific characteristics of gait.

研究分野：理学療法学

キーワード：歩行 三次元動作解析

1. 研究開始当初の背景

脳卒中患者における歩行機能評価は日常生活動作の安定性を評価する上で必要不可欠である。日常生活動作で歩行動作を遂行する上では、周囲の環境や空間を適切に認識する必要があり、必要に応じて方向転換などの応用歩行動作が求められ、これらの動作の遂行には運動機能のみならず、感覚機能や高次脳機能が必要になる。したがって方向転換動作などの応用歩行動作を詳細に分析することで、多様な症状を有する脳卒中患者の動作の特徴や課題を捉えることができる可能性があるといえる。

臨床場面における運動機能評価については、10m歩行テストや Berg Balance Scale や Timed Up and Go test などのように運動時間や、観察に基づく質的な評価やスコア付けに則って行われることが一般的である¹⁾。これらの運動機能評価は特別な計測機器や実験設備が必要ないという利点がある一方で、動作や姿勢の運動学的特徴や定量化できない点に加えて、予測的な歩行制御や空間認知を要素が少なく、感覚障害や高次脳機能障害などの運動機能低下に起因しない歩行機能障害を評価するには不十分であるといえる。

先行研究では、Timed Up and Go test (図1) などの方向転換の要素を包含した応用歩行動作について、三次元動作解析装置を用いて詳細に分析する試みが行われており、一連の動作は起立動作、歩行動作、方向転換動作、着座動作の構成要素に分解し、各動作位相における動作時間や運動軌跡から動作の特徴付けが行われてきた。しかしながらこれらの先行研究では、麻痺の有無や麻痺側の違いといった運動麻痺の要素に注目されており、それ以外の要素が及ぼす影響については十分に明らかにされていない。加えて、研究レベルで用いられている光学式の三次元動作解析装置は計測機器自体のコストや解析コストが高く、臨床現場での日常の運動機能評価として用いるには制約が多い。そのため、臨床現場で詳細な動作分析を定量的に行うためには、光学式の三次元動作解析装置の代替となり、かつ解析や計測コストが低い計測手法の開発が求められる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、第一に光学式の三次元動作解析装置を用いて、脳卒中患者における方向転換動作を運動学および運動力学的視点から構成要素に分解し、各動作位相の特徴と疾患特性との関係性を明らかにすることである。特にこれまでの先行研究では運動機能障害に主眼が置かれており、感覚機能障害や視覚障害、高次脳機能障害といった他の要因に起因する歩行機能障害に注目されることが少ない。そのため本研究ではより脳卒中の疾患由来の特性を包括的に含んだ歩行機能障害の評価方法の確立を目指す。

さらに第二の目的として、本研究で得られた知見を臨床現場に汎化させるために、三軸加速度計やジャイロセンサー、動画、深度センサーといったマーカーレスかつ臨床現場でも利用可能な簡便な計測デバイスを用いた三次元動作分析の手法の精度検証を行い、歩行動作を簡便かつ精度高く計測可能な手法の確立を目指す。本研究で得られた手法を用いることで、これまで観察に基づいた質的な評価が主流であった歩行機能評価を定量化することが可能になる。



図1 Time Up and Goの概要

3. 研究の方法

(1) 本研究では、第一に疾患特性の異なる脳血管疾患患者8名と視覚障害者9名を対象に、三次元動作解析装置を用いて、Time Up and Go test中における方向転換動作の運動学的特徴について検討した。三次元動作解析には、14台の赤外線カメラから構成されるMac3D Systemを用いて、Helen Hayes Marker setに基づき身体各所29点に貼付した赤外線反射マーカの三次元座標から方向転換動作中の身体中心の三次元座標を取得し、身体中心の運動軌跡および方向転換対象物に対する相対位置などの空間変数、方向転換中の回転力、方向転換前後の頭部回旋角度を算出し、各疾患特性に応じた方向転換動作の特徴比較を行った。

(2) さらに本研究では、方向転換動作に関連する歩行動作について、画像データといった比較的安価で計測コストの低い代替手法を用いて、従来の三次元動作解析装置との精度比較を行い簡便な代替手法の臨床応用性について検証した。対象者は異なる歩行障害の特徴を有する患者12名とし、疾患内訳は脳血管疾患、脊髄小脳変性症、不全脊髄損傷それぞれ4名ずつとした。光学式の三次元動作解析装置は、(1)の研究と同様の環境を用いた。また画像データの計測には市販のビデオカメラ(HDR-CX680)二台を使用した。運動課題は快適歩行速度による直線歩行とし、ビデオカメラによる撮影は、矢状面と前額面から行った。画像データを用いた関節位置推定には、骨格推定アルゴリズムMeTRAbs²⁾(図2)を用い、矢状面と前額面から撮影された動画データから得られる三次元座標データを統合した。上記の異なる手法で計測した三次元位置座標を用いて、歩行中における身体中心座標、股関節角度、膝関節角度および足関節角度の時系列データを算出した。各計測手法の比較には、身体中心座標、各関節角度の時系列データに対して、相関係数および二乗平均平方根誤差(Root Mean Squared Error: RMSE)を求めた。

(3) 上記(2)の研究に加えて、深度点群データを用いた骨格位置推定による歩行動作を実際の臨床現場で計測し、様々な疾患背景を有する患者の歩行動作の抽出を図った。対象者は健常成人を含む1388名とし、対象者の疾患は、脳血管疾患、運動器疾患、パーキンソン病、脊髄小脳変性症、不全脊髄損傷、廃用症候群とした。運動課題は直線歩行とし、歩行中における三次元座標データから、身体各関節の関節角度、身体中心の運動軌跡(歩行効率)、歩行速度、ステップ長や立脚時間といった歩行に関連する時空間変数を算出した。統計学的解析には、相関分析を用いて、本研究手法によって算出された歩行変数間の相関関係について検証した。



図2 骨格推定技術MeTRAbsを用いた歩行動作の推定結果の例

4. 研究成果

第一に(1)の研究については、三次元動作解析から得られた運動学的解析により、脳血管疾患患者の方向転換動作の疾患特性に応じた運動戦略の特徴が認められた。例えば運動麻痺のみの慢性期脳卒中の症例では、麻痺側の方向転換では広い空間マージンを取る戦略が認められ、方向転換動作中の回転力のピークの数異なる特徴が抽出された(図3)。

また運動麻痺に加えて半盲症状を有する症例では、半盲側への方向転換の場合には空間マージンを広くとる、かつ方向転換前には頭部の回旋が先行する戦略が加えて行われることが明らかとなった(図4)。

加えて視覚障害者の方向転換動作では、中心視野と両眼視の有無により方向転換動作の運動戦略に違いが生じることが示され、方向転換動作における視覚認知の重要性が明らかとなった。

(2)および(3)の研究では、それぞれ画像と深度データという異なる計測手法による歩行

動作の簡便計測手法について検討したが、いずれの簡便計測手法を用いても、様々な疾患背景に起因する患者歩行の特徴を捉えることが可能であることが示された。(2)の研究では、慢性期脳血管者疾患、脊髄小脳変性症、不全脊髄損傷を対象にした歩行動作の精度検証を行い、身体中心の前後方向座標、左右方向座標の時系列データ、股関節および膝関節角度の時系列データについて、光学式の動作解析装置の手法で算出した結果と比較して、高い相関係数($p>0.8$)を示し、RMSEについては身体中心 $RMSE<0.05m$ 、関節角度 $RMSE<10^\circ$ と、関節位置のランドマークの違いによるオフセットの違いはあるが、高い計測精度が認められた。

加えて(3)の研究では、(2)の研究とは異なり、深度データを用いた歩行動作の簡便計測手法について検証した。こちらの研究では、実際の臨床現場における様々な疾患背景を有する患者歩行データの収集を行うことができ、深度データを用いた簡便計測手法を用いて、疾患固有の歩行障害の特徴を抽出することができた。特に歩行速度と、歩行中の左右方向、前後方向、上下歩行の加速度の合成成分である歩行効率の指標の分布(図5)では、各疾患群や重症度に応じた分布の違いが認められた。また本研究結果は、疾患に関連する基本情報(Brunnstrom Stageや、Hoehn-Yahrの重症度分類ステージ、Functional Independence Measureなど)も同時に収集しており、歩行障害特性と疾患重症度の関連、日常生活機能の関連といった臨床現場の理学療法評価に直結する指標を内包しており、今後さらなる解析が求められる。

なお本研究では、これらの簡便計測手法に方向転換などの応用歩行動作へ実装するところまでは至らなかったが、今後の骨格推定技術の発展により、直線歩行のみならず、より複雑な応用歩行動作までカバーされることが期待される。

<引用文献>

- 1). A Shumway-Cook, AE Patla et al. Environmental Demands Associated With Community Mobility in Older Adults With and Without Mobility Disabilities. Physical Therapy, 2002;82:670-681
- 2). I Sáráandi, T Linder et al. Metrabs: metric-scale truncation-robust heatmaps for absolute 3d human pose estimation. IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science.2020;3:1

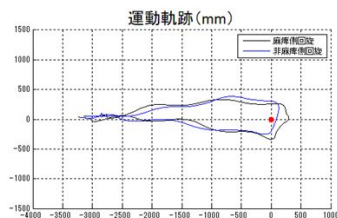


図3 運動麻痺を有する脳血管疾患患者の方向転換動作の例

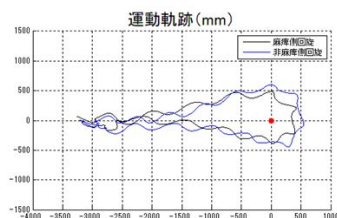


図4 運動麻痺+半盲を有する脳血管疾患患者の方向転換動作の例

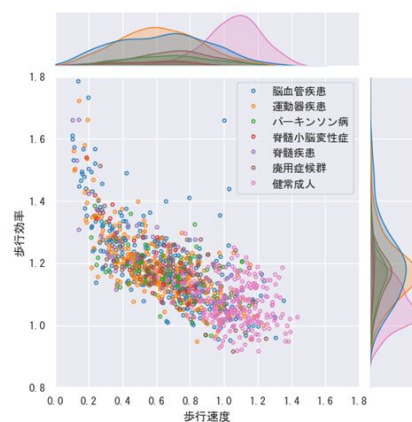


図5 各疾患群における歩行速度と歩行効率の分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 志水宏太郎、河島則天
2. 発表標題 視覚障害者における方向転換動作の運動学的特徴
3. 学会等名 第59回日本リハビリテーション医学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 志水宏太郎、河島則天
2. 発表標題 異なる計測・解析原理による歩行計測システムの精度相互検証
3. 学会等名 第20回日本神経理学療法学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 志水宏太郎、河島則天
2. 発表標題 矢状面・前顔面の動画データを用いた歩行動作の運動学的評価の精度検証
3. 学会等名 第59回日本リハビリテーション医学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 志水宏太郎, 森田暢謙, 中村耕太, 河島則天
2. 発表標題 有機圧電フィルムとカーボン素材の特性を活かしたインソール型力学計測システムの開発
3. 学会等名 ライフサポート学会大会 (LIFE2020-2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志水宏太郎, 河島則天
2. 発表標題 視覚障害者における方向転換動作の運動学的特徴
3. 学会等名 第59回日本リハビリテーション医学会学術集会
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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