

令和 2 年 7 月 15 日現在

機関番号：82660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2019

課題番号：26350601

研究課題名(和文)脳卒中片麻痺歩行のための臨床用簡易歩行分析・評価システムの開発

研究課題名(英文)Development of clinical simple gait analysis system for hemiplegia

研究代表者

村岡 慶裕 (Muraoka, Yoshihiro)

独立行政法人国立病院機構村山医療センター(臨床研究部)・生体機能制御解析室・客員研究員

研究者番号：10338254

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：3次元磁気式位置計測装置を用いて、5種類の歩行分析システムを開発し、各システムについて、研究代表者ら自らが被検者となり、既存の光学式3次元動作解析装置MAC3D System (MAC3D)と比較することで、精度確認を行った。その結果、健側患側別のストライド長やステップ長、歩行周期、遊脚/立脚期時間などの重要な指標が十分な精度で得られることが確認された。さらに、そのうち一種のシステムについては、脳卒中被験者を対象に、歩行分析を実施し、従来の光学式や超音波式の歩行分析装置では計測することのできない、介助者が存在した場合の歩行計測においても、計測が実施可能であることが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超高齢社会となり、脳卒中など片麻痺による歩行障害者が急増しており、多くの病院で歩行リハビリテーションが行われている。麻痺の回復過程を確認するために、左右別の歩行分析法や評価法が必要となるが、それを可能とする高精度の装置は、高価で広い計測空間を要するため、病院への導入が困難になっている。そのため、ストップウォッチによる左右の平均の歩行分析が行われている。また、介助者付きの歩行分析もできない。今回、高精度の歩行分析装置に比べ安価で、広い空間を要せず、介助者付でも左右別の歩行分析が可能なシステムを開発した。

研究成果の概要(英文)：Using Three-dimensional magnetic-type position measurement system (PATRIOT or PATRIOT Wireless), we developed five kinds of gait analysis systems. About each system, we conducted precision confirmation by comparing it with existing optical three-dimensional movement analysis device MAC3D System. As a result, it was confirmed that important indexes (such as step length, stride length, the gait cycle, the stance phase period and the swing phase period In right and left respectiveness) were obtained with enough precision. Furthermore, about a kind of system of those, we conducted a gait analysis in stroke subjects. It was found that the gait measurement with a helper which could not be measured with the conventional gait analysis device such as the optical-type system ultrasonic wave type system, and so on was possible by developed system.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：3次元磁気式位置計測装置 異常歩行 介助歩行 ルームランナー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本邦は少子高齢化社会に突入し、要介護者の増加や労働力不足などの課題に直面している。要介護者 124 万人のうち脳卒中を原因疾患とするものは約 3 割となっており、脳卒中に費やされる医療費の年間 1 兆 9 千億円は、疾患別で悪性腫瘍に次いで第 2 位となっている。患者数は 173 万人と推定されており、2020 年には 300 万人に達すると考えられている。このような社会的背景より、脳卒中患者の社会復帰を促す治療法の発展が望まれている。

脳卒中患者の多くが下肢麻痺による歩行障害を抱え、リハビリテーションを実施している。脳卒中を主とした歩行障害は、リハビリテーション医療において高頻度の障害であり、日常生活動作を低下させる要因となっている。歩行分析は、歩行障害の病態理解や治療効果の確認など重要な役割を担っている。

科学技術の進歩により、三次元動作分析装置、筋電図計、大型床反力計、呼気ガス計測器など多岐にわたる歩行に関連する種々の分析機器が開発され、運動学、運動力学、生理学的指標を用いた研究が数多く報告されるようになった。三次元動作分析装置は、時間・距離因子分析や運動学的分析に優れており、定量的かつ客観的歩行分析も可能である。しかしながら、臨床では、10m 歩行で要した時間をストップウォッチにて計測する歩行速度とその歩数から計算する歩幅と歩行率、さらには視診による異常歩行パターンの類型化による歩行分析が一般的であり、三次元動作分析装置、大型床反力計などといった高度な計測機器はほとんど活用されていない。

その理由として、専有計測空間の確保を要する問題がある。通常、三次元動作分析装置で平地歩行を計測するには、歩行路として一定空間を確保する必要がある。そして、計測対象者の身体に貼付された反射マーカをカメラが捉えるため、計測対象者以外の者が、この空間に侵入できない。しかしながら、一般的な診療施設の訓練室には、他の患者や医療従事者が存在し、広い計測空間を独占して確保することは困難である。さらに、計測と解析に要するコストの問題がある。臨床では、多数の患者を限られた時間の中で効率よく治療しなければならない。現在の理学療法の診療報酬体系では、一般的な理学療法は一人当たり 40-60 分以内で検査に加え治療も行わなければならない。従って、短時間で計測、分析することが要求されるが、現在、活用されている三次元動作分析装置の多くは、このような計測と解析のコストまで考慮した仕様にはなっていない。その他の理由として、臨床における歩行分析の対象者の問題がある。臨床で歩行分析が必要となる対象者は、杖などを要し、耐久性が低く自立歩行が困難であることが多い。また、1 回の歩行計測で採取できる歩数は、せいぜい片側 3-6 歩程度であるため、繰り返し往復し、多数歩を採取する必要が生じる。しかし、耐久性が低いと複数回の計測は不可能である。

研究代表者ら（大塚、村岡他、トレッドミル歩行分析:リサーチ図形を用いた新しい三次元動作解析法、臨床脳波、48:541-546、2006）は、これらの問題を解決するために、トレッドミルを用いた歩行分析法を開発してきた。トレッドミル歩行分析は、トレッドミルが、同一空間上を歩行するという特性から、省空間での計測を可能とし、設定した一定の速度で多数歩を連続的に採取することができ、再現性の低い患者でも意味のあるデータを得ることが可能となった。さらに、手すりや懸垂装置を併用した計測が容易となるので、自立度の低い患者の計測が可能であり、リサーチ図形という視診に似た直感的に理解しやすい指標を容易に得ることができた。

しかし、トレッドミル上の歩行は、視覚入力や慣性、ベルト速度に歩行速度を適合させる点において、平地歩行と同一の歩行とは言えず、特殊な制約環境の下での歩行を評価している点は排除できないという問題もあった。また、他の 3 次元動作解析装置に比べて、省スペースといえども、4m×4m 程度の空間を常時確保しなければならない問題もあった。

2. 研究の目的

本研究では、米国 POLHEMUS 社製有線式 3 次元磁気式位置計測システム (PATRIOT) または、同社製無線式 3 次元磁気式位置計測システム (PATRIOT Wireless: PATRIOT-W) を用いて、簡便で実用的な片麻痺者用歩行分析システムを開発することを目的とした。従来のストップウォッチ計測による両側ステップ長、ケイデンス、歩行スピードに加え、片麻痺者の歩行分析で必要とされる健側患側別のストライド長やステップ長、歩行周期、遊脚 / 立脚期時間の算出可能なシステムの実現を目指した。

3. 研究の方法

PATRIOT / PATRIOT-W を用いて、5 種類の歩行分析システムを開発し、各システムについて、研究代表者ら自らが被験者となり、既存の光学式 3 次元動作解析装置 MAC3D System (MAC3D) と比較することで、精度確認を行った。そのうち一種のシステムについては、脳卒中被験者を対象に、歩行分析を実施し、従来の MAC3D 等では分析できない、介助歩行についても、歩行分析可能であることを確認した。尚、本研究は、松戸リハビリテーション病院、および、国立病院機構村山医療センター内倫理審査にて承認を得て実施した。また、被験者には研究参加に関する説明を行い、同意を得た。

(1) PATRIOT の概要

PATRIOT は図 1 に示すように、システムコントロールユニット (大きさ 17.1×15.9×4.5cm、重さ 0.4kg)、磁界発生源トランスミッタ (大きさ 5.4×5.4×5.4cm、重さ 20.4g)、磁力計測部センサ (2.3×2.8×1.3cm、重さ 9g) によって構成される三次元磁気式位置計測システムである。

本装置は、トランスミッタにより磁界を発生させ、磁力を感知するセンサのトランスミッタに対する位置座標 (X、Y、Z) および姿勢角 (roll、pitch、yaw) の 6 自由度で検出する。トランスミッタの周囲約 76cm の範囲で測定が可能となっているが、トランスミッタを大きいサイズに変更する(大きき 10.3×10.3×10.3cm、重さ 45g)ことで 40%測定範囲を拡大することができる。基本仕様として、トランスミッタとセンサ間約 76cm に対する計測精度は、位置 1.52mm、角度 0.4 度、サンプリング周波数は最大の 2 センサ使用時で 60Hz である。磁気センサによる計測は比較的即時に行うことができ、光学式や音波式とは異なり、トランスミッタとセンサの間に物理的な障害があっても影響されない特徴がある。しかし、計測できるチャンネルが 2 つしか無いことと、発生させた磁界内に磁界を歪ませる金属類やコンクリートが存在すると、計測の精度が低下する場合があるため注意が必要である。



図 1 PATRIOT



図 2 PATRIOT Wireless

(2) PATRIOT-Wireless の概要

PAT-W は、図 2 に示すようにシステムコントロールユニット (大きき 17.1×15.9×4.5cm、重さ 0.4kg)、計測エリアを設定するレセプタ (大きき 6.4×3.6×3.6cm、重さ 90.7g)、磁界発生源であるワイヤレスマーカ (大きき 7.4×4.0×2.2cm、重さ 56.7g) から構成される。レセプタの周囲約 120cm の範囲で、ワイヤレスマーカの位置など 6 自由度の測定が可能である。基本仕様は PATRIOT とほぼ同等で、レセプタとマーカ間約 76cm に対する計測精度は、位置 0.75mm、角度 1.0 度であり、サンプリング周波数は 50Hz、RS-232C もしくは USB ポートを用いて PC とシリアル通信が可能である。PAT と比較した場合のメリットは、センサがワイヤレスマーカとなり、さらに可搬性が向上した点があげられる。その反面、計測前にレセプタの有効測定範囲に使用するワイヤレスマーカを登録する作業が必要となったこと、ワイヤレスマーカの内蔵バッテリーの問題で連続計測可能時間が 2 時間に制限されることが、デメリットとしてあげられる。ワイヤレスマーカとレセプタの増設により、最大 4 箇所のトラッキングが可能である。

(3) PATRIOT および PATRIOT-W と PC 間通信のコードレス化、バッテリー駆動化

本研究では、PATRIOT および PATRIOT-W 共に、機器の可搬性を向上させるため、図 3 に示すように、システム本体をモバイルバッテリー (Protek VARIOUS PVB-11000) による電池駆動へ、コントロールユニットと PC 間の RS-232C による Bluetooth (Sena Parani-SD1000) 通信へ改良を行い、電源コードや通信ケーブルのコードレス化を図った。

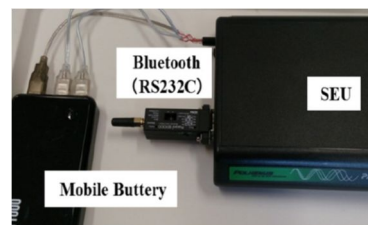


図 3 電源コードと通信ケーブルのコードレス化

4. 研究成果

(1) PATRIOT 搭載台車による歩行分析システムの構築と精度試験

PATRIOT は、トランスミッタを原点とし、半径約 1m の半球状の磁場空間内におけるセンサの座標と姿勢角を計測する。提案手法は、図 4 に示す通り、受信センサを被検者の両側足背部に、発生源と本体をプラスチック製台車に搭載し、検者が、左右足背部のセンサが磁場計測空間から逸脱しないように、進行方向を一定に保ちながら並走させるものとした。リハビリ訓練室に設置されている 10m 歩行路などの移動距離が既知の空間で計測を行い、磁場の歪みによる系統誤差の補正を行った。MAC3D と、左右非対称歩行など、7.2m の歩行において、同時計測を実施し、比較することで、精度試験を実施した。その結果、左右の進行方向の相対距離の経時変化について、両者間に 0.91-0.99 の高い相関が認められた。



図 4 計測の様子

(2) PATRIOT とルームランナーによる歩行分析システムの構築と精度試験

安価で折り畳み収納できる家庭用ルームランナーと PATRIOT を用いて、歩行分析・評価システムを構築し (図 5)、その精度を検討するために、MAC3D と同時計測を実施した。PATRIOT のトランスミッタをルームランナーのベルト底面中央に設置した。40 代健常男性を被験者とし、左右の足背部舟状骨上に PATRIOT のセンサを各 1 個と、その上面に MAC3D 用の反射マーカ

を各 1 個取り付け付けた。ルームランナー上を正常歩行、および、擬似的に異常歩行である左右の分廻し歩行を時速 1km にて 20 秒間行い、PATRIOT と MAC3D による同時計測にて各 2 回、計 6 試行実施した。左右方向と前後方向の座標において相関係数が 0.9 前後の非常に高い相関が認められた。

(3) PATRIOT-W 搭載台車による歩行分析システムの構築と精度試験、および、介助歩行分析への適用

PATRIOT-W と PC を台車に搭載した歩行分析・評価システムを構築(図 6)し、その精度を検討するために、MAC3D と同時計測を実施した。40 代健常男性を被験者とし、左右の足背部舟状骨上に PATRIOT-W のワイヤレスマーカを各 1 個と、その上面に MAC3D 用の反射マーカを各 1 個取り付け付けた。磁場を検出するレセプタが設置された台車を検者が押しながら、歩行被験者に設置された 2 つのマーカが発生する磁場範囲から台車のワイヤレスマーカが逸脱しないように追従し、歩行中の左右の足部の三次元位置座標(X、Y、Z)の経時変化を計測した。平地歩行路にて、正常歩行、および、擬似的に異常歩行である左右の分廻し歩行を行った。両方向とも、前後方向の座標において相関係数が 1.0 の非常に高い相関が認められた。左右方向については、異常歩行における分廻し側が 0.95 と高い相関が得られたが、健常歩行や異常歩行の健常側は、0.64-0.78 となった。これは、足部の移動幅が小さいためと思われる。

また、回復期リハビリ病院に入院中の脳卒中患者、男性 6 名(61±12 歳)を対象として、介助歩行の測定を行い、時間距離因子(歩幅、歩行時間、歩数、歩隔、歩行速度、歩行率)を求め、介助歩行評価を検討した。機能的自立度評価(Functional Independence Measure)移動点数は 1~7 点、バランス評価(Functional Balance Scale)は 2~50 点、片麻痺評価(Brunnstrom stage)は ~ レベル、簡易的認知症検査(Mini Mental State Examination)は実施困難~30 点であった。介助位置は、前方、側方、後方で任意とし、対象者の身体の一部を支えた。一方向の 8m 歩行を 1 試行に 1~2 回実施した。その結果、光学式や超音波式の歩行分析装置では計測することのできない、介助者が存在した場合の歩行計測においても、計測が実施可能であることが確認できた。平均歩幅 34.0±10.3cm、平均歩隔 16.0±1.6cm、平均歩行時間 15.3±1.6sec、平均歩数 14.3±7.2 歩、平均歩行速度 0.5±0.1m/s、歩行率 0.9±0.5step/min であり、脳卒中患者の左右非対称の歩行の特徴を捉えられることを解析結果(健側患側別のストライド長やステップ長、歩行周期、遊脚/立脚期時間)より確認された。

(4) PATRIOT-W 搭載用自動追尾台車の開発とそれを用いた歩行分析システムの精度試験

この時点までに開発したシステムでは、PATRIOT や PATRIOT-W を台車に乗せ、人力で後方から追尾する必要があり、歩行計測に際し、必ず 2 人以上の人員を必要としていた。そこで、これまで人力で押していた台車を発展させ、被検者から一定距離を維持して自動追従する台車を開発した。さらに、開発した台車を用いて、MAC3D と、歩行の同時計測を行い、データを比較することにより、基準関連妥当性を検討した。開発した自動追尾台車は、図 7 に示す通り、osoyoo 社製のロボットカーと木材フレームより構成した。超音波センサ型距離計測計により、歩行者との距離を 50cm を維持して追従するようにした。また PC と PATRIOT-W のシステムコントロールユニットをそれぞれ木材が L 字になっている部分に配置し、レセプタを木材の先端に配置し、被検者の左右足部の外側に配置されるようにし、常時、左右足部が計測範囲を逸脱しないようにした。座標系の X 軸方向が前後、Z 軸方向が上下になるように設定した。被検者の左右の足背部に 1 つずつ PATRIOT-W のワイヤレスマーカをバンドで固定し、

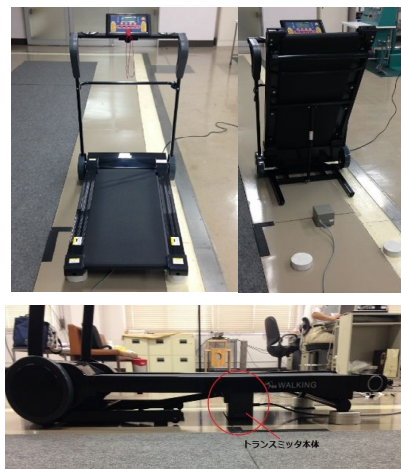


図 5 ルームランナーを用いた歩行分析システムにおけるトランスミッタの設置位置



図 6 センサ位置と装置構成、および、計測の様子

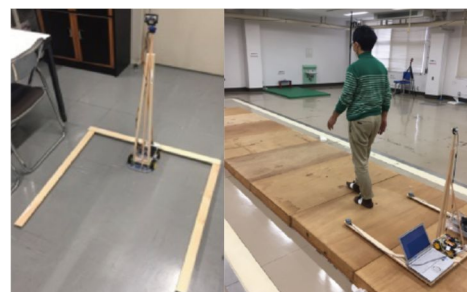


図 7 装置外観および、計測の様子

MAC3D マーカも PATRIOT-W のワイヤレスマーカ上に装着した。その後、PC および PATRIOT-W を乗せた台車が歩行者後方を 50cm 間隔で追従し、歩行中の左右の足部の三次元位置座標(X、Y、Z)を計測した。1名の健常成人の通常歩行と低速歩行を各 2 回計測した。MAC3D と PATRIOT-W 間の軌跡の相関係数は前後方向が通常、低速歩行それぞれ 0.997、0.999 という高い相関を示した。

(5) PATRIOT-W 装着型歩行分析システムの構築と精度試験

PATRIOT-W 搭載用自動追尾台車をさらに発展させ、被験者に PATRIOT-W を直接装着できるアタッチメントを作成し、図 8 に示す通り、装着型歩行分析システムを開発した。さらに、PATRIOT-W をバッテリー駆動とし、また、制御用 PC との通信を無線化することで、装着システムのコードによる危険性を低減し、検者のリモート制御によるデータ取得を可能とした。本装置と、MAC3D で、健常者による脳卒中片麻痺を模した歩行の同時計測を実施し、取得データを比較することで、精度検証を行った。その結果、前後方向においては全てのデータで相関係数が 0.99 以上となり、強い正の相関を示した。左右方向、上下方向においては相関係数が 0.5~0.7 となりやや強い相関を示した。前後方向と比較して動きの小さい左右方向、上下方向においては、相対的に製作した装置の揺れが相関係数の低下に影響したと考えられた。



図 8 装着型歩行分析システム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Risa Suzuki, Shuntaro Okazaki, Mayu Kuniya, and Yoshihiro Muraoka	4. 巻 1
2. 論文標題 Low-Cost 2-Channel Electromyography Telemeter using a Personal computer Microphone Port	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Physical Medicine and Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 1000386
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4172/2329-9096.1000386	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 該当する

1. 著者名 石尾晶代、村岡慶裕、大見香織	4. 巻 42
2. 論文標題 三次元磁気式位置計測システムを用いた簡易歩行分析法のための基礎的検討	5. 発行年 2014年
3. 雑誌名 総合リハビリテーション	6. 最初と最後の頁 775-780
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔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 鈴木里砂、村岡慶裕、齋藤雄一
2. 発表標題 磁気式モーションキャプチャーシステムを用いた介助歩行評価
3. 学会等名 第16回日本神経理学療法学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 國谷真由、村岡慶裕
2. 発表標題 オーディオ用Bluetooth送受信機を用いた低コスト2chEMG-BF装置の無線化
3. 学会等名 第17回日本リハビリテーション連携科学学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 石尾晶代、村岡慶裕
2. 発表標題 三次元磁気式位置計測システムを用いた簡易歩行分析法の基礎的検討 既存の歩行分析装置との精度比較
3. 学会等名 第49回日本理学療法学会
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 石尾晶代、村岡慶裕
2. 発表標題 歩行の距離因子とその左右差の定量化に関する検討 - 3次元磁気式位置計測システムを用いて -
3. 学会等名 第51回日本リハビリテーション医学会学術集会
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 石尾晶代、町田正文、村岡慶裕
2. 発表標題 磁気センサによる簡易歩行分析システムの開発に関する検討 - 三次元動作解析装置を用いた妥当性検証 -
3. 学会等名 第68回国立病院総合医学会
4. 発表年 2014年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 歩行位置計測方法	発明者 石尾晶代、村岡慶裕	権利者 財団法人ヒューマンサイエンス振興財団
産業財産権の種類、番号 特許、特願2014-105377	出願年 2014年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	石尾 晶代 (Ishio Akiyo) (20734875)	独立行政法人国立病院機構村山医療センター(臨床研究センター)・生体機能制御解析室・室員 (82660)	
研究 分 担 者	鈴木 里砂 (Suzuki Risa) (50781035)	常葉大学・健康科学部・助教 (33801)	