

機関番号：12501

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20700459

研究課題名 (和文) リハビリテーション訓練支援のためのウェアラブル動作分析システムに関する研究

研究課題名 (英文) Development of wearable motion analysis system for assistance of rehabilitation training

研究代表者

関根 正樹 (SEKINE MASAKI)

国立大学法人千葉大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50373494

研究成果の概要 (和文)：本研究では、リハビリテーション訓練における動作の問題点の特定や評価、治療を工学的に支援することを目的としたウェアラブル動作分析システムを開発した。ウェアラブル動作分析システムはウェアラブル動作計測装置と脳卒中片麻痺患者の定量的な歩行自立度判定手法で構成され、臨床においても容易に取り扱いが可能であるとともに、これまで主観的に評価されてきた運動機能を、定量的な手法で評価することを可能とした。

研究成果の概要 (英文)：In this study, a new wearable motion analysis system has been developed to assist movement disorder identification, evaluation and treatment in rehabilitation training. This system consists of a wearable motion measurement device and a quantification algorithm of walking independence measure for hemiplegic patients. The device can be handled easily by not only engineers but also clinical staffs. This algorithm was possible to quantitatively evaluate motor function has been evaluated subjectively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：介護予防・支援技術

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーションの現場において、患者に対する障がい像の把握、問題点の特定は、医師や療法士の観察と経験に基づいた判断に頼ることが大きい。この観察と経験に基づく評価は、対象者の全体的な運動機能を評価できるだけでなく、その時の精神的な状態をも加味した包括的な評価が可能である。一方で、この経験に基づく判断は、主観が介入し評価者により評価基準が異なるリスクが生じるため、客観的な動作の計測と定量的な

評価方法を臨床に導入することも必要不可欠であると考えられる。

現在の動作の定量的な分析方法はビデオカメラや床反力計を用いたものが一般的であり、得られる情報から詳細な動作の評価が可能である。しかしながら、これらの装置は、大掛かりで操作が煩雑であり動作を計測する空間に制限があるため、研究用途に適しているものの臨床で容易に取り扱えるものとは言い難く、研究と臨床の間で大きく乖離していると考えられる。

医療保険・介護保険を通じたリハビリテーションの対象者として最も多い疾患は、脳卒中である。また、2001年国民生活基礎調査によれば、介護が必要になった原因の第1位で約28%を占め、脳卒中患者に対して適切な理学療法・作業療法を施して身体障がい軽減し、早期自立を促すことは、本人のQOLはもちろんのこと、急務な社会的課題でもある。

2. 研究の目的

本研究では、臨床においても容易に取り扱いが可能なウェアラブル動作計測装置を開発するとともに、脳卒中片麻痺患者の定量的な歩行自立度判定手法を開発し、これらを統合したウェアラブル動作分析システムを構築することで、リハビリテーション訓練における動作の問題点の特定や評価、治療を工学的に支援することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) ウェアラブル動作計測装置の開発

臨床での利用を前提とした携帯型システムの場合、対象者が装着しても拘束を感じないよう軽量かつコンパクトであること、装置の専門的な知識が無くとも取扱いが容易なこと、十分な計測時間を確保できること、汎用の通信手段でデータをパーソナルコンピュータ（以下PC）に記録できることが主な要求事項となる。

そこで、対象者が携帯可能な小型・軽量のモーションセンサユニット、送信機、バッテリーを含むウェアラブル動作計測装置を試作し、この動作計測装置と受信機を装備したPCで構成されるシステムを構築した(図1)。センサユニットは、3軸加速度センサと3つの角速度センサを内蔵し、各センサの出力値をAD変換後、デジタルデータをシリアル通信で出力する。センサユニットは、送信機と通信する親機と、親機と通信する子機の2つの種類を作成した。子機のデータは有線にて親機に送信される。親機は全てのセンサの値を統合した後、送信機を介してPCにデータで送信する。センサユニットの親機と子機の外形寸法・重量は、それぞれ40×55×20mm・37g、40×30×20mm・22gである。使用した送信機と受信機はBluetooth ver. 2.0+EDR Class1に対応し、理論上の通信距離は見通しで100mである。また、通信プロトコルはSerial Port Profileとし、サンプリング周波数は100Hzとした。バッテリーには、容量200mAhの006P型充電電池を利用した。

この試作機を臨床に導入し、動作計測を進めるとともに、臨床で許容される装置の大きさ、重さ、駆動時間、装着個数について理学療法士の意見を調査した。この調査結果に基づいて最終的なウェアラブル動作計測装置の仕様を決定し、開発を行った。



図1 ウェアラブル動作計測装置の試作機

(2) 定量的な歩行自立度判定手法の開発

ウェアラブル動作計測装置で得られる情報から片麻痺患者の歩行自立度を定量的に判定する手法を提案するために、介助なしで歩行可能な脳卒中片麻痺患者35名を対象に、屋内での10m歩行テストの計測を実施した。片麻痺患者35名中20名は歩行能力が屋内歩行自立レベルであり(自立群)、残り15名は歩行に監視が必要な片麻痺患者(監視群)であった。なお、自立群と監視群は臨床経験年数が10年以上の理学療法士と作業療法士の判断によって分類した。

ウェアラブル動作計測装置で得られる情報を臨床で利用する場合、特に対象者へのフィードバックを考えた場合、加速度や角速度よりも角度情報の方が動作を直感的に理解しやすく、運動パターンの意味付けが容易であると考えられる。そこで、本研究では得られた角速度を感度方向ごとに積分し、3軸方向の角度変位を算出した。

得られた角度変位から歩行周期、大腿部の伸展-屈曲時間率、1歩行周期内の角度振幅、それらの変動係数、角度変位波形の再現性、腰部と大腿部の運動性を含む33個のパラメータを歩行自立度の定量的な判定指標として算出した。

また各判定指標の有用性は、自立群15名分のデータを基にカットオフ値を設定し、この15名と監視群10名に対する感度と陽性的中率によって評価した。それぞれ判定指標において、値がカットオフ値より自立群の平均値に近い場合を陰性、カットオフ値を超える場合を陽性とした。

算出した判定指標の中で感度と陽性的中率が高い指標を選別し、歩行自立度判定手法を決定した。判定手法の決定後、残りの歩行自立群5名と歩行監視群5名のデータ(以下、検証用データ)を用い、提案する歩行自立度判定手法の検証を行った。

なお本研究は、当該倫理委員会の承認を得た後、被験者には口頭で研究内容を説明し、書面にて同意を得て実施した。

4. 研究成果

(1) ウェアラブル動作計測装置の開発

試作したウェアラブル動作計測装置の親機を腰背部に、2つの子機を両大腿部外側に伸縮性のあるベルトで装着する方法を採用し臨床に導入した結果、対象者の動作を制限することなく、立位や起立、歩行などの動作を計測することが可能であった。ただし、対象者からは親機と子機をつなぐケーブルが若干煩わしいという意見が得られた。また理学療法士からは、リハビリテーションの1単位中(20分)で利用する場合、装着時間などを考慮すると、装着個数は少ないほうが望ましく、3個程度までが限度であるという意見が得られた。

システムの取り扱いについては、装置の操作は電源のオン・オフ、PCの操作は受信とデータ記録の開始・終了のみにしたことで、多くの理学療法士が1回の講習で利用可能であった。バッテリーを完全充電した後の駆動時間は2時間程度であり、1動作の計測に対して問題はみられなかったが、8時間程度の駆動時間が望ましいという意見が得られた。

ウェアラブル動作計測装置とPCとの通信距離は、実際の臨床現場においても50m以上であり、移動量の多い歩行動作においても十分計測可能であると考えられた。

試作機を用いた以上の結果に基づいて、ウェアラブル動作計測装置を新たに開発した(図2)。開発したウェアラブル動作計測装置は、3軸加速度センサと3つの角速度センサ、送信機、バッテリー、赤外線センサを内蔵し、外形寸法と重量はそれぞれ52×54×18mmと55gである。なお、加速度センサと角速度センサ、送信機は試作機と同様のものである。個々に送信機を内蔵することにより、ケーブルの煩わしさを解消した。一方、個々に送信機を内蔵することで装置間のデータの同期が問題となるが、外部から同期信号となる赤外線を照射し、その赤外線を搭載した赤外線センサで検出することで、この問題を解決した。また、バッテリーに薄型・軽量の容量720mAhのリチウムイオン充電電池を採用することで、連続計測時間を13時間程度に延長した。



図2 開発したウェアラブル動作計測装置

(2) 定量的な歩行自立度判定手法の開発

本研究で算出した33個の判定指標の中で自立群と監視群に有意な差がみられたものは、歩行周期、非麻痺側ピッチ方向角度振幅の変動係数、麻痺側全方向角度変位の再現性、非麻痺側ピッチ方向、ヨー方向の再現性であった($p < 0.05$)。しかしながら、統計的に有意な差がみられた全ての判定指標において、それぞれ監視群においても自立群と同等の値になる被験者が存在し、1つの判定指標だけで歩行自立度を判断することは極めて困難であることが明らかとなった(図3)。この結果から複数の判定指標を総合的に評価することが必要であると示唆された。

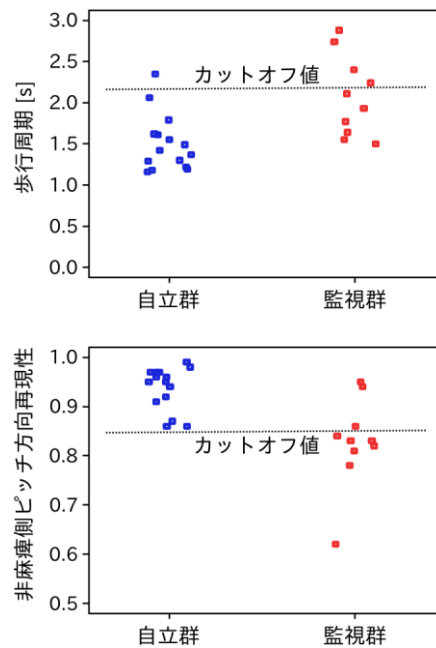


図3 判定指標の分布の典型例

次に、各判定指標の有用性を検討した結果、感度が0.4以上で陽性的中率が0.8以上の指標は、歩行周期、歩行周期の変動係数、非麻痺側大腿部の伸展・屈曲時間率、麻痺側大腿部の3方向角度変位波形の再現性、非麻痺側ピッチ方向角度変位波形の再現性、腰部と非麻痺側大腿部の連動性であった。これら8個の指標が陽性となる代数和を被験者ごとに求めると、自立群では1以下となり、監視群では1が1名、2以上が9名であった(図4)。そこで、本研究では上記8個の指標の代数和が2未満の場合は自立歩行、2以上の場合は監視歩行とする歩行自立度判定手法を提案した。

本歩行自立度判定手法を検証用データである自立群5名と監視群5名を対象に検証したところ、監視群の1名を除き臨床評価と一致する結果が得られた。

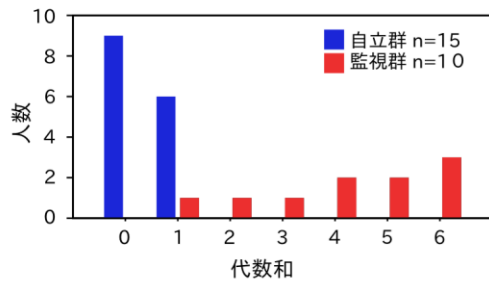


図4 判定指標が陽性となる代数和

以上の結果から、開発したウェアラブル動作計測装置は、臨床現場の要求に沿った取り扱いの容易な機器であり、臨床に客観的な動作の計測を提供できると示唆された。実際に、片麻痺患者以外にも、パーキンソン病患者や運動機能の低下した高齢者の姿勢応答、歩行、転倒評価など広範囲の応用が可能であった。

一方、複数の判定指標を総合的に判断する歩行自立度判定は、歩行に監視が必要と判断される要因が対象者ごとに異なる脳卒中片麻痺患者の歩行自立度の定量評価に対して、極めて有効であることが確認された。また、個人ごとに各判定指標を評価することで、監視歩行となる要因の特定、治療方針の決定に役立つものと考えられる。さらに、陽性となる判定指標間の関連規則を明らかにすることで、効率的な訓練計画を行う際に有用であると期待される。

ウェアラブル動作計測装置と歩行自立度判定手法を統合したウェアラブル動作分析システムは、リハビリテーション訓練における動作の問題点の特定や治療を工学的に支援可能であると示唆された。

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7件)

- ① 関根正樹, 桑江豊, 田村俊世, 貴嶋芳文, 湯地忠彦, 東祐二, 藤元登四郎, ウェアラブルモーションセンサを用いた片麻痺患者における歩行自立度の定量化, 生体医工学, vol. 49(1), pp. 212-219, 2011 (査読有)
- ② R. Martinez-Mendez, M. Sekine, T. Tamura, Detection of anticipatory postural adjustments prior to gait initiation using inertial wearable sensors, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, Doi: 10.1186/1743-0003-8-17, 2011 (査読有)
- ③ U. R. Acharya, S. C. Goh, K. Iijima, M. Sekine, T. Tamura, Analysis of body

responses to an accelerating platform by the largest-Lyapunov-exponent method, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine, vol. 223(1), pp. 111-120, 2009 (査読有)

- ④ 飯島賢一, 関根正樹, 田村俊世, 漸増する水平外乱刺激に対する姿勢応答, 生体医工学, vol. 47(1), pp. 70-76, 2009 (査読有)
- ⑤ Y. Higashi, K. Yamakoshi, T. Fujimoto, M. Sekine, T. Tamura, Quantitative evaluation of movement using the Timed up-and-go test, IEEE Engineering in Medicine Biology Magazine, vol. 27(4), pp. 38-46, 2008, 8 (査読有)

〔学会発表〕(計27件)

- ① 矢野健太, 内山智之, 樋口佳則, 桑原聡, 佐伯直勝, 関根正樹, 田村俊世, ウェアラブルモーションセンサを用いたパーキンソン病患者の歩行評価, 日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会 2010, p. 9, 2010/11, 東京
- ② 関根正樹, 桑江豊, 田村俊世, 貴嶋芳文, 湯地忠彦, 東祐二, 藤元登四郎, ウェアラブルモーションセンサを用いた片麻痺患者の歩行評価, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2010, pp. 481-482, 2010/9, 大阪
- ③ 関根正樹, 桑江豊, 田村俊世, 貴嶋芳文, 湯地忠彦, 東祐二, 藤元登四郎, ウェアラブルモーションセンサを用いた片麻痺患者における歩行自立度の定量化, 生体医工学シンポジウム 2010, p. 480, 2010/9, 札幌
- ④ 沼田崇之, 関根正樹, 田村俊世, 桑江豊, 辻美和, 三好寿顕, 花田恵太郎, ワイヤレスモーションセンサを用いた高齢者の下肢運動機能の評価, 生体医工学シンポジウム 2010, p. 570, 2010/9, 札幌
- ⑤ M. Sekine, T. Numata, Y. Kuwae, Y. Higashi, T. Tamura, T. Fujimoto, H. Miyoshi, K. Hanada, Wearable motion sensor for quantitative evaluation of rehabilitation test, 2010 International Conference on Body Sensor Networks (BSN 2010), 2010/6, Biopolis (Singapore)
- ⑥ 沼田崇之, 関根正樹, 田村俊世, 桑江豊, 東祐二, 三好寿顕, 花田恵太郎, Relationship between ADL and quantitative parameters obtained by wireless motion sensor, 第49回日本生体医工学会大会, p. 75, 2010/6, 大阪
- ⑦ R. M. Mendez, M. Sekine, T. Tamura,

Evaluation of accelerometers and angular velocity sensors for detection of Anticipatory postural adjustments in healthy subjects, 第49回日本生体医工学学会大会, p. 89, 2010/6, 大阪

- ⑧ 貴嶋芳文, 桑江豊, 緒方匡, 湯地忠彦, 東祐二, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世, Evaluation of gait function at control site in hemiplegia person during walking using by wearable motion sensor, 第49回日本生体医工学学会大会, p. 100, 2010/6, 大阪
- ⑨ 関根正樹, 桑江豊, 田村俊世, 貴嶋芳文, 東祐二, 藤元登四郎, ウェアラブル動作計測システムを用いた片麻痺患者の歩行自立度評価に関する検討, 第7回生活支援工学系学会連合大会, p. 53, 2009/9, 香美
- ⑩ 桑江豊, 貴嶋芳文, 湯地忠彦, 東祐二, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世, 加速度・角速度センサを用いたウェアラブル動作分析システムの開発, 第48回日本生体医工学学会大会, p. 238, 2009/4, 東京
- ⑪ 貴嶋芳文, 桑江豊, 湯地忠彦, 東祐二, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世, ウェアラブル姿勢計測・解析システムによる片麻痺歩行の評価, 第48回日本生体医工学学会大会, p. 238, 2009/4, 東京
- ⑫ 飯島賢一, 関根正樹, 田村俊世, 高齢期疑似体験システム装着時における水平外乱刺激に対する姿勢応答, 第2回横幹連合総合シンポジウム, pp. 53-54, 2008/12, 東京
- ⑬ 飯島賢一, 関根正樹, 田村俊世, 水平外乱刺激時における動的バランス評価の検討, 生体医工学シンポジウム 2008, CD-ROM (1-08-08), 2008/9, 豊中
- ⑭ 東祐二, 桑江豊, 緒方匡, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世, 山越憲一, ウェアラブルセンサの臨床応用, 第47回日本生体医工学学会大会, p. 316, 2008/5, 神戸
- ⑮ 永井麻衣, 清籐早弥香, 緒方匡, 老川大輔, 東祐二, 藤元登四郎, 関根正樹, 田村俊世, 角速度センサを用いた脳卒中片麻痺者における畳からの立ち上がり動作の定量評価の試み—第2報—, 第47回日本生体医工学学会大会, p. 208, 2008/5, 神戸

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関根 正樹 (SEKINE MASAKI)

国立大学法人千葉大学・

大学院工学研究科・助教

研究者番号：50373494