

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 8月28日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300199

研究課題名（和文）

歩行分析・訓練用多用途電子制御歩行路（電子ジュータン）開発と臨床応用

研究課題名（英文）

Development of Computer controlled walkway (Electrical Carpet) for gait analysis and rehabilitation

研究代表者

堀川 悦夫 (Horikawa Etsuo)

佐賀大学・医学部・教授

研究者番号：10155004

研究成果の概要（和文）：

歩行動作測定と足接地目標提示が同時に可能で、設置や移動が容易な多用途電子制御歩行路（“電子ジュータン”）と、使いやすい訓練プログラムを開発し、臨床応用を行う。開発機器は、1ユニットが（横）480mm、（縦）300mm、高さ（圧検出部）9mmの電子制御刺激提示・圧検出歩行訓練システムである。ユニットの刺激・検出エリアで多色発光LEDが格子配置され、歩行目標提示用に赤、緑、橙、の3色の光刺激が提示できる。足接地圧の変化測定に、メンブレンスイッチ応用技術により3段階圧力検出が可能である。本ユニットを歩行路横方向2枚、同奥行き方向11枚を組み合わせることで、歩行路幅760mmと長さ3300mmの電子制御歩行路として使用することができる。

研究成果の概要（英文）：

The idea for new gait analysis and rehabilitation system include presentation of visual stimuli to indicate the stepping position and detection of stepping on the device .

An original electrical controlled walkway driven by PC was developed. Multi colors lit LED equipped to present the stepping target and membrane switch is used to detect the foot contact to the device. The I/O system is mainly consisted of input signal to light on a LED and Data acquisition of foot stepping position with X, Y coordinate system. Those I/O signal is controlled with PLD (Programmable Logic Device). Electrical circuit for this system implemented to a multi layered board with 480mm(W) × 300mm(D) × 9mm(H) as a single unit. For the clinical use, maximum size is 760mm(w) × 3300mm (D) using 22 units. In addition to the basic control software, the data and subject management software was also developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2011年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2012年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	13,800,000	4,140,000	1,794,000

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

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：リハビリテーション、高齢者、転倒予防

1. 研究開始当初の背景

歩行は、神経学やリハビリテーション分野における重要な運動機能検査で、痙性片麻痺（尖足等）、痙性対麻痺（はさみ足歩行等）、パーキンソン病（小刻み歩行、すくみ足等）、運動失調（前後左右動揺等）など各疾患と歩行障害の関連が示されている。

歩行障害は、60歳以上の15%、80歳以上の20-25%に見られ、その原因と頻度は、関節症・関節炎（20-50%）、脳血管障害（15-40%）、脊髄障害（10-30%）、パーキンソニズム（10-20%）、末梢神経障害などが指摘され、さらに認知機能との関連も示されている。

また、高齢者の転倒は寝たきを誘発し、移動という生活に不可欠な能力を奪い、生活の質（QOL）の低下と介護負担増をもたらすため、**転倒予防**は重要な課題である。

転倒予防には、筋力、関節可動域、平衡機能訓練に加え、移動能力維持からも**歩行訓練が有効**である。

歩行訓練は、筋力、関節可動域、平衡機能の各訓練を含み、移動能力（モビリティ）維持からも重要で、歩行速度や歩幅など個人特性に合わせた訓練を継続して行うため、足接地目標を視覚的に提示することが必要である。

歩行の評価は、臨床現場では主に観察によって行われているが、重症度、疾患の進行度、治療効果の判定などに、歩行分析の客観的数量化が必要である。

2. 研究の目的

高齢者の健康阻害要因であり且つ自立度低下の要因となる歩行障害や転倒を予防するために、歩行分析の客観的数量化と歩

行訓練が有効である。そのためには、(1)歩行動作測定（足接地の時間空間的計測）と、(2)歩行目標提示（足接地目標視覚刺激提示）の両機能が必要である。

本研究では、歩行動作測定と足接地目標提示が1台で同時に可能で、しかも設置や移動が容易であるような多用途電子制御歩行路（“電子ジュータン”）と、ユーザフレンドリーな訓練プログラムを開発し、臨床応用を行う。

<全体計画>

- A. メンブレンスイッチ及び多色発光ダイオード用フレキシブル基板の制作と積層化試験
- B. GHz帯域通信を用いた無線伝送化作業と試験
- C. 試験臨床応用のためのソフトウェア開発と臨床でのデータ取得

3. 研究の方法

<平成22年度>

1)メンブレンスイッチ及び多色発光ダイオード用フレキシブル基板の制作と積層化試験

メンブレンスイッチのon/offエリアをマトリックス状に配置した回路をフレキシブル基板上に製作する。また3色発光ダイオード(LED)を同様にマトリックス状に配置し回路を、フレキシブル基板上に製作する(特注)。最終的に80cm×360cmの測定エリアを確保する。(申請品 日本メンブレン 特注)

・メンブレンスイッチ及び、3色発光ダイオードのon/off特性の確認

・製作された基板の電力供給及びセ

ンシング、制御のバスラインの動作確認

・各基板上での信号ラインをコントロールする PLD (Programmable Logic Device) や各種制御用 CPU をもちいた回路の製作と動作確認

2) 両フレキシブル基板の積層化とその問題点への対応

・軟質塩化ビニールのベース部分、メンブレンスイッチシート、干渉防止シート、3色 LED 基盤の積層化と折り曲げ強度などの観点から配線方法を検討する。

<平成 23 年度>

1) GHz 帯域通信を用いた測定・制御信号変調復調システムの製作

・GHz 帯域を用いた伝送装置及び、付加回路を製作し、測定信号のテレメトリー化を可能とするシステムを構築する。

2) 製作したシステムの試用とその評価
製作された装置を、佐賀大学ブレイン&モビリティリサーチラボにおいて試用する

この試用では、移動、設置、配線、測定、分解、撤収などの作業を大学院生レベルで行い問題点を抽出する。

3) 本来、周波数帯域が異なるので原理的には混信は考えにくいですが、実験室や病院などでの GHz 帯域通信の問題点の有無を確認する。

4) 問題点の抽出と検討

当研究室で問題点の抽出と対策を行い、信頼性と耐久性について検討を行う。

5) 問題点に対する修正作業

薄膜シートの修正を行う。

<<< 平成 24 年度 >>>

1) 臨床応用のためのソフトウェア開発

と臨床でのデータ取得

平成 22-23 年度において製作された装置やそのソフトウェアは、開発用途であるため、歩行検査・訓練装置としての機能においては特にヒューマンインターフェースや測定結果の表示、被験者・患者へのフィードバック、測定データ管理の面から配慮した臨床実践で使いやすいユーザフレンドリーなソフトウェアが必要である。

①被験者や患者特性に合わせた条件の選択、②結果の適切なフィードバックそして、

③訓練の自動化が、キーポイントである。

これらの条件を満たした歩行訓練プログラムを開発し臨床応用を行う。

2) 臨床応用ソフトウェアに備えるべき管理機能

①測定対象者の管理機能

・日付、被験者識別番号、試行順序など測定の一般的記録を簡便に行える機能

②結果の表示機能

・被験者に見やすい表示 グラフィックスと基準値による表示

3) 臨床応用ソフトウェアに備えるべき歩行のバリエーション設定

・提示視覚刺激に提示タイミングに合わせて接地する

・提示視覚刺激に空間的に合わせて目標 LED を踏んで接地する

・提示視覚刺激を時間的に避けて(提示タイミングを前後にずらし)接地する

・提示視覚刺激を空間的に避けて(左右によけて)接地する

- 提示視覚刺激を空間的に避けて(跨いで)接地する
- 上記を組み合わせた歩行動作(ゲーム的要素を含む)

3) 臨床データ取得

研究室学生のコントロールデータ、及び研究室主催の健康教室などで高齢者データ取得を行い、施設等でのより長期の実践データ取得

4) データ統計

4. 研究成果

<平成 22 年度>

1) メンブレンスイッチ及び多色発光ダイオード用基板の作成を行った。足接地感知部と発光ダイオードをマトリクス状に配置し、センシング及び制御のバスラインの動作確認及び、それらを制御するPLD素子や各種制御用CPUを用いた回路を制作し動作確認を行った。

2) 大量の部品が実装された基板をフレキシブル基板上に制作する試験を行ったが、製作は可能であっても実用上の耐久性が低く、可搬という性能を維持するため、積層基板を分割して作成し、使用時に於いてはこれらを連結して使用することで対処することとした。

3) 可搬性からより軽量でかつ分解連結がしやすく、かつ歩行検査としての耐荷重性も維持するためのトレードオフを勘案して、重量的には、やや重いものの、性能的には問題ないと思われる検査装置を製作することができた。

4) なお臨床応用に必要な幅と長さの測定面を得るためには、45cm×30cmの基板が必要であり、当初は、翌年度の研究開発と経費を勘案して、特注品として発注することとした。

<平成 23 年度>

1) 被験者の行動を制約せずに測定結果を取得するために、GHz帯域を用いた伝送機能を実現するため、無線LANの機能を組込む形でデータの取得と保存を行うことを目的とした。

2) これまで試作した基板に基本的機能としてUSB接続による無線LANのインターフェースを組み込んであるが、この機能を利用して

データの送受信を行うためのソフトウェアの改良を行った。

3) また、メンブレンスイッチは本来、ON/OFFの2値化の出力が可能であるが、閾値の異なるメンブレンスイッチを組み合わせることで3-4段階の圧力の弁別が可能になることから、この回路試験を行い、良好な結果を得た。

4) 製作したシステムの試用とその評価においては、製作された装置の一部を、佐賀大学ブレイン&モビリティリサーチラボにおいて試験を行っている。

5) GHz帯域の混信の問題はいまのところ発生はしていない。

6) 今後も実験室や病院などでのGHz帯域通信の問題点の有無の確認を継続する。

7) 当研究室で問題点の抽出と対策を行い、信頼性と耐久性について検討を行う。

8) 問題点に対する修正作業をソフトウェアのレベルで行っている。

<平成 24 年度>

開発した装置は、1ユニットが最大幅(横)480mm、奥行き方向(縦)300mm、高さ(圧検出・刺激提示部)9mmの電子制御刺激提示・圧検出による歩行訓練システムである。このユニットの刺激及び検出エリアは、横380mm縦300mmが有効範囲となる。この装置には、多色発光ダイオードが格子状に10mmピッチで配置されており、歩行目標位置提示用に赤、緑、橙、の3色の光刺激が提示できる。また足接地に伴う圧の変化を測定するため、メンブレンスイッチの応用技術により刺激提示と同様に格子状に10mmピッチで4段階の圧力検出が可能である。

このユニットを歩行路横方向2ユニット、同奥行き方向11ユニットを組み合わせることで、歩行路幅760mmと長さ3300mmの電子制御歩行路として使用することができる。

これらの刺激提示と圧検出は、同装置1ユニット内で、38×30、合計1140の小エリアから構成され、人間の歩行計測の必要精度から最低でも10msec、100Hzのサンプリングレートが必要である。その性能を得るため高速のスキヤニングとデータ取得・転送が必要で、その制御の基本部分をPLD

(programmable logic device)で制御し、各種の信号伝送を Ethernet 技術の応用によって行っている。22 ユニットを組み合わせた場合には、データ取得及び計測点は両者共に 25080 箇所、計 50160 点の入出力を行うこととなる。ユニット間は電源と共にワイヤードで連結され、最終的には無線 LAN の技術を用いて制御計測用 PC へ伝送する方式である。

各ユニットを組み合わせた結果の測定・刺激提示空間は膨大となるため各ユニット同士の位置関係を元に仮想的測定空間を形成し、その結果により各測定点の圧力及び、刺激制御を行う基礎的制御部分と、圧力検出結果を表示し足接地の状況として記録する部分に大別されるソフトウェアを用いている。LED 点灯の位置制御及び圧検出の位置の部分でバグが発生し、その修正に多くの時間を要する結果となった。

より多くの被験者のデータを取得し被験者にとって理解しやすく、検査者側においても管理評価しやすいソフトウェアにするため改良を継続している。

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 7 件）全て査読有

(1) 松田憲亮, 中原雅美, 永井良治, 金子秀雄, 木原 太史, 伊藤憲一, 堀川悦夫, 地域在住高齢者の転倒予防教室で用いる評価項目の有用性, 理学療法科学, vol.27, 2012, 635-640.

(2) Anami, K., Horie, J., Shiranita, S., Imaizumi, Y., Ichimaru, K., Naotsuka, H., Yamada, H., Koga, Y., & Horikawa, E., A Comparison of the BODE Index and the Gold Stage Classification of COPD Patients in the Evaluation of Physical Ability.. Journal of Physical Therapy Science, vol.23, 2011, 437-441.

(3) E Horikawa, K Machishijima, K Kitajima, S Ono, C Oshima, A Sato, T Asami, M Yukiwake, H Hara, T Matsushima

Evaluation of Cognitive Impairment and Fit to Drive in a Memory Clinic in Japan, Gerontologist, vol 52, 2012, 565.

(4) 廣川俊二, 田中里紀, 森園亮, 堀川悦夫, 本岡勉, 秋山隆行, 馬渡正明, ひざまずきからの立ち上がり動作時の膝関節力の算出, 臨床バイオメカニクス, 32, 2011, 489-496.

(5) 阿波邦彦, 堀江淳, 白仁田秀一, 今泉裕次郎, 市丸勝昭, 直塚博行, 山田穂積, 古賀義行, 堀川悦夫, 慢性閉塞性肺疾患患者の BODE index の重傷度別における Time up and go test の比較, ヘルスプロモーション理学療法研究, Vol.1, 2011, 67-72.

(6) 大屋友紀子・堀江淳・福嶋利浩・鳥辺めぐみ・堀川悦夫, 高齢者の歩幅の大きさと転倒, つまづきとの関連性, 健康支援, Vol.13, 2011, 25-28.

(7) 堀江淳・伊藤健一・堀川悦夫 全身持久力評価法としての漸増反復起立動作テストの活用可能性の検討, 理学療法科学, 25(6), 2010, 843-847.

〔学会発表〕（計 9 件）

(1) 堀川悦夫, 脳科学研究の展開ーラボから日常へ, 平成 24 年度日本学会九州・沖縄地区会議, 2012 年 12 月 05 日, 佐賀市, 佐賀大学

(2) Kensuke Matsuda, Masami Nakahara, Yoshiharu Nagai et al., The relationship between the decrease in coefficient of variation stride time and the effects of exercise intervention for high-risk elderly people., JAPAN-KOREA 1st JOINT CONFERENCE, 2012 年 11 月 18 日, Nagasaki.

(3) 松田憲亮, 中原雅美, 永井良治, 金子秀雄, 黒澤 和生, 堀川悦夫, 転倒経験者における歩行のバラツキと歩行予備能力の検討, 理学療法科学学会, 2012 年 09 月 30 日, 福岡

(4) 井手将文, 福嶋利浩, 堀川悦夫, 昌文転倒リスクを持つ高齢者の下肢運動機能で操作できる Wii リモコン用ゲーム入力補助装置, 第 27 回リハ工学カンファレンス, 2012 年 08 月 24 日, 福岡

(5) 松田憲亮, 中原雅美, 永井良治, 金子秀雄, 木原 太史, 伊藤憲一, 堀川悦夫, 地域在住高齢者の転倒予防教室で用いる評価項目の有用性, 日本理学療法士協会学術大会, 2012 年 05 月 27 日, 福岡

(6) 光武翼, 一ノ瀬和洋, 堀川悦夫, レーザーポインターを用いた光追視イメージ想起が脳活動に及ぼす影響ー近赤外光脳機能計測を用いた検討ー, 第 47 回日本理学療法学術大会, 2012 年 05 月

25日~2012年05月27日, 神戸

(7) 松本 幸、塚本正紹、秋山隆行、馬渡正明、廣川俊 二、堀川悦夫, 人工股関節全置換術前後における歩行の経時的変化について, 第58回 佐賀リハビリテーション研究会, 2012年04月21日, 佐賀市、佐賀大学

(8) 堀川悦夫・松本幸・塚本正紹・秋山隆行・馬渡正明・廣川俊二. 3次元動作解析による歩行検査の即時解析の実施と問題点, 第33回臨床歩行分析研究会定例会, 2011.12.11. 福岡.

(9) 堀川悦夫, 医工福祉連携からのヒューマンケアイノベーション開発, 佐賀大学「先端医療福祉システム研究プロジェクト」シンポジウム講演, 2011年3月7日, 佐賀大学

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計0件) 出願準備中

〔その他〕
ホームページ等 作成中

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀川悦夫 (Horikawa Etsuo)
佐賀大学・医学部・教授
研究者番号: 10155004

(2) 研究分担者

該当なし ()

研究者番号:

(3) 連携研究者

該当なし ()

研究者番号: