

研 究 成 果

| | | |
|---|---------------|-------|
| サブテーマ名：(2)実生活での福祉・リハシステムの開発 (1)インテリジェントFESによる生体機能再建システムの開発 小テーマ名：(2)-a VR-FESリハシステムの開発 | フェーズ、 フェーズ | |
| サブテーマリーダー | | |
| 研究従事者 | | |
| 東北大学未来科学技術共同研究センター | 客員研究員 | 半田康延 |
| 東北大学未来科学技術共同研究センター | 客員研究員 | 半田康延 |
| 東北大学大学院情報科学研究科 | 客員研究員 | 中野栄二 |
| 東北大学情報シナジーセンター | 客員研究員 | 吉澤 誠 |
| 東北大学大学院情報科学研究科 | 客員研究員 | 高橋隆行 |
| 東北大学大学院医学系研究科 | 客員研究員 | 関 和則 |
| 東北大学大学院工学研究科 | 客員研究員 | 田中 明 |
| 株式会社仙台ニコン | 企業出向研究員 | 伊藤 元 |
| 東北大学大学院医学系研究科 | 客員研究員 | 市江雅芳 |
| 東北大学大学院医学系研究科 | 客員研究員 | 山本澄子 |
| 株式会社サイエンティア | 企業出向研究員 | 中里俊晴 |
| 三菱プレシジョン株式会社 | 企業出向研究員 | 仲井間雅敏 |
| 三菱プレシジョン株式会社 | 企業出向研究員 | 小林正博 |
| 研究の概要、新規性及び目標 | | |
| 研究の概要 | | |
| 脳卒中後遺症等による片麻痺あるいは脊髄損傷等による全麻痺患者を対象とし、バーチャルリアリティを利用した運動機能検査及びリハビリテーションを行うための1)VR-FES歩行評価訓練システム、2)上肢用VR訓練評価システム、3)下肢用VR訓練評価システム、及び、4)FESサイクリングチェアを構築した。 | | |
| VR-FES歩行評価訓練システムは、一定位置で移動行動をシミュレートできる移動キャンセラー上で下肢麻痺患者がFES歩行を行い、仮想空間に没入できるシステムの検討を行った。 | | |
| 上肢用VR訓練評価システムは、視覚空間と体性感覚空間が融合した仮想空間を患者に与え、この仮想空間を患者の凝視点に応じてリアルタイムに改變できるシステムであり、健常者及び片麻痺患者による実験を行うことにより、本システムの有効性の評価と改善点の検討を行った。 | | |
| 下肢用VR訓練評価システムは、下肢運動機能障害者の足漕ぎ車椅子を利用した移動及びFES駆動時のパラメータ調整を行うために、ペダルを漕ぐ動作の運動機能の定量的・客観的評価及び患者の興味維持と意欲向上を促すリハビリを支援するバーチャルリアリティを利用したシステムを構築した。 | | |
| さらに、下肢運動機能障害者が足漕ぎ車椅子を自分の足で駆動するためのFESによるサイクリング運動再建機能及び動力補助（パワーアシスト）機能を有し、軽度から重度・完全麻痺まで幅広い症例に対応可能なFESサイクリングチェアを構築した。 | | |
| 研究の独自性・新規性 | | |
| VR-FES歩行評価訓練システムは、移動キャンセラーによって仮想空間で三次元移動を体感できるシステムであり、FES歩行を安全かつ効率的に評価し訓練に用いることができるものであり、きわめて新規性の高いものである。 | | |
| 上肢用VR訓練評価システムの新規性は、視覚空間と体性感覚空間が融合した仮想空間を患者に与えることができ、かつ患者の視線情報に依存した仮想空間を構成することができることであり、この機能によって空間認識機能を司る右脳頭頂葉障害に関する、従来では実現不可能であった症状の定量化や統計的解析が容易となることである。 | | |
| 下肢用VR訓練評価システムの特徴は、通常のエルゴメータとは異なり、ペダル軸のトルクをフィードバックした多種多様な仮想空間を提供できること、及び、ゲーム性の導入により患者の興味維持と意欲向上が可能となっていることである。 | | |
| FESサイクリングチェアの特徴は、下肢障害者が、自身の麻痺あるいは衰弱した脚を、再び日常的な移動に活用するという発想により、これまで実現が不可能であった工学的及びリハビリ医学的目標を高い次元で融合する点にある。 | | |
| 研究の目標 | | |
| 【フェーズⅠ】 | | |
| VR-FES歩行評価訓練システムを、モーションキャプチャーシステム、投写式表示装置、移動キャンセラーなどにより構成し、三次元仮想空間と固定位置で三次元移動（この場合は歩行）感覚を体感できるシステムとする。これによって、より現実的な空間でのFES歩行動作をシミュレートし、それを評価するとともに訓練に用いることが容易にできるようにする。 | | |
| 【フェーズⅡ】 | | |

- 1) 上肢用VR訓練評価システムを、鏡映型表示装置、力覚提示装置、及び視線追跡装置によって構成することにより、視覚空間と体性感覚空間を融合させ、かつ、視線入力に連動した仮想空間を与えることのできるシステムを構築し、最低数人の脳卒中片麻痺患者における検査実験を行う。
- 2) 下肢用VR訓練評価システムにおいて、ペダル角、トルク、ハンドル角を計測し、その値によって提示画像を変化させることにより、実際に近い操作感を与えることができ、楽しく、面白く達成目標を持ってリハビリを行うことができるようなシステムを作り、運動機能及びリハビリの効果が定量的・統計的に評価できるリハシナリオを作成する。
- 3) FESサイクリングチェアにおいては、屋内・屋外用で使用可能な脚駆動型車椅子メカニズムを持ち、脚力及び関節トルクが計測可能なシステムとし、スムーズなサイクリング運動再建を実現する電気刺激シーケンスの設計手順を確立する。さらに、疲労などの短時間変化及び筋力回復など長時間変化の両方に自動的に適応するとともに、脚力を無駄にすることなく、前進・後進の両方で補助が行えるシステムを開発することによって、下肢障害者でのサイクリング運動を実現する。

研究の進め方及び進捗状況

- 1) VR-FES歩行評価訓練システムのシステム設計はほぼ当初の目標を達成し、次にモーションキャプチャーのアルゴリズムの検討及び移動キャンセラーの設計発注まで戦略会議で了承されたものの、フェーズ に移行するところで歩行訓練評価部の開発は見送られた。
- 2) 上肢用VR訓練評価システムは、所期の構成どおりのハードウェアが完成した。ただし、視線追跡装置は患者の虹彩の赤外線吸収度によってはキャリブレーションが取れない場合があった。3種類のリハシナリオが完成し、病院において片麻痺患者数人による検査実験を実施して、本システムの有効性を確認し、改善点を検討した。
- 3) 下肢用VR訓練評価システムは、立体視可能な大画面液晶ディスプレイとトルクセンサ、エンコーダ、モータの組み合わせることにより実現した。3種類のリハシナリオを完成させ、3人の片麻痺患者による実験を行った結果、ペダルの死点付近でのアシストが必須であることが明らかとなった。
- 4) FESサイクリングチェアにおいては、力学解析を行ってその有効性の理論的な裏づけを行い、目標性能を有するメカニズムの開発に成功した。2次元ベクトル力センサを新たに開発し、その計測データ及びシリアルリンクモデルを用いて関節トルクを推定する手法を確立し、サイクリング運動を実現可能な電気刺激シーケンスを作成する手法を開発した。さらに、トルクダイオードを搭載したシステムにより、開発したシーケンスを用いて、健常者及び頸髄損傷による四肢不全麻痺者に対してサイクリング運動が実現できることを実験により確認した。

主な成果

具体的な成果内容：

- 1) VR-FES歩行評価訓練システムのシステム設計はほぼ当初の目標を達成した。しかしフェーズ に移行するところで歩行訓練評価部の開発は見送られたため、具体的な成果は得られなかった。
- 2) 視覚空間と体性感覚空間が融合させ、かつ、視線入力に連動した仮想空間を与えることのできる上肢用VR訓練評価システムを試作し、患者による検査実験を実施した。
- 3) 足漕ぎ車椅子からの力学的諸量を計測し、これをフィードバックさせる仮想空間を表示するシステムにより、現実に近い操作感を与えることができ、楽しく達成感が得られるリハビリを行うことができるような下肢用VR訓練評価システムを試作し、患者による評価実験を実施した。
- 4) 力学解析、電気刺激シーケンスの確立、及びトルクダイオードの搭載によって目標どおりのFESサイクリングチェアを製作し、頸髄損傷による四肢不全麻痺者に対するサイクリング運動を実現した。

特許件数：2件

論文数：

口頭発表件数：2件

研究成果に関する評価

1 国内外における水準との対比

仮想空間を利用して運動機能障害者の検査およびリハビリテーションを行うことに関するいくつかの特許がすでに出願されているが、本システムのような、視覚空間と体性感覚空間を融合させ、かつ、視線入力に連動した仮想空間を与えることのできるシステムの例はない。また、FESでサイクリング運動を再建し、自転車などの乗り物を漕ぐことを目的とした他の研究では、サイクリング運動の実現のみに焦点を絞っており、実用的な移動手段としての視点が乏しい。特に本研究で目指しているような車椅子に座った状態でのサイクリング運動の再建は、一部の研究者からは実現が困難と言われていたものであり、本研究により初めて実現された。

2 実用化に向けた波及効果

本システムは、運動機能障害者の検査・リハビリテーション・FESによる運動再建を支援するものであり、実験にご協力いただいた障害者からは概ね高い評価を得た。課題をいくつか残してはいるものの、実用化への道筋が見えるところまできている。

残された課題と対応方針について

システムの効率化・最適化・低価格化・データの標準化、及び、安全面での対策などの課題が残されている。今後、より多くの患者による実験を重ねた改良を行うことにより、これらの課題を克服する。

| | J S T 負担分 (千円) | | | | | | | 小 計 | |
|---|----------------|--------|-----|--------|--------|--------|---------|---------|-----|
| | H10 | H11 | H12 | H13 | H14 | H15 | | | |
| 人件費 | 4,211 | 11,116 | 0 | 2,063 | 5,040 | 2,310 | 24,740 | | |
| 設備費 | 1,742 | 9,151 | 0 | 50,947 | 32,492 | 2,764 | 97,096 | | |
| その他研究費(消耗品費、材料費等) | 449 | 4,340 | 0 | 4,770 | 13,347 | 8,803 | 31,709 | | |
| 旅費 | 605 | 594 | 0 | 150 | 878 | 243 | 2,470 | | |
| その他 | 1 | 84 | 0 | 0 | 35 | 445 | 565 | | |
| 小 計 | 7,008 | 25,285 | 0 | 57,930 | 51,792 | 14,565 | 156,580 | | |
| | 地域負担分 (千円) | | | | | | | 小 計 | 合 計 |
| | H10 | H11 | H12 | H13 | H14 | H15 | | | |
| 人件費 | 0 | 0 | 0 | 5,500 | 7,500 | 3,438 | 16,438 | 41,178 | |
| 設備費 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 97,096 | |
| その他研究費(消耗品費、材料費等) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31,709 | |
| 旅費 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,470 | |
| その他 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 565 | |
| 小 計 | 0 | 0 | 0 | 5,500 | 7,500 | 3,438 | 16,438 | 173,018 | |
| 代表的な設備名と仕様 [既存 (事業開始前) の設備含む] J S T 負担による設備 : 眼球トラッキング方式視線入力装置、3D液晶ディスプレイ 地域負担による設備 : | | | | | | | | | |