

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆課題名 : 脳機能補完による高齢者・障がい者の機能回復支援技術の研究開発
- ◆副題 : 外骨格ロボットと脳機能ニューロフィードバックによる
身体および認知・感覚運動機能のICTを活用したリハビリテーションシステムの開発
- ◆実施機関 : 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 (ATR)
学校法人関西医科大学
学校法人兵庫医科大学
社会医療法人大道会森之宮病院
学校法人慶應義塾
国立大学法人東京大学
学校法人昭和大学
京都府公立大学法人京都府立医科大学
国立大学法人京都大学
国立大学法人広島大学
- ◆研究開発期間 : 平成28年度～平成30年度 (3年間)
- ◆研究開発予算 : 総額600百万円 (平成29年度200百万円)

2. 研究開発の目標

安全で操作性の良い外骨格ロボット端末操作インタフェースを開発、医師などの端末操作者とリハサービス利用者のインタラクションログデータから外骨格ロボット端末自律化を可能とする機械学習アルゴリズムを導出、参画医療機関とともにその効果を定量的に検証する。高齢者を含む脳活動データの収集の準備を行う。データベース構築の準備を行い、分担機関で収集した脳活動データのデータベースへの提供を開始する。認知・運動機能の低下の原因となっている結合を同定するための機械学習アルゴリズムを検討する。大型装置および簡易装置を用いたニューロフィードバックのプロトコルを検討する。

3. 研究開発の成果(課題1)

研究開発目標

研究開発成果

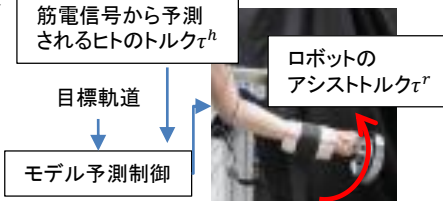
身体機能リハビリテーションシステムの開発

1. 生体信号を用いた制御インターフェースの開発
2. インタクションログからの情報抽出技術の開発
3. データベースからの情報抽出による運動推定アルゴリズムの開発
4. 各医療機関で使用する外骨格ロボット端末の仕様の確定
5. 状態モニタリングデバイスの確定
6. 各医療機関における外骨格ロボット端末を用いた研究の体制整備
7. 外骨格ロボット端末を用いた訓練項目および治療課題開発
8. 外骨格ロボット端末の脳卒中患者に対する試行測定の実施

<研究開発成果: 開発目標1~5に対応>

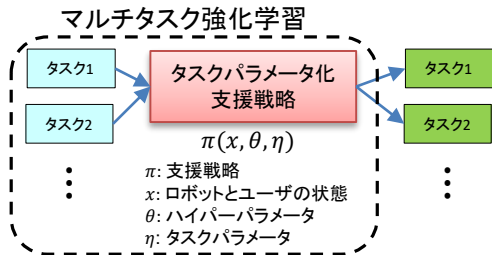
生体信号を用いた制御インターフェースの開発

- 生体信号に基づく最適制御フレームワークを検討し、モデル予測制御に基づく Assis-as-needed (ANN) コントローラを提案。運動タスクに対し、患者の不足するトルクをロボットが支援



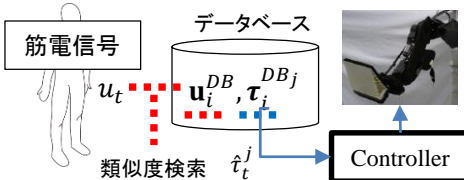
インタクションログからの情報抽出技術の開発

- 複数の運動タスクデータから共通する運動支援をマルチタスク強化学習で学習し、タスクごとの特徴を示した低次元のパラメータを調整することで効率的に汎化運動支援を学習



データベースからの情報抽出による運動推定アルゴリズムの開発

- 多ユーザの運動情報が蓄積されたデータベースから、協調フィルタリングにより新規ユーザの運動推定が可能



参画医療機関で使用する外骨格ロボット端末および状態モニタリングデバイスの仕様の確定

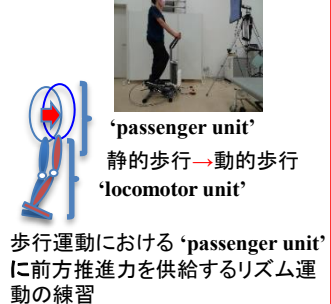
- 簡便にロボット操作が可能
- 分かりやすい状態モニタリングが可能

<研究開発成果: 開発目標6~8に対応>

- 外骨格ロボット端末を用いた研究の体制整備ならびに訓練項目・治療課題の開発
- 脳卒中患者に対する試行測定の実施

(関西医科大学)

- ステッパー・ロボットにより、膝関節伸筋遠心性収縮を誘導する練習課題を実現し、ステップ周期における下肢筋モジュールを同定。足台上昇時に膝関節遠心性収縮に基づく筋モジュールが誘導されることを確認
- 膝関節伸筋遠心性収縮のリズム運動(パワートレーニング)に加え、股関節伸展位で大腿四頭筋モジュールを発揮させるステップ練習(スキルトレーニング)システムの導入
- 平成30年4月開院予定のデイケア・香里に足関節制御ロボットを含めた動的歩行再治療システムを設備し、外骨格ロボット端末試用のための体制を整備(倫理審査承認)



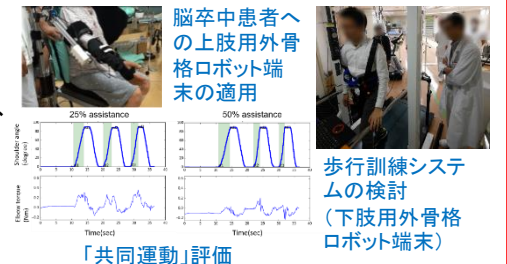
(兵庫医科大学)

- 上肢外骨格ロボット端末の安全性検証およびプロトコルの設定
- ロボット端末を試用するための体制準備完了(倫理審査承認)
- ロボット端末を脳卒中患者(2例)に適用
- 近赤外分光法による課題の難易度と脳機能画像の関連性を探索



(森之宮病院)

- 上肢外骨格ロボット端末を用いた上肢挙上訓練における随意的な「共同運動」評価における最適なアシスト率同定方法を検討し、脳卒中患者実験でのデータ計測(10例)を実施。成果を学会(XXIII World Congress of Neurology)で発表
- 空気圧人工筋免荷システムを用いた歩行訓練装置の検討



(慶應義塾大学)

- 三角筋前部の筋活動を用いたフィードバック制御アルゴリズムの策定および実装
- 健康者によるロボット駆動の安全性検証
- ロボット駆動前後で、対象である脳卒中患者の運動可能な関節角度を評価する三次元動作解析システムを構築し、介入研究施行時の評価体制
- 倫理審査承認



3. 研究開発の成果(課題2)

研究開発目標

認知・感覚運動機能の維持とリハビリテーションシステムの開発

1. 前年度策定した統一プロトコルによる多人数の高齢者の脳活動データおよび各種神経心理指標の収集
2. 大型装置によるニューロフィードバック実験プロトコルの検討
3. 簡易型脳活動計測装置を用いたニューロフィードバック実験プロトコルの検討
4. 習慣形成システム開発のための実験実施

研究開発成果

<研究開発成果:開発目標2~4に対応>

大型装置によるニューロフィードバック実験プロトコルの検討 (ATR)

- 高齢者で低下すると考えられている認知機能に深く関わる脳の機能ネットワークである前頭頭頂ネットワークの働きを高めるような結合ニューロフィードバックの実装を検討した
- 従来法では二つの局所領域間の時系列相関に基づくため、多様なネットワーク機能をフィードバック情報に反映させることが難しいことが判明した
- そこで、ネットワークに含まれる全ボクセル(2 mmの立方体)ごとの時系列相関を計算し、その平均値をフィードバックするという方法を開発した。これによって、ネットワークに含まれる空間領域の働きをより忠実に反映する情報を、学習の手がかりとして利用できるようになった

簡易型脳活動計測装置を用いたニューロフィードバック実験プロトコルの検討 (ATR)

- 20歳から79歳までの構造画像データを用いて、高齢化による安静時脳活動の機能的結合マップの変化とニューロフィードバックのターゲットを検討した
- 全脳の結合マップを抽出し、デフォルトモード以外にも全般的な結合度の減少が高齢化に伴い起きていることを明らかにした
- 高齢者に対するニューロフィードバックの適用には、全脳の状態を反映する指標を使うのが良いと考えられ、特にネットワーク間のコントラストを高めるトレーニングが有望である可能性がある
- そこで、全脳の状態を反映するEEG(脳波)の指標であるマイクロステートに注目し、4つの典型的な状態の切り替えをトレーニングする方法を開発中である

習慣形成システム開発のための実験の実施 (ATR)

- 若年者11名に対して長期間(3週間)の価値学習を実施し、習慣の獲得に関わる脳領域を調べ、線条体の活動と習慣の獲得速度の間に関係があることを明らかにした
- 実験プロトコルの汎用化など高齢者への適用準備を行っている

<研究開発成果:開発目標1に対応>

前年度策定した統一プロトコルによる多人数の高齢者の脳活動データおよび各種神経心理指標の収集

- 今年度延べ46名(60歳から80歳、平均年齢68歳)の高齢者のデータ収集を実施した。このうち14名に関しては2回目もしくは3回目の縦断データを収集できた。また対象群としての非高齢者18名分のデータを収集した。(ATR)
- 健常高齢者23名のデータを収集した(東京大学)
- 高齢者81名(健常者51名、うつ病患者30名)のデータを取得した(慶應義塾大学/精神科)
- 幅広い年齢層15人のデータを収集し、解析を行った。成人発達障害症例の、注意機能や意思決定などに関する神経心理学的検討を行った。また、反復経頭蓋磁気刺激法を用いて特定の脳領域と認知機能の因果関係を調べる実験を開始した。(昭和大学)
- うつ傾向のある高齢者6名の安静時のデータを収集した(京都府立医科大学)
- 精神病症状を示す中高齢者の脳活動データ15名、健常者30名のデータを収集した。統合失調症の眼球運動の異常と脳構造の異常と認知機能の障害の関係を明らかにした。また、統合失調症の喫煙者は、統合失調症の疾患の影響に加えて喫煙の影響が脳構造の異常に相加的に関与していることを見出した(京都大学)
- 健常高齢者37例、うつ傾向のある高齢者10例(双極性障害4例、大うつ病性障害6例)のデータを収集した。うつ病バイオマーカーとして選択された12個の安静時脳機能結合において、性別をマッチングされた高齢者うつ病(60歳以上)と若年うつ病(40歳以下)を比較した結果、特に第七結合、言語の理解や想起、視覚的な処理に関係する脳部位間(左右の後頭部)の結合において有意な差がみられた(広島大学)

研究開発目標

多人数の高齢者の脳活動データの管理・運営 (ATR)

- 脳活動・生体記録・行動データのデータベースを構築し、病院などで収集した脳活動データのデータベースへの提供に対して、管理・運営を行う

研究開発成果

多人数の高齢者の脳活動データの管理・運営 (ATR)

- 脳活動・行動データのデータベースの構築の一環として、収集したデモグラフィックデータおよび臨床評価尺度、行動実験のデータを登録・集計・管理するシステムを構築し、ATR内での運用を開始した
- データ集計ツールの詳細なマニュアルを準備し配布を行った

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
0 (0)	0 (0)	11 (10)	63 (44)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

1. リハビリテーション医学会、臨床神経生理学会のセミナーにてロボット・リハビリテーションの展開を紹介(課題1)
各学会において100名余りのリハビリテーション医療関係者に、ロボット・リハビリテーションの現状と問題点、今後の展開に関して紹介し、データ収集とデータマイニングに基づいた本事業の役割と課題について議論した。
2. XXIII World Congress of Neurologyで発表(課題1)
上肢用外骨格ロボット端末については、療法士が麻痺側上肢に対して行う専門的な介入を、数値化し、ロボットで再現できる可能性が示唆されたことを発表。今後、療法士が患者の反応に応じて、アシスト量を調整しながら介入する技術をロボット端末で実現を目指す。
3. 10th WORLD CONGRESS FOR NEUROREHABILITATIONで発表(課題1)
Constraint-Induced Movement Therapy (以下、CI療法)前後において、異なる難易度の運動課題が近赤外分光法を用いた脳機能マッピングに与える影響を検討した。片麻痺脳卒中患者に対し、CI療法前後の上肢機能評価の変化および課題難易度による脳機能マッピングの変化を比較検討した。脳機能マッピングでは運動課題により1次運動野および補足運動野、1次感覚野を中心に脳活動は分布していたが、運動課題の難易度により脳活動分布は異なっていた。CI療法前後の比較では、同じ難易度の運動課題においても1次運動野に比べ、補足運動野の活動が賦活される傾向を認めた。異なる難易度の運動課題により脳活動分布は変化するが、同じ難易度の運動課題でもCI療法前後で脳活動分布が変化する可能性がある。今後さらに症例データを積み重ね、運動課題の難易度と脳可塑性の関連を明らかにしていく予定。

5. 今後の研究開発計画

開発項目1では、装着者の状態やリハビリ用途に応じた機能を実現できる柔軟なアクチュエータ特性をもつ外骨格ロボット端末のシステム開発を行い、生体信号やセンサ信号によるインタラクションログから抽出した情報に基づく運動推定アルゴリズムを検討する。また、策定したインタラクションログフォーマットに基づき状態モニタリングデバイスを試作し、テスト計測を実施し問題点や改善点を洗い出しシステムに反映する。

各参画医療機関においては、倫理委員会で承認を得たプロトコルに従って脳卒中患者での試用を行い、実用性、効果を検討する。具体的に、関西医科では、開発したロボット・リハビリテーション機器をデイケアにおいて地域在住の要支援・要介護者に実際に適応し、効果判定と治療過程における機器の性能や練習課題における問題点を抽出し、診療マニュアルの土台を形成する。兵庫医科大学では、CI療法の運動学習理論を基盤としたロボット支援による効率的なリハビリテーションを実現するため、脳卒中患者への実証実験を通して、最適なロボット機構やプロトコルの検討を詳細に重ね、実用的な上肢ロボットリハビリテーションシステムを確立する。森之宮病院において、上肢用外骨格ロボット端末に関しては、平成29年度の成果を踏まえて、療法士が患者の反応に応じて、アシスト量を調整しながら介入する技術を、ロボット端末でも実現する。下肢用外骨格ロボット端末に関しては、効率的で安全な免荷が可能なハーネスの選択や最適な免荷の指標となる歩行パラメーターを検索し、最終的には麻痺の程度と歩行周期に応じて刻々と最適な体重免荷を行う(phasic body-weight support)装置を開発する。慶應義塾大学では、前年度にロボットを駆動させるためのトリガーとして選定された三角筋前部筋活動を治療介入として使用するにあたり、アシスト下における筋協調と臨床像の対応関係を検討するために、他の筋との協調性に着目し、筋間の協調性を解析し麻痺の程度もしくは臨床像との対応を検討する。

開発項目2では、今後も各施設において対象の被験者より、MRI脳画像(T1強調画像、安静時脳機能画像、拡散テンソル画像、FLAIR)を撮像する。またあわせて、共同研究機関と共通の各種神経心理指標を取得する。これらのデータを、ATRIに設置するデータベースに提供する。さらに、これらのデータを用いて、加齢の影響を構造的および機能的に評価し、大型計測装置でのニューロフィードバック等のトレーニング方法の検討を行う。また、fMRI-EEG同時計測実験を実施し、安静時脳活動における大型装置と簡易装置の対応確認を行い、簡易型でのニューロフィードバックのプロトコルの検討を行う。

開発項目3では、脳活動・生体記録・行動データのデータベースを構築し、参画医療機関などで収集した脳活動データのデータベースへの提供に対して、管理・運営を引き続き行う。また、各施設からのデータの提供・共有をスムーズにするためのプラットフォームの構築を行うとともに、データ公開に向けた準備を進める。