

ロボットリハビリテーションの評価手法の開発

Research on evaluation method for robot rehabilitation

中村 豪 赤澤康史 根本和彦 本田雄一郎

NAKAMURA Go, AKAZAWA Yasushi, NEMOTO Kazuhiko, HONDA Yuichiro

陳 隆明 幸野秀志 岡野生也 山本直樹 柴田八衣子 溝部二十四

(兵庫県立リハビリテーション中央病院)

CHIN Takaaki, KOHNO Hideshi, OKANO Ikuya, YAMAMOTO Naoki, SHIBATA Yaeko, MIZOBE Futoshi
(Hyogo Rehabilitation Center)

キーワード：

ロボットリハビリテーション、筋電義手、ロボットスーツ、インテリジェント義足

Keywords:

Robot rehabilitation, Myoelectric upper limb prostheses, Robot suit, Intelligent prosthesis ankle

Abstract:

Robot rehabilitation such as myoelectric upper limb prostheses and robot suit HAL has been introduced in recent years. There are already many cases that the rehabilitation improved the quality of life for disabled people.

However, the scientific evidence of the effectiveness and the training method is insufficient.

To spread robot rehabilitation, it is required to establish evaluation methods and more effective training based on the scientific evidence.

In this paper, we propose evaluation method to confirm how patients' body motion was changed by robot rehabilitation.

1 はじめに

近年、筋電義手、コンピュータ義足、ロボットスーツなどの最先端ロボット技術を活用したロボットリハビリテーションの導入が始まってきており、ロボットリハビリテーションによる機能改善のいくつかが確認されつつある。しかしながら、ロボット技術を用いたリハビリテーション訓練における効果や訓練プログラムの科学的な根拠は確立できていない。ロボットリハビリテーションを発展させるため

にはこれらの未知の部分为解决していくことが必要不可欠である。

そこで、本研究ではロボットリハビリテーションによって患者さんの身体動作がどのように変化したかを客観的に評価する手法および療法士がどのような観点で訓練を行っているかを明らかにし、その結果を効果的な訓練プログラムの開発に繋げることを本研究の目的とする。初年度である今年、療法士の意見を聴衆しながら計測項目の検討と計測方法の検討を行った。これらのことについて本稿では報告する。

2 計測項目

今年度から21世紀兵庫県のチャレンジ事業（ロボットリハビリテーションの普及推進事業）して眼球運動を計測する装置アイトラッカー（ET）と身体の動きを捉える高速撮影ビデオカメラ（HC）、リハビリテーション訓練における筋疲労の状況を測定するための携帯型近赤外線組織酸素モニタ装置（NIRS）¹⁾（PocketNIRS、DynaSense社製）などの導入を行った。これらを活用し、ロボットリハビリテーション訓練を受ける患者さんと訓練を指導する療法士の訓練における「上手さ」を見出し、ロボットリハビリテーションの効果を高め、普及の促進に繋げていきたい。

そのための第一歩として、本研究ではベテラン療法士の経験に基づく訓練を指導する時の「上手さ」の検討も行った。

また、チャレンジ事業にて導入された機器を、リハビリテーション中央病院の療法士に紹介し現場のニーズに即した活用方法を検討した。各機器を用い

たデモを療法士に集まっていた場でいきなり計測したい内容に関する意見を得た。表1に意見を基に得られた計測評価項目と測定機器の対応関係を表1に示す。

表1 計測評価項目と測定機器の関係
Table 1 Measurement items and measurement devices

計測内容	測定機器
1 プッシュアップ動作後の筋疲労	NIRS
2 筋電義手操作の習熟度に伴う視線の変化	ET
3 療法士が評価する時の視線	ET
4 プッシュアップ動作時の肩甲骨回旋動作	HC
5 能動義手、筋電義手の前腕動作	HC
6 Honda 歩行リズムアシストの装着による歩行動作の変化	HC

NIRS：近赤外線組織酸素モニタ装置、ET：アイトラッカー、HC：ハイスピードカメラ

測定機器（NIRS, ET, HC）の取り扱いについては、療法士の方たちの前で利用する手順を踏まえたデモを行った。その際に、療法士の方々に各機器の利用方法に慣れていただく必要があることが判明した。

今年度は表1の計測項目を基に計測方法の検討と計測準備時間を短縮できないかの検討を行った。

3 筋疲労評価

NIRSを利用して計測したいプッシュアップ訓練時に筋肉へ与える疲労について、どの程度の訓練負荷を与えることが適切な訓練となるかを知りたいとの意見が出ている。この背景には、患者さん自身が自ら筋疲労を感じ取れないため、どの程度訓練時に負荷をかけるのがよいか客観的、定量的なフィードバックを得たいことがある。そこで、NIRSを用いてヘモグロビン濃度（オキシヘモグロビン濃度（Oxy-Hb）とデオキシヘモグロビン濃度（Deoxy-Hb）の変化をモニタリングし、筋肉への負荷量と訓練効果の関係性を明確化していく。今年度は負荷の大きさの違いによってヘモグロビン濃度の変化がどのように現れるかの検証を行った。

3.1 筋疲労測定検証実験方法

体にかかる負荷の大きさによってどのようにヘモグロビン濃度が変わるかを確かめるために被験者

2名（健常成人男性、平均年齢33歳）を対象に実験を行った。実験では、被験者間における動作のばらつきを小さくするために拍子40 [bpm]のメトロノームの音に合わせて一定のリズムで肘関節の曲げ伸ばし動作を行ってもらった。各被験者の手先に2[kg]の重りを巻きつけた場合（負荷時）と重りなしの場合（無負荷時）の各3回ずつ計測を行った。1回のタスクは20秒の安静、5回の振り上げ動作、その後50秒の安静とした。NIRSの装着はCh. 1を上腕伸筋群、Ch. 2を上腕屈筋群に装着して計測を行った（図1）。

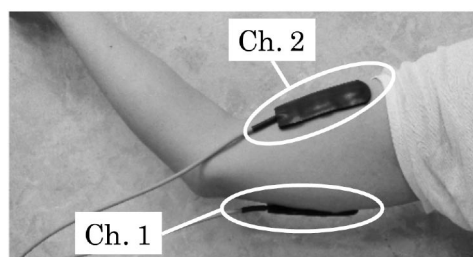


図1 NIRS装着の様子

Fig.1 Overview of wearing the NIRS sensors

3.2 筋疲労測定検証実験の結果

図2、3に負荷・無負荷タスク中にNIRSから計測されたOxy-HbとDeoxy-Hbの時間変化波形をそれぞれ3回の計測結果の加算平均として示す。図中の破線は負荷時の信号、実線は無負荷時の信号を示している。図2より伸筋側の信号においてはタスクの前後での信号の変化が小さいことがわかる。また、負荷ありの結果（破線）と負荷なしの結果（実線）においてほぼ同様の値になっており、重りによる影響が小さいことがわかる。これは今回対象とした肘関節の屈伸動作では、屈筋側を主に働かせて動作を行っており、伸筋側はほとんど働いていないためである。それに対して屈筋側の信号（図3）においてはタスク後にOxy-HbとDeoxy-Hbが大きく変化して

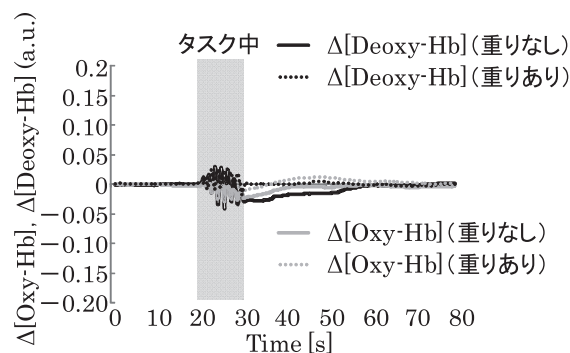


図2 NIRS計測波形の一例（Ch. 1 伸筋側）

Fig.2 An example of signals measured from pocketNIRS (Ch. 1: flexor group side)

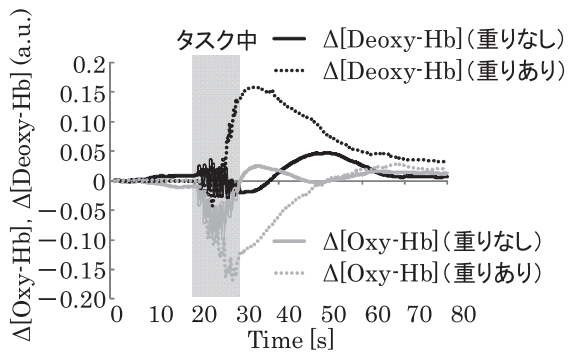


図3 NIRS計測波形の一例 (Ch. 2 屈筋側)

Fig.3 An example of signals measured from pocketNIRS (Ch. 2: extensor muscle group side)

おり、特に負荷時場合（破線）に変化がより顕著に表れていることが確認できる。両被験者ともに類似したOxy-HbとDeoxy-Hbの時間変化波形を確認した。今後はプッシュアップ動作の回数と今回の計測波形で見られた特徴との対応付けをすることでプッシュアップ動作の訓練効果が大きくなる負荷量を調査する予定である。

4 視線評価

アイトラッカーを用いた評価のひとつとして、筋電義手操作の習熟に伴う視線の変化や療法士が患者さんの習熟度を判断する際に身体のどの部位に着目して評価をしているのかをデータベース化することでリハビリテーションの評価方法を明確化することを予定している。今年度は通常のリハビリ訓練を妨げることなくデータ収集を行うためにキャリブレーション時間を短縮化の検討を行った。アイトラッカーの計測には図4に示すように計測前にキャリブレーションマークを9箇所に移動させて被計測者にマークを目視してもらい、キャリブレーションを行う必要がある。アイトラッカー²⁾ (Tobiiグラス、Tobii社製) のキャリブレーションを適切に完了するためには首を動かすことなく、視線のみを動かす必要がある。そこで、図5に示す首固定装具（頸椎固定カラー OH-001、アズワン社製）の装着によってキャリブレーション時間の短縮の検討を行った。

4.1 視線計測キャリブレーション時間と計測精度の検証方法

首固定装具の使用によってどの程度キャリブレーション時間とキャリブレーション精度を向上できるかを確認するために健常成人男性3名を対象に実験を行った。キャリブレーションを開始してからキャリブレーションが完了するまでにかかった時間

を計測し、キャリブレーション時間の平均値とした。またアイトラッカーのキャリブレーション後に表示されるキャリブレーション精度 (Accuracy: 視線の位置精度、Tracking: 視線の追跡精度) の平均値を評価に用いた。計測は各試行5回ずつの計測を行った。キャリブレーションにおけるマークの移動はすべて同一人物が行った。アイトラッカーによってどの程度正確に療法士の視点を再現できるかを確認するために筋電義手を操作している動画をディスプレイに表示し、義手の手先の動きを視線で追うように被験者に指示を行い、視線の計測を行った。

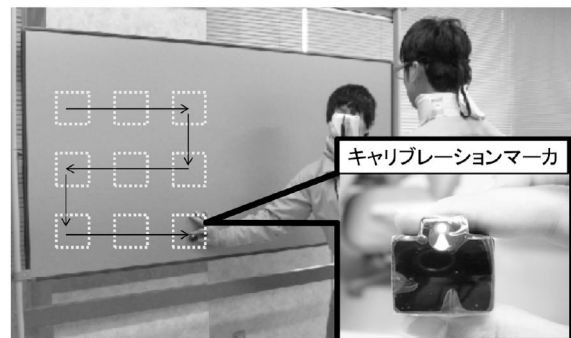


図4 アイトラッカーキャリブレーションの様子
Fig.4 Overview of the calibration for the eye tracker system



図5 首固定装具装着の様子
Fig.5 Overview of wearing a neck corset in order to improve the calibration time and the accuracy.

4.2 視線計測キャリブレーション時間と計測度の検証実験の結果

表2に平均キャリブレーション時間と平均キャリブレーション精度を示す。表2のキャリブレーション時間はキャリブレーション開始のボタンを押してからキャリブレーションを完了するまでにかかった時間の平均を示している。また、キャリブレーション精度の結果は最も精度良くキャリブレーションを完了できた場合を5とし、最も精度が悪いキャリブレーションの場合を1として記載している。結果より、視線の平均位置精度 (Accuracy) は装具を装着した場合において向上する傾向が見られた。これは、首の動きによる誤差の影響が低減したためだと考えられる。しかしながら、平均キャリブレーション時間は装具を装着した場合に時間が増加してしま

表2 アイトラッカーキャリブレーション結果
Table 2 The experimental results of the calibration for the eye tracker system

被験者	Sub. A		Sub. B		Sub. C	
	装具なし	装具あり	装具なし	装具あり	装具なし	装具あり
平均キャリブレーション時間	62.8 [s]	63.8 [s]	29.4 [s]	37.4 [s]	99.8 [s]	66.6 [s]
平均位置精度 (Accuracy)	1.0	1.4	4.0	4.8	3.8	4.2
平均追跡精度 (Tracking)	1.6	1.4	2.8	2.8	2.2	2.4



図6 アイトラッカーによる視線計測の一例 (Accuracy=5, Tracking=4の場合)
Fig.6 An example of measurement signal from the eye tracker system. (Accuracy=5, Tracking=4)

う被験者が多い結果となった。実験の様子から全被験者とも下段にマークを移動した時にキャリブレーションが上手く行えない様子が見られた。装具の装着が下段のマークの目視をさらに難しくする要因になってしまった可能性があると考えられる。また、下段が難しい原因として下側を目視する際に瞼が閉じた状態になりやすいことが考えられる。今後は下段にマークを移動した際のキャリブレーションを短時間に行う方法を再度検討して改善する必要がある。

アイトラッカーによって計測された視線の計測結果を図6に示す。図6に示すように、キャリブレーションを適切に行うことができれば義手の手先の動きにもおおよそ追従できることを確認することができた。今後は短時間に高いキャリブレーション精度を得る方法を再検討し、実際に患者さん、療法士にアイトラッカーを装着していただき、ロボットリハビリテーション中の視点を視覚化する予定である。

5 おわりに

本研究では、ロボットリハビリテーションの科学的根拠に基づいた評価を確立することを目的としてNIRSを用いた筋疲労評価と視線計測装置アイトラッカーの計測方法について検討を行った。NIRSによる筋疲労の評価において負荷の大きさの違いによる計測波形の特徴の違いを確認した。また、視線計測に関して適切なキャリブレーションを行えば筋電義手の手先の動きを追跡した場合にもおおよそ正確に視線を再現できることが分かった。

しかしながら、近赤外線組織酸素モニタ装置から

計測されるデータは心拍や呼吸などの血流調整機構の影響³⁾や計測部位や被験者間における光路長の違いによる影響が含まれるため筋疲労と計測データの対応付けをする際には考慮していく必要がある。そのため、被験者間の血流調整機構や光路長の違いによる影響がどの程度プッシュアップ動作における評価に影響を及ぼすかについて調査を行い、リハビリ訓練中の筋疲労評価へと繋げていく予定である。

また、アイトラッカーのキャリブレーション時間の再検討を行い、療法士が患者さんの体のどの部位を見て評価しているか、筋電義手のユーザーの習熟度に応じて、視点がどのように異なるかを明らかにする予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重なご意見やご協力をいただきました兵庫県立リハビリテーション中央病院の先生方、また実験にご協力いただきました皆様に感謝致します。

参考文献

- 1) PocketNIRS、URL[<http://www.dynasense.co.jp/>]
- 2) Tobiiグラス、URL[<http://www.tobii.com/ja-JP/eye-tracking-research/japan/products/hardware/tobii-glasses-eye-tracker/>]
- 3) 野澤 孝之、近藤 敏之ら：「NIRS脳計測データのオンライン分析のためのアーティファクト除去手法の比較」、第24回生体・生理工学シンポジウム論文集、pp.381-384、2009