計測自動制御学会
システムインテグレーション部門学術講演会(SI2012)
pp.0147-0149

上肢のねじり動作構築のための手がかり探索支援インタフェースの開発

○大室 尭生，武藤 琢真，上杉 繁（早稲田大学）

Development of an Interface System to Support for Finding Clues to Construct Unique Motion of Twisting Upper Arm

○Takao OMURO, Takuma MUTO, Shigeru WESUGI (Waseda University)

Abstract: In order to construct unique motion of twisting upper arm that people do not know how to do, authors considered a method that people can find clues to construct such motion based on Neurocognitive Rehabilitation. Therefore, authors developed an interface system that can provide haptic stimulation by rotating a grip user is grasping, detect activating muscles of upper arms by EMG, and provide tactile stimulation by inflatable tube for activating parts of arm.

１．はじめに

人は日常生活の中で，立つ，歩くなどの誰かに教わることなく自然とできるようになる動作や，誰かに教わりながら自分で手がかりを探していく動作など，複数の筋・関節を連動させた様々な動作を実現している．

スポーツやダンスなど多様な動作の構築を支援する工学的な研究としては，モーションキャプチャを用いて自身と手本の動作の違いをグラフィックで確認する水泳フォームの練習[1]やディスプレイの中で自身の動きと手本の動きを重ね合わせながらずれを確認する舞踊の訓練[2]など，手本を真似ることによる学習支援を目的とするものが多い．そして，これらの研究が対象としている動作は，ゆっくりであれば行うことができるが，素早く動かそうとすると思うようにいかないような動作が主である．こうした動作の学習支援に対し，そもそもどのように動かせばいいのかわからない動作の構築手法に関する研究はあまり見られない．

そこで，一見すると容易に動かすことができそうであるが実際に試そうとするとどのように行えばよいのかがわからない動作の構築という問題に取り組むため，パントマイムや弓道のトレーニングなどで行われる，あたかも肘のみが回転しているように見える上肢のねじり動作に着目し，その動きを構築する手掛かりの探索支援のための手法について研究することにした．

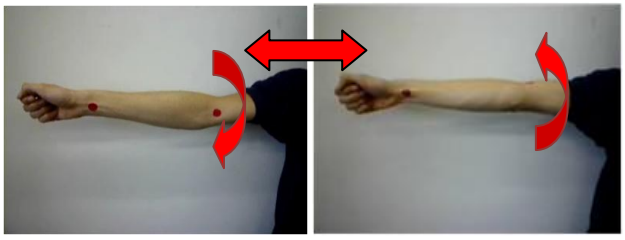

Fig.1 上肢のねじり動作

２．研究方法

上肢の肘部だけがねじってみえるような動作は，人体の構造上は可能であるが，どの部位をどのように動かしてよいのかがわかりにくい動作である．この動きのわからなさに対し，脳卒中などにより身体の動かし方が分からなくなってしまったと報告しているような患者の治療活動であるリハビリテーションの手法が活用できるのではないかと考えた．特に，単なる動作の繰り返しではなく，認知的活動を手掛かりに治療を行う認知神経リハビリテーションに着目し，河本[3]が発達障害への治療方法としてまとめた方針を，我々は以下のように解釈して，研究の手がかりとした．

①動きの差異を感じ取ることができる
②動きの選択肢を作りだすことができる
③動きのイメージを作ることができる

①の動きの差異とは，止まっている状態と動いている状態，または速く動いている状態とゆっくり動いている状態などを繰り返す中で，これらの動作の差異がわかるようになることだと考えられる．

②の動きの選択肢とは，行為においてはその行為をしないことも選ぶことができ，できる・できないの境界がわかり，それを調整できることだと考えられる．

③の動きのイメージは，自身の動作について直接目で見なくても頭の中に思い描くことができる状態である．このイメージが，まだ上手く行うことができない動作をつくる手がかりになると考えられる．

以上を踏まえ，あたかも肘のみが回転しているように見える上肢のねじり動作を構築するために，その手がかりを使用者自身が探索することを支援するインタフェースの開発に取り組んだ．

３．インタフェース開発

はじめに，動きの差異の感じ取りを促すため，動きによって生じる身体の微細な変化を感じさせる仕組みを検討した．そこで，使用者が動作を行った際に動作部位に触刺激を与えることで動作部位に注意を向けさせ，皮膚や筋肉の変化を感じ取りやすくすることとした．触刺激は，動作部位を押さえつけることで上腕と前腕の変化を感じ取りやすくなると考え，圧力による刺激を与えることにした．

次に，動きの選択肢を作るために，一定の動作を行う中で上腕と前腕，あるいは上腕二頭筋と三頭筋などの異なる部位に対して力を入れてもらい，力を入れる部位と力の入れ方によるねじり動作の可能・不可能の境界を探索させることにした．そこで，上肢をねじる動作は，動かないハンドルを把持していると容易に行いやすいことを利用し，少なくとも動作が行いやすい状況から動かしにくい状況へと変化できる場面を用意することにした．

最後に，動きのイメージを作るためには，目的とする動作をゆっくりと繰り返し行うことで，関連する部位に注意を分散させることが有効だと考えた．そこで，先にあげた選択肢を与えるための方法と組み合わせて，把持したグリップから様々なタイミングで力覚刺激を提示しながら動作を繰り返し行わせることとした．

以上を踏まえ，上肢のねじり動作構築の手掛かり探索支援を行うための以下の装置から構成されるインタフェースを考案した．

- 動作時に動いている筋肉を選別するための筋電検出装置
- 上肢の特定の部位に圧力を与えるための触覚提示装置
- 様々な挙動を行うことで使用者の動作を誘導する力覚提示装置

筋電検出装置は表面筋電計（追坂電子機器製 Personal-EMG，最大測定可能数 8[ch]）を使用する．筋電計は，上肢をねじる動作に使用されると解剖学的に推測される，Fig.2 に示す 8 つの筋肉に取り付ける．

次に，触覚提示装置には，上肢に装着できること，動作の邪魔にならないこと，圧力を加えられることが必要であると考えた．そこで，装置を軽量化しつつ調整可能な圧力を加えるために空気圧を使用することにした．空気圧は血圧計のカフの内側に特定の箇所のみに刺激を与えられるように，自転車チューブを利用して作成したゴム袋（直径 19[mm]，長さ 140[mm]）を配置することにした．このゴム袋やカフを，電磁弁を介してコンプレッサーに接続し，電磁弁の開閉によって圧力の調整を行う．また，負荷している圧力の大きさを測定するためにゴム袋と上肢の間に圧力センサ（ニッタ株式会社，Flexi Force，最大測定荷重 4.4[N]，測定部直径 9.5[mm]）を取り付ける．ゴム袋は上腕二頭筋近傍，上腕三頭筋近傍，円回内筋近傍，尺側手根伸筋近傍の合計 4 つ配置することにした．

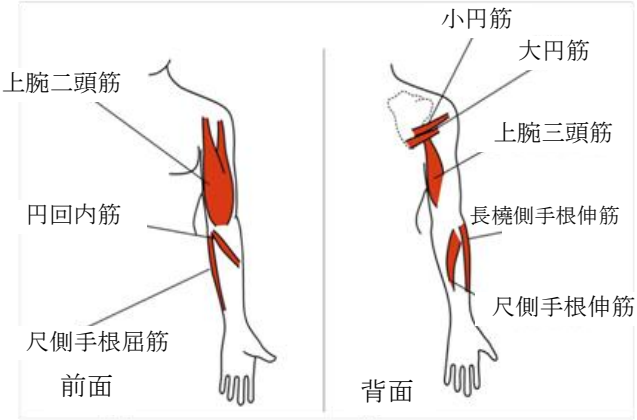

Fig.2 筋電配置

最後に，力覚刺激装置は把持したグリップを様々な速度やトルクで，再現性高く制御できる必要がある．ここで，動力伝達時にバックラッシュやコギングトルクなどがあると注意がそこに向いてしまい，動作部位以外へと分散してしまう可能性があるため，可能な限り取り除く必要がある．そこで，エンコーダ（OMRON 製，E6B2-CWZ6C）とコアレス DC モータ（maxon motor 製，maxon DC motor RE＝50）による位置制御を行い，動力の伝達にはバックラッシュの少ないタイミングプーリ，タイミングベルトを使用する．また，グリップにかかる力を測定するためにトルクセンサを取り付け，トルクを制御するために滑らかにトルクの伝達を行えるパウダクラッチ（三菱電機製，ZKG-20AN）を組み込んだ．作成したグリップは大きさが 440[mm]×180[mm]×430[mm]，最大トルクが 9.0[N・m]，分解能が 2000[P/R]，許容最高回転数が 285[rpm]となった．このトルクは人が把持した物をねじるときに出すことができる力をトルクセンサで事前に測定し決定した．また，上肢のねじれ角度を測定するために 3 次元位置センサ（POLHEMUS 社製 FASTRAK）を手首と肘に取り付けることにした．

以上の装置を統合して構築したインタフェースを Fig3 に示す．これらの制御は制御用パソコンを用いて行うが，電磁弁の制御と圧力センサの処理，クラッチのアンプ制御はマイコン（Arduino Software 製，Arduino Mega 2560）で，グリップの位置制御はモータドライバ（iXs research 製，iMDs03）とモータコントローラ（iXs research 製，iMCs01）を用いて行うことにした．その後，使用する装置全てを制御するためのプログラムを作成したが，筋電計のデータは量が多いため，

円滑な処理を行うためにメインのプログラムと並行して計測し，必要に応じてデータの受け渡しを行うことにした．

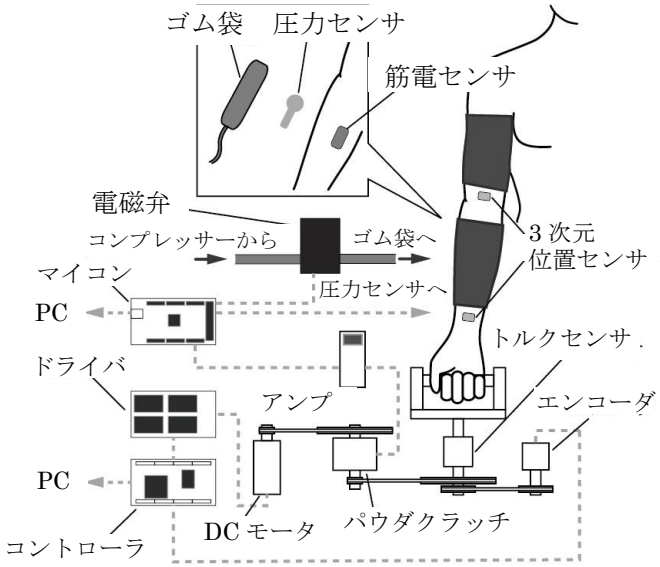

Fig.3 インタフェース概要

以上より，上肢のねじり動作の構築を支援するためのインタフェースを実現した．このインタフェースにより，筋電の値から動作している筋肉，または動作していない筋肉を選択してその近傍に圧力を負荷することが可能になった．また，グリップはエンコーダの値だけでなくトルクセンサや 3 次元位置センサの値とも連動して可動させることを可能とした．

続いて，2 章で述べた，動きの差異，動きの選択肢，動きのイメージにあらためて着目し，使用者がねじり動作の手がかりを探索する支援を行うためのインタフェース活用方法について検討した．

動きの差異と動きのイメージをつくるためには，上肢の表面への圧力によって動作部位の変化を感じ取りやすくすることが有効だと考えた．そこで，上肢のねじり動作を行いつつ，動いた筋肉近傍に対して圧力を負荷することにした．さらに力覚刺激の様々な提示による，ねじり動作の手がかりを探索するため以下のようなグリップの挙動パターンを考案した．

パターン 1 として，使用者の動作に関わらずグリップを指定した角度から回転させないようにする．

パターン 2 として，グリップを周期的に左右交互に回転させる．

パターン 3 として，使用者がグリップに発生させたトルクとは逆方向にグリップを回転させる．

パターン 4 として，使用者の肘と角度が等しくなるようにグリップを回転させる．

開発したインタフェースを，ねじり動作を行うことができない 20 代男性 7 人(右利き)に体験してもらった．体験方法は上述の力触覚刺激 4 パターンを順番に 3 分ずつ行った後，体験者が希望したパターン 2 つを追加で 3 分ずつ行った．体験後，7 人中 6 人が上肢をねじる動作が可能になった．動作が可能になった体験者と可能にならなかった体験者とのコメントに見られた違いとして，注意を向けた部位があげられる．ねじり動作ができなかった体験者はすべてのパターンの体験において上腕二頭筋近傍に注意が向いたとコメントした．一方で，動作が可能になった体験者はいずれかのパターンの体験において上腕三頭筋近傍に注意が向いたとコメントした．

4．終わりに

一見するとできそうであるが，実際には動かすことが困難である上腕のねじり動作に着目し，動作構築を支援するための方法について取り組んだ．そこで，動きの差異，動きの選択肢，動きのイメージに着目し，使用者自身が動作構築の手がかりを探索するための支援インタフェースを開発し，力覚刺激と触覚刺激による 4 つの動作パターンを実現した．このインタフェースの体験結果を踏まえると，上腕三頭筋に注意が向き，調整可能となることが，ねじり動作の手掛かりとなる可能性が示唆された．

今後は，どのような動作のパターンが，使用者の手がかり探索に対してどのように影響を与えているのかを明らかにしていきたい．また，そこからどのような動作のパターンが，上腕三頭筋に注意を向けて，調整可能となることを促す手掛かりになるのかについても検討していきたい．さらには，こうしたねじり動作の獲得による，スポーツなどのパフォーマンス向上との関係についても調査したい．

参考文献

[1] 高内 一平，山本 奈緒，飯田 尚紀，武田 昌一 : A Study of Educational System for Learning Body Movements by Distance Learning，近畿大学生物理工学部紀要 No.21, pp7-16, 2008

[2] 倉本 到, 稲垣 喜一, 渋谷 雄, 辻野 嘉宏 : 仮想鏡 : 学習者と教示者の動作の違いを明確にする動作学習支援システム，社団法人　情報処理学会　研究報告，2009

[3] 河本 英夫 : 発達のリセット，青土社，　現代思想 2007 年 5 月号，pp.56-68，2007