

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750229

研究課題名(和文)先天性上肢欠損、外傷性上肢切断に対する個性適応型情報処理に基づいた筋電義手の開発

研究課題名(英文)Myoelectric hand for congenital deficiency or traumatic amputee

研究代表者

高木 岳彦(TAKAGI, Takehiko)

東海大学・医学部・講師

研究者番号：00348682

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年、筋電義手の開発競争が高まり、その基礎技術が確立されてきた。われわれは電気通信大学横井研究室の協力の下、触覚、位置覚を計測できる全方位センサの開発、母指独立動作における筋電制御装置の開発とともに、数十秒の学習時間で手指屈伸などの動作を個々人の筋電信号から教えることで個性適応型情報処理を備えた筋電義手を開発してきた。これを実際の患者に適応し特に上腕切断患者には肘関節屈伸運動を含めた6運動を可能にした義手を製作した。さらに効率の良い末梢動作を筋電義手に与える目的で断端神経を残存筋に移行させたが、現在臨床機能評価、電気生理学的評価、ADL評価で追跡中であり、今後さらに症例を重ねる予定である。

研究成果の概要(英文)：We developed myoelectric hands with multiple oriented sensor or thumb motion. In addition, mutually adaptable myoelectric hands with six movements including elbow flexion-extension, forearm pronation-supination, and digits flexion-extension, were indicated for transhumeral amputees. Furthermore, nerve transfers for more effective motion were performed. Postoperative evaluations are ongoing.

研究分野：手外科

キーワード：筋電義手

1. 研究開始当初の背景

先天性の欠損肢(先天性横軸形成障害(上肢欠損))や事故等による外傷性の切断肢(上肢切断)は整容面での障害のみならず、体の対称性が保持できず脊柱側弯をはじめとした姿勢異常および骨格異常を来す。また乳児期より上肢を用いて這うことができない、楽器の演奏ができない等、文化的な生活を営む上での障害を認める。

手指欠損、切断に関しては、細かい血管縫合等の手術技術を駆使して足趾(足のゆび)を移植する方法もとられることがある。しかし、自分自身の足趾が採取されるほか、日常生活を営むまでの指の機能を獲得させることは困難で、殊に整容的に指の形の整った手を重視する日本国内では足趾のついた手は受け入れ難く、足趾を移植する手術は現実的ではない。さらに諸外国で手の同種移植がここ15年で約60例施行された(www.handregist.com)が、免疫反応に伴い再切断に至る例が少なくないこと、生着に成功しても副作用の多い免疫抑制薬を一生に渡り服用し続けられないこと、免疫の問題が克服できてもドナーに限りのあることから、現実的に欠損肢、切断肢に手の同種移植をルーチンに適用させるのは困難である。

このように健常肢のような上肢の再生が難しい現状では、運動と知覚機能を工学系の技術を用いて外部装置に置き換える筋電義手のみ克服可能と考える。しかしながら、市販されている筋電義手は手指の屈伸運動にとどまるものが多く、健側と同様の機能の再現という水準には至っていない。

2. 研究の目的

先天性の欠損肢や外傷性の切断肢に対して、自家足趾移植や同種手指移植は国内ではこのように受け入れが困難であり、健常肢のような上肢の再生が難しい現状では運動と知覚機能を工学系の技術を用いて外部装置に置き換える筋電義手のみ克服可能と考える。これまでに開発されている筋電義手の機能に加え、患者へのコンプライアンスを上げるため、機能的にも整容的にも人間の手指に近づけるよう、知覚を持たせ、人間特有の母指の動きを加えた指の動きを再現させたい。そのため全方位センサの開発と母指独立動作を可能とする干渉駆動機構、筋電制御装置の開発を中心に行う。また開発された機器の臨床現場での具現化を目標として、実際に被験者に機器を装着してもらい、評価を行うことまでを視野に入れた研究を行う。

3. 研究の方法

(1) 手先をセンサとして使うための感覚フィードバック(触覚、位置感覚を計測できる全方位センサの開発)

子供用から大人用の義手に適用できるフリーサイズのセンサ部品の製造方法と情報処理方法を明らかにした。具体的には塩化ビニルの装飾用グローブを用いる際は、義手は骨格、装飾用グローブ、骨格とグローブの間に詰める緩衝剤の3つによって構成される。柔軟なシリコンの装飾用グローブを用いる場合は、グローブと骨格の間に緩衝剤を詰める必要がないため、導電性スポンジを用いた感圧センサの使用は向いていない。そこで、義手の構成要素である装飾用グローブの内面を導電性の感圧素材にすることで、柔軟なシリコングローブの使用に向く感圧センサの開発を行った。また、電極素材の要件として、薄型・軽量かつ義手指の骨格に適応可能な柔軟性が必要である。候補として、ステンワイヤ、銅箔、導電性の不織布(ナイロン、ポリエステル、導電性ポリマ)を用意した。さらに、指腹、指背、両側面に取り付けられた電極によって全方位の感圧情報を取得し、加圧面の特定が可能かどうか検証した。

(2) 母指独立動作における干渉駆動機構、筋電制御装置の開発(母指屈伸による対立運動への切り替え、長母指屈筋の筋電の抽出法の開発)

母指は、指尖把持の最も重要な指であり、外科的にも第一選択として再建される(Takayama et al., Tech Hand Up Extrem 2003)。手指の基本動作を実現するために、長母指屈筋の筋電を効率良く抽出させ、母指屈伸による対立運動への切り替えを行うことで、母指CM関節の機構と制御法を明らかにする。具体的には完全な形で母指が残っている場合と母指に部分的な欠損を有する場合についてそれぞれ設計方法が異なり、母指が残存している場合は受動機構を使用しない状態のまま把持操りに活用し、母指が一部欠損している場合は関節機能および指先が未発達もしくは不完全となり、指先で支えるときに滑りを生じ安定して物体を抑えることが出来ない。そのため残存する母指CM関節を中心軸として回転し、母指を挿入し自由度を固定することが出来る補装具を使用した。ただし運動自由度を固定している理由は母指の動きを安定させる為である。また母指の補装具は回転中心軸との間を繋ぐ棒材に強度を持たせる為、3Dプリンタを使用せずしなやかで折れにくいナイロンを加工して使用した。(村井ら、投稿中)このように作成された母指独立動作を可能にした筋電義手の日常生活動作における有用性を探る為、筋電義手の把持機能評価であるPick-and-Place test(星川ら、知能と情報2015)を施行した。

C) 筋電義手評価(上腕切断患者に対する肘関節可動義手の開発)

開発された筋電義手を予めインフォームド・コンセントの得られた被験者に装着してもらった。特に上腕切断患者を対象とし、肘関節の屈伸、手関節（前腕）回内外、手指の屈伸運動の計6運動を搭載し、これらの運動を同時に可能にした義手を開発した。特に肘関節では、ワイヤ牽引駆動方式では物を把持するときその弾性と塑性による伸びの影響から肘の安定性が得られないため、リンク駆動方式の採用した。また義手には数十秒の学習時間で手指の開閉などの動作を個々人の筋電を使って教えることが個性適応型情報処理を可能にした。

4. 研究成果

(1) 手先をセンサとして使うための感覚フィードバック

シリコンに導電性のカーボン粒子を配合した導電性シリコンを装飾用グローブの内側に転写することで、柔軟かつ薄型・軽量の感圧センサが製作できることを示した。また電極の素材は導電性の不織布(ナイロン、ポリエステル、導電性ポリマー)が優れていると結論づけた。さらに、提案する感圧センサの出力から全方位性の確認及び加圧面の特定が可能であることを示した。また、反応しているセンサによって、義手の把持姿勢の特定が可能であることを示した。

以上より、義手に搭載する感圧センサに必要な要件をすべて満たす人工指用感圧センサを開発ができた。このように、内面に導電性シリコンを転写した装飾用グローブと義手骨格に電極を配置することでセンサを構成したが、電極を義手骨格に配置せずに装飾用グローブのみで圧力測定と加圧位置の識別ができるようにすることが今後の課題である。

(2) 母指独立動作における干渉駆動機構、筋電制御装置の開発

切断手に対して新たに把持可能となった物体がいくつかにみられたが、義手装着によって把持できなくなった物体がみられなかったことから把持操り性能の機能向上が確認された。一方で、把持成功率の低い物体に対する把持方法の改善が今後の検討課題となる。特にプラスチックカードの把持、ブリックパックのつまみ上げの2点が一度も成功しなかったが、プラスチックカードは指先形状により掴むことが出来ず、ブリックパックは把持面の小ささおよび把持力の不足が原因と考えられる。それらを解決するにはプラスチックカードの場合は指先に爪を装着することでつまみ上げることが可能になり、ブリックパックは把持力を向上させて手先具の形状と力伝達の設計を最適化することで持ち上げることが可能になると考えられる。爪については3Dプリンタにて作成した爪を装着することで薄い物体が

把持可能となることが示されている。(村井ら、投稿中)

(3) 筋電義手評価

この筋電義手の高性能化を受けて、微弱な信号や個々人で異なる筋電信号に対して個性適応機能を実装した筋電コントローラを内蔵することに加え、断端神経を効率よく残存筋に移行させて、その筋より筋電信号をとらせることで効率の良い末梢動作を筋電義手に与えるべく神経移行手術を上腕切断患者に施行した。現在術後経過を臨床機能評価、電気生理学的評価、ADL 評価で追っているところであり、今後さらに症例を重ねる予定である。

<引用文献>

- ① 粕谷昌宏、加藤龍、高木岳彦、伊藤寿美夫、高山真一郎、横井浩史、身体を拡張する筋電義手 障害を再定義するテクノロジーの実現を目指して、情報管理、査読有、Vol. 58、No. 12、2016、pp. 887-899
- ② 村井雄太、星川英、迫田辰太郎、矢吹佳子、石原正博、中村達弘、高木岳彦、高山真一郎、姜銀来、横井浩史、中手骨部・中央部欠損手部切断患者用筋電義手システムの提案、投稿中
- ③ 星川英、迫田辰太郎、山野井佑介、加藤龍、森下壮一郎、中村達弘、關達也、姜銀来、横井浩史、基本把持機能を有する簡易型筋電義手の開発と評価、知能と情報、査読有、Vol. 27、No. 6、2015、pp. 885-897
- ④ Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K, Adult Norms for the Box and Block Test of Manual Dexterity, Am J Occup Ther, Vol. 29, No. 6, pp. 386-391

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1件)

- ① 粕谷昌宏、加藤龍、高木岳彦、伊藤寿美夫、高山真一郎、横井浩史、身体を拡張する筋電義手 障害を再定義するテクノロジーの実現を目指して、情報管理、査読有、Vol. 58、No. 12、2016、pp. 887-899

[学会発表] (計1件)

- ① 高木岳彦、望月大二郎、中村達弘、加藤龍、関敦仁、持田譲治、横井浩史、高山真一郎、多点振動子アレイによる義手の体性感覚フィードバック -義手使用の実用性を考慮した感覚フィードバックシステムの実現に向けて- 第25回日本末梢神経学会学術集会、ホテルルビノ京都堀川、京都。(2014年8月29-30日)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

①

http://ortho.med.u-tokai.ac.jp/research/research_07.html

②

http://www.u-tokai.ac.jp/academics/undergraduate/medicine/news/detail/post_8.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 岳彦 (TAKAGI, Takehiko)

東海大学・医学部・講師

研究者番号：348682

(2) 研究協力者

横井 浩史 (YOKOI, Hiroshi)

電気通信大学・情報理工学研究科・教授

研究者番号：90271634