

生体計測信号による義手ソケット評価の基礎研究

Fundamental research on biometric signal based prosthetic sockets evaluation

○丸山隼生(東電大) 大井健太郎(東電大) 大西謙吾(東電大) 野口祐智(東電大) 三田友記(国リハ)

Hayaki MARUYAMA, Kentaro OI, Kengo OHNISHI, Masanori NOGUCHI, Tokyo Denki University
Tomoki MITA, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Abstract: The design and fabrication method of the socket is well established, however the process are not fully supported by scientific evidence. The evaluations of upper limb prosthetic sockets are limited to the mechanical characteristics such as the capacity load of suspension and range of motion at socket fitting. However the assessment is based on interview and qualitative. The amputee's subjective request to reduce pain or pressure is satisfied by the prosthetist's experience of adjusting the socket shape, and the method for predicting the fit and adjustment are not quantitative. In this research, we develop a multimodal biometric signal instrumentation system to investigate the design factors of inner socket condition. The paper reports the pilot test of quasi-socket's inner temperature and humidity measurement in relation to myoelectric signal recording. The considerations for experiments conducted on subjects with amputation are discussed.

Key Words: Upper Limb Prosthesis, Prosthetic Socket, Myoelectric Signal, Biometric Signals

1. はじめに

義手は欠損した上肢部位の機能を補填するために処方され、残肢の採型・採寸にもとづき製作、調整し、切断者が装着して使用訓練を行うというプロセスを通じ目的の作業に使えるようになる。臨床で処方される前腕ならびに上腕切断者用の義手は、一般的にモジュラ構造型と称し、手先具、継手、ソケット、ならびに手先具操作インタフェースから構成され、市販の手先具や継手モジュールをソケットに接合し、組み立てることで製作される。操作インタフェースと義手全体としてのシステムは、一定期間の使用訓練などを通じて切断者は適応することが可能であり、作業能力は決まったプロトコルにて実施される評価法で評価される。これに対し、ソケットは、適合評価時の懸垂荷重によるずれや可動範囲などの簡易な力学的評価を除けば、使用者と製作者である義肢装具士間の対話による定性的な評価法しかない。切断者の痛みや圧迫感といった主観的な訴えに対し、皮膚の変色度合いなどを参考に義肢装具士の経験によって形状の修正が施される。ゆえ、ソケットは設計・製法は確立されているものの、十分な科学的な裏付けがあるものではないため、問題を予測しえる適合調整法がない。このため、環境の変化に対して品質を長期的に担保することが困難で、ソケットのつくりかえにおいても、形状の忠実な再現が目標となる。さらに、残肢の低体温、ムレなどの愁訴に対しても対応の術がない。

なかでも筋電義手は、インタフェースである筋電センサをソケットに内蔵する構造であるため、ソケットの適合が操作信号、さらには義手の作業能力に大いに影響する。逆に、生理学的に適したソケット設計法が確立できれば、より安定した生体信号を確保でき、さらには筋電義手の作業能力の向上につながる可能性があると言える。そこで、本研究では、まず基礎研究としてソケット内のマルチモーダル生体信号計測システムを構築し、ソケットの装着状態と筋電信号の関係を調査する。

2. 義肢ソケット

ソケットは残肢と義肢とが直接触れる部分であり、残肢の収納、義肢の懸垂、力の伝達などの機能を有す。形状設計は、採型・採寸した形状に、上記の機能に加え、脱着性、残存関節の可動範囲も加味され決定される。ゆえ、単純に

残肢の外形状を測定すれば適切なソケットが自動的に作成できるわけではない。また、義肢ソケットの研究はあるものの、大多数が義足用である。例えば、義足ソケット設計ならびに評価法に関する研究として、藤並らのMRI画像を用いて三次元形有限要素モデルを作成し、義足ソケット適合時の組織別の変形量を指標として設計・適合評価を行う方法¹⁾がある。また、Converyらはソケットに超音波プローブを取り付け、歩行時の大腿骨の動きをエコー画像で記録、画像よりソケットに対する大腿骨の変位量を導出し、義足ソケットの適合(拘束)度合いを評価する方法を提案している²⁾。これら従来の骨と生体軟部組織を外部から観察するソケット設計・評価法に対し、生体内組織情報を用い設計、評価する提案である。また、生理学的要因との関連では、蜂須賀らは義足ソケットの材料・種類別に放熱性、通湿性を実験的に比較するとともに、これに起因する搔痒感、発疹、臭いなどに関するアンケート調査を報告している³⁾。これらに対し、義手ソケットは事例報告にとどまり、科学的アプローチによる研究論文は極めて少ない。

義手ソケットは義足用と比べ体積、表面積も小さいため、前述の機能を満たすために形状設計を行うと、他の機能を織り込むための自由度に高くない。筋電義手の場合、筋電センサやバッテリーの収納のためさらに制約がある。しかしながら、ソケットの材質や製作方法まで含め柔軟に考え、特に加工精度が担保できれば、電子回路の表面実装技術と同じく、更なる機能の追加は可能である。なかでも切断者の多くは残肢の低体温やしびれ、ソケット内の蒸れ、臭いの問題を訴えることから、ソケット内の温度、湿度の制御により、切断者の社会参加の可能性は広がると期待される。

そこで、義手ソケットの機能追加、ソケット設計、製作、評価法の向上を目標とし、本研究では筋電信号のみならず、姿勢角度、ソケット内の温湿度、圧、血流など多種の生体信号計測システムを構築する。筋電、圧力、温度、湿度、姿勢角度などのセンサ、超音波血流計を用いて同期計測を行うことで、ソケット設計因子と、残肢ならびにソケット内環境の因子との関係を明らかにする。本報告では、温度・湿度センサの先行実験について述べる。

3. 実験

筋電信号は、生体と電極間の電気的特性の変動の影響を

受けるため、筋電センサ周辺の環境はソケットの装着から取り外しまで可能な限り一定の状態になることで、安定して義手の操作が可能になる。そこで、前腕の体表面をアクリルシートで覆い、肘、手関節の周りの空気の流入を制限した模擬ソケットにて、温度・湿度状態と筋電信号出力を測定する(Fig. 1)。温度センサには National Instrument 社、LM35D, 湿度センサには TDK 社、CHS-U, 筋電センサには Otto Bock 社、Myobock 13E200=50, データの記録には日置社、メモリハイコーダ 8860 を用いた。温度センサ、湿度センサは右前腕内側、肘から指 3 本分程度の位置に設けた。筋電センサは、小指・環指の中手指節関節を屈曲した際に筋の収縮を触診で確認できる場所の体表面上に設け、信号がゆっくり中程度の強度で屈曲した際に 2V 程度になるよう増幅率を調整した。また、温度センサ、湿度センサについては事前に恒温槽にて校正実験を行い、定常特性として温度と出力電圧に線形な関係を確認した。さらに、予備実験として複数の被験者にて測定開始から約 5 分で温度信号が、約 20 分で湿度信号が定常状態に至ることが確認できたことから、実験は 20 分間とした。実験は、湿度センサ、温度センサを 1 分間隔で、筋電信号は、温・湿度信号のサンプリングに合わせ、3 回小指・環指の屈曲・伸展時の信号を 100Hz にてサンプリングする。

実験は、健常な 20 代男性 1 名の被験者に対し行った。実験は東京電機大学のヒト生命倫理委員会の承認をえて、被験者に事前に実験の内容を説明し、同意をえて実施した。

4. 結果・考察

測定時の室内温度は空調にて 26°C に調整、湿度は 50% であった。模擬ソケットを用いた温度、湿度、筋電信号の測定結果を Fig. 2 に示す。筋電信号はサンプリングしたデータの屈曲時の平均値を示した。温度は開始時 28°C から 31°C に 2 分程度で上昇した後は変動は見られなかった。湿度は 50% から 10 分までに 80% 近傍まで上昇の後、定常状態に至った。疑似ソケット内は、5 分を経過した頃から水滴が表面に生じるのを確認し、口頭でも蒸れているとの訴えがあった。また、筋電信号については明確な信号レベルを指示しなかったことからばらつきはあるものの、その平均値はおおむね一定の信号レベルを発生させられており、湿度の変動のあった前半と後半とでは顕著な差は見られなかった。

予備実験を通し、模擬ソケット内の温度、湿度センサ信号は類似した結果が得られたことから選定した温度、湿度センサは十分な計測性能を有することが確認できた。ソケット内の湿度は 10 分ほどで部屋内の湿度と比較して高くなり定常状態に至っており、継続着用により蒸れが発疹や臭いの問題につながると懸念される結果が得られている。なお、健常者と切断者で血管や汗腺の数に差はあることから、今後は参考値として健常者での測定を行いつつ、切断者での測定を行っていく。ただ、測定結果は環境の影響を受けるため統一するのは困難であるため、健側の同部位での温度、湿度を測定し、差分を表示する方法を検討する。筋電信号については出力信号レベルについて指示を出さなかったことから、測定データは被験者の操作能力によるばらつきと湿度によるばらつきが識別できるほどの差が認められなかった。このことから、健常者においては、筋電センサの装着部位を少しずらした状態で、操作信号が湿度に影響を受ける度合いを先行実験として検証していく。

5. まとめ

本研究の研究背景、ならびに研究目的などについて示し

た。筋電義手用ソケットの機能向上を目的とした定量的な設計、製作、評価法の確立に向け、基礎研究としてマルチモーダル生体信号計測システムの開発の進捗について示した。先行実験としてソケット内の温度、湿度と筋電信号を測定し、実験方法などについての考察を示した。今後は残りのセンサを取り付けた計測用ソケットの試作と切断者のソケット内の残肢の力学的、生理学的評価を進める。

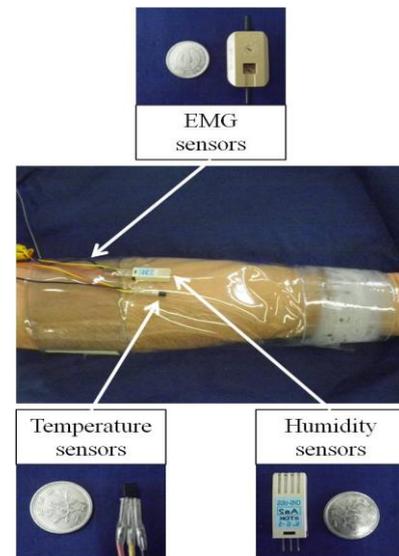


Fig. 1 Quasi-prosthetic socket model and the sensor layout

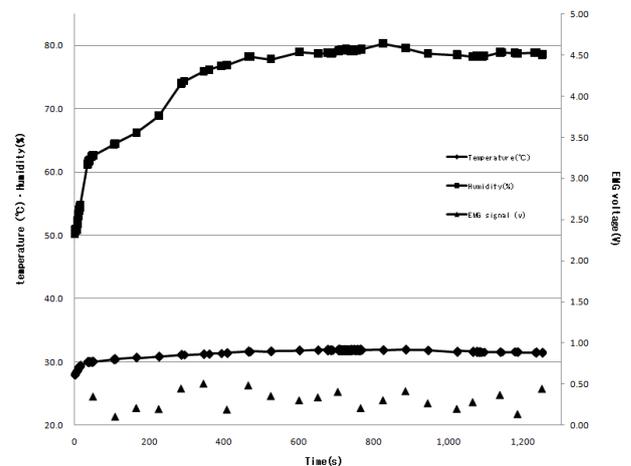


Fig. 2 Experimental Results of the Temperature, Humidity and Myoelectric signal

参考文献

- (1) 藤並昌一郎, 東江由起夫, 犬塚博, 花房昭彦, 山本紳一郎, 義足ソケットの定量的評価と設計システムの開発, 日本機械学会バイオエンジニアリング講演会講演論文集, Vol.23, 2011, pp.463-464
- (2) P. Convery, K.D. Murray, Ultrasound study of the motion of the residual femur within a trans-femoral socket during gait, Prosthetic and Orthotics International, Vol.24, 2000, pp.226 -232
- (3) 蜂須賀研二, 山内克哉, 井出睦, 大峯三郎, 舌間秀雄, 新小田幸一, 有菌秀昭, 中村立, 義足におけるインターフェース評価—特に生物学的適合の観点から—, 日本義肢装具学会誌, Vol.17, 2001, pp.112-117