

義手ソケット特性のマルチモーダル生体信号計測と評価

Multimodal biometric signal measurement and evaluation of upper limb prosthetic socket

○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: Prosthetic socket is the only fully custom made component in the clinically prescribed upper limb prosthesis. This is due to the fact that the prosthesis’s usability is very sensitive to socket fitting. Though the design and evaluation method of the socket is well established, the test factors are limited to those related to mechanical characteristics, e.g.capacity load, pressure. The shortage of evaluation method for understanding the inner socket condition, especially the thermal and humidity characteristic becomes critical for making modification for the complaint on felling of cold. In this research, we develop a multimodal biometric signal instrumentation system to investigate the thermal and humidity condition in the socket and their relation to inner socket pressure, myoelectric signal and blood flow. As the incipient findings from the pilot test on non-amputated subject donning a quasi-socket, the heat retention and humidity elevation in the socket has tie to the amount of gap between the body surface and socket, and has weaker relation to the blood flow, in minute period.

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

1. はじめに

臨床で処方される体外力源式の義手は、義手の機能を要素部品化し、これらを処方に応じて組み立てるモジュラ構造とすることで、一定の品質の義手を短い納期で供給することを図っている。義手を構成する要素部品である手先具、継手、ソケット、操作インタフェースの内、ソケットのみ義肢装具士により使用者にあわせたカスタムメイドである。これは、ソケット装着時の快適性が義手の使い勝手を大きく左右することが一因である。ただ、ソケットの設計、評価手法は確立されているものの、その設計・評価因子は力学に関するものに偏っているのは問題である。義手の自重や外力によりソケットから切断肢に加わる力、ならびにソケットの寸法と切断肢の寸法差から生じる体表面圧力によりソケットの評価を行うことで、圧痛の原因は解消できても、切断肢の低体温、蒸れなどの愁訴に対しては、ソケットの調整を行う術がない。この問題は下肢においても同様であることから、基礎研究として義足ソケットの伝熱性について、蜂須賀らが材料・種類別に放熱性、通湿性を実験的に比較し、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¹⁾。筋電義手用ソケットにおいては、ソケット内に筋電センサを内蔵することから、単にソケット材料の伝熱性だけでなく、実際にソケット内での温湿度と筋電信号への影響を明らかにし、さらには、低体温や蒸れの改善を行うためのソケット設計法を構築することが義手の使い勝手を向上することに寄与すると思われる。

そこで本研究では、ソケット用のマルチモーダル生体信号計測システムを構築し、ソケット装着状態におけるソケット内環境としての温度、湿度、ソケット一体表面接触圧と、筋電、血流速の関係を測定、調査することで、ソケットの伝熱特性の設計法の構築をめざす。本報告では作成した非切断者用の密閉式模擬前腕義手ソケットを装着した時の温度、湿度、筋電位、圧力、血流速の各信号のソケット装着時の信号を測定した結果について報告する。

2. ソケット用マルチモーダル生体信号計測システム

本実験では、義手ソケット設計時に作成されるチェックソケットの材料である熱可塑性樹脂サーリンを用いて密閉式模擬前腕義手ソケットを作成した。ソケットは、被験者前腕を採形の上、作成した。非切断者用としたため、ソケ

ットの脱着性を加味し、手関節部は尺骨側に余裕をとり、トリムラインは上顎を覆わない形とした。

センサ信号の時系列変化の同期計測・記録にはデータロガー(HIOKI社、メモリハイコーダ 8860)を用いた。また模擬ソケット内の計測に使用した温度センサ、湿度センサ、圧力センサ、筋電センサ、血流速計を Table 1 に示す。血流計プローブには Hadeco 社、8MHz 平型プローブを用いる。

Table 1. Sensor Compendium

	Maker	Model No.
Humidity sensor	National Instrument	LM35D
Temperature sensor	TDK	CHS-U
Preaure sensor	Interlink Electronics	FSR402
EMG sensor	Otto Bock	13E125-50
Ultrasonic blood flow meter	Hadeco	Smartdop 30EX

3. 温湿度計測実験

ソケット内の温度、湿度の計測におけるセンサ位置による影響が想定されることから、予備実験を行った。使用するソケットは密閉式としたが、非切断者用としたことから手前は装着のために空間を設けてあり、ソケット表面が体表面に接触しない状態にある。これに対し、ソケット前腕部撓骨側ならびに内外側面は体表面に密着させるため、手前と前腕部内側面の 2 カ所に温度センサ、湿度センサを各々設けた (Fig.1 参照)。実験は、被験者がソケット装着直後から測定、記録を開始し、サンプリング周期は 10Hz で測定時間は 600 秒間とした、測定は 2 回実験を行ったが、両測定の間隔は十分に取り、ソケット内の換気を行い、温度、湿度が周囲と同じに戻った事を確認し、実験を進めた。

被験者は非切断者の 20 代女性 1 名としソケットは同被験者の右手ように作成した。なお、後述の実験を含め、実験は東京電機大学のヒト生命倫理委員会の承認を得て、被験者に事前に実験の内容を説明、同意を得て実施した。

4. 温湿度計測実験 結果・考察

測定時の室内温度は空調にて調整、室内用温湿度計にて温度 28℃、湿度は 45%を確認した。ソケット内の温度、湿度計測結果を Fig.2 に示す。手前(測定点 D)と前腕部(測定点 P)を比較すると、測定開始から 600sec 後、手前が前

腕部に対し平均して温度が 2℃、湿度が 7.5%高くなった。また、実験後の被験者のコメントからも測定点 D のほうが蒸れを強く感じられたことを確認した。以上のことから、ソケット内の温湿度は様々ではないことが確認され、また、開口部(トリムライン)からの距離、ならびに、体表面とソケット内側面との隙間などの因子に応じ、ソケット内の熱が滞留し、温度、湿度が高くなる可能性があると思われる。このことからソケットの伝熱特性を考えるにあたり、これらの因子とソケット内温度の関係について更なる実験を進めたいと考えた。

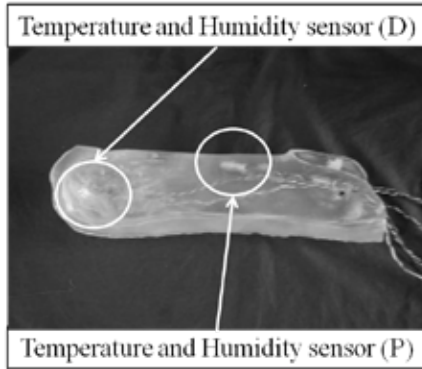


Fig.1 Quasi-Prosthetic Socket Model and the Sensor Layout

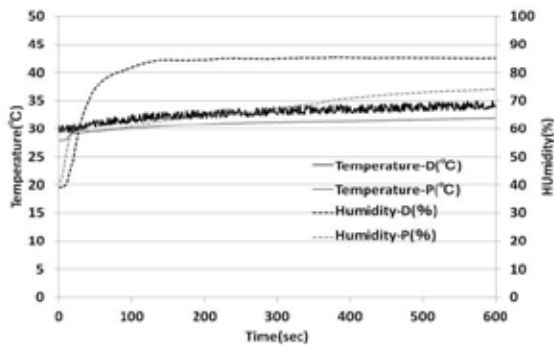


Fig.2 Experimental Results of the Temperature and Humidity

5. マルチモーダル生体信号計測実験

切断肢の低体温やしびれ、ソケット内の蒸れ、臭いに関連すると思われる、温度、湿度、圧力、血流、ならびに筋電義手の操作信号である筋電位と、ソケット装着時間との関係について調査する。具体的には、上述の模擬ソケットを着用し、ソケット内の温度・湿度、ソケットのトリムライン近傍点のソケット-体表面接触圧力、ソケット装着側肘窩での血流(動脈)速波形、筋電義手操作用の筋電センサ出力を同期計測する。各センサの設置位置と状態を Fig.3 に示す。サンプリング周波数 10Hz にてソケット装着から 1800 秒間の測定信号を記録した。被験者には筋電義手の閉操作を模して約 300 秒ごとに 3 回小指・環指の屈曲動作の発生させるよう指示した。各センサの固定方法は、温度、湿度、圧力センサは両面テープにてソケット開口部の内壁に固定した。圧力センサの固定位置は、実験前にソケットを被験者に装着し、ソケットトリムライン近傍でソケットの密着感が高い箇所を口頭、目視で確認し、決定した。なお、圧力センサ設置位置については 1 が掌側、2 を背側とした。血流計プローブ、ならびに筋電位センサの取り付け位置は、各被験者において、ソケット装着前に信号波形をモニターで確認しつつ、脈動、筋活動に応じた振幅の変化が見られる位置とした。また、これらのセンサ、プローブは、医療用粘着包帯にて体表面に固定した。計測位置は被験者

により若干の差はあるが、プローブはソケットのトリムラインの外側である肘窩内で動脈を対象とし、筋電位センサは、小指・環指の中指指節関節を屈曲した際に筋の収縮を触診で確認できる位置に設けた。被験者は非切断者 3 名(平均年齢 21.67±S.D.0.47 歳、男:女=2:1)を対象とした。

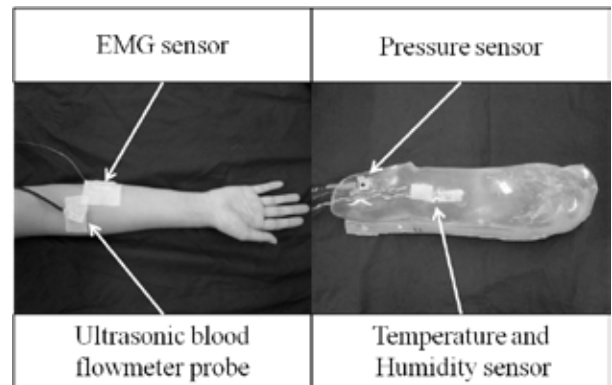


Fig.3 The Sensor Layout of Quasi-Prosthetic Socket and Hand

6. マルチモーダル生体信号計測実験 結果・考察

実験は空調で温度設定を行う環境で実施し、被験者 A の測定時の室内温湿度は 1 回目が 26℃、45%、2 回目が 28℃、54%であった。被験者 B 測定時が 26℃、41%、被験者 C が 27℃、45%であった。被験者 A、B、C の模擬ソケット内温湿度の実験時間中の時系列変化を Fig.4 に、被験者 A の血流速度の変動を Fig.5 に、被験者 A の血流速度と筋電位との関係性を Fig.6、各被験者のソケット接触圧力と筋電位の時系列で示した関係を各々 Fig.7、8、9 に、示す。Fig.7、8、9 中の圧力 1 のプロットは前腕内側ソケットトリムラインの接触圧力、圧力 2 は前腕外側ソケットトリムラインの接触圧力を表す。

Fig.4 の通り、温湿度はいずれの被験者においてもソケットを装着し測定を開始してから上昇を確認した。温度、湿度の上昇傾向が各個人間において異なる事から、それぞれソケット内部の蒸れには個人差がある事が分かった。今後は各個人においてソケットトリムラインの締め付け等条件を変更した比較を行っていく。

Fig.5 の血流速の変動により、被験者 A の血流速波形について調査を行った。血流速波形の振幅が実験開始直後の 300-360sec と比較し、実験後半の 1800-1860sec に小さくなっていて、血流速の低下が見られた。この傾向の説明は、本実験では血流計プローブを模擬ソケット外に設置し計測を行ったため、ソケットの直接的な影響かは厳密には言及できず、また、血流計プローブの感度がドップラーゼリーの乾燥度合いや、粘着テープの粘着力の変化による血流計プローブの接触圧による影響も考えられることから、明確には示し得ず、追加実験が必要である。また、Fig.6 に示すように、測定結果から筋電位発生時の血流速波形の関係をみると、筋電信号の前後で血流波形の負方向のピークが生じていることが確認された。ただ、血流波形の計測は、他の被験者では安定した脈動波形は計測開始直後しか得られず、今後はソケット内での血流計プローブの固定方法を検討し、取得した血流計信号と他の信号との相関解析方法について検討していきたい。

Fig.7 から 9 にて、被験者 3 名の筋電センサ信号と圧力センサ信号の関係性を見ると、各個人においては 300sec ほどの筋電位発生インパルスと同期して各圧力センサ出力値に急峻な変化が確認できた。これは、筋電センサと圧力センサの構造が異なるが、先行実験⁽²⁾において確認された、

筋電位と模擬ソケット内に生じる圧力が相関係数 0.8 との結果と一致している。このことから筋電を発生させる筋活動でソケットトリムラインでの接触圧が高まっているといえ、前述の結果を加味すると、これらと血流速度の変動に関係がある可能性が考えられる。また、筋電センサが測定時間中不安定なのは、Fig.4 に示すようにソケット内湿度が急上昇し安定した被験者 B の 1 名のみであり、湿度が 60% まで急上昇し、そこから徐々に 80% まで上昇した他の 2 名の被験者においては比較的安定している。現状では、この考察は結果に基づくものであり、今後は湿度変化に対する筋電位への影響について実験条件を検討し、これらの関係について調査したい。

また、本実験において、各被験者のソケットトリムラインの圧力や、ソケット内の隙間の量を調整すべくソケット寸法の修正は行っていない。以後はこの点も加味した実験について検討したい。

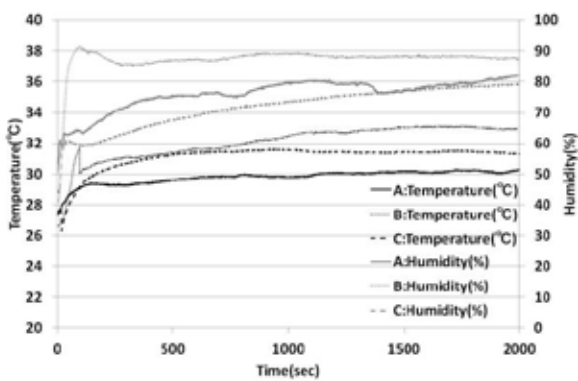


Fig.4 Experimental Results of the Temperature and Humidity (Subject A, B and C)

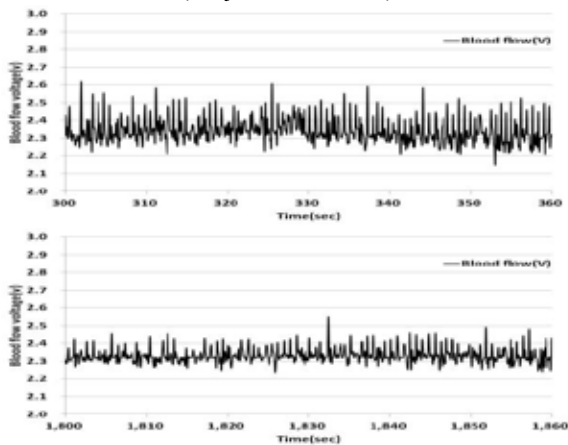


Fig.5 Experimental Results of Blood Flow Voltage (Subject A, Top: at 300-360 sec, Bottom: at 1800-1860 sec)

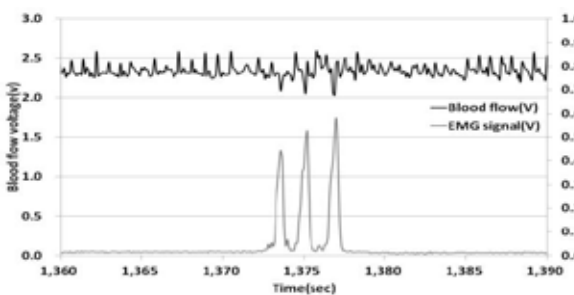


Fig.6 Experimental Results of Blood Flow Voltage in Relation to EMG Signal Impulse (Subject A)

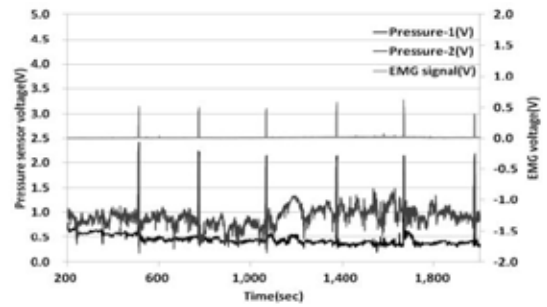


Fig.7 Experimental Results of Pressure and EMG Signal (Subject A)

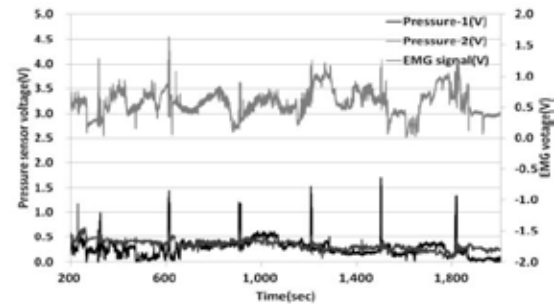


Fig.8 Experimental Results of Pressure and EMG Signal (Subject B)

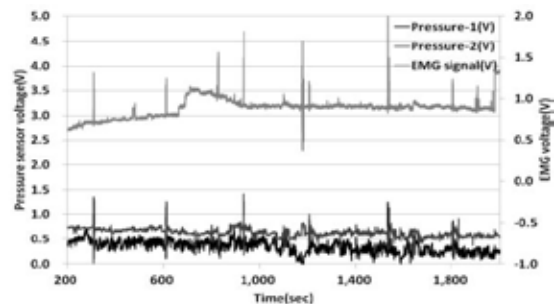


Fig.9 Experimental Results of Pressure and EMG Signal (Subject C)

7. まとめ

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、計測において非切断者における被験者の前腕形状採形から製作された模擬ソケットを用いた。義手ソケット着用時の温度、湿度などのソケット内環境因子の同期計測を行い、各計測信号の変化と関係性について調査を行った。今後は、本先行実験の結果より見られた傾向を確認すべく、ソケットの条件の影響について各信号に焦点を絞った計測を行い、切断者のソケット内の切断肢における伝熱特性を中心に生理学的評価法の構築と、伝熱特性も加味したソケットの設計法についても検討したい。

参考文献

- (1) 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
- (2) 大井健太郎, 丸山隼生, 大西謙吾, 野口祐智, 三田友記, マルチモーダル生体計測信号による義手ソケット評価, 第 21 回ライフサポート学会フロンティア講演会, 2011, pp.89