

## 温度特性を対象とした筋電義手用ソケット設計・評価

## Heat-Transfer Oriented Design and Evaluation of Myoelectric Upper Limb Prosthetic Socket

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

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

**Abstract:** The current design and evaluation method of the prosthetic socket relies only on the mechanical characteristics. This can reduce the pressure pain during the socket fitting process, but complains on the phantom limb pain triggered by chilling or the heat damage from many traumatic amputees cannot be solved. These problems are related to heat transfer and their physiological response, and little is reported on information and knowledge of the inner socket thermal characteristic. In this paper, we report the experimental results of our pilot test on heat transfer of the donned upper limb prosthetic socket. The test was conducted on a non-amputated subject donning a quasi transradial prosthetic socket. The inner socket temperature, body surface temperature of the contrary arm without a socket, and body-center temperature are measured with IC temperature sensor and infrared thermography. The temperature variation in relation to the donning time is discussed.

**Key Words:** Upper Limb Prosthesis, Prosthetic Socket, Body Surface Temperature

## 1. はじめに

臨床で切断者に用いられる義手の多くはモジュラ構造であり、その構成要素を大きく分類すると手先具、継手、操作インターフェースと、ソケットからなる。前3要素は、市販品から選定、調整されるのに対し、ソケットはカスタムメイドであり、使用者に合わせ義肢装具士により設計・製作される。ソケットの設計は採形した断端の形状・寸法に応じ行われ、ソケット装着時の手先具に規定荷重が加わった状態での圧痛やソケットのズレ変位をもとに適合評価が行われる。このため、経験論が主ではあるものの、ソケットは力学的要因については十分な設計、評価方法が確立されている。反面、日本のような四季による使用環境の変動、なかでも夏季の高温多湿な環境下での装着に伴う蒸れ、搔痒感、発疹、臭いなどについての対応については、ユーザからの愁訴はあるものの、依然、十分な対策が確立されていない。この取り組みの先行研究の例としては、下肢切断において、西村らがサーモグラフィを用いて健康成人と切断者の下肢皮膚温を測定比較し、血管原性切断者の場合、切断肢が非切断肢に比べ皮膚温が低く、体重負荷時皮膚温が低下する傾向を示すことが多いことを報告している<sup>(1)</sup>。また Klute らは義足ソケットとライナーの熱伝導率を計測し、使用者に合わせライナーの選定を行うことで皮膚温の状態を改善できることを提案している<sup>(2)</sup>。しかしながら、伝熱特性をソケットの形状設計へとつなげることを前提として、筋電義手用ソケットとして生理学的な反応も含め実験、評価を進め、これらの問題の解決を試みる研究はない。

本研究では、筋電義手用ソケットの設計、評価法の向上を目標とし、第一段階として、ソケット装着時から時間経過に伴い変化する体表面温度、ならびにソケット表面温度の温度分布を測定する先行実験をすすめ、ソケットの伝熱モデルについて検討する。本報告では、非切断者を対象とした先行実験について述べる。

## 2. 先行実験

本実験では、ソケット着用に伴う体表面温度変化の傾向を確認することを目的とし、体表面温度とソケット表面温度の温度分布特性の時系列データを温度センサとサーモグラフィで収集する。

## 2.1. 測定装置

まず、実験は非切断者に対して行うため、熱可塑性樹脂サーリン製の模擬ソケット(Fig.1 参照)を被験者毎に製作、調整し、装着した。ソケット内の体表面温度測定には IC 温度センサ (National Semiconductor Japan, LM35) を使用し、信号の時系列変化の記録はデータ記録装置(HIOKI, メモリハイコーダ 3802)を用いた。ソケット表面の温度分布、ならびにソケット非装着側の体表面温度分布の測定は、非接触型赤外放射温度計 (NEC Avio, Thermo Shot, F30) を使用した(Fig.2 参照)。各被験者の体心温度測定に耳式体温計 (OMRON, MC-510) を使用し測定した。



Fig.1 Quasi-transradial prosthetic socket

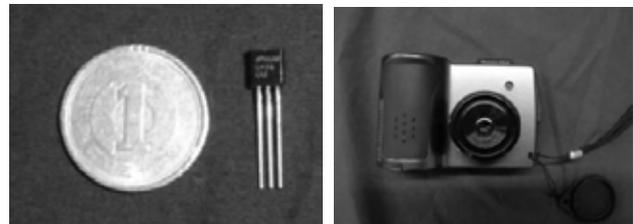


Fig.2 Instruments (Left: temperature sensor LM35. Right: thermography Thermo Shot F30)

## 2.2. 実験条件

著者らのこれまでの非切断者による模擬ソケット装着時のソケット内温度の定点計測実験では、体表面温度はソケット装着後から一次遅れ系の特徴で上昇変化することが確認されている。これに、東らが報告している、おむつ着用時の皮膚温が環境への適応として特徴的な変化を示すこと<sup>(3)</sup>も加味し、生体の温度制御反応としてソケット着用中の

体表面・ソケット表面温度分布を調査する。このことから本実験では、常温環境下で非切断者が模擬前腕義手ソケットを装着した際の体表面温度分布の変化を上記の実験装置を用いて測定する。

ソケット内の体表面温度計測用の温度センサは、内側上顎と橈骨茎状突起を結ぶ体表面上の最短距離の線分の、内側上顎の位置を 0%, 橈骨茎状突起を 100%としたときの 50%, 100%の 2 箇所の位置, ならびに同様に外側上顎と橈骨茎状突起を結ぶ線分の 50%, 100%の 2 箇所の位置に各々 1 つずつ配置, 片腕で計 4 点の計測を行う (Fig.3 参照)。また, ソケット非装着側との比較を容易にするため, 非装着側にも同じ 4 点にセンサを取り付けた。なお, センサは粘着包帯(阿蘇製薬株式会社, デルガード)を用いて体表面上に固定した。前腕の表面温度分布の測定は, 両前腕をテーブル上に備えた断熱材の上に置いた姿勢にて行うこととし, 腕の鉛直上方にサーモグラフィを設置し, 両前腕が撮影範囲に収まるよう被験者毎に距離を調整した。

室内は空調機を 26°Cに設定し, 被験者は実験開始前 30 分間座位にて安静にした後, 測定を行った。ソケット装着前にサーモグラフィと体温計を体温計にて測定した後, 右前腕にソケットを装着し, その時点から温度センサにて体表面温度を実験終了まで継続的に測定した (Fig.4 参照)。またサーモグラフィによる撮影と体温計の測定は 10 分間隔で実施した。そして, 30 分間の実験終了時として, ソケットを取り外し直後に両前腕のサーモグラフィ撮影を行った。

被験者は非切断者 3 名 (年齢  $21.67 \pm SD0.47$  歳, 男:女=2:1) に対し実施。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。

### 3. 結果・考察

実験結果の一例として, 被験者 1 のソケット装着側の温度センサの時系列変化の結果を Fig. 5 に, 非装着側の結果を Fig. 6 に示す。さらに, 左右の前腕のサーモグラフィで撮影した赤外線画像を Fig.7 から 10 に示す。また, 被験者 3 名の体温計で測定した体温温度に対する, 4 つの温度センサの平均値から得た体表面温度の温度差の絶対値の時系列データを Fig.11,12 にそれぞれ示す。

Fig.5 の温度センサの測定結果に見られるように, ソケット装着側では装着後から体表面温度が上昇し, 被験者間で程度に差はあるものの, 装着から 300 から 1100 秒後の間で増加率が小さくなる傾向が全ての被験者で確認された。これに対し, 非装着側では, 緩やかに 0.5 から 1.0°C の下降が見られた場合と, 下降が続いた後上昇し開始時と同値に戻る場合があった。Fig.7 から 10 のサーモグラフィ画像を見ると, 体表面温度はソケット装着前と取り外し後の最高値を比較すると, 被験者 3 名で変化値は -0.3 から 1.7°C と差が見られた。また, 装着時ソケット表面の温度は周囲長を小さくした部分において高い値を示し, 時間経過に伴いソケット全体の温度が上昇した。体表面温度と体温温度の温度差の結果である Fig.11, 12 からは, 非装着側を示す Fig.12 では被験者によって 1°C 程度の差はあるものの, 装着時間に関係なく安定しているのに対し, Fig.11 の装着側では 0.6 から 0.9°C と被験者ごとに差があるが, 体表面温度が体温温度に近づく傾向を示した。

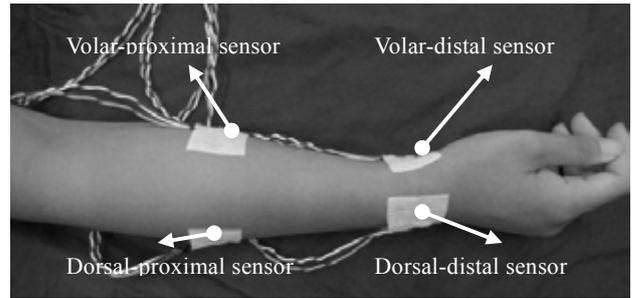


Fig.3 Position of temperature sensors

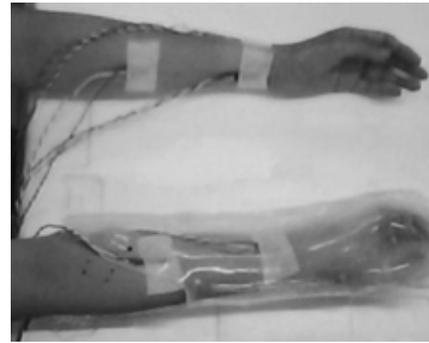


Fig.4 Optical image of the measurement condition taken with the thermography.

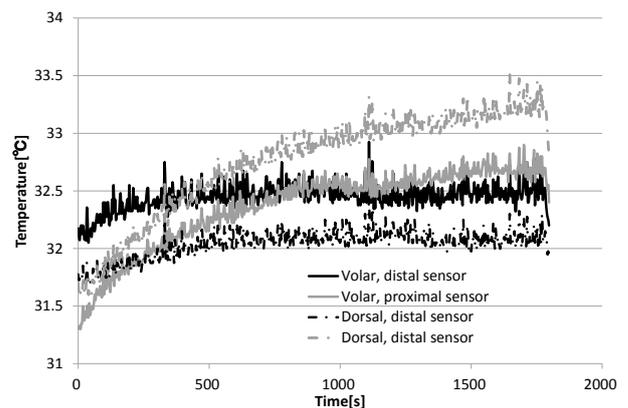


Fig.5 Body surface temperature (right arm)

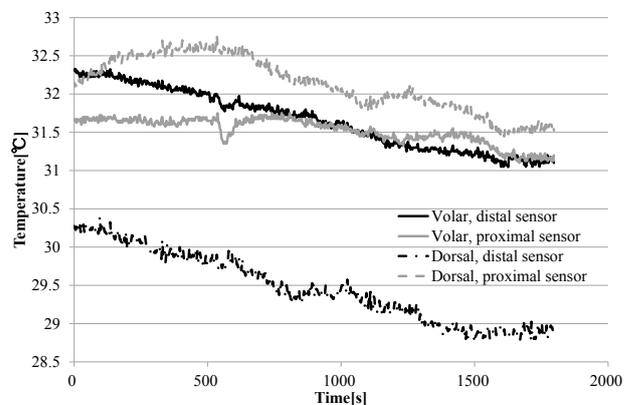


Fig.6 Body surface temperature (left arm)

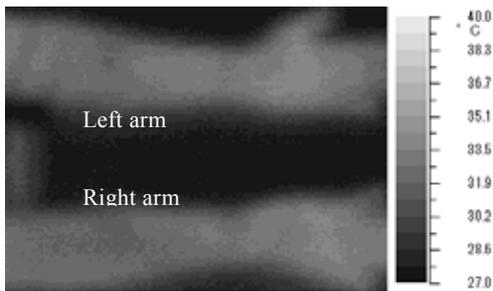


Fig.7 Thermography image (Before socket donning)

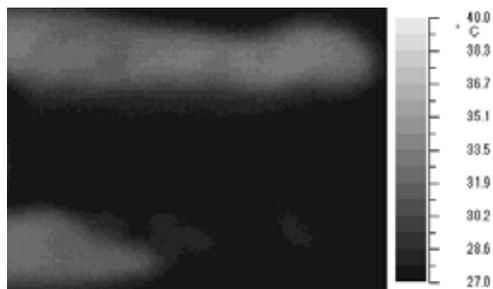


Fig.8 Thermography image (10 minutes after donning)

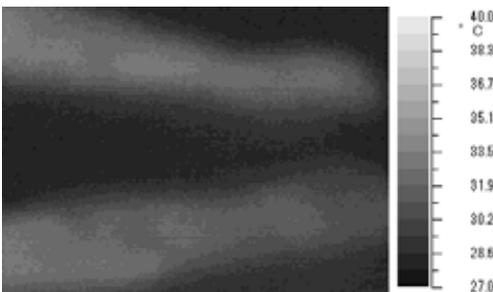


Fig.9 Thermography image (30 minutes after donning)

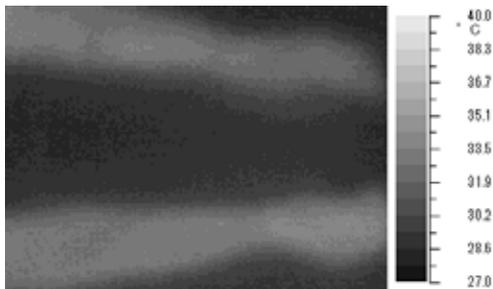


Fig.10 Thermography image (after socket doffing)

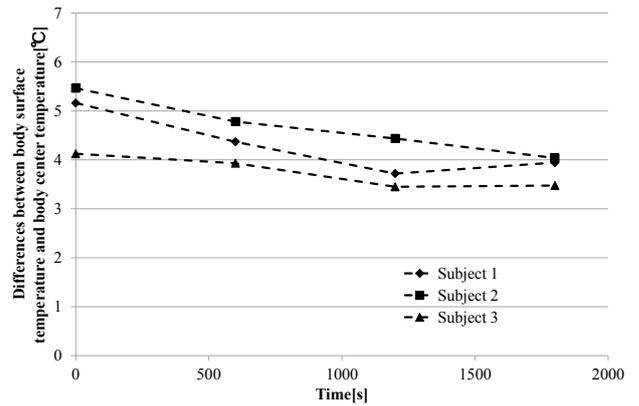


Fig.11 Difference of Body Surface Temperature and Body Center Temperature (right arm, with socket)

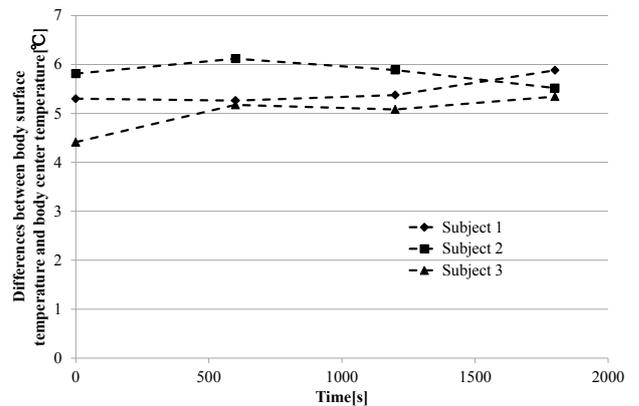


Fig.12 Difference of Body Surface Temperature and Body Center Temperature (left arm, without socket)

#### 参考文献

- (1) 西村敦, 奈良勲, 立野勝彦, 田川義勝, 生田宗博, 清水順市, 前田真一, 断端に体重を负荷した時の温度変化測定, vol.7, no.2, pp.132-134, 1980
- (2) G. K. KLUTE, G. I. ROWE, A. V. MAMISHEV, W. R. LEDOUX, The thermal conductivity of prosthetic sockets and liners, vol.31, no.3, pp.292-299, 2007
- (3) 東里恵, 紅俊介, 宇原久, 加藤裕美子, 三橋真紀子, 伊藤喜世子, 中島美弥子, 伊藤岳, 丸山公子, おむつ着用時のサーモグラフィによる皮膚温の変化の検証, 信州大学医学部附属病院看護研究集録, vol.38, no.1, pp.42-45, 2011

#### 4. まとめ

本研究では筋電義手用ソケットの伝熱特性について調査を行い, 設計, 評価法の向上を目的とした. そして, 先行研究としてソケット着用時の体表面温度, 体心温度の測定を行い, 比較検証を行った. 温度センサ, サーモグラフィで測定した結果, ソケット装着後体表面温度の上昇の傾向が確認された. また, 体心温度と体表面温度の差の比較より, 装着側において縮小傾向を示すことが確認された.

今後はソケット形状の調整をした際の温度変化の差異の調査を行うとともに, 切断者の協力のもと, 切断肢のソケット着用時の伝熱特性について調査する. また, これらの結果からソケットの伝熱特性の設計指針について検討したい.