

室内環境制御時の湿度条件変更による模擬義手ソケット内温湿度変動傾向調査

Hygrothermal trend inside the transradial prosthetic sockets under high to low humidity conditions controlled in climate chamber

○大田弥史（東電大院） 大西謙吾（東電大院） 神田智基（東電大院）

三田友記（国リハ） 中村隆（国リハ）

Yasushi OHTA, Kengo OHNISHI, Tomoki KANDA, Department of Electronic and Mechanical Engineering, Graduate School of Science & Engineering, Tokyo Denki University

Tomoki MITA, Takashi NAKAMURA, Department of Prosthetics and Orthotics, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Abstract: The upper limb prosthesis is a useful tool, but will not be used if comfort is an issue donning the socket. In order to improve the comfort properties, a quasi-transradial prosthetic socket was developed to measure fundamental data of hygrothermal trend of non-amputated intact forearm donning a socket. To discuss the effects of donning the socket, the inner socket body surface temperature and humidity was measured under the 3 humidity conditions: 30, 50, 60%RH at 25 deg.C. As a result, the body surface temperature in the socket was lower at higher humidity, and the body surface temperature within the palm and forearm showed different variation trends. The inner socket humidity was higher in higher room humidity and saturated humidity was different between the 2 measured points in the forearm. There were different trends between the subjects, and measurement of central body temperature, blood flow, sebum thickness should be required.

Key Words: Hygrothermal measurement, Upper limb prosthesis, Prosthetic socket

1. はじめに

随意的に制御できる義手は上肢切断者の生活支援に有効なツールである。しかし、Burgerらの義手使用者に対するアンケートで約半数の人が義手の使用中止の要因として汗や暑さを挙げた⁽¹⁾ように、義手の構成部品の一つであり直接断端と接する樹脂製ソケットは透湿性が悪いために蒸れやすく装着に不快感を伴う問題がある。義手ソケットの製作・調整方法は懸垂性や力の伝達性を主としており、汗などの生理学的要因は考慮されていない。そこで、本研究はソケットの快適性向上を最終課題とし、室内温湿度とソケット内温湿度状態に関する基礎データの蓄積を目的とする。本報告では、室内環境を一定に制御できる実験室にて室内温度を一定とし、異なる室内湿度にてソケットを装着直後からのソケット内温湿度変動の調査結果について述べる。

2. 非切断者用模擬前腕義手ソケット

前腕義手ソケット内の温湿度状態の改善策を提起するにあたり、測定プロトコルを確立すること、ならびに切断者の結果と比較する基礎データとすることを目的として手指に欠損がなく、皮膚に既往歴のない非切断者がソケットを着用した時のソケット内外環境計測を行う。各被験者のソケット装着部の採型・採寸を行い、石膏陽モデルを製作し、ソケット着用時に圧痛が生じないよう茎状突起部などを処理し、ソケット内面が体表面と密着するよう熱可塑性樹脂製ソケットを真空吸引成形した。非切断者用模擬義手ソケットをFig. 1に示す。手指があるため前腕長が長いのでNorthwestern式ソケットとし、内外側上顆の中枢側までを覆う形状とした。手指部は伸展内転位、手関節は中間位で拘束し、脱着が可能なようにソケット上部が少し開き、実験中はネジで締め付け、テープで隙間を閉じる構造とした。

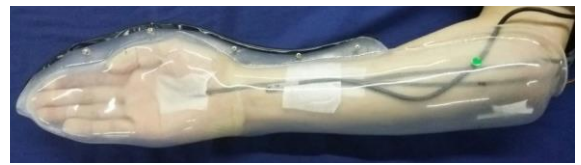


Fig. 1 Quasi-transradial prosthetic socket with sensor installed

3. 湿度条件変更実験

湿度環境の違いがソケット装着時のソケット内温湿度に与える影響を調査することを目的とし、室内温湿度を一定に制御可能な実験室にて、温度を常温で一定とし、湿度を3条件に設定して保った際について計測実験を行った。

3.1 条件・手順

温湿度の環境は、温度を25℃一定、湿度を30, 50, 60%の3条件に設定した。温湿度センサは2種類使用し、温度センサ(g.Tec, g.TEMPsensor)を、掌側の中指中手骨頭と舟状骨結節の中間点(T1)と尺骨茎状突起から肘頭までの30%の位置(T2)の2か所の体表面に粘着包帯を用いて固定した。また、温湿度センサ(神栄テクノロジー, THP-B6T)を尺骨茎状突起から肘頭までの20%(H1)と80%(H2)の位置の2か所に固定した。各センサ信号はデータ収録ボード(National Instruments, USB-6210)とシステム開発ソフトウェア(同, LabVIEW)にてサンプリング周期0.01sで集録した。

実験は標準体型(身長170.6cm, 体重59.5kg)の非切断者3名(男性, 平均22±SD0.8歳)に対し湿度条件ごとに2回実施した。各被験者は実験開始30分前に実験室に入室し、計測実験中の1800秒間は安静椅子座位の姿勢にて手を入れたソケットは気泡緩衝材を敷いたテーブル上においた状態を維持した。

本実験は、東京電機大学ヒト生命倫理委員会と国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を受け、ソケット製作前に被験者への事前説明を行い、同意を得て実施した。

3.2 結果

温度と湿度の各センサ信号は三角移動平均(n=100)で平滑化したのち、100 秒毎に平均し、さらに湿度条件毎の 6 データ（被験者 3 名×2 試行）を平均した。さらに、温度の変動勾配として初期温度との差を算出した。各湿度条件時の平均初期温度を Table 1 に示す。また、湿度 30、50、60 % の温度をそれぞれ Fig. 2、3、4 に示す。

Table 1 の通り、各湿度条件時の初期温度はどの湿度条件においても前腕部(T2)よりも掌部(T1)の方が温度が高く、設定湿度が低いほど初期温度が高かった。さらに、Fig. 2～4 の通り、湿度条件 30 % に比べて 50 % と 60 % 時は温度の変動勾配が小さい。また、湿度条件の変動勾配は、前腕部(T2)の変動が小さく緩やかなのに対し、掌部(T1)は変動が大きく、特に 30 % の 900 秒付近、60 % の 1700 秒付近で極値を示した。

ソケット内湿度は室内湿度が高くなるにつれ 2 点の初期湿度が上昇した。さらに、2 点の変動勾配が小さくなり、尺骨全長の 20 % 位置(H1)の湿度は約 80 %、80 % 位置(H2)の湿度は約 95 % に収束した。

3.3 考察

掌部(T1)と前腕部(T2)の変動勾配の比較では、掌部の変動勾配の変化が大きく、特に湿度条件 30% と 60% 時に顕著な差がみられる。これは手などの無毛部に存在する動脈吻合(AVA)の血流量の多さが、そもそもの掌部の体表面温度の高さに影響している。この熱伝導は、皮膚静脈叢へ血液を供給する細動脈と AVA の血管収縮の程度によって調節され、体心温と環境温の変化に応じて交感神経系によって調節される⁽²⁾。このためソケット装着直後は血流の多い掌部の温度上昇勾配が前腕より大きく、体表面の温度受容器で温度が高いと感知すると交感神経系がはたらき、発汗が促進され⁽³⁾、温度上昇の勾配が途中からゆるやかになるよう切り替わると説明できる。なお、掌部では前腕部で見られない温度変動があるのは、掌部は前腕と比べ精神状態の影響を受けやすいことで前腕を拘束され椅子座位を続けていることに影響を受けている可能性、ならびに個人間の体組織の差や偶発的な精神活動が影響している可能性がある。脂肪組織は他の組織より熱伝導率が小さく、断熱材としての役割があるとされている⁽⁴⁾。この熱の推移モデルからは、標準体型をもとに被験者を選定したものの、前腕部の筋量や脂肪量により個人差が現れたと考える。

さらに、掌部の初期温度の湿度 30% と 60% 時の差を考える。湿度 30% では前述のメカニズムにより、ソケット装着の影響から体表面温度が上昇し、発汗による温度上昇勾配の緩和が生じているのに対し、湿度 60% では測定開始前の段階で、汗の蒸発速度が低下し体表面から熱放出が妨げられた状態にあり、発汗が促進された状態にある。このことから、すでに発汗で体表温度を下げ始める段階にある状態でソケットを装着したことから、初期温度が低くまた、温度の変動勾配にも大きな上昇がないと考えられる。なお、湿度 50% においても類似傾向があることから、本研究の体系の被験者では、室内温度 25 度では湿度が 30% と 50% の間で発汗が促進される閾値があると考えられる。

4. おわりに

環境温湿度を一定に保たれる実験環境下において、室内湿度を 25℃、環境湿度 30、50、60% の 3 条件に対するソケット内温湿度への影響を確認することを目的とし、ソケット内体表面温度、ソケット内湿度、ソケット外表面温度の計測を行った。結果、低湿度における初期体表面温度なら

びに温度変動に比べ、高湿度でソケット内体表面温度が低い状態で変動も小さい傾向を示した。今後は、室内温度時間だけでなく、体心温度、血流、被験者の前腕皮脂肪厚を測定因子に加えた実験を考えたい。

Table 1 Initial temperature

Humidity condition [%]	Initial temperature [°C]	
	T1	T2
30	33.24	31.75
50	31.94	31.27
60	30.74	30.68

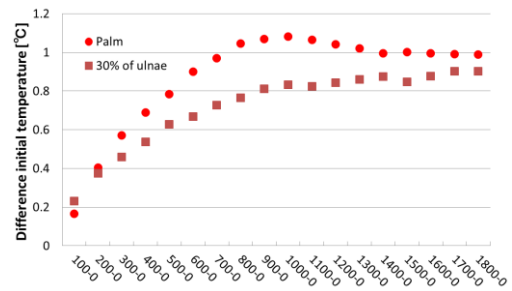


Fig. 2 Innersocket temperature difference from initial state (30%RH)

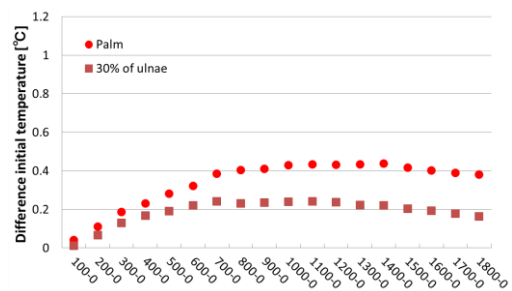


Fig. 3 Innersocket temperature difference from initial state (50%RH)

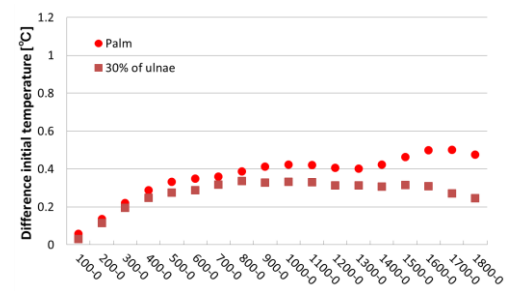


Fig. 4 Innersocket temperature difference from initial state (60%RH)

参考文献

- (1) H. Burger, C. Marincek, Upper limb prosthetic use in Slovenia, *Prosthetics and Orthotics International*, Vol. 18, pp.25-33, 1994.
- (2) 御手洗玄洋, 他 5 名, *ガイドン生理学* 原著第 11 版, エルゼビア・ジャパン, pp.942-943, 2010.
- (3) 上田政文, *湿度と蒸発 - 基礎から計測技術まで -*, コロナ社, 2000.
- (4) 西村和久, 平田耕造, 白水智子, 竹森利和, “体脂肪率の違いは末梢部皮膚温に影響するか?”, *日本生気象学会誌*, Vol. 30, No. 4, pp.187-196, 1993.