

ソケット内隙間の義手ソケット内温湿度変動に及ぼす影響に関する実験的考察

Influence of the socket interior gap on the upper limb prosthesis inner-socket hydrothermal variations

○ 中北麻紀子 (東電大) 大西謙吾 (東電大) 大井健太郎 (東電大) 高見響 (東電大)
河邊和宏 (東電大) 三田友記 (国リハ) 中村隆 (国リハ)

Makiko NAKAKITA, Kengo OHNISHI, Kentaro OI, Hibiki TAKAMI, Kazuhiro KAWABE, Tokyo Denki University
Tomoki MITA, Takashi NAKAMURA, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Abstract: This paper reports on the experimental results and discussions of the socket interior gap's influence on inner-socket hydrothermal variation. Discomfort of wearing prosthetic socket is one of the causes of discontinuance of prosthetic limb use. A strategy to improve the socket thermal design should have positive influence on the usability of the prosthesis, yet very little scientific evidence has been reported. With such background, we investigated the relation between the socket interior gap and measured the inner socket humidity and body surface temperature under thermal disturbing conditions of heating and cooling the socket outer surface. The sockets were created for 2 non-amputee subjects with 2 different gaps, respectively, and 2 temperature sensor and 3 humidity sensors were mounted in the socket. From the experimental result, the temperatures of the palm were higher compared to the mid forearm, and the distribution was also larger and unrelated to the disturbance. Furthermore, when comparing the average result over the disturbance conditions, the average temperature showed a gradual decrease over the time indicating the effect of non-usage of the arm may be an enhancing factor of the body surface temperature.

Key Words: Upper limb prosthesis, Prosthetic Socket, Hydrothermal Influence

1. はじめに

切断者の生活支援に義手は有効なツールであるが、装着快適性が悪い場合、義手の使用継続が困難である場合が多く、ユーザビリティの向上にはハンドの機能以上に装着快適性を考える必要がある。我が国のように四季に応じ生活環境の温度・湿度が大きく変化する状況においてはソケットの温熱特性が装着快適性に及ぼす影響は小さくない。この問題に対し、臨床では症例報告として幸村らにより切断端の「冷え」に対し義手ソケットにヒータを入れた事例¹⁾があるものの、科学的に義手ソケットの温熱特性を調査報告した事例はみられない。そこで、本研究では環境因子としてのソケットの外表面からの冷却・加熱と、個人因子としてのソケット内壁面と体表面の隙間との関係がソケット内の体表面温度、湿度に及ぼす影響について実験により調査することを目的とする。本報告では、基礎実験として非切断者2名を被験者とし、それぞれに隙間の異なる義手用樹脂ソケットを2体作成し、表面の冷却・加熱時にソケット内壁と体表面との隙間がソケット内部温湿度に与える影響を調査した結果と考察を述べる。

2. 実験

2-1 模擬前腕切断者用義手ソケット

実験には被験者となる非切断者2人の右腕を対象に模擬ソケットを製作した。ソケットは各被験者に対し、体表面とソケット内壁の隙間が異なる熱可塑性樹脂サーリン製のソケット2種類作成した。

採型は切断者対象時と同じ方法で陰型、陽型をそれぞれ作成し、ソケットと体表面の隙間を設定するに当たり、i) 石膏陽型の表面にストッキング1枚(約0.1[mm]厚)を被せて作成したソケット(ジャストサイズソケット)と、ii) ストッキング4枚(約0.4[mm]厚)を被せて作成したソケット(ルーズサイズソケット)とをそれぞれ用意した。こうして設けた隙間の比較として各ソケット容積の測定結果をTable 1に示す。なお、ソケット装着時の指は解剖学的肢位、手関節は中間位とした(Fig.1参照)。なお、被験者がソケットの脱着が可能のように撓側面が若干開く形とし、

装着後は開口側の縁をねじ止めすることで、密閉、ストッキングで設定した隙間しかないような構造とした。なお、ソケットは中・長断端長の前腕切断者用に製作されるNorthwestern式の構造としたので、肘部開口部は内外側上顆の中核側までを覆う形で肘頭は隙間が設けた。

ソケット内の湿度の測定のため、湿度センサ(TDK, CHS-UGR)を埋め込み固定するためにソケットにFig.1のH₁~H₃の穴を3箇所設けた。まず、肘頭から尺骨茎状突起までを体表面距離を尺骨全長としてその80%の位置にH₁、20%の位置にH₂、H₃とを設けた。H₁は内側(掌側)、H₂は外側、H₃は背側にとりつけ、H₁ H₂はソケット内壁と体表面を密着するようソケットを作成する部分、H₃は体表面から尺骨が確認できることからソケット製作上、ソケットと体表面に隙間を設ける部分に設けた。

Table 1 Volume of each quasi-transradial prosthetic sockets

	Just size socket [m ³]	Loose size socket [m ³]
A	1.46×10 ⁻³ (100%)	1.55×10 ⁻³ (106%)
B	1.15×10 ⁻³ (100%)	1.20×10 ⁻³ (104%)

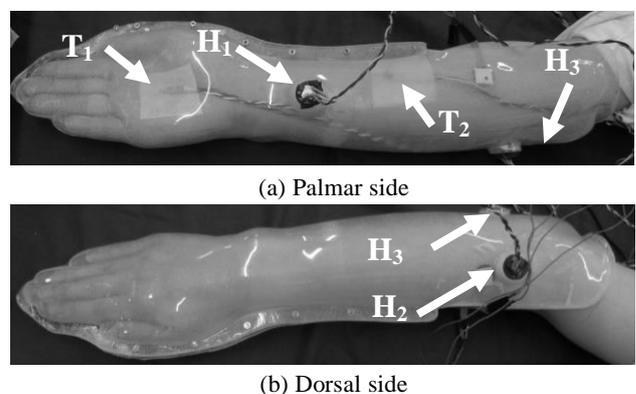


Fig.1 Position of the 2 temperature and 3 humidity sensors

2-2 実験条件

被験者がソケットを前腕に装着し、ソケット外表面を冷

却, もしくは加熱したときのソケット外表面温度, ソケット内体表面間温度, ソケット内湿度を測定した. 温度測定には, 温度センサ (National Semiconductor, LM35D) を, 掌の中央と前腕の全長 50%の位置の内(掌)側の計 2 箇所 に粘着包帯で体表面に固定した (Fig.1, T_1 , T_2 参照). 温度, 湿度のセンサ信号はサンプリング周波数 10[Hz]にて各試行中継続して記録した. また, ソケット外表面温度を前腕外側から, 測定距離 0.8[m]で三脚に固定したサーモグラフィ (NEC Avio, Thermo shot F30) にて 1 [min]間隔で撮像した. 冷却材 (白元 アイスノン) および加熱材 (白元 ゆたぼん) は, 前腕部の外側に取り付け, ソケットと接触する面積が同一となるよう気泡緩衝材を断熱材として挟む形とした (Fig.2 参照).

実験は各被験者に対し次の 1) ~5) のソケット着用条件の順で進め, 温湿度を測定した.

- (1) 15[min]着用 (C1)
- (2) 8[min]着用後, 冷却または加熱を着用後 15[min]まで継続 (LH)
- (3) 着用と直ちに冷却または加熱を開始し 7[min]後に冷却・加熱を中止し, 着用後 15[min]まで装着 (FH)
- (4) 15[min]着用中, 冷却または加熱 (AL)
- (5) 15[min]着用 (C2)

全ての実験は空調にて室温調整下で行った. 全試行を冷却, 加熱毎, さらにジャストサイズソケット, ルーズサイズソケット毎で各 1 回測定した. なお各ソケットの測定は異なる日に分け測定した. 測定の条件として, 実験開始前に被験者はテーブル上に前腕を置き, 着座で 10[min]程度の安静期間を設け, 実験間インターバルを 15[min], 冷却と加熱の実験条件間はインターバルを 30[min]以上とした.

3. 実験結果・考察

本実験は東京電機大学ヒト生命倫理委員会の承認を受け, 非切断の被験者 2 名 (年齢 $22.5 \pm SD0.5$ 歳) より同意を得て行った.

Fig.3 に被験者 A の 15 分後のソケット体表面温度のサーモグラフィ画像を示す. さらに, Fig.4, 5 に温度センサ T_1 と T_2 の各実験条件の 15 分間の平均ソケット内体表面温度を示す. Fig.6~8 に湿度センサ H_1 から H_3 の各実験条件の 15 分間の平均ソケット内湿度を示す. なお, Fig.4~8 の横軸の番号と実験条件の関係を Table 2 に示す.

Fig.3 のように, ルーズサイズソケットよりもジャストソケットのほうがソケット外表面温度は高い領域の面積が若干多い結果となった. また, 前腕部より手部のソケット外表面温度分布が高い傾向が確認されたが, 唯一異なったのが Fig.3 の加熱時の C1(実験条件#6)のルーズサイズソケットであった. この実験では, 被験者 A の末梢側の体表面温度, ならびにソケット外表面温度は実験を続けるに依り下がり続ける結果となった.

Fig.4, 5 よりソケット内体表面温度も前腕部の T_2 に比べ掌部である T_1 の温度が $2[^\circ\text{C}]$ 高く, ルーズサイズソケットよりジャストサイズソケットの平均体表面温度が高い結果となった. Fig.4,5 は, ソケットを着用しただけで過ごした後, 前腕外側を冷却する実験 3 件実施し, ソケットを着用しただけの実験 2 件, そして加熱する実験 3 件を実施し, 最後にソケットを着用しただけの実験を一連で実施した際の各実験の平均ソケット内体表面温度を表している. これから分かるように 4 件中 3 件の条件では, 平均温度は $2[^\circ\text{C}]$ の変動におさまっており, 実験時間中冷却もしくは加熱し続けた実験 4, 9 において平均温度が最小・最大値をとって

いない. さらに, Fig.5 の前腕部では冷却, 過熱の条件に関係ない周期的な上下動がみられる. また, Fig.4 と 5 を比較すると, Fig.4 の手部の温度変動は一律ではないのに対し, Fig.5 の前腕部の温度変動は 3 実験で類似している傾向が確認できる. 後者の実験では, 前半の 5 実験と後半の 5 実験で, 類似した傾向があり, 1, 6 の実験で平均温度が最も高くそれから下降するという傾向がある. 前半と後半で加える熱は逆でありながら同じ傾向があることから, 時間経過による影響が優位に影響していると考えられ, 実験中の上肢の活動の量低下が体温低下につながっているとの仮説が考えられる. これは, 体温が大きく下降した被験者 A のルーズフィットソケットでの実験においても同じ傾向が, 前半の冷却効果でより顕著に表れたとも考えられることから, 今後, 実験においては, 活動停止時間との相関も踏まえ, 実験条件を設定すべきと考えられる.

さらに Fig.6~8 においては, いずれの位置のセンサでの平均ソケット内湿度でも被験者毎に偏りがあり, 相対的に被験者 B で高い値を示している. また, 被験者 B ではどの位置のセンサでもジャストサイズのソケットが実験 1 では高い値を示し, その後差は縮まる傾向を示しているが, センサの位置によって, その傾向がそれぞれ異なり, 隙間が顕著な Fig.8 の H_3 ではソケットの種類ならびに実験の条件に関係なく, 平均湿度は 60~65 をとるのに対し, Fig.6, 7 の H_1 , H_2 の位置での平均湿度は, 後半の加熱実験においてはジャストサイズソケットがルーズサイズソケットよりも高い値を占めることが確認できる. なお, この加熱実験におけるジャストサイズソケットで平均湿度が高くなる傾向は, 被験者 A においても見られる.

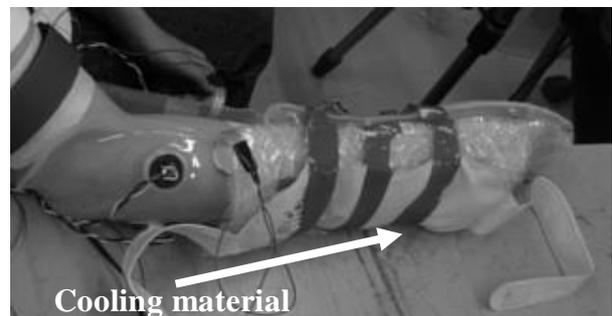


Fig. 2 Location and arrangement of the cooling material insulating sheet on the socket.

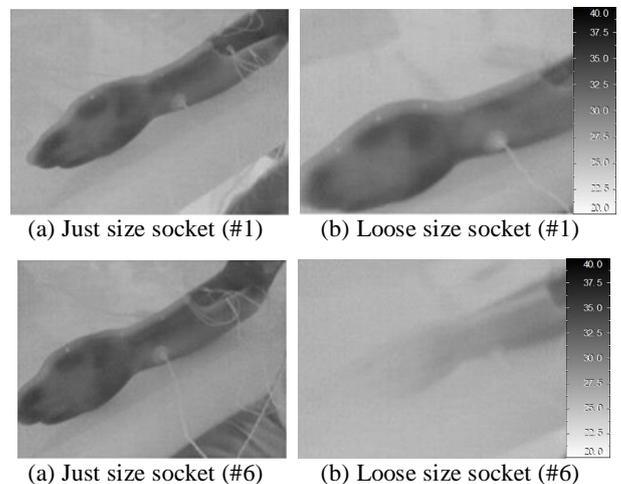


Fig. 3 Socket surface temperature after 15 minutes (Subject A). Top: during C1 at Cooling, Bottom: during C1 at heating

Table 2 Collation of experimental conditions and number

No.	Cooling					Heating				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
condition	C1	LH	FH	AL	C2	C1	LH	FH	AL	C2

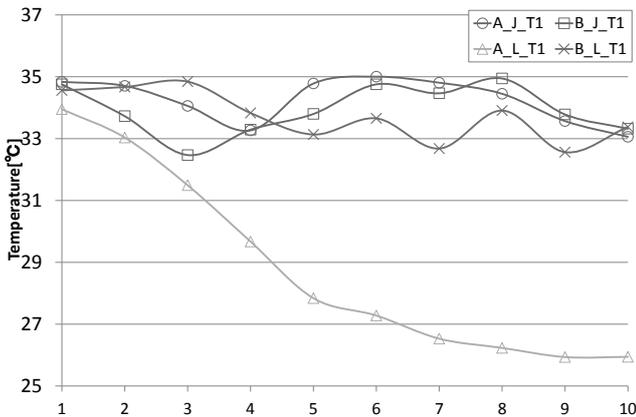


Fig. 4 Average inner-socket body surface temperature at palm (T1) for each experimental condition

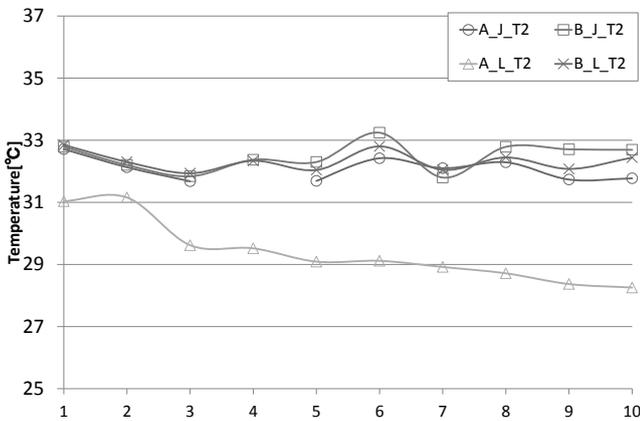


Fig. 5 Average inner-socket body surface temperature at mid-forearm (T2) for each experimental condition

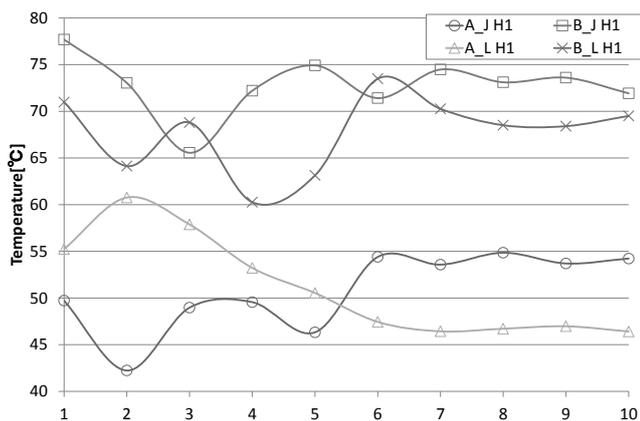


Fig. 6 Average inner-socket humidity in the socket at H1 for each experimental condition

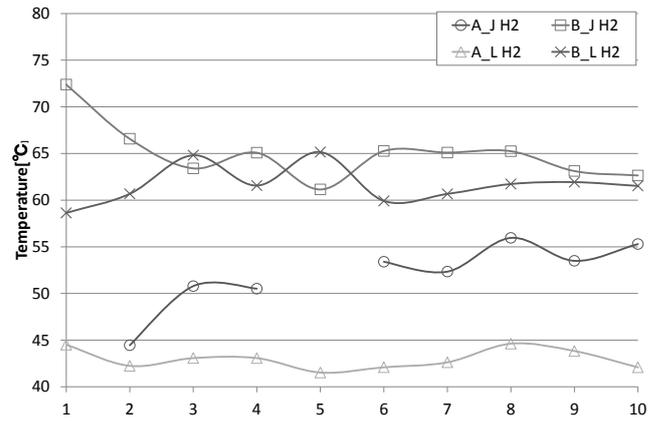


Fig. 7 Average inner-socket humidity in the socket at H2 for each experimental condition

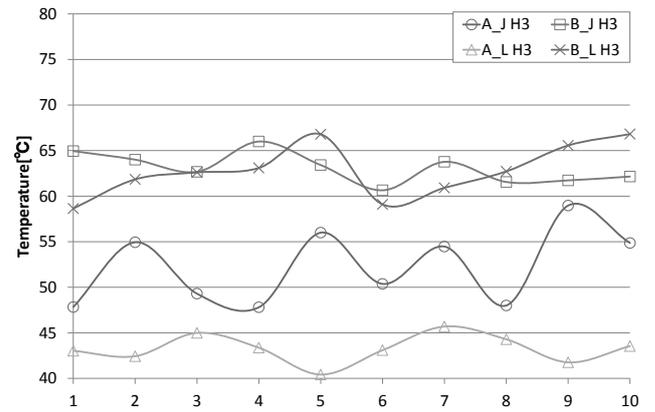


Fig. 8 Average inner-socket humidity in the socket at H3 for each experimental condition

4. まとめ

切断者でない被験者2名に対し各々に合わせて作成した模擬義手ソケットを用いてソケット内体表面温度を掌部と前腕内側の2点、ソケット内湿度を前腕部で3点、同時に15分間測定する実験を行った。実験条件として、ソケット内の隙間の大きさ、ソケット外表面の冷却・加熱、ならびに熱印加時間について調査した。本報告では各実験の平均温度、湿度を実験全体を通して見た際に確認された特徴について述べたが、温度では、上肢の活動低下の影響が温度の緩やかな低下を引き起こしている可能性が示唆されたことから今後の実験条件に加味する必要がある。今後は被験者を増やすだけでなく、切断者についても調査を進めたい。

参考文献

- (1) 幸村久弥, 山崎健治, 宮口達治 フィルムヒーターを使用した装飾義手の製作, POアカデミージャーナル, vol. 18, pp. 112-113, 2010.