

義手ソケット装着下における筋電義手操作信号発生時のマルチモーダル生体信号計測

Multimodal biosignal measurement under donning an upper limb prosthetic socket and generating myoelectric prosthesis operation signal

○ 河邊和宏(東電大院) 大西謙吾(東電大) 中北麻紀子(東電大院) 望月哲平(東電大)

高見響(東電大院) 三田友記(国リハ) 中村隆(国リハ)

Kazuhiro KAWABE, Makiko NAKAKITA, Hibiki TAKAMI, Graduate School of Tokyo Denki University

Kengo OHNISHI, Teppei MOCHIZUKI, Tokyo Denki University

Tomoki MITA, Takashi NAKAMURA, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Abstract: This research targets to build a multimodal measurement system consisting of temperature, humidity, blood flow speed, pressure and myoelectric sensors and to quantitatively evaluate the physiological response of donning a myoelectric upper limb prosthetic socket. In this paper, we investigated the relation between the myoelectric, inner-socket pressure, body surface temperature, cutaneous blood flow, and venous flow speed when non-amputee subjects are donning quasi-transradial prosthetic socket and making muscle activity. The measured signals show that cutaneous blood flow is reduced and the body surface temperature is raised by donning the prosthetic socket. Furthermore, it is assumed that body surface temperature is raised and the skin blood flow is decreased due to constant pressure on the body surface.

Key Words: Myoelectric prosthesis Prosthetic socket, Cutaneous blood flow, Body surface temperature

1. はじめに

上肢切断者の上肢の機能や形態を代替、補填する道具である義手はソケット、手先具、継手、支持部材、懸垂機構の構成要素からなる。現状、ソケット設計・製作の質は義肢装具士の経験則に依存し、圧痛などを生じる力学的要因のみ着目、調整されている。それに対し、装着快適性に影響を及ぼすソケット装着に伴う搔痒感、発汗、発疹、臭いなどの使用者の愁訴に対しては、ソケット装着環境と生理学的反応に関する研究が未だ十分ではなく、体系的な設計方法はもとより、計測、調整方法もない⁽¹⁾。本研究では、力学的要因と生理学的要因を共に考慮したソケット適合評価を行い、ソケットの設計・製作を行うことでより良い適合状態であるソケットが提供できると考える。そこで、これまでデータの蓄積のない生理学的要因を中心に調査を行う。義手ソケット装着環境としての温度、湿度、接触圧と、生理学的反応としての体表面温度、血流速、筋電義手の操作信号である筋電位信号の関係を多種のセンサを用いて計測する義手ソケット内のマルチモーダル計測システムを構築する。本報告では、非切断者が模擬前腕義手ソケットを装着することによる効果を、筋電義手操作を模した前腕筋活動時のソケット内圧力、上肢静脈流速、前腕皮膚血流量、ソケット内体表面温度の関係を実験により調査した結果を述べる。

2. 非切断者用模擬前腕義手ソケットとマルチモーダル生体信号計測システム

被験者となる非切断者の右前腕に装着する模擬義手ソケットを製作した。ソケット製作過程は切断者と同様とし、採型・採寸を行い、石膏陽モデルは圧痛が生じないよう修正しソケットを真空吸引成形した。ソケットは切断長35~80%の断端長の前腕切断者用に製作される Northwestern型頸上部支持式自己懸垂型ソケットと同形状とした。なお、切断者用ソケットでは収納されない手指部は伸展内転位、手関節は中間位で拘束されるよう製作した。着脱を可能と

するため、撓側面を外力が加わると若干開き、装着後は開口側の縁をねじ止めする構造とした。実験時は実用のソケットに合わせるためビニールテープで隙間を塞いだ。製作した模擬ソケット装着時の前腕を Fig. 1 に示す。

ソケット内の環境ならびに生理反応の測定として、体表面温度を温度センサ (g.tec medical engineering, g.TEMPsensor) にて、表面筋電位をディスポ電極 (日本光電工業, Vitrode F-150s) と表面筋電位計測装置 (追坂電子機器, PersonalEMG) にて、ソケット内圧力を圧力センサ (AMI techno, AMI3037-P5) と接触圧変換器 (同, AMI3037-2) にて、静脈流速を平型プローブ (Hadeco, BT8M05S8C) と超音波血流計 (Hadeco, Smartdop30EX) にて、皮膚血流量をレーザ血流計 (ADVANCE, ALF21) にてそれぞれ測定した。各信号はデータ収録ボード (National Instruments, USB-6210) にて収録し、データ収録ソフト (同, LabVIEW) にて処理、PC (DELL, VOSTRO V131) にて記録した。



Fig. 1 Quasi-transradial prosthetic socket

3. 模擬前腕義手ソケット装着と筋活動効果によるマルチモーダル生体信号計測実験

3-1 目的・条件

本実験では、ソケット装着による影響を定量化することを目的とし、体表面温度、皮膚血流量、静脈流速、ソケット内圧力、筋電位の相互作用関係を調査するためセンサ信号の同期計測を行う。特に、ソケット装着時かつ筋活動時の皮膚血流量と温度変動への影響に着目し関係を調査する。

実験はソケット装着の有無，筋活動の最大随意収縮 (Maximum Voluntary Contraction: MVC) の0[%] (筋活動なし)，20[%]，70[%]を組み合わせた6条件にて行った (Table 1 参照)．筋活動は活動周期と強度の相乗作用を考慮し，遅く弱い動作と速く強い動作を設定した．電子メトロノームにて提示した 60[BPM]で MVC20[%]と，80[BPM]で MVC70[%]を設定し，両条件で筋収縮 20 回繰り返す．筋活動は手関節の屈曲・伸展筋を同時に等尺で収縮 (共縮) させた．各条件の測定は，Fig.2 に示す手順，時間にて実施した．

体表面温度は，中指骨頭と手関節の中間点の掌側 (T1) と，尺骨茎状突起から肘頭までの距離の 30[%]の点の内側 (T2) の計 2 箇所を測定した．表面筋電位は橈側手根屈筋上の皮膚に筋繊維と平行になるようディスポ電極を貼り付け，測定した．圧力は，ディスポ電極の位置から内側 40[mm]の位置のソケット内圧力を測定した．皮膚血流量は，肘正中皮静脈上の皮膚血流量を測定した．静脈流速は，右上腕尺側皮静脈上の皮膚に自作した固定装具で平型プローブを拘束し，測定した．各センサの取り付け位置を Fig. 2 に示す．各信号はサンプリング周期 0.01[s]で記録した．実験は，姿勢による影響を考慮し，ソケット開口部付近の体表面が過剰に圧迫されないように肘の屈曲角度 45[°]で椅子に安静に座り，測定した．窓を遮光カーテンにて塞ぎ，空調にて 25[°C]に設定し，室内温度を一定に保つようにした．

3-2 結果・考察

本実験は東京電機大学のヒト生命倫理委員会の審査，承認を受け，被験者より事前説明への同意を得て進めた．被験者は非切断者 3 名 (年齢 22±SD0.8 歳)，各試行回数 3 回とした．

本稿では，実験結果の一部として体表面温度と皮膚血流量の測定結果に関して述べる．体表面温度は，先行実験と同じ，掌，前腕部ともにソケット装着後から測定終了まで継続した増加した．ソケット装着による影響を比較するため，筋活動なしの条件での測定データの内，測定終了前 (1700~1800[s]) の 100 秒間のデータの平均を算出し，筋活動条件では，筋活動終了直後の 100 秒間のデータの平均を算出した．

各条件の全 9 試行のデータの平均体表面温度を Fig. 4 に，平均皮膚血流量を Fig. 5 に示す．Fig.4 から全条件において前腕部より掌部の温度が高く，ソケット装着による手部の温度上昇が確認された．また，Fig.5 から，ソケット装着と筋活動による皮膚血流量の減少傾向が確認された．

掌部と前腕部の温度差の要因として掌部は前腕部より皮膚血流量が多いことが理由として考えられる．ヒトは血液により体心部から体表面への熱の移動を増減させ，体温の恒常性を保つが，中性温度域では掌部に動静脈吻合 (arteriovenous anastomoses: AVA) が多数存在する⁽²⁾ことで AVA が存在しない前腕より血流量は多く，体表面温度は高い値を示したと考える．また，ソケット装着で遅く弱い筋活動動作前と後の SR(20)，SC(20)条件にて高い温度が確認された．筋活動前後で差がないことから，ソケット装着の効果が大きく，掌，前腕部の周りに密閉された狭い空間が形成され，皮膚から放散された熱がソケット内に蓄積されたことによるものと考えられる．さらに，SR(70)，SC(70)でのソケット再装着時に温度上昇が確認されないことに関しては，SC(20)条件後の 30 分のインターバルにて発汗の冷却効果が推測される．なお，測定した皮膚血流量は，肘正中皮静脈上にて測定しており，肘正中皮静脈の流量に影響を受

ける可能性がある．よって，ソケット装着による皮膚血管の圧迫で前腕の血流量が減少し，皮膚血流量も減少したと推測される．

4. おわりに

健常者を対象として，ソケット装着と前腕筋活動による体表面温度，皮膚血流量，ソケット内圧力，筋電位への影響を実験調査し，結果として体表面温度と皮膚血流量について調査した．ソケット装着による影響として手掌部体表面温度の上昇，皮膚血流量の減少傾向を確認した．今後は他の測定信号との関係を分析する．

参考文献

- (1) 蜂須賀研二，他7名，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, No.2, pp.112-117, 2001.
- (2) 本郷利憲，廣重力，標準生理学 第5版，医学書院，pp566-567, 2000.

Table 1 Experimental condition

	Rest	Contraction (MVC20[%])	Contraction (MVC70[%])
No socket	NR	NC(20)	NC(70)
Socket donned	SR	SC(20)	SC(70)

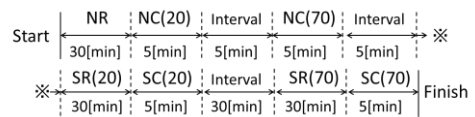


Fig. 2 Experimental procedure

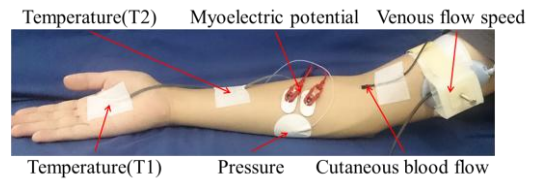


Fig. 3 Position of sensors

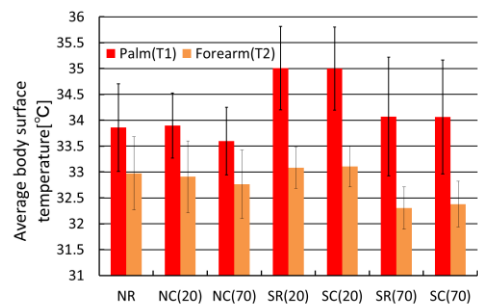


Fig. 4 Average body surface temperature of each condition

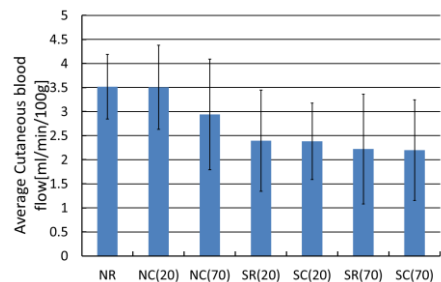


Fig. 5 Average cutaneous blood flow of each condition