

ELF 電界曝露に起因するヒト血流量変化の基礎的研究

Fundamental study for human blood flow change associated with ELF electric field exposure

清水 久恵* 坂井田 壮真** 北間 正崇*
山下 政司* 有澤 準二*

Hisae O. Shimizu, Soma Sakaida, Masataka Kitama
Masaji Yamashita and Junji Arisawa

Abstract

In the study on physiological effects of ELF (Extremely Low Frequency : 0~300Hz) electric field, we have found the increase of surface blood flow near the localized field exposure area. This effect was further investigated in the case of whole body exposure of ELF electric field. The same phenomena were observed as in the case of the localized exposure. The body surface blood flow increased in the whole body exposure, and the increase did not occur when body hair was removed. These results suggested the possibility that the whole body exposure of ELF electric field causes the physiological effect of total body and that the effect is significantly affected by the body surface condition.

1. はじめに

近年、電気・電子機器の急激な普及により、我々の生活圏内には数多くの人工電磁界が存在している。そのため、我々は常に自然界とは異なる強度の人工電磁界に曝されており、これらを回避して生活していくことは困難と考えられる。そのため、人工電磁界の生理作用が注目され、その影響や効果に対する関心が高まっている。中でも ELF (Extremely Low Frequency, 0-300Hz) 電磁界は、我々の身近に高強度で存在しているため、早くから研究が行われてきたが、その生体作用機序は明らかになっていない^(1,2)。国内外で電磁界の安全基準が設けられてはいる⁽³⁾が、生体作用機序など、未だ統一された見解が得られていないのが現状である⁽⁴⁾。

我々は、以前より ELF 電界曝露に伴う生理的变化について研究を行ってきた^(5,6)。これまで、ヒトの局所部位に電界を曝露した際に、曝露部付近の血流量が増加することを見出した。またその原因として、体毛の動きによる機械的刺激が関与していることを明らかにしてきた⁽⁷⁾。これに対し、高圧送電線下などでは、全身に電界が曝露されることが多い。そこで本研究では、新たに全身曝露時

の血流量変化に対し、実験的検討を行った。また、全身曝露における体毛状態の影響についても検討を試みた。

2. 全身電界曝露における血流量変化

安全性の確かめられた電界曝露装置を中心に、電界の全身曝露を可能とする実験システムを新たに構築した。

2-1 実験方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。電界曝露には、理学診療用高圧交流電界装置(白寿生科学研究所, ヘルストロン HES-30 最大電圧値 30kV)を用いた。血流量は、レーザ血流計(アドバンス, ALF21N)を用い、プローブを左前腕部(電界値: 約 146kV/m)に装着して計測した。健常男性 16 名(21-24 歳)を被験者とし、事前に書面にてインフォームドコンセントを得た。実験室内環境は、室温 25-27°C, 湿度 80-90% に設定した。

体毛が自由に動くよう、被験者の着衣は、ショートパンツのみに統一した。被験者は、室内環境への順化など条件を整えるため、電界曝露装置の椅子に着座し、計測開始前 30 分間安静を保つ。その後、3 種の過程で血流計測を行った。実験過程の

* 北海道科学大学大学院医療工学専攻

** 医療法人善仁会 横浜第一病院(北海道工業大学大学院工学研究科医療工学専攻修士課程修了)

概略を Fig. 2 に示す。3 種の過程は、それぞれ 6 区間により構成されている。各区間は 15 分間であり、1 過程の計測時間は合計 90 分間である。condition 1 は、電界曝露がないこと以外は曝露実験と同一の sham 実験である。電界曝露の場合には、計測区間の順に伴う血流変化（順序効果）の可能性もあるため、曝露区間の位置を変えて condition 2(先曝露実験), condition 3(後曝露実験)とした。計測は、被験者ごとに、1 日 1 過程の計測にとどめた。

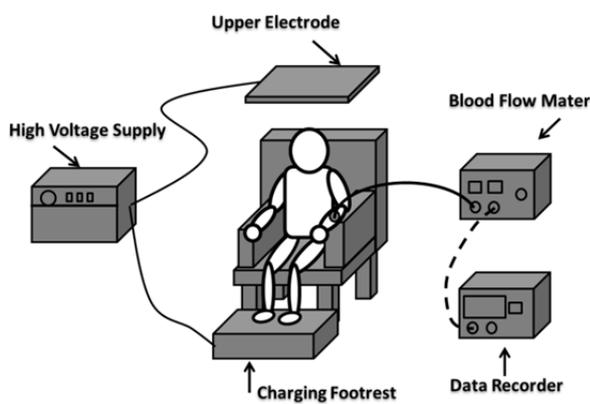


Fig. 1 Experimental system for electric field exposure to whole human body.

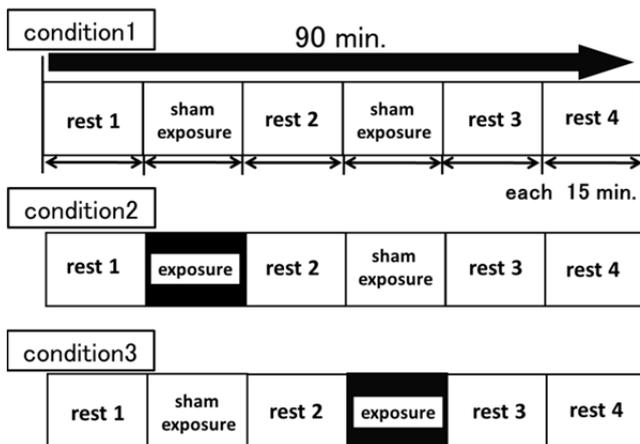


Fig. 2 Time-courses of measurement protocol.

2-2 結果および検討

被験者 16 名の血流量の平均値と標準偏差を Figs. 3-5 に示す。sham 実験における血流量 (Fig. 3) は、全区間にわたり大きな変化は見られない。この結果は、本計測の安定性を示している。

これに対し、先曝露実験における血流量 (Fig. 4) は、rest 1 から exposure にかけて上昇傾向を示し、その後計測終了時まで有意な減少を示した。これは、電界曝露後に、血流量が明らかに減少することを示している。これに対し後曝露実験 (Fig. 5) では、有意とは言えないが、電界曝露前後で血流量が、それぞれ増加・減少する傾向がうかがわれる。Fig. 4 と Fig. 5 の比較より、この血流量変化は、計測区間の順序効果ではなく、電界曝露に反応した変化と考えられる。

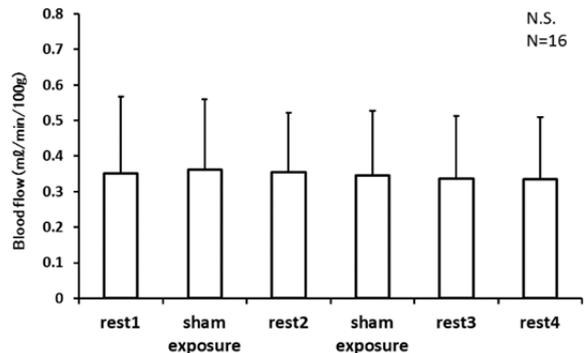


Fig. 3 Measured blood flow in condition 1.

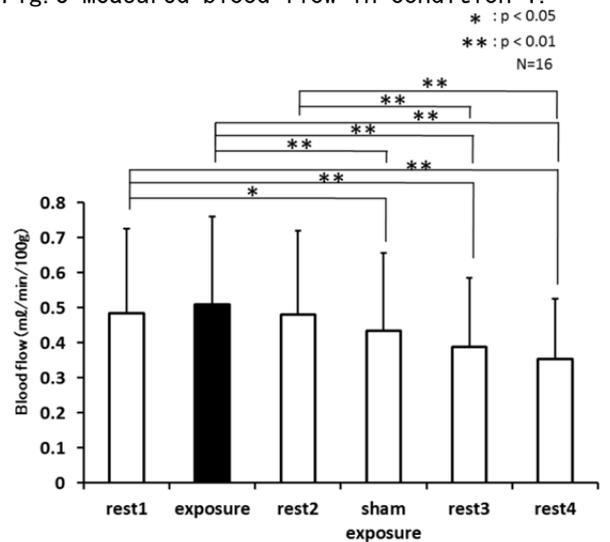


Fig. 4 Measured blood flow in condition 2.

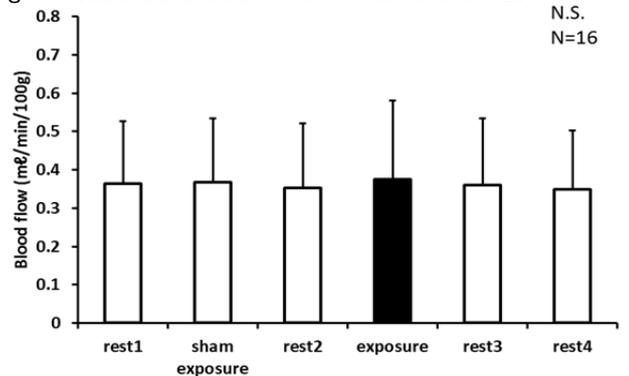


Fig. 5 Measured blood flow in condition 3.

3. 体毛状態の影響

従来の電界局所曝露の研究により、電界曝露に伴う血流変化の機序として、電界中の体毛運動が考えられる。そこで今回新たに、全身曝露時の血流量変化に対する体毛運動の影響を調べた。

3-1 実験方法

実験システム、使用装置、実験環境は、前章と同様である。被験者は、健常男性2名(22, 24歳)である。まず、室内条件に適応するため、30分間の安静を保った後、Fig. 2と同様の手順で、血流量計測を行った。初めに、被験者の体毛が自然な状態のままで計測を行い、これらの過程をそれぞれ conditions 1-3とした。次に、ショートパンツ以外の露出した体毛を除毛して、同様の実験を繰り返し、これらの過程を conditions 1'-3'とした。この実験を、両被験者それぞれに3回繰り返し行った。

3-2 結果および検討

conditions 1, 1'の sham 実験では、両被験者とも体毛の有無にかかわらず血流量は安定しており、6区間にわたり顕著な血流変化は認められなかった。これにより、計測の安定性を確認した。

電界曝露実験の結果を、以下に示す。被験者2名の個体差の影響を除くため、rest 1の血流量に対する計測血流量の比率を評価パラメータとした。各区間における血流量比率の平均値と標準偏差を Figs. 6-9に示す。

Figs. 6, 7に見られるように、体毛のある場合には、電界曝露時に血流量は増加し、曝露終了後に減少傾向が認められる。これに対し、体表を除毛すると、Figs. 8, 9のように、この血流量変化が消失する。

このような解析を通し、電界の全身曝露においても、局所曝露と同様に、体毛の存在が電界曝露時の血流増加に重要な役割を果たしていることが確かめられた。

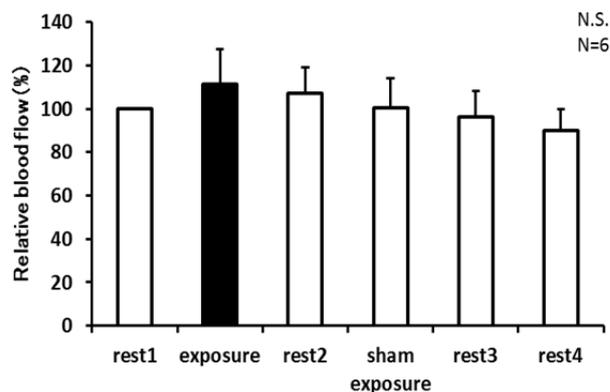


Fig. 6 Measured blood flow in condition 2.

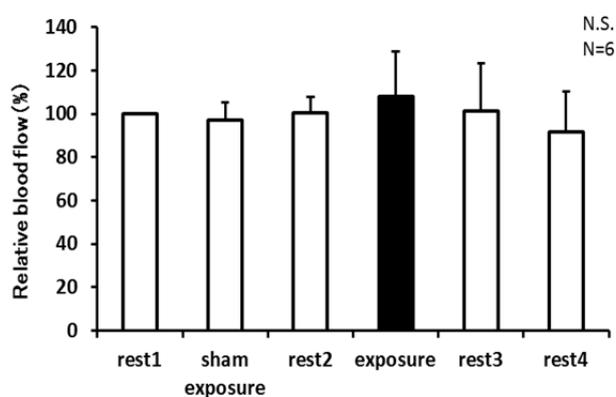


Fig. 7 Measured blood flow in condition 3.

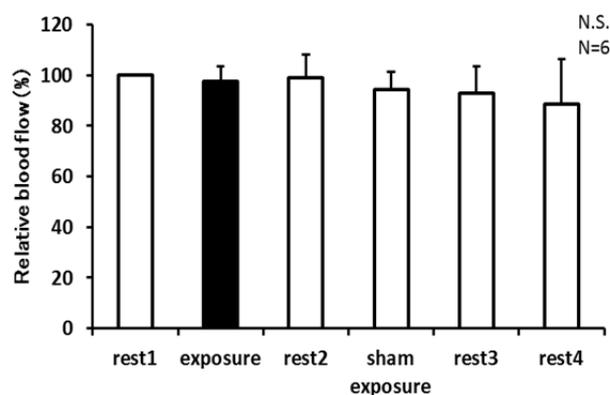


Fig. 8 Measured blood flow in condition 2'.

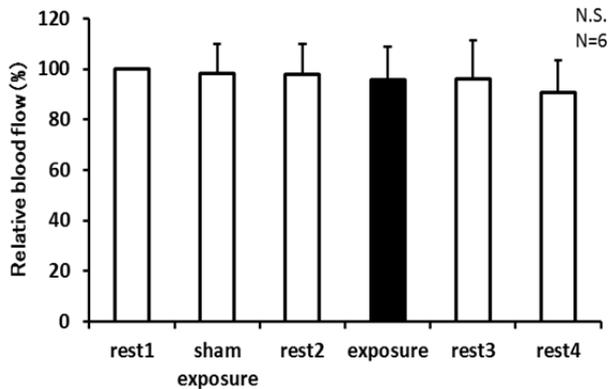


Fig. 9 Measured blood flow in condition 3'.

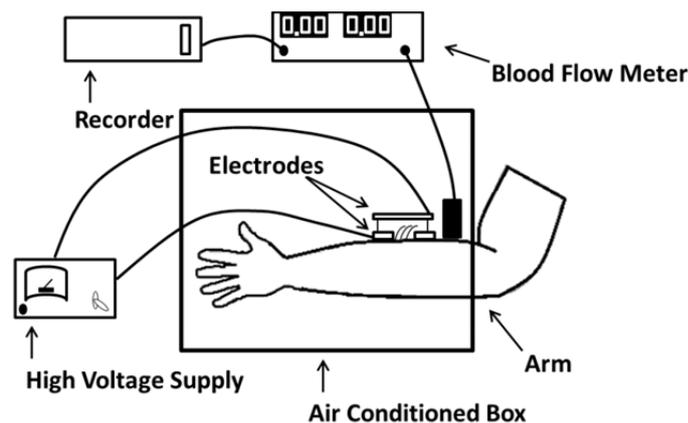


Fig. 10 System of local exposure.

4. 局所電界曝露時の血流量変化

前述のように、我々の過去の研究において、電界の局所曝露によりその周辺の血流量が増加することを報告してきた⁽⁵⁾。今回の全身曝露の結果も、それと同様の傾向を示している。しかし人体の反応では、個体差の大きさも無視できない。そこで改めて、前節と同一の被験者に対して局所電界曝露を行い、体毛の有無の影響を全身曝露の場合と比較検討した。

4-1 実験方法

電界の局所曝露実験の概略を Fig. 10 に示す。二枚の平行平板電極(110×110 mm, 間隔 20 mm)に交流電圧(5 kV)を印加し、極板間に電界を発生させた。下部電極中央には 30 mmφの穴が開いており、この穴を通して被験者体表に電界が曝露される。この電極を被験者の右前腕部に装着し、その求心側にレーザ血流計のプロープを取り付けて血流量を測定した。また、前腕部を恒温恒湿器内(温度 25 °C, 湿度 80-90%)に入れ、環境条件を一定とした。被験者は、前章と同一の健常男性 2 名(22, 24 歳)である。

局所曝露実験の各過程の概略を Fig. 11 に示す。4 種の過程は、それぞれ 3 区間により構成されている。各区間の長さは 3 分間であり、1 過程の計測時間は合計 9 分間である。なお各仮定の開始前には、それぞれ 10 分間の着座安静時間を設け、環境への順化を図った。Fig. 11 のように、自然な体毛状態での sham 実験と曝露実験をそれぞれ conditions A, B, 体毛除毛後の sham 実験と曝露実験をそれぞれ conditions C, D とした。これらの過程を、両被験者それぞれに 3 回ずつ繰り返した。

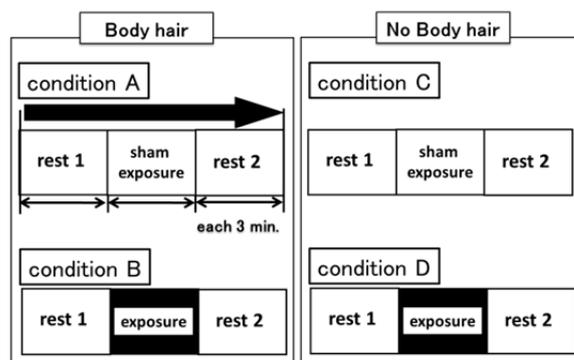


Fig. 11 Time courses of measurement protocol in local exposure experiments.

4-2. 結果および検討

計測結果を Figs. 12-15 に示す。前章と同様、rest1 の血流量に対する計測血流量の比率の平均値と標準偏差である。Figs. 12, 13 のように sham 実験では、体毛の有無にかかわらず、血流量に明らかな変化は見られなかった。これに対し、Figs. 14, 15 のように電界曝露実験では、体毛のある場合のみ血流量増加の傾向が認められた。

このように同一被験者において、体毛有無の影響が、全身曝露時および局所曝露時どちらも同様の形で再現された。これらの結果より、電界曝露に伴う血流増加の機序が、局所的な体毛運動の知覚だけではない可能性が考えられる。電界による体毛運動の影響が体表の広い範囲に及ぶことは、電界の生理作用を考慮するうえで重要な知見を提供するものと考えられる。

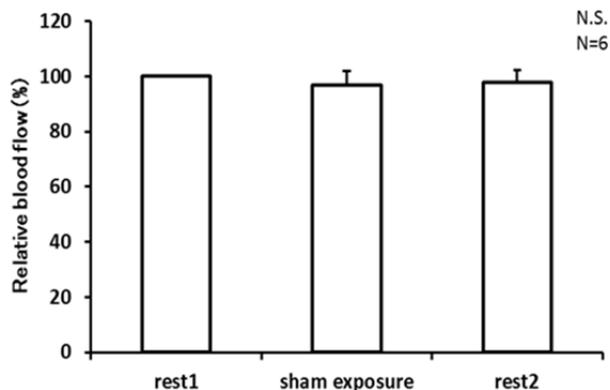


Fig. 12 Measured blood flow in condition A.

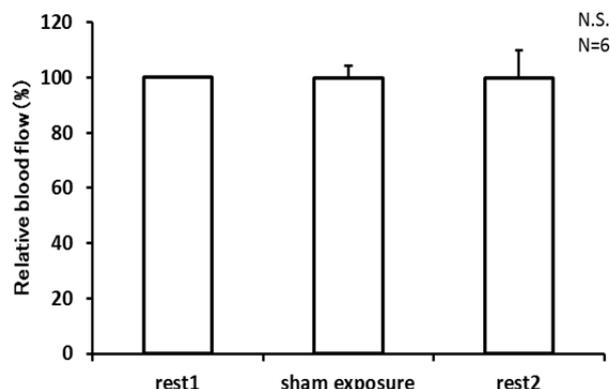


Fig. 13 Measured blood flow in condition C.

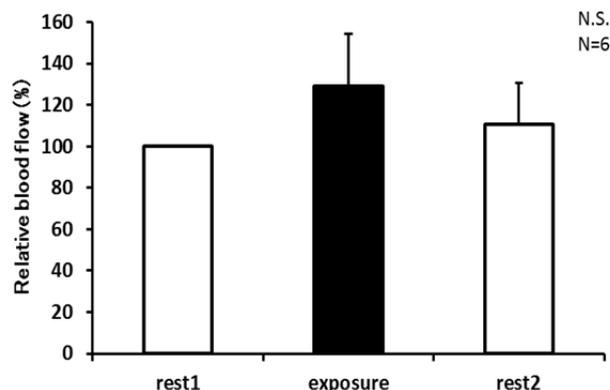


Fig. 14 Measured blood flow in condition B.

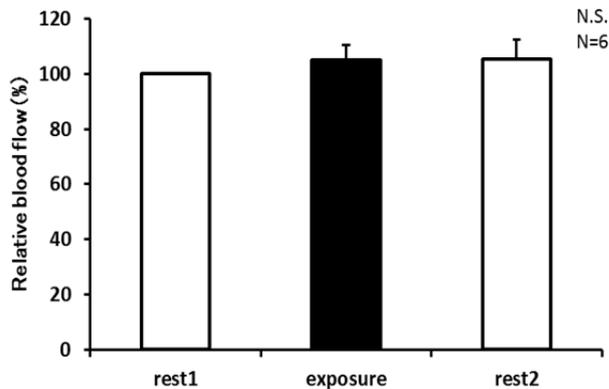


Fig. 15 Measured blood flow in condition D.

5. おわりに

従来の ELF 電界局所曝露に対し、より一般的な条件である全身曝露における生理変化につき、実験的検討を行った。その結果、全身曝露においても局所曝露と同様の現象が認められた。すなわち、電界曝露に伴い血流量は上昇し、曝露終了とともに元の血流量に戻って行く。この結果は、電界の全身曝露が、局所的な一過性の生理変化にとどまらず、全身性の生理変化をもたらす可能性を示唆するものと考えられる。

また体毛の動きやすさなど、体表状態の影響についても、局所曝露の場合と同様の結果が得られた。この結果は、全身曝露においても、体表の機械的刺激が生理変化の大きな要因である可能性を示唆するものと考えられる。

本研究を進めるにあたり有益なご助言をいただいた北海道大学清水孝一教授に感謝の意を表す。

本研究は、平成 25 年度北海道工業大学倫理委員会の承認に基づき行われた。

文 献

- (1)E. L. Carstensen : Biological Effects of Transmission Line Fields, Elsevier, New York, 1987.
- (2)重光司, “電磁界の生物影響研究の動向,”電磁界生体影響問題の経緯と最近の動向, (社)電気学会, 2011, pp.3-5.
- (3)電磁界情報提供委員会, “電磁界と健康,”経済産業省, 2013, p.11
- (4)多氣昌生, “電磁界生体影響問題の経緯と最近の動向(総論),”電磁界生体影響問題の経緯と最近の動向, (社)電気学会, 2011, pp.1-2.
- (5)坂本将樹, 小田切久恵, 三澤顕示, 有澤準二, 清水孝一, “強電界の生体作用機序に関する基礎的検討(その 3)-諸種パラメータに関する電界

感知閾値変化の可能性-, ”電子情報通信学会技術報告, EMCJ96-52,1996, pp.29-36.

(6)清水(小田切)久恵, 有澤準二, 清水孝一“ELF 電磁界に伴う生理的变化に関する基礎的検討-ヒト体表における血流量変化の可能性-, ”電子情報通信学会技術報告, EMCJ99-97, 1999,pp.49-53.

(7)小山有基, 清水久恵, 山下政司, 三澤顕示, 清水孝一“ELF 電界曝露の生体作用機序に関する基礎的検討Ⅱ-血流変化の特性解析-, ”電子情報通信学会技術報告, MBE2006-125, 2007,pp.29-32.