

人体皮膚定常電位及び皮膚磁界の発生機構に関する研究

Study on Mechanism of Generation of a Statistic Potential and Skin Magnetic Field on the Human body

湯ノ口万友*, 吉田宏**, 有村公良***, 斎藤正男****

Kazutomo Yunokuchi*, Hiroshi Yoshida*, Kimiyoshi Arimura***, Masao Saito****

*鹿児島大学工学部生体工学科、**鹿児島大学工学部電気電子工学科、***鹿児島大学医学部第2生理学、****東京電機大学

*Kagoshima University and ****Tokyo Denki University

We measured the skin potential level that means a statistic potential on the human body. The potential is related to the control system of a body fluid circulation. We hypothesize that the skin potential or skin magnetic field depends on the peripheral blood circulation. The results showed that the change of skin potential and blood flow above an acupuncture point appeared differently from that above a non-acupuncture point. Acupuncture point reflects the environmental state in the human body.

1. 研究目的

自律神経活動は平滑筋、心筋、腺などを支配しており、それによって血圧、発汗、体温の様々な生理機能を調節している。しかし、自律神経機能の評価法においてはこれまでも数々の方法が提案されているが、方法的な困難性から簡便な方法がなかなか見出せなかった。これに対し、生命維持活動の指標として知られている皮膚電位活動は検査手技が簡単で且つ無侵襲であるため、積極的な臨床応用が望まれている。

皮膚電位水準(skin potential level: SPL)はヒトの上肢、下肢の表皮上の直流電位の変動を測定する手法であり、ヒトの交感神経の研究に有力な手段である。当研究室では、従来より状態情報ネットワークシステムの制御モデルを提唱してきた。これは生体内に比較的多く含まれているNa⁺濃度の変化を情報として検知する受容器と、その情報に応じて作用する効果器(血管平滑筋)により構成されている。

本研究では、血流変化と皮膚電位の相関を検討し、鍼刺激が生体に及ぼす影響を SPL 記録法を用いることによって明らかにしていく。

2. 研究経過と研究成果

2.1 皮膚電位発生モデルの提案

図1に皮膚電位発生モデルを示す。上皮におけるイオンポンプ能力の差異によって上皮細胞を境に真皮側と角質層側では、イオン分布、特にナトリウムイオン濃度が

異なり、定常状態では真皮側が正電位となるような電位差即ち上皮電位が存在する。但し、真皮は結合組織であるために真皮内のイオン分布はどの部位でも、ほぼ均一

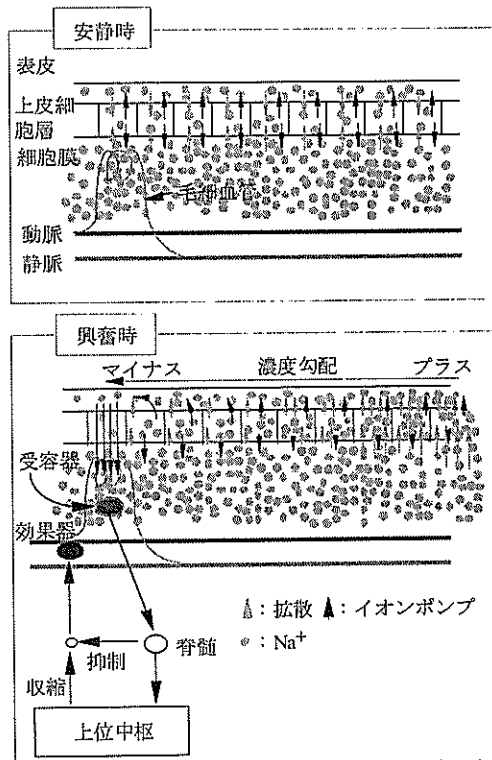


図1 状態情報システムモデル図

であるとみなせるが、真皮内の毛細血管が密な部位ほど、イオンポンプ能力が大きく、上皮電位も大きくなる。従って、定常状態でも上皮細胞上層でのナトリウムイオン濃度は部位によって異なり、環境状態の変化によって血流配分が変われば、このイオン濃度はさらに変化する。本研究において測定した体表面の電位現象はこの上皮細胞上層でのナトリウムイオン濃度の変化を反映したものであると考えられる。生体内イオンの動きに起因する皮膚磁界の計測結果から、電位発生はイオンの動態を反映していると考えた[1]。

2. 2 皮膚直流電位の変化

2.2.1 皮膚直流電位測定

(1) 皮膚電位測定システム

皮膚電位測定システムは直流成分を含む皮膚電位水準(SPL)の緩やかな変動を測定するもので、まず皮膚電位を送信部の生体アンプで増幅した後、光パルス信号へと変換し、これを光ファイバケーブルによって受信部へ送信する。ここで再びアナログ信号電圧に変換し、A/D変換器を経てコンピュータに取り込んでいる[1],[2]。

本研究では全体を通して測定点に経穴を選んでおり、経穴はノイロメーターを用いて検索した。ノイロメーターは微弱な電圧を生体に印加してインピーダンスの低い部位を探す機器である。また、角質層は高い抵抗をもつ層である。従って電位変化の測定時には表皮の抵抗を低下させるためにエタノールを含ませたキムワイプで測定部位をよく拭き取り、電解質ペーストを介して電極を装着した。被験者はアースをとったベッドに仰臥位になり、安静状態を保った。測定は電位が十分に安定してから開始した。刺激としては全身的な内部環境変化を引き起こすために呼吸停止を行い、刺激後の変化量を検討した。

(2) 結果

生体から検出されるパラメーターはある一定

のサイクルで変動するといわれている。すなわち、サーカディアンリズムに関する研究は様々な方面で行われており、主に外部的な要素(光、気象条件など)と内部的な要素(神経機能、内分泌機能)などの視点から研究されている。ここでは電位変化のサーカディアンリズムを測定した。

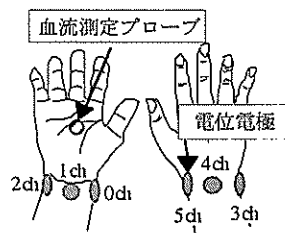


図2 日内変動測定点

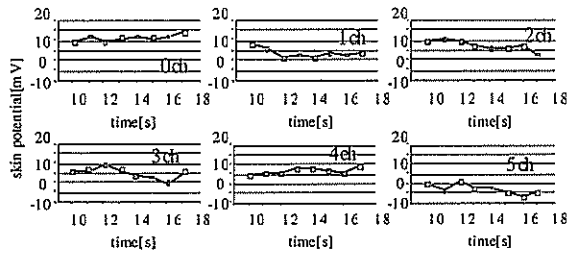


図3 電位の日内変動

図2に電位の測定点を示し、図3に10:00AM~17:00PMまでの安静電位を測定したときの結果を示す。この測定

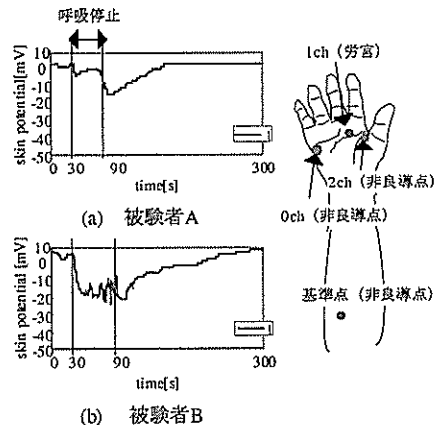


図4 SPRの波形例

結果より、どのチャンネルも電位は $\pm 5\text{mV}$ 以内で緩やかに変動しているのが分かる。この測定では被験者が12:00に昼食を摂ったが、その時点から変化が現れている。これは昼食を摂ることによって消化器系の組織が活発化し、血液循環量が増えることで体液中の Na^+ のイオン濃度に影響を与え、それが体表電位に反映されたためだと考えられる。一方、体内摂取とは無関係な生物時計と呼ばれる、光照度の変化に同調した生体機能による影響なども無視できない。

前述したように皮膚電位活動は、大別してSPLとSPRに分類される。一般に、SPR変化の機序は汗腺活動によ

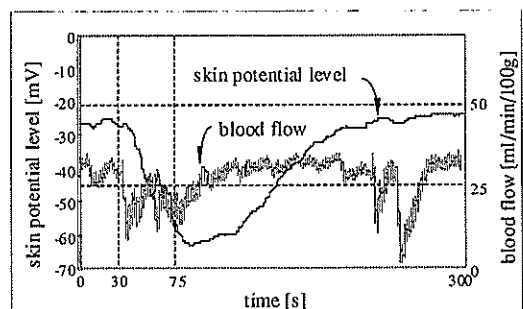


図5 電位変化と血流変化の比較

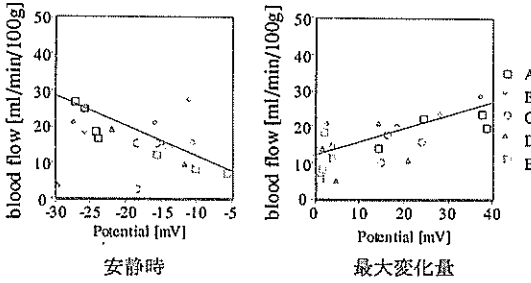


図6 電位変化と血流変化の相関

るものとされているが、ここで得られる電位変化は汗腺活動に依存しないことが確かめられている[3]。図4に呼吸停止を行ったときの代表的な波形を示す。これは手掌と足裏についてそれぞれ経穴部と非経穴部を測定点に選んで、被験者の限界まで呼吸停止を行った時の結果である。電位波形は被験者によって出現の仕方が異なる。図4に示したSPR波形はSPLの緩徐な変化の上で速い変化が30秒以上継続している。これは前述の状態情報システムモデルの血流制御理論に軸索反射という考えを取り入れることでこの現象を解釈できると思われる。

2. 3 電位と他のパラメーターの変化の比較

2.3.1 測定方法

血流の測定にはレーザードップラー血流計(ALF21:ADVANCE 社製)を用いた。ドップラー血流計から送られたアナログ信号はデータ取り込みシステム(MP100WS: BIOPAC System 社製)でAD変換し、コンピューターに取り込んだ。

2.3.2 結果

図5は測定点に右手の労宮を選び、刺激として45秒間の呼吸停止を行ったときの電位変化と血流変化を示す。これは、被験者5人に対して測定した内の一例で、電位変化は絶対表示で表した。縦の1つ目の破線は呼吸停止を開始した時刻で2つ目の破線は呼吸停止を終了した時刻である。これらのグラフから、刺激を加えていないときの血流変化は測定終了までに一定に保たれておらず、

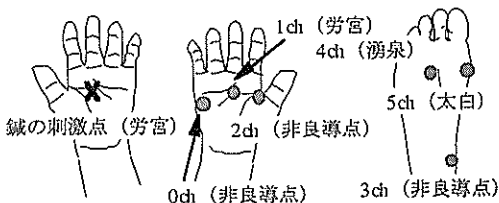


図7 鍼刺激時の測定点と刺激点

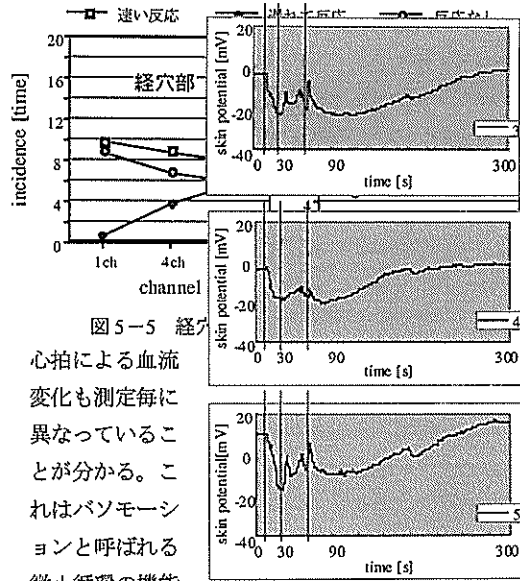


図5-5 経穴部

心拍による血流変化も測定毎に異なっていることが分かる。これはバソモーションと呼ばれる微小循環の機能的な収縮と拡張

図8 鍼刺激時の電位波形

によるもので、この波は末梢の血管運動を規制する交感神経の持続的な活動と考えられている。

図6の左のグラフは安静時の電位と血流の値をプロットしたもので、右のグラフは刺激時の電位と血流の最大変化量をプロットしたものである。これらのグラフから安静電位が高くなるほど安静血流量は低くなり、刺激時の電位変化量が大きくなるにつれて血流量も増加していることが分かる。また、全体的に電位変化と血流変化には相関性が認められるが、各被験者毎で傾きに若干のばらつきがある。

電位変化は少なくとも血流変化よりも遅れて変化し、血流変化がきっかけとなって電位変化が生ずるのではないかと考えられる。

3. 今後の課題と発展

3.1 鍼刺激が生体に及ぼす影響

この実験では刺激として鍼刺激を行う。一般的に鍼刺激は病的患者や身体機能に支障がある患者に対して行われるが、この実験では健康人の被験者5人(A~E)に対して鍼刺激を行った。実験に際し、鍼灸師に鍼刺激を行ってもらった。実験には1寸2号のセイリン針(セイリン化成(株)社製)を使用した。測定電極、基準電極及び刺激点は鍼灸師の指示のもとで配置した。

図7に測定点及び刺激点を示す。図8は被験者Aに対して鍼刺激を行ったときの電位変化を示す。図中の3本の線はそれぞれ切皮(鍼を表皮に刺入)、ひびき(鍼を深部

まで刺入)、抜針を示す。この波形では切皮後のひびき時、即ち鍼灸師が鍼を刺入している最中に電位変化が表れ、その後鍼にふれていない時にSPR成分の出現が認められ、抜針後はSPR成分は消滅し、緩やかに安静状態へと回復していった。呼吸停止や電気刺激では、刺激を終了する前に受容器細胞がNa⁺濃度を検知し、その情報をフィードバックすることにより血管収縮に抑制がかかり、安静状態へと回復していく。しかし、鍼刺激の場合は抜針されたことで受容器細胞が状態情報を中枢へと伝達して回復しているのではないかと考えられる。

通常、鍼刺激は痛みを伴わない治療法として知られており、この測定結果の被験者も切皮時にかすかな痛みを感じただけであった。しかし内部環境では意識下でこれを侵害刺激として捉え、この刺激に対する体液制御が行われたと考えられる。これはA δ 、C繊維のような求心性神経線維によって中枢へ鍼刺激の信号が伝達され、全身への体液制御が電位変化に表れたと考えられる。東洋医学では崩れた体調のバランスを鍼治療によって整え、生体にエネルギーを補うといわれている。このことから、この鍼刺激によって体調を整えているかどうか定かではないが、刺入した鍼によって引き起こされた内部環境の変化を皮膚電位法を用いることで確認することができる。

3.2 経穴部位、非経穴部位の特異性

鍼治療によるそれぞれの測定波形で経穴部位と非経穴部位について、切皮してからの反応速度を早い反応、遅れて反応、反応なしの波形に分類し、その出現頻度を経穴部と非経穴部でまとめたものを図9示す。被験者の例では経穴部である1ch、5chで遅れた反応が見られた。経穴部位に毛細血管や神経が密集し、状態情報受容器が存在していると考えている。しかし、経穴周辺に血管の密集した箇所が他の部分よりも広く分布し、経穴周辺により多く血液が配分され、このため血流の現象も遅れ、電位の変化が遅れたのだと考えられる。

3.3 今後の展望

本研究は、磁気計測がほとんど行えず、初期の目標を十分に達成したとはいえませんが、皮膚電位計測と血流変化の計測によって呼吸停止、電気刺激、鍼刺激に対する応答を定量的に比較し、相関性を示したことで皮膚電位の発生機序は血流制御に密接に関係しているのではないかとという仮説が更に確認された。東洋医学で診断などに用いられる経穴の特性をある程度、明確にできた。今後は、東洋医学における経絡現象と自律神経制御の相関性

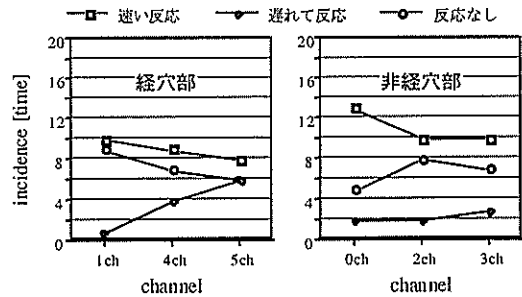


図5-5 経穴部位と非経穴部位の比較

を明らかにしていく予定である。

生体の制御は複雑でしかも個人差があり、様々な外部要因の変化と内部環境の悪化に対して的確に順応している。従ってこのような生体内制御を参考にして異分野の情報処理に応用することは有意義だと考えられる。

参考文献

- [1]K.Yunokuchi, "An internal environment state variable in the human body and fundamental experiment", System and Computers in Japan, Vol.22, 1/8(1991)
- [2]K.Yunokuchi, H.Yoshida, M.Saito, "Study of the stationary potential and magnetic field of the human skin", SICE'93 Proc. of the 32nd SICE Annual Conference, 1339/1342(1993)
- [3] K.Yunokuchi, T.Tanaka, H.Yoshida, M.Saito, "Study of the stationary potential and magnetic field of the human skin(II)", SICE'94 Proc. of the 33rd SICE Annual Conference, 947/952(1994)
- [4]K.Yunokuchi, H.Yoshida, T.Nishimura, M.Saito, "Study of skin potential distributions of the human body", in Proc. of VII International Symposium on Biomedical Engineering, 247/248(1994)
- [5]安東泰信、湯ノロ万友、吉田宏、"体液制御システムに関する研究"、第16回SICE九州支部学術講演会(1997)

発表論文リスト (上記「5」以外)

- [6]湯ノロ万友、下園善知、玉木陽三、吉田宏、"呼吸停止によるヒト前腕部の皮膚表面電位の特性"、電気関係学会九州支部連合大会、p.80(1996)
- [7]安東泰信、湯ノロ万友、吉田宏、"皮膚定常電位の測定とその変化パターンに関する研究"、電気関係学会九州支部連合大会、p.240(1997)
- [8]安東泰信、湯ノロ万友、吉田宏、"末梢皮膚定常電位に及ぼす体液制御システムに関する研究"、日本ME学会九州支部学術講演会、p.25(1998)