

足浴の生理的作用について —31例のケーススタディ—

Physiological effects of footbath -31 case studies-

市村孝雄*
Takao Ichimura
ichimura@n.ypu.jp

Abstract :

Physiological effects of a mild footbath were examined on 31 subjects before, during and after 10 minutes' footbath at 41 degree celsius. Weakly alkaline hot water supplied by the administration of Yuda-Hot Spring was used for this study. Body temperature and blood flow were measured at leg and arm by a laser-doppler blood flow meter. Electro cardiogram (ECG) was recorded from leg and arm, and electro encephalogram (EEG) was lead from FZ, CZ, and PZ on the mid-sagittal plane of the head. Analog signals of ECG and EEG were digitalized and recorded for 30 min before, during and after the footbath, then analyzed by means of a conventional spectral analysis protocol (BIMUTAS II).

No obvious change was observed in body temperature, while subcutaneous blood flow increased in the lower limb during the footbath. Relative content of the high frequency component in the heart rate variability and of the alpha rhythm in EEG were increased in 69% subjects during the footbath. This observation may suggest that about two-thirds of subjects experienced a true rest as well as a mental relaxation during the footbath. Two dimensional distribution of the alpha rhythm content versus the delta rhythm content showed a reciprocal pattern ; i.e., high alpha/low delta ($\delta < 1 < \alpha$) or low alpha/high delta ($\alpha < 1 < \delta$), suggesting "Relax or Sleep" effect of the footbath.

Combined together, 10 min of the footbath might be good enough for rest and/or mental relaxation, and even for sleep if the bath is maintained at a moderate temperature around 41 degree celsius.

Effects of warmer and/or longer footbath are not well understood and await further study.

Key words : footbath,relaxation,sleep,ECG,EEG

キーワード :足浴, リラクセーション, 入眠, 心電図, 脳波

はじめに

日本人の風呂好きはよく知られている。衛生観念が高く、健康志向が強い国民性を象徴しているともいわれる。風呂に入ることを欧米ではto take a bathというから、ちょっと浴びるところのだが、日本では入浴すなわち全身浴のことである。

近年、若者の間で「足浴」が愛用されている。簡便な足浴バスも普及している。足浴は暖かい室内で着衣のまま楽な座位で、好みの温度の湯に足部をひたす、足の部分浴である。全身浴と比べると心臓へのストレス負荷ははるかに軽い。

入浴あるいは足浴のように熱いあるいは暖かいものに触れると、生体は体表の末梢温熱受容器を介してその温度を感知し、まず、熱い冷たいという温度感覚、次いで、暑い、暖かい、寒い、涼しいという温熱感覚、さらに識別し難い快不快の感覚を覚える。この感覚は、日常知るように、個体の深部体温と環境条件に強く支配され、個人差の大きなものとなる(入来, 2003)。

足浴によって足部の温熱受容器が刺激されれば、その興奮は脊髄の伝導路を通して脳内の間脳視床下部にある自律神経中枢と大脳皮質体性感覚野に達する。前者はいわゆる体温調節中枢を介して自律性の体温調節を引き起こし、後者は局所の温熱刺激を認識すると考

* 山口県立大学大学院 健康福祉学研究科 Graduate School of Health and Welfare, Yamaguchi Prefectural University

えられている。足部で受けた温熱刺激に対して、感覚情報の受容・伝導・認識・応答を経て生体の反応が引き起こされることになる(ニコルス, 1997)。

当研究室ではこのたび、山口市湯田温泉の温泉管理協同組合からの委託で「足湯」(足浴と同義)の生理的効果について調べる機会を与えられた。湯田温泉は、山口市湯田地区にある7つの泉源から湧き出る温泉を混合して温度を調節し、管理協同組合が一括管理しホテルや旅館の温泉に供給している。泉質はアルカリ性単純泉、湯温64℃であり、湧出量は西日本一である。組合はこの豊富な温泉を活用し、湯田温泉地区の3ヶ所に露天の「足湯」を設け、市民と観光客に開放して好評を博している。

我々は、温泉管理協同組合より温泉の提供を受け、延べ31名の被験者に足浴を体験させ、心拍、血圧、皮膚温、心電図、脳波など、基礎的な生理学的測定を行った。

研究計画は、あらかじめ山口県立大学生命倫理委員会の承認を受け、被験者には事前のインフォームドコンセントを徹底させ、リスクのない自主的協力者を選んだ。

測定は、背景音が低く、光と電磁波を遮断でき、室温が制御できる部屋で下肢筋を緊張させない安楽椅子と精密温度調節の利く足浴槽を用意して実施した。

心拍の間隔、すなわち心電図のR-R間隔を見ると、正常時でも刻々に変動していることがわかる。心臓のリズムは、心臓ペースメーカーを制御する自律神経である心臓迷走神経(副交感神経)の支配を受けているので、リズムの変動から逆に迷走神経(副交感神経)の支配の強さとその変動を逆算する事が出来る。いわゆる心拍変動解析の考え方であり、自律神経(副交感神経)活動評価法のひとつとなっている(早野, 1996; Task Force, ESC & NASPE, 1996)。この方法を用いれば、身体的全般的な休息状態を推定する指標が推定できることから、この研究室ではR-R間隔ゆらぎスペクトルの高周波成分(h)をその指標として用いた。

脳波は身体活動中も睡眠中もとどまることなく続く大脳の神経活動電位を頭皮上から記録したものである。その時系列、すなわち、背景脳波は、脳の活動状態とともに複雑に変動するが、その周波数成分はデルタ、シータ、アルファ、ベータ、ガンマの5成分に区分され、それぞれの変動について、あるいは刺激に対する応答について様々な解釈が試みられている(大熊, 1999; 丹羽, 鶴, 1997)。

デルタ波は0.5~4 Hzの周波数を持つ徐波と呼ばれ

る成分で、覚醒時は現れず、睡眠の深度に応じて出現率(割合)が上がるので、睡眠深度測定の指標として国際的に使われている。この研究でも、睡眠深度の指標として用いる(但し、振幅は考慮しない)。

アルファ波は、8~13Hzの周波数を持つ成分で、安静閉眼状態で意識が緊張から開放された状態で出現する。いわゆる瞑想(迷走ではない)状態で顕著に出現する。このことからアルファ波の出現している脳の状態は、一般にストレスなどから開放された精神の安定状態を反映するとされる(大熊, 1996, 阿部, 2002)。ただし、開眼すると消失すること、個人差が大きいことが特徴である。その解釈は難しいが、この研究では、足浴による精神・気分の安らぎ、リラクゼーションの状態を推定する指標として用いた。

また生体全体を一つのブラックボックスと見なして、反応相互の関連を解析すると、温熱刺激に対する反応相互の関係が伺える。このような反応を測る指標の間のマクロな関係を見出す試みとして、心拍変動のh成分と、背景脳波のアルファ割合、デルタ割合相互の関係を探ってみた。

のべ31名の被験者についての測定結果では、これらの生理的指標が10分間の「足浴」で顕著に変動したケースも変化しないケースも見られたが、被験者の5割は足浴中に背景脳波中のデルタ波割合が上昇し、アルファ波割合が低下する入眠傾向が認められた。また、入眠しない場合でも、アルファ波割合が上昇する“リラクゼーション状態”を経験していた。短時間の足浴でも、入眠促進あるいはリラクゼーション促進の効果があることを示唆する結果であった。

方法

(1) 測定環境

測定は平成17年7月~9月に、次の条件で実施した。

- 1) 外部騒音を概略10db以下に遮断できる安静な部屋
- 2) 背景に川の音
- 3) 室温25℃±1℃、湿度45~65%に調整
- 4) 遮光性暗幕で四周をおおった半暗室
- 5) 測定器(ポリグラフ)への交流雑音混入を防ぐため、床部分を金網で覆った半シールドルーム
- 6) 下肢に筋緊張を生じぬよう、135度後方傾射位で姿勢を保持
- 7) 湯田温泉配給協同組合から供給された温泉水のみを使用
- 8) 温泉水は、温度調節器(Thomas T22L)で41℃±

0.1℃に維持

(2) 被験者

自発的に参加した健康な女子学生のべ27名を主とする、のべ31名（年齢18歳～61歳）を被験者とした。被験者には、実験の目的、方法、参加の任意性についてあらかじめ文書と口頭で説明し、同意の署名を得た。

測定に当たっては、あらかじめ24時間前から強い運動、アルコール飲料と薬の摂取を避け、十分に睡眠をとるよう指示した。測定当日、体調不良を訴えた場合は測定を止めた。

(3) 測定・記録・解析

1) 被験者

被験者を安楽椅子に座らせ、後方135度傾斜位で保持、下肢の内外踝下部まで温泉水に入れた。

2) 血圧

測定に先立って、収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数を計測し、正常範囲内にあることを確認した。

3) 心電図

標準肢第II誘導法に従って、左右前腕手根部と左右下肢内踝上部に心電図記録電極を装着し、ポリグラフ(日本光電)で増幅、A—D変換してKISSEI COMTEC社製生体信号記録解析ソフトBIMUTASIIにより、ハードディスク上に連続記録した。

4) 脳波

国際10—20法に沿い、顔面、耳朶にアースと基準電極をとり、頭皮上FZ, CZ, PZの位置から背景脳波を記録した。信号はポリグラフ(日本光電)で増幅し、A—D変換した後、BIMUTASIIを用いてハードディスク上に連続記録した。

5) 血流・皮膚温

アドバンス社製レーザー・ドップラー血流計(ALF21R)を用い、左膝下外側(前脛骨筋上部)と左腋下最奥部の皮膚表層(毛細血管網)の血流量と皮膚温を計測し、2分毎の表示数値を読み取り記録した。

6) 解析

BIMUTASIIを用いて足浴前、中、後各10分間に記録した心電図と脳波はBIMUTASII(アナライザー)を用いて次の通り解析した。

a) 心電図

心電図記録から、R-R間隔の時系列を平滑化し、フーリエ解析周波数分析を行い、間隔ゆらぎスペクトルの高周波成分を定量した。この定量値を副交感神経(心臓迷走神経)の活動水準

を示す指標とした。(早野, 1996)

b) 脳波

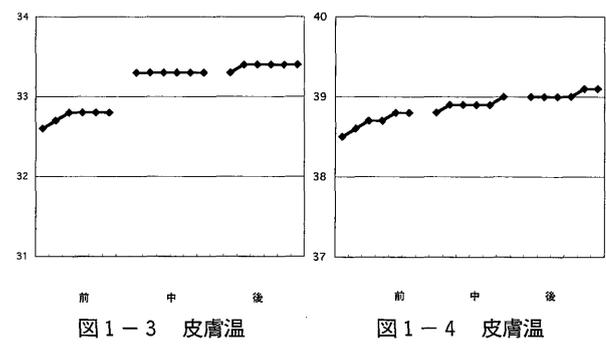
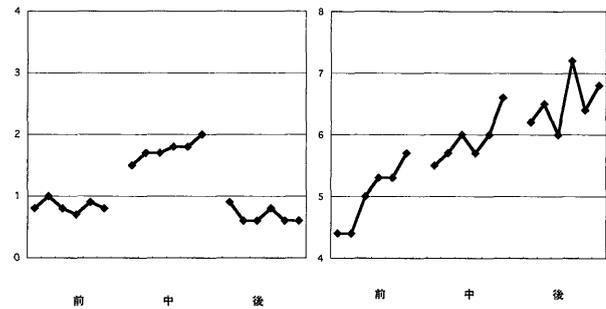
Fz, Cz, Pzの背景脳波をBIMUTASII(アナライザー)を用いて周波数解析し、アルファ(α)波(8-13Hz)、ベータ(β)波(13-30Hz)、シータ(θ)波(4-8 Hz)、デルタ(δ)波(0.5-4 Hz)の占める割合を百分率表示した。

また、血流と皮膚温の2分毎の記録から、各10分間の単純時間平均値を算出し、それぞれの代表値とした。

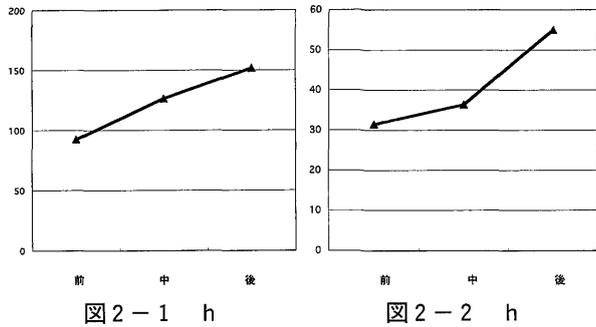
また、心電図、脳波、血流、皮膚温の解析は、全て足浴前の状態を基準状態として1に正規化し、それに対する比の値で表記した。

結 果

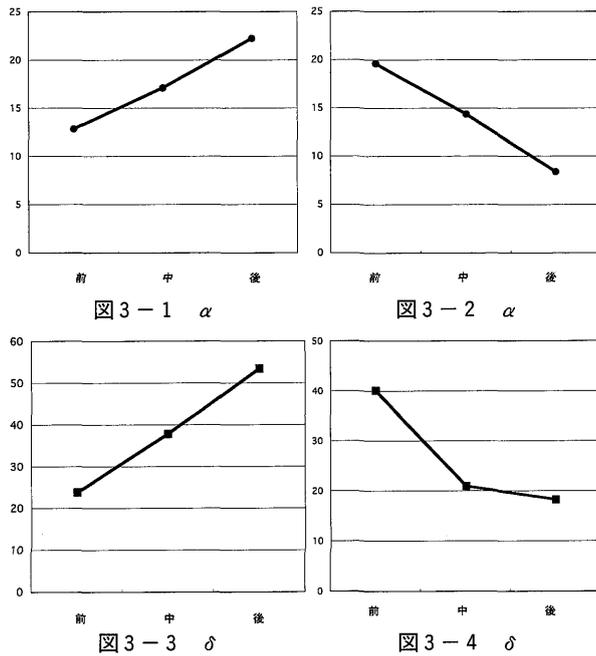
足浴を開始する前、足浴中、足浴後の脛部(左図)と腋下(右図)の皮膚血流と皮膚温で大きな変動が見られた実測例を図1に示す。以下、血流は相対値、皮膚温は度Cであるが、図中には表示しない。



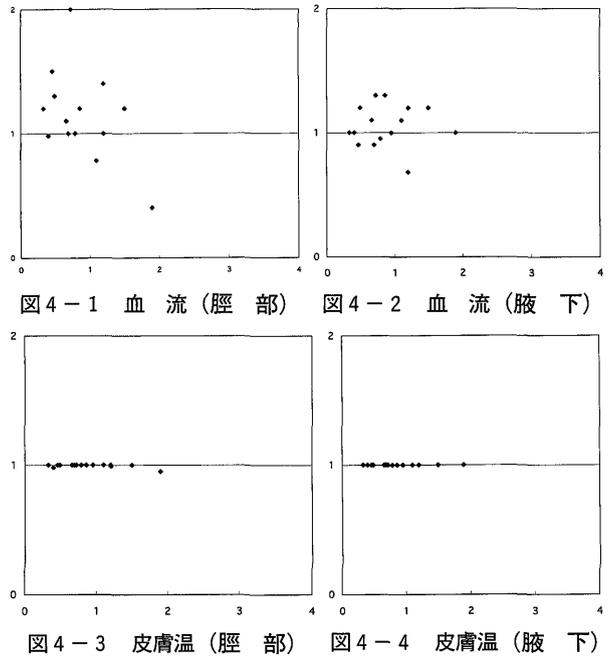
足浴を開始する前、足浴中、足浴後のhが著しい上昇を示した実測例を図2に示す。縦軸のhは相対値を示す。



足浴を開始する前，足浴中，足浴後の背景脳波に占める α 波， δ 波（アルファ割合，デルタ割合）の時間経過の実測例を図3に示す。 α ， δ ともに著しい上昇下降を示した例である。縦軸は百分率を示す。



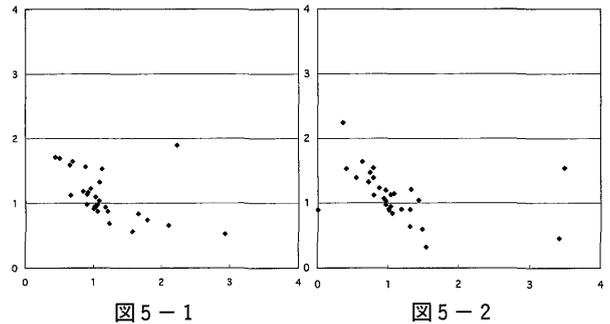
自律神経活動水準の指標であるhの変化率（足浴中の代表値に対する足浴前の代表値の比）に対する皮膚血流と皮膚温の変化率を2次元分布で示すと，図4のようになった。



血流は，脛部，腋下部で共に1を超えたケースが多く，足浴による皮膚血流の増加が認められた。腋下部の血流増加は最大1.3倍であり，hの変化（横軸）に依存しないが，加温部に近い脛部では，最大2倍に達し，hの低い群に多く見られた。

皮膚温は脛部でも腋下部でも多くは不変（1.0）だが，血流の増加傾向を示した脛部で皮膚温が低下を示したケースが2例あった。

背景脳波中，安静瞑想状態を反映する α 波の割合（横軸），睡眠の深さを反映する δ 波の割合（縦軸）を2次元分布で表示すると，図5のようになった。



足浴中（左図），足浴後（右図）共に，入眠傾向群（ $\alpha < 1 < \delta$ ）と覚醒リラックス群（ $\delta < 1 < \alpha$ ）にほぼ2分した。特異的に α ， δ 共に高値を示すケースも見られた。

末梢自律神経である副交感神経の活動指標h（横軸）に対して，安静瞑想状態の指標である α 波の割合（縦軸）を対比するため，2次元分布で示すと，図6のよ

うになった。

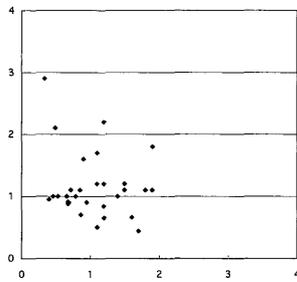


図 6

足浴によって h が上昇 ($1 < h$) した群では、 α 割合は上昇した群 ($1 < \alpha$) が低下した群 ($\alpha < 1$) に比べて 9 : 4 の割合で高かった。足浴によって α 割合、 δ 割合共に上昇したケースが全体のおよそ 3 分の 1 を占める結果となった。

足浴時の h に対する睡眠の深度を示す指標である δ 波の割合 (縦軸) を 2 次元分布で示すと図 7 のようになった。 h 、 δ 割合ともに上昇した群 ($1 < h$ 、 $1 < \delta$) が全体のおよそ 3 分の 1 で最も多く、ついで h 、 δ 割合共に低下した群 ($h < 1$ 、 $\delta < 1$) がおよそ 4 分の 1 を占めた。

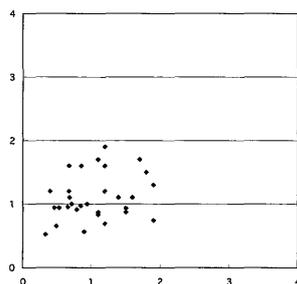


図 7

考 察

脛部の皮膚温は身体の外層温を示す。足浴部に近いので、足浴中急速に上昇すると予想されるが、実際にはほとんど上昇していない。同部位の血流は、副交感神経の活動水準が低下したケースで最大 2 倍まで増加している。このケースでは相対的に交換神経活動が上昇して末梢の細動脈は収縮していると見られるが、レーザー・ドップラー血流計は、皮膚最表層から半径 1 mm 程の半球内の血流を反映するので、足浴によって温まった下肢の毛細血管網の血流増加を示したものと考えられる (梶井, 2002)。皮膚血流は浅睡眠時には一般に高いといわれ (大地他, 2002)、後述の入眠と関係し

ている可能性がある。

一方、足浴部から遠い位置にあって、深部体温に最も近い腋下部では足浴による温度上昇は見られず、血流の増減も $\pm 30\%$ に収まっている。41 度 C、10 分間の足浴は深部体温を上昇させることはなかったといえることができる。

心拍変動解析から得た指標 h の増大は、自律神経が副交感神経優位に傾く傾向を示す。 α 波割合の増加は安静瞑想状態への傾向を、 δ 波割合の増加は入眠傾向あるいは睡眠の深まりを示す。この 3 様の傾向は、相互に関連しつつ、覚醒瞑想状態と浅睡眠状態を出現させると考えられる。41 度 10 分間の足浴で、例示したような α 割合、 δ 割合あるいは h の増大傾向、あるいは減少傾向を示したケースでは、短時間の足浴による足部加温でリラックスできること、あるいは入眠できることを示唆すると考えられる。

実測では、このような増大・減少の傾向が顕著でないケースも少なくなかったが、測定終了時の主観的申告では、約 6 割の被験者が心地よく眠ったというエピソードを述べていることは興味深い。また、睡眠深度に対比される δ 割合と α 割合との逆相関様の関係、すなわち両者の相反的な関係は、 α 割合の高い覚醒リラックス状態と δ 割合の高い浅睡眠、あるいはうとうと入眠状態のどちらかの状態が出現することを強く示唆したもので興味深い。どちらでもない状態は、相対的に少数であった。

一方、副交感神経活動の指標 h と δ 割合の間には、一種の相伴関係が伺えた。すなわち、足浴によって h が上昇して全身的休息状態が実現するとともに δ 割合も上昇して入眠傾向となることが相対的に多いことが示唆された。

近年、温泉中の溶存 CO_2 の効能について興味深い知見があった。1000 ppm 程度の溶存 CO_2 は皮膚から吸収されると末梢の血管拡張作用があり、血圧を下げ、ひいては高血圧症に効能があるというものである。湯田温泉の泉源の湯に含まれる溶存 CO_2 濃度は決して高い値ではないが、短時間の足浴で深部体温が上昇せずに下肢血流が増加したことは、溶存 CO_2 の血管拡張作用が関与している可能性を示しているかも知れない。他方、入浴による体温上昇に続く 0.5 度 C 程度の体温低下が入眠をもたらすという報告もある (小林, 2002; 鴫田他, 2002)。足浴によるリラックス・入眠促進には、足部への温熱刺激と低濃度 CO_2 の血管拡張作用との相乗作用が働いているのかも知れない。

硫黄泉や酸性泉など、泉質の異なる温泉でどのよう

な生理的作用がみられるのか、興味深い。

謝 辞

この研究は、山口市湯田温泉の湯田温泉配給協同組合（理事長 西村正伸）から委託を受け、研究資金の助成を得て実施した。湯田温泉配給協同組合の研究資金援助に感謝して、謝辞を捧げる。

文 献

- (1)阿部恒之 ストレスと化粧の社会心理学 フレグランスジャーナル社，東京，2002
- (2)入来正躬 体温生理学テキスト，文光堂，東京(2003)
- (3)大熊輝雄 臨床脳波学（第5版）医学書院，東京，1999
- (4)大山哲，内村直尚，桑原啓郎，田中順二，江藤義典，中村勤，三輪恵美子，鹿嶋進，前田久雄 睡眠段階における皮膚血流の状態について 日本生理人類学会誌 7(1)26-27, 2002
- (5)梶井宏修 入浴時の血流について 日本生理人類学会誌 7(1)48-49, 2002
- (6)小林敏孝 睡眠の研究—身体加熱による快適睡眠の獲得法の開発—Effect of Different Body Heating upon Sleep. 日本生理人類学会誌 7(1)12, 2002
- (7)Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. “Heart Rate Variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use.” Circulate 93(5) (1996)
- (8)鴫田佳久，荒川一成，齊藤泰彦，小林敏孝 入浴が睡眠に及ぼす影響 日本生理人類学会誌 7(1)82-83, 2002
- (9)デイビッドG. ニコルス，青島均訳 神経情報伝達のメカニズム，スプリンガー・フェアラー東京，東京，1997
- (10)丹羽真一，鶴紀子 事象関連電位 新興医学出版社，東京，1997
- (11)早野順一郎 心拍のゆらぎと自律神経，Therapeutic Research 17(1), 163-236, 1996