- 反転 (第2報) — 図-地反転を規定する二・三の因子について — 日本心理学会第21回大会発表論文集, 36—37.
- 小保内虎夫・山岡 淳・岡本栄一 1958 脳波と図-地反転 (第3報) — 同時自動分析による追試及び照度変化 — 日本心理学会第22回大会発表論文集, 13.
- 大山 正・鳥居修晃 1955 図-地反転の実験的研究(1) — 持続提示における面積, 意志的統制ならびに長時間持続観察の効果 — 心研, 26, 178—188.
- Thetford, P. E., & Klemme, M. E. 1967 Arousal and Necker cube reversals. *Psychol. Rec.*, 17, 201—208.
- 山岡 淳・岡本栄一 1956 脳波と図-地反転 (第1報) 日本心理学会第22回大会発表論文集, 20—21.
- 横瀬善正・内山道明・生田博之・辻敬一郎 1963 a 視覚現象と脳波 — 視覚心像について (1) — 日本心理学会第27回大会発表論文集, 108.
- 横瀬善正・内山道明・生田博之・辻敬一郎 1963 b 視覚現象と脳波 — 視覚心像について (2) — 日本心理学会第27回発表論文集, 109.
- 横瀬善正・内山道明・生田博之 1964 視覚現象と脳波 — 視覚残像について — 名古屋大学文学部研究論集, XXXIII.
- 横瀬善正・内山道明・生田博之・辻敬一郎 1964 疲労と脳波 名古屋大学環境医学研究所年報, XVI, 21—28.
- 横瀬善正・内山道明・生田博之・辻敬一郎 1966 触覚探索時における脳波所見について 日本心理学会第30回大会発表論文集, 37.

—1969. 12. 23. 受稿—

表皮湿潤による手掌皮膚電位活動の変化¹

早稲田大学 奥 田 賢 一
早稲田大学 丹 治 哲 雄
早稲田大学 清 水 功 一
早稲田大学 山 崎 勝 男
早稲田大学 新 美 良 純²

手掌や足底の皮膚を温水等にある時間漬けておくと、白色化し皺ができる。この現象は、比較的短時間の場合には表皮の角質層が主として湿潤膨張することが知られており、さらに長時間湿潤させられると手掌や足底の発汗が抑制されることも報告されている (Peiss, Randall & Hertzman, 1956)。

手掌、足底のいわゆる精神性発汗部位 (Kuno, 1956) の皮膚電位活動 (Skin Potential Activity, SPA) を、種々の精神生理学的な測定として用いるために歪みのない導出を行なう方法は、これまでかなりの実験的示唆が与えられており、ある程度方法論の一致をみているものの (Edelberg, 1967; Venables & Martin, 1967 b; 渡辺・山崎・新美, 1969), 電極電解質系の問題については方法が確立されてはおらず、研究者自身の経験によっているものが優位である。これは電極電解質と電極装着

部位に蓄積された汗とによりおこる皮膚の湿潤の問題が解決されていないことにもよる。このことは、短時間測定か長時間測定かによって、あるいは皮膚電位反射 (Skin Potential Reflex, SPR) 測定か皮膚電位水準 (Skin Potential Level, SPL) 測定かによっても、電解質系を使いわけのべきなのかという印象を与えている (Venables & Sayer, 1963)。筆者らは従来から主に Ag-AgCl 電極に 0.05 M NaCl 4% 寒天を電解質として使用してきた。しかし 4—5 時間の実験終了後電極を取り外す際に、皮膚が白くなり、皺ができる、いわゆる湿潤現象を多数例にわたって観察してきた。SPR, SPL を含めた SPA の発現体は現在まで明確にされてはいないが、汗腺、淡明層にその部位を設定している研究者が多い (Shackel, 1959; Wilcott, 1967)。とすれば電解質系による皮膚の湿潤が、SPA 測定に際して誤差源となる可能性は大きい。このような観点から、皮膚の湿潤効果と SPA に関する研究は少数ではあるがすでに行なわれており (Edelberg, 1967, 1968; Fowles & Venables, 1969, 1970; 山崎, 1967; 山崎・新美, 1968), ある程度の知見も集積されている。ここでは濃度を変えた種々

¹ The reduction of palmar skin potential activity by epidermal hydration.

² Kenichi Okuda, Tetuo Tajimi, Koichi Simizu, Katuo Yamazaki & Yosizumi Niimi (Waseda University).

の NaCl 水溶液や H₂O を皮膚に適用して、皮膚の湿潤の時間と SPA との関係を追求し、SPA 発現の末梢機序についても検討した。

方 法

実験は 1) 初期 SPA 測定期, 2) 湿潤期, 3) 後期 SPA 測定期の 3 期からなる。

初期 SPA 測定期で被験者の全 10 指の SPL : SPR 振幅および波形が、ほぼ一定であることを確認する。次が湿潤期で、5 条件の電解質を 4 条件の時間差をもって継続的に適用してゆき、その後電解質の適用を一斉に終了し、後期 SPA 測定期に入る。

5 条件の電解質は以下のとおりである。

- A : 0.05 M NaCl 4% 寒天
- B : 5 M NaCl 水溶液
- C : 0.5 M NaCl 水溶液
- D : 0.05 M NaCl 水溶液
- E : H₂O

A は測定電極（後述）と同様に装着し、B-E の液はそれぞれゴム製指サックに充したものを指にはめた。なお 1 人の被験者については、A-E の 5 条件のうち任意な 2-3 の条件について実験した。

4 条件の時間差は、後期 SPA 測定期、すなわち電解質の適用を一斉に終了する時点より逆算してそれぞれ 120, 60, 30 および 0 min 前から、それぞれ 120, 60,

FIG. 1. Measured skin potential level as a function of epidermal hydration under various conditions. In this and subsequent figure, condition A = 0.05 M NaCl agar, B = 5 M NaCl solution, C = 0.5 M NaCl solution, D = 0.05 M NaCl solution, and condition E = distilled water, respectively. 0, 30, 60 and 120 min show the hydration time. Note that 0 min denotes the control.

TABLE 1
The analysis of variance of measured skin potential level

Source of Variation	df	MS	F
Time (A)	4	268.68	25.83***
Electrolyte (B)	3	114.95	11.05***
A×B	12	2224.10	213.85***
Error	137	10.40	

*** $P < .001$

30 および 0 min 間とした。ここで 0 min 間の湿潤とは、現実には電解質を適用しなかった対照である。すなわち、前期 SPA 測定で 10 指に差がないことを確認した直後に 120 min 間湿潤のゴムサックを、確認後 60 min 経って 60 min 間湿潤のサックを、確認後 90 min 経って 30 min 間湿潤のサックを、順次はめ加えてゆき、確認後 120 min 経った時にそれらのサックを一斉にとりはずし、サックをはめなかった対照の指を含めて、SPL, SPR を測定した。

SPL は東亜電波製、高感度直流電圧電流計 PM-18C (入力インピーダンス 10 MΩ), SPR は三栄測器製、脳波計 EG-129 (入力インピーダンス 5 MΩ) に内蔵する直結合の増幅器を用いて、それぞれ測定した。電極は直径 1.5 cm の Ag-AgCl 電極で、一対の電極間電位差が 0.05 M NaCl 溶液中で ± 0.2 mV 以内のものを選択し、プラスチックケースにはめ込み、0.05 M NaCl 4% 寒天を介してビニールテープでそれぞれの指の末節掌面に装着した (渡辺他, 1969)。

基準電極装着部位は左右前腕部で、Shackel (1959) の skin drilling により、不活性化処理を行なった。被験者は健康な男子大学生 55 名。室温は $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 。SPR を誘発させる目的で三栄測器製、音光刺激装置 PS-202 により光や音を任意に提示した。

結 果

皮膚電位水準

湿潤時間、および、電解質の差異によって SPL の測定値がどのように影響されるかを示したのが Fig. 1 である。0.05 M NaCl 寒天を用いた群 (A) では湿潤時間の長短によって明白な差異は見られないが、NaCl 溶液の場合、濃度が低下するにつれて各時間条件とも SPL 測定値に湿潤効果が現れてくる。この間の相互の関係を検討するために湿潤時間の長短と電解質の条件との 2 要因について分散分析を行なったところ Table 1 のように、いずれにも有意差がみられた。そこでさらに時間条件と電解質条件とに分けて Rayan 法 (岩原, 1965) により名義水準を 5% と設定してそれぞれ平均対の比較をしたところ、時間については 0.05 M NaCl 寒天、5 M NaCl 溶液、0.5 M NaCl 溶液ではいずれの時間の間にも有意差は見られていない。0.05 M NaCl 溶液、H₂O の条件下

では同様にそれぞれ 30, 60, 120 min の間には有意差が見られなかったが 0 min と 30, 60, 120 min との間には有意差が見られた。一方電解質条件別に同様の手続で検討したところ、0 min ではいずれの条件間においても有意差は見られていない。しかし 30, 60, 120 min では 0.05 M NaCl 寒天, 5 M NaCl 溶液, 0.5 M NaCl 溶液の各条件間には有意差がないが, 0.05 M NaCl 溶液, H₂O に対しそれぞれ前 3 時間条件は有意差を持ち, 0.05 M NaCl 溶液と H₂O 間には有意差が見られていない。これらの結果は 0.05 M NaCl 溶液, H₂O 等の低濃度溶液で湿潤が生じし, 時間的には 30 min で湿潤が完了し, SPL に大きな影響を及ぼすことを示唆している。

皮膚電位反射

本実験では対照側の SPR はほとんど二相性波形を示していたので, ここでは各電解質条件の湿潤によって実験側の SPR 波形がどのような変化を示すかを主として分析した。各電解質条件下で湿潤時間が 30 min を越すと, 誘発される SPR 波形はほぼ一定になることが判明したので, 波形は 30, 60, 120 min の各時点で得られた総数を一括して検討した。陽性单相波の出現はまれなので二相性波の中に含め, その他陰性单相波, 無反射と, SPR 波形を 3 つに分類した。

各電解質条件によって SPR 波形の出現態度がどのように変化するかを示したのが Fig. 2 である。対照側が 100% 二相性波を示している時の各電解質条件の SPR 波形は 0.05 M NaCl 寒天群ではほぼ対照側と同じような波形を示しているものの, 陰性单相波が 10% 近く見られており, さらに 5 M, 0.5 M, 0.05 M NaCl 溶液, H₂O となるにつれて, 二相性波は減少し, 陰性单相波, 無反射 (反射消失) が増大している。二相性波, 陰性单相波の各電解質条件間における波形の変化に注目して H テスト (岩原, 1964) を試みたところ, 二相性波, 陰性单相波いずれにも電解質条件間にそれぞれ有意差が認められた ($\chi^2(H) = 12.13$, $df = 4$, $0.02 > P > 0.01$; $\chi^2(H) = 11.17$, $df = 4$, $0.025 > P > 0.02$)。これらの結果は 0.05 M NaCl 寒天を使用した条件を除き, 他の水溶液を使用した場合には, SPL には影響が見られなかった高濃度の場合でも, SPL の波形には影響を及ぼすことを示唆している。

論 議

Randall & Peiss (1957) は表皮の湿潤と発汗の発現態度の関係について一連の実験を行ない, H₂O に 30 min 指を漬けた後には発汗が抑制され, 旧値に回復するには約 3 倍の 100 min を要することを観察している。また 1, 3, 7, 10 および 20% の各濃度の NaCl 溶液による, 30 min の表皮湿潤後の発汗状態について, 高濃度になるにつれて発汗の抑制が減少することも見ている。同様

な結果は Sarkany, Shuster & Stammers (1965) によっても得られている。彼等は H₂O, 15% の NaCl 溶液を用いて表皮を湿潤させ, 30, 60 および 90 min 後に顕微鏡で湿潤部位の汗孔を調べ, H₂O を適用した部位では湿潤 90 min 後に汗孔の完全な閉鎖が見られたが, 15% の NaCl では汗孔の閉鎖が認められなかったことを報告している。実際に, 角質層の汗腺管や汗孔をとりこむ壁の “keratin ring” が湿潤によって膨れてくることは手掌, 足底について Rothman (1943) によってすでに示唆されている。高濃度の電解質溶液中では湿潤が生起せず, 汗孔は無変化で, 発汗に影響を及ぼさない: 一方低濃度になるにつれて湿潤効果が大きくなり, 汗孔の閉鎖, さらに発汗の抑制に至るというこれらの結果は, SPA の末梢発現機序を考察する上に示唆的な問題を提起している。

Fowles & Venables (1969, 1970) は 90% の glycol を加えた 0.5% KCl 溶液, 0.5% KCl 溶液, それに H₂O という 3 条件で 30 min 表皮を湿潤させた後に SPL

FIG. 2. Skin potential reflex wave-form as a function of epidermal hydration under various conditions.

TABLE 2
Skin potential activity in high and low electrolyte concentration with reference
to other physiological phenomena

Electrolyte concentration (solution)	SPR	SPL	Hydration	Sweat pore	Sweating
high	— (diphasic)	—	—	—	—
low	+ (mono nega)	+ (reduction)	+ (enhancement)	+ (occlusion)	+ (cessation)

— : no change + : change

を測定しているが、 H_2O を適用した条件下で SPL の減少が一番多く生じし、次に 0.5% KCl 溶液であり、90% の glycol を加えた 0.5% KCl 溶液では SPL に減少がほとんど見られなかったことを示している。本実験でも、使用した電解質溶液には違いがあるが、原則的には彼等と同様に表皮湿潤による SPL の減少を認めた。また、SPR に関しては、本実験での高濃度溶液適用は、波形に幾分変化を与えているものの、対照側とはほぼ同様の二相性 SPR を示していたが、低濃度では SPR 消失や陰性単相波に変化することが多くなっていた。この結果は山崎・新美 (1968) の前報と一致している。一般に陽性成分が低濃度電解質溶液では影響を大きく受けていることが示唆された。

これらの上述した諸知見や、本実験の結果を総括してみると、Table 2 のような関連が成立する。低濃度電解質溶液による SPL 値の減少は、表皮湿潤や汗孔の閉鎖に起因することが推察される。また表皮湿潤による SPR の波形変化（主として陰性単相波出現、陽性成分の消失）については、陰性波は表皮湿潤による影響が少ない点から、表皮の深部に起因し、一方陽性成分は表皮湿潤により大きな影響を受けることから、表皮の表層部、もしくは表面にその発現体を持つものという推論を可能にしている。

SPA と汗腺活動は完全に 1 対 1 の対応関係にあるとはいえないまでも、かなりの対応を持つことが示唆されている (Martin & Venables, 1966; Wilcott, 1967)。薬物や外科的操作によって汗腺活動を停止させると、手掌の SPL は 10mV の単位で減少し、陰性が浅くなるという (Venables & Martin, 1967a)。一方、SPR と汗腺活動については、その反射波形に関連して種々の実験的証明がされているが、現時点での知見の錯綜は否めない。ただ表皮をも含めた汗腺の作用と SPR 発現に関しては各研究者の見解が一致している (新美・白藤, 1969)。SPA に及ぼす表皮の湿潤効果については二つの説明が示唆されている。一つは Edelberg (1968) によるもので、彼によれば、表皮は記録増幅器と電氣的に並列の低い抵抗回路を形成しており、そのために表皮の電気抵抗

が減少すると記録される電位も低下する。表皮の湿潤は表皮の抵抗を減少させるので、記録される SPA の量が低下するという。第 2 の要因は Fowles & Venables (1970) によって述べられているもので、表皮の湿潤は表皮の膨脹を促進し、その結果汗孔が閉鎖し、それによって機械的な障害物ができ、汗腺の電位と皮膚の表面の間に電氣的な抵抗が高まる。Edelberg (1968) のモデルはまた汗腺と電極との間のこの抵抗増大が、記録される電位を低下させることを予言している。しかしながらこれらの示唆は、現象を説明するのに部分的には確かに都合が良くても、これのみで SPA の末梢発現機序を完全には説明できない。ただ、Rothman (1954) によって示唆されているように、汗腺の基底部の膜が適用された電解質溶液によって影響されないとしたら、SPR の陰性成分は深部の汗腺膜によって媒介され、一方 SPR の陽性成分は表皮表面によって生起されていることが考えられる。汗腺の関与しない表皮膜は一部分 SPR に対応している。この仮説は多くの証明、例えば汗腺活動から独立しているネコの表皮で陽性電位変動を記録した Shaver, Brusilow & Cooke (1962) の結果とも一致している。また Edelberg (1963) によって提示された二重膜説とも一致をみている。

なお 0.05M NaCl 4% 寒天を電解質として用いた場合には SPL には湿潤効果を及ぼさなかったもので、SPL を従来の方法 (渡辺他, 1969) で精神生理学の指標として用いるかぎりでは、それ程誤差は生じしないことが付随的に判明した。4-5hr と時間を延長させたその後の追加実験でも同様の結果が得られている。一方 SPR については、たとい 0.05M NaCl 4% 寒天の電解質を用いても波形の変化が生じてくるので、睡眠や感覚遮断等のように長時間にわたる測定を必要とする時には更に別の電解質系の選択が必要である。高濃度の電解質溶液を用いることによって表皮湿潤を回避する方法はこの問題の解決にはならない (Shimizu, Tajimi, Watanabe & Niimi, 1969)。むしろ、Edelberg (1967, 1968) によって推奨されている polyethylene glycol-400 あるいは glycerol、また Fowles & Venables (1969, 1970) の、

glycol を基剤とした電解質 (Nelligan, 1970) の普及が
またれる。

引用 文 献

- Edelberg, R. 1963 Electrophysiologic characteristics and interpretation of skin potentials. *USAF School of Aerospace Medicine Tech. Doc. Rep.*, 63—95, 1—10.
- Edelberg, R. 1967 Electrical properties of skin. 1—53, In C. C. Brown (Ed.) *Method in Psychophysiology*. Williams & Wilkins Co., Baltimore.
- Edelberg, R. 1968 Biopotentials from the skin surface: The hydration effect. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 148, 252—262.
- Fowles, D. C., & Venables, P. H. 1969 The reduction of palmar skin potential by epidermal hydration. A paper presented at *The 9th Ann. Meet. Soc. Psychophysiol. Res.*
- Fowles, D. C., & Venables, P. H. 1970 The effects of epidermal hydration and sodium reabsorption on palmar skin potential. *Psychol. Bull.*, 73, 363—378.
- 岩原信九郎 1964 新しい教育・心理統計 ノンパラメトリック法 日本文化科学社
- 岩原信九郎 1965 教育と心理のための推計学 日本文化科学社
- Kuno, Y. 1956 *Human Perspiration*. Charles C. Thomas, Springfield, Illinois.
- Martin, I., & Venables, P. H. 1966 Mechanisms of palmar skin resistance and skin potential. *Psychol. Bull.*, 65, 347—357.
- Nelligan, D. P. 1970 Electrode jelly and skin reaction over several days. Comparison of two electrode jellies. *EEG clin. Neurophysiol.*, 28, 209 (Abstract).
- 新美良純・白藤美隆 1969 皮膚電気反射—基礎と応用— 医歯薬出版
- Peiss, C. N., Randall, W. C., & Hertzman, A. B. 1956 Hydration of the skin and its effect on sweating and evaporative water loss. *J. Invest. Dermat.*, 26, 459—470.
- Randall, W. C., & Peiss, C. N. 1957 The relationship between skin hydration and the suppression of sweating. *J. Invest. Dermat.*, 28, 435—441.
- Rothman, S. 1943 The principles of percutaneous absorption. *J. Lab. & Clin. Med.*, 28, 1305—1321.
- Rothman, S. 1954 *Physiology and Biochemistry of the Skin*. Chicago, Univ. Chicago Press.
- Sarkany, I., Shuster, S., & Stammers, M. C. 1965 Occclusion of the sweat pore by hydration. *Brit. J. Dermatol.*, 77, 101—104.
- Shackel, B. 1959 Skin-drilling: A method of diminishing galvanic skin-potential. *Amer. J. Psychol.*, 52, 114—121.
- Shaver, B. A. Jr., Brusilow, S. W., & Cooke, R. E. 1962 Origin of the galvanic skin response. *Proc. Soc. Exp. Bio. Med.*, 110, 559—564.
- Shimizu, K., Tajimi, T., Watanabe, T., & Niimi, Y. 1969 Effects of external electrolyte concentration on both skin potential-level and -reflex: Successful observation. *Jap. psychol. Res.*, 11, 32—36.
- Venables, P. H., & Martin, I. 1967a The relation of palmar sweat gland activity to level of skin potential and conductance. *Psychophysiology*, 3, 302—311.
- Venables, P. H., & Martin, I. 1967b Skin resistance and skin potential. 53—102. In P. H. Venables & I. Martin (Eds.), *Manual of Psychophysiological Methods*. North-Holland Publish. Co. Amsterdam.
- Venables, P. H., & Sayer, E. 1963 On the measurement of the level of skin potential. *Brit. J. Psychol.*, 54, 251—260.
- 渡辺尊己・山崎勝男・新美良純 1969 皮膚電位水準および皮膚電位反射測定の方法論的諸問題 精神経誌, 71, 17—31.
- Wilcott, R. C. 1967 Arousal sweating and electrodermal phenomena. *Psychol. Bull.*, 67, 58—72.
- 山崎勝男 1967 皮膚電位反射測定方法の検討 早大大学院紀要, 13, 143—147.
- 山崎勝男・新美良純 1968 皮膚電位反射測定に影響する Hydration の効果 日本心理学会第 32 回大会発表論文集, 66.