

皮膚電位活動とその基礎的背景

石原 金由・宮田 洋

I. はじめに

皮膚電気活動 (electrodermal activity: EDA) は, その測定法の違いから皮膚電位活動 (skin potential activity: SPA) と皮膚抵抗変化 (skin resistance change: SRC) とに分けられる。いずれも, 持続的な変動とその変動に重畳する一過性の変化とに区別され, 前者は皮膚電位水準 (skin potential level: SPL), 皮膚抵抗水準 (skin resistance level: SRL) と呼ばれ, 後者は皮膚電位反応 (skin potential response: SPR), 皮膚抵抗反応 (skin resistance response: SRR) と呼ばれている。SRL と SRR は, 一般に実測値を逆数変換し, 伝導度として表わされることが多く, 皮膚伝導度水準 (skin conductance level: SCL), 皮膚伝導度反応 (skin conductance response: SCR) とも呼ばれる。

SRR, SCR は常に単相性で, SRR の場合は抵抗減少の方向へ, SCR の場合は伝導度増加の方向への変化を示す。SPR には種々の波形があるが, 一般に最も頻度の高い3種の波形に分類できる。すなわち, 陰性単相波 (negative SPR: nega SPR), 陰一陽二相波 (diphasic SPR), 陽性単相波 (positive SPR: posi SPR) である。また, SRR, SCR, および nega SPR は, 回復肢 (recovery limb) の形態から, 遅い回復 (slow recovery) の反応と速い回復 (rapid recovery) の反応とに分類される。

EDA の用語や基本的現象の解説は, Edelberg (1972), 新美 (1980), 新美・白藤 (1969), Venables & Christie (1973, 1980) などを参照されたい。

EDA が汗腺活動と密接に関連していることは、先天性無汗症患者や手術あるいは薬物による末梢交感神経遮断で SPR, SRR が除去されることから明らかである。手掌や足底の精神性発汗部位で測定される EDA は情動刺激に反応し、種々の覚醒水準を反映することが、Bohlin (1976), Leiderman & Shapiro (1964), Lykken, Rose, Luther, & Maley (1966), 宮下・新美 (1980), Surwillo & Quilter (1965), Venables (1963) など多くの研究者によって報告されている。

Leiderman & Shapiro (1964) は、睡眠、安静、課題負荷など様々な状態における SPL が覚醒の連続性を反映することを報告している。また、入眠期に観察される SPL の急激な減少も興味深い。宮下・新美 (1980) は消灯から脳波上に睡眠紡錘波 (睡眠段階の stage 2 にあたる) が出現するまでの SPL 入眠時勾配を検討した。Fig. 1 に示されるように、入眠潜時の長短にかかわらず、消灯から SPL 低下が始まっているが、特に持続的緩徐眼球運動 (SEM) 出現から α 波消失時点 (Alpha W) にかけて急激に減少していることがわかる。Surwillo & Quilter (1965) は、ヴィジランス課題中において正しく信号を検出した直前の自発性 SPR 頻度は、検出できなかった場合の自発性 SPR 頻度より多いと述べている。

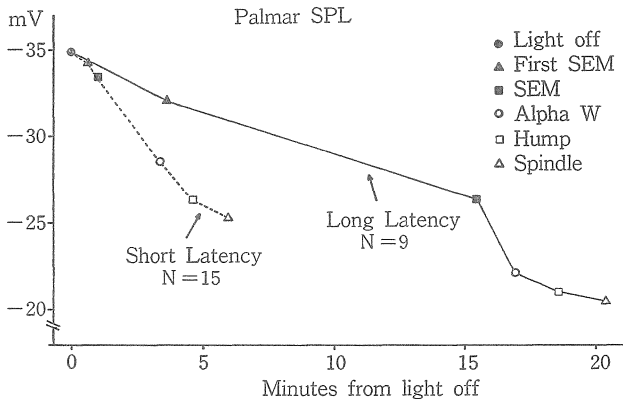


Fig. 1 入眠潜時の長い被験者と短い被験者の SPL 入眠時勾配
 Light off : 消灯, First SEM : SEM初発時, SEM : 持続的 SEM 開始, Alpha W. : α 波消失時, Hump : 頭頂部鋭波出現時 (st. 1), Spindle : 紡錘波出現時 (st. 2), (宮下・新美, 1980)

このように行動科学の分野において EDA が広く利用され、多くの研究がなされているにもかかわらず、その発現機序の不明瞭さが、あるいは不明瞭ゆえに統制すべき要因を無視したことが、錯綜した結果を生み出す原因となっているのかもしれない。EDA の発現機序や測定に関する方法論上の問題を扱った研究は少なく、それらの基礎的問題がすべて解決されているわけではないことを銘記しておく必要がある。本論文の目的は SPA を中心として、その基礎的問題に関する知見を提供することにある。

II. 皮膚と汗腺

Fig. 2 はおそらく EDA 発現に関与すると思われる皮膚およびエクリン汗腺の模式図である。皮膚の解剖学的構造は大きく表皮 (epidermis)、真皮 (dermis)、

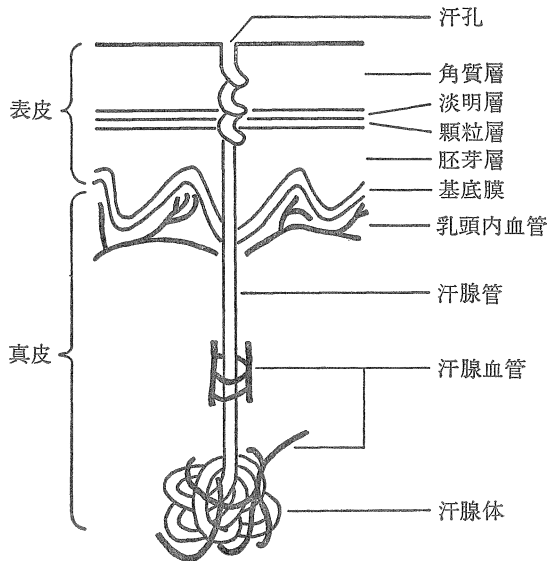


Fig. 2 皮膚とエクリン汗腺の模式図

皮下組織 (hypodermis, subcutaneous tissue) に分けられる。

表皮はさらに外側から角質層 (stratum corneum, horny leyer), 淡明層 (stratum lucidum, clear layer), 顆粒層 (stratum granulosum, granular layer), 胚芽層 (stratum germinativum, mucus layer, germinal layer) の4層構造から成っており (Kuno, 1956), 角質層と淡明層を除く表皮細胞層はマルピギー層 (malpighii layer) とも呼ばれる。角質層・淡明層は死細胞で, 淡明層は手掌や足底にのみ明確に認められる。胚芽層の上層は有棘層 (棘細胞層, stratum spinosum, prickle layer), 下層は基底層 (円柱細胞層, stratum basale, basal layer) で, 表皮と真皮の境界となっている最下層は基底膜 (basal membrane) と呼ばれる。

真皮は, 表皮との境にある乳頭層 (papillary layer) とその下部の網状層 (reticular layer) から成っている。真皮には Fig. 2 に示された汗腺のほかに多くの血管網, リンパ管, 神経, 皮脂腺, 毛根などが存在する。

皮膚の主たる機能は, 外界からの身体保護と体温調節である。この2つの機能と角質層は密接に関連している。角質層は外界からの水や異物の侵入に対して大きな抵抗もっているが, 真皮に入れば物質の移動は容易である。また, 角質層は逆に体内からの水分喪失をも妨げる働きがある。このように皮膚から体内の水が蒸発するのを防ぎ, また外部からの侵入を妨げる抵抗層は障壁層 (barrier layer) と呼ばれ, その位置は淡明層か顆粒層であろうと考えられていた (Edelberg, 1971; Fowles, 1974; Kuno, 1956; Martin & Venables, 1966; Rothman, 1954)。しかしながら, 今日では角質層の底から%あるいは全体を障壁とする説が支配的である (斎藤, 1975, p. 163~164; Venables & Christie, 1973)。したがって, 表皮抵抗の大部分は角質層にあると言えよう (Fowles, 1974)。

汗腺は分泌形態の違いからアポクリン汗腺とエクリン汗腺に分類され, ヒトの場合, 前者は口唇, 陰茎, 陰核, 亀頭, 包皮, 腋窩などに存在するのみで, 後者は全身ことに手掌や足底に多い (新美・白藤, 1969; Venables & Christie, 1973)。EDA に関連するのは手掌や足底のエクソソ汗腺である。エクリン汗腺は, 分泌コイル (汗腺体) と導管 (汗腺管) から成る不分岐単一管状腺で, 両者の上皮はとも

に2層の細胞から成っており、その周囲を毛細血管がとり囲んでいる。皮下組織や真皮中の導管は比較的直線的に走っているが、表皮中ではラセン状になっており、皮膚表面の汗孔 (sweat pore) に開口している。エクリン汗腺の神経支配は交感神経のみで (詳細は新美・白藤, 1969, p. 55 参照), その伝達物質は、分泌細胞ではアセチルコリンであり、汗を導管に押し出す働きをする筋上皮細胞ではアドレナリンである (Thaysen, 1977)。

分泌コイルで分泌される前駆液 (precursor solution, primary secretion) は、わずかに高張性、あるいは等張性であろうと示唆されている (Cage & Dobson, 1965)。Brusilow (1963), Brusilow & Munger (1962) はネコの足底の汗腺分泌部の液体氷点値を調べた結果、前駆液は高張性あるいは等張性であったことを報告している。ヒトの汗腺で微小穿刺法を用いて直接測定した結果は等張性であった (Schulz, Ullrich, Frömter, Holzgreve, Frick, & Hegel, 1965)。このように高張性か等張性の前駆液は、ヒトの場合皮膚表面に到達するまでに導管内で NaCl が選択的に再吸収されることによって低張性となる (Gordon & Cage, 1966; Munger & Brusilow, 1961; Schulz et al., 1965)。この NaCl の再吸収機構は、まず Na^+ が能動的に再吸収され、それに続いてイオン平衡を保つために Cl^- が受動的に再吸収されると考えられている (Fowles & Venables, 1970a; 井上, 1969, p. 95)。Table 1 は Schulz et al. (1965) の結果と井上 (1969) の表をまとめたものである。汗に含まれる Na^+ , Cl^- 濃度が前駆液のそれらと比較して低いことがわかる。

Table 1

血漿, 前駆液, および汗に含まれる Na と Cl の平均濃度
() 内の数値は井上 (1969) より転載

	血 漿	前 駆 物	汗
Na	(148)	147	22(87)
Cl	(101)	123	28(90)

単位は mEq/l

発汗には精神性発汗と温熱性発汗とがあり、EDA に関与しているのは精神性発汗である。発汗による体温調節機構は最もよく知られているが、手掌や足底のエクリン汗腺は温熱刺激よりも心理刺激に対して敏感である。これらの部位で温熱性発汗を誘発させるには環境温を 30°C 以上にする必要がある (Venables & Christie, 1973)。

Ⅲ. 表皮湿潤と Na 再吸収

1. 表皮湿潤

手や足を蒸留水や低濃度塩溶液に浸しておくくと皮膚が白色化して、いわゆるふやけた状態になる。この現象は表皮湿潤 (epidermal hydration) と呼ばれ、EDA 測定において誤差源となることが Edelberg (1968) によって示唆された。

Peiss, Randall, & Hertzman (1956) は、33~45°C の蒸留水に45分間手を浸しておくくと発汗が抑制され、さらに温水は冷水よりも発汗抑制を促進することを報告している (Randall & Peiss, 1957)。また、湿潤による発汗抑制の程度は NaCl 溶液の濃度と反比例している (Randall & Peiss, 1957)。このような発汗抑制は角質層の湿潤、膨張の結果、表皮導管部が機械的に閉鎖されたものであり、顕微鏡観察によると蒸留水の場合、約90分で完全な汗孔閉鎖が認められた (Sarkany, Shuster, & Stammers, 1965)。湿潤による外見的発汗抑制が認められても、分泌部位では正常に汗が分泌されており (Papa & Kligman, 1966), Fowles & Venables (1970a) は、湿潤が間接的に汗の再吸収を増加させていると示唆している。

SPA 測定における湿潤効果は、水分を多く含む電極電解質の適用によって生起し、SPL の減少、SPR 頻度・振幅の減少、波形の変化を生起させることが報告されている (Edelberg, 1968; Fowles & Rosenberry, 1973; Fowles & Schneider, 1978; Fowles & Venables, 1970a, b; 石原, 1980; 石原・齋藤・宮田, 1980; 奥田・丹治・清水・山崎・新美, 1970; Stombaugh & Adams, 1971)。

Fowles & Venables (1970b) は、[電極装着部位をあらかじめ30分間蒸溜水、0.5% KCl 溶液、glycol 溶液に浸して湿潤レベルを操作した後に SPL を測定した。glycol は吸湿性を有し、湿度65%の空气中に皮膚をさらしているのと同じ状態を維持するので (Edelberg, 1968)、湿潤レベルは最も低いと考えられる。この実験の結果、無処置部位と比較して SPL 減少は蒸溜水に浸した部位で最も大きく、次に 0.5% KCl 溶液であった。glycol 溶液に浸した部位で測定された SPL (電極電解質にも glycol が使用された) は、無処置部位よりも高く、この差は無処置部位での寒天電解質による湿潤と考えられる。

奥田ら (1970) は、蒸溜水、0.05, 0.5, 5mol NaCl¹⁾ 溶液にそれぞれ指を浸しておいたところ、測定された SPL は 0.5mol NaCl, 0.05mol NaCl, 蒸溜水の順で減少し、特に 0.05mol NaCl と蒸溜水に浸した部位では、無処置部位と比較して 10~20mV 減少したことを報告している。また、SPL 測定に大きく影響をおよぼす湿潤時間は約30分であった。

Fig. 3 (a)(b)は筆者ら (1980; 井上・石原, 未発表) の結果を示したものであ

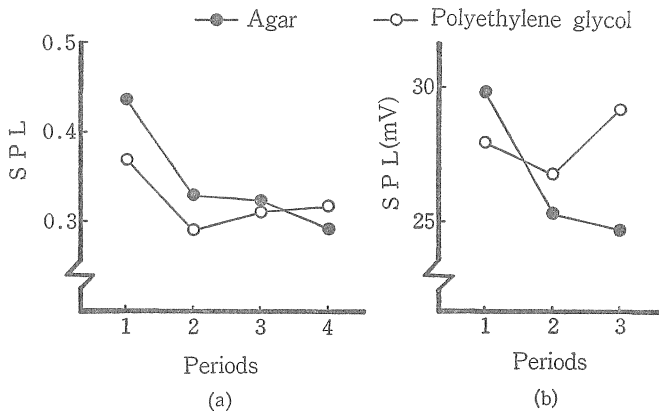


Fig. 3 (a) 聴覚性ヴィジランス課題中の SPL. SPL は最大値と最少値を用いて比に変換されている。10分を 1 period とする。

(b) 安静閉眼中の SPL. 15分を 1 period とする。

る。(a)は40分間のヴィジランス課題中の SPL, (b) は45分間の安静閉眼中的の SPL で、ともに 0.06mol NaCl 寒天と 0.06mol NaCl Polyethylene glycol 電極電解質を介して測定されたものである。測定前に指を蒸留水に 浸す処置を施してはいないので、測定開始時の SPL には差は認められないが、時間×電解質の交互作用が得られた。すなわち、時間経過に伴って寒天側で表皮湿潤が増加し、SPL が減少したと考えられる。

筆者らの得た結果を Fowles & Schneider (1978) の結果と比較すると大きな相違点がある。交互作用(時間×電解質)が認められた点では一致しているが、彼らの研究では電解質の主効果も報告されている。すなわち、SPL 測定開始時において、寒天部位と glycol 部位から測定された SPL に約 20mV の差が見られたことである。両部位とも測定前の蒸留水による湿潤処置はなく、手続としては筆者らとほぼ同様であるにもかかわらず、測定開始時に 20mV もの差が生じたのは、単に湿潤要因だけではなく、他の要因が関与しているように思われる。

SPR 振幅への湿潤効果については、Fowles らの一連の研究や石原らによって *nega SPR*・*posi SPR* の振幅減少が認められた。波形・頻度についても、湿潤によって *diphasic SPR* 減少、*SPR* 消失が報告されており、ことに *diphasic SPR* 減少が顕著なことから、陽性成分の発現は表皮の表層部に由来することが示唆されている(奥田ら, 1970)。

Stombaugh & Adams (1971) はネコを用いて *SP*・*SC* 測定における湿潤効果を検討した。彼らはネコをペントバルビタールで麻酔し、足底神経を遮断した後、電気刺激による連続発汗で表皮を湿潤させた。その後、58分間乾燥空気を吹きつけて湿潤レベルを徐々に減少させ、同時に *SP*・*SC* の変化を調べた。*SPR* と *SCR* については、湿潤レベルと振幅が逆 U 字関係にあった。すなわち、振幅は湿潤レベルの最大時と最少時では小さく、中程度の湿潤レベルで大きかった。この結果は Fowles らの結果とは一部異なっているが、被験体、測定時間、湿潤処置方法の違いなどがあるので、明確な結論は出せない。しかし、少なくとも *SP* や *SC* 測定に湿潤が影響することは疑いのないところである。

以上の事実から、電極電解質による表皮湿潤を最少限にとどめるため、Edelberg (1968) は Polyethylene glycol 400-600 の使用を推奨している。しかし、これは常温で液体のため、電極カップから漏れたり、テープの粘着性を弱めるので実用に適していない (Schneider & Fowles, 1978)。そこで Schneider & Fowles (1978, 1979) は Polyethylene glycol 400-600 に Unibase を加えてクリーム状にしたものを推奨している。筆者らは Unibase の入手が不可能であったので、Polyethylene glycol 400 と常温で固体の Polyethylene glycol 4000 を湯煎で高速攪拌し、クリーム状に仕上げ用いている。このような電極電解質を用いることによって SPA の長時間記録も可能になるであろう。ただし、宮下・新美 (1979)、新美 (1980) が指摘している不活性化処理を施した基準電極部位の活性化については依然残された問題ではあるが。

Table 2 は筆者らの作製した 0.06mol NaCl Polyethylene glycol 電解質 100g 中に含まれる成分を示したものである。この電解質の長所は既述したとおりであるが、短所としては一度に大量に作製できず、作製時間も 5～6 時間を必要

Table 2
0.06mol Polyethylene glycol 電解質 100g 中の各成分

成 分	重 量 (g)
Polyethylene glycol 400	40.0
Polyethylene glycol 4000	54.65
NaCl	0.35
H ₂ O	5.0

とする。また Schneider & Fowles (1979) も述べているように、電解質自体の抵抗が寒天に比べて高く、筆者らの測定したところでは Polyethylene glycol は寒天の約 4 倍の抵抗があった。

2. Na 再吸収

前述したように、ヒトのエクリン汗腺で分泌される汗の前駆液は皮膚表面に汗

として排出されるまでに、主に NaCl を対象に導管内で再吸収される。この事実は Schulz et al. (1965) によって確認された。彼女らは、分泌部での前駆液、表皮導管部の汗、および皮膚表面に排出された汗に含まれる Na^+ と Cl^- の濃度を測定したところ、前駆液の Na^+ 、 Cl^- 濃度は各々 147mEq/l, 123mEq/l で、表皮導管部および皮膚表面の汗の Na^+ 、 Cl^- 平均濃度はほぼ等しく、 Na^+ 22mEq/l, Cl^- 28mEq/l であった。この結果から彼女らは、Na 再吸収が表皮以下、つまり真皮導管内でなされると結論した。次に微小電極を導管内に挿入し、電位を測定したところ約 40mV の陰性電位が得られ、分泌コイルおよびその近傍の導管にオイルを注入した時でさえ（オイルは低伝導性）、電位が測定されたことから、電位は分泌コイルに由来するものではなく、導管壁を介して生起するであろうと結論された。また、Na 再吸収を阻害する G-strophanthin の皮下投与後、電位が減少し、皮膚表面の汗に含まれる NaCl 濃度は血漿中のそれと等しくなったことから Na 再吸収が証明されている。

山崎 (1975) も G-strophanthin を皮下投与した部位で SPL が減少したことを報告しており、SPL 発現が Na 再吸収に関与していることを示唆している。

サルのエクリン汗腺での Na-K ATPase (イオンの能動輸送をになう酵素) の活性を調べた研究 (Sato & Dobson, 1970; Sato, Dobson, & Mali, 1971) では、分泌コイルや近位導管の ATPase の活性は高く、遠位導管の 10倍であった。これらの知見もまた、Na 再吸収の大部分が真皮導管や分泌管でなされ、表皮導管ではわずかしかなされていないことを示唆している。

IV. 表皮膜

EDA における膜様の現象は、多くの研究から明らかにされている。Edelberg, Greiner, & Burch (1960) は種々の塩溶液（濃度はすべて 1mol）を適用して SPR, SRR を測定したところ、陽イオンの大ききの増加に伴って振幅も増加し

たと報告している。また、電極電解質 (KCl か NaCl) の濃度を変化させて SPL を測定した研究 (Christie & Venables, 1971C; Fowles & Johnson, 1973; Shimizu, Tajimi, Watanabe, & Niimi, 1969; Venables & Sayer, 1963) では、一致して濃度低下に伴って SPL も減少するという結果が得られている。さらに、末梢交感神経を遮断されたネコ (Lang, 1967; Yamazaki & Tajimi, 1972) や hyoscyamine によってその活動を除去されたヒト (Venables & Martin, 1967) においても SPL が測定されている。このような結果は、SPL 発現に関して先に述べた Na 再吸収機序や汗腺活動では説明することができず、SPL の発汗性要因とは別に非発汗性要因、とくに表皮膜を仮定する必要が多くの研究者によって指摘されている。

Christie & Venables の一連の研究 (1971a, b, c, d) では、実験室に充分慣らした被験者の安静閉眼状態で SPL が測定された。SPL は陽性方向への変動 (SPL 低下) を示した後、緩徐な陰性方向への変動に変わった。彼女らはこの陰性方向への変換点の電位を Basal SPL (minimum SPL と同義) と定義し、BSPL 発現が汗腺活動によるものではないことを示唆した。なぜならば、BSPL 測定時には SPR は生起せず、したがって汗腺活動は最少であり、同時に Na 再吸収は汗の分泌量に比例することから (Thaysen, 1960), Na 再吸収の関与も最少と考えられるからである。それゆえ、Christie らは表皮膜を仮定し、BSPL の発現機序は適用される電極電解質と表皮組織の間質液に含まれる電解質の濃度勾配で決定されると述べている ([1] 式参照)。

$$\text{BSPL} = \text{Const.} \times \log_{10} \frac{[\text{K}^+]_{\text{external}}}{[\text{K}^+]_{\text{internal}}} \quad \text{--- [1]}$$

Const. : RT/F

$[\text{K}^+]_{\text{external}}$: 電極電解質濃度

$[\text{K}^+]_{\text{internal}}$: 表皮組織の間質液の電解質濃度

[1] 式は電極電解質に KCl を用いた場合を表わしている。Christie & Venables (1971d) は電極電解質に NaCl を用いても [1] 式を適用しうると報告し

ている。これらの研究に基づいて、石原・宮田(印刷中)は2種の電極電解質(NaClとKCl)でBSPLを測定し、BSPL発現に関する彼女らの結論を支持している。BSPLが発汗性要因ではなく、間質液の K^+ あるいは Na^+ を反映するという結果から、Christieらはストレス研究に応用している(Christie, 1975; Christie & Venables, 1974; Venables & Christie, 1974)。

多くの研究者が表皮膜を仮定しているにもかかわらず、その位置は明確に同定されてはいない。Edelberg (1971), Fowles (1974), Martin & Venables (1966), Rothman (1954)は、膜の位置として角質層と角質化していない表皮との境、すなわち淡明層あたりを示唆している。

SPRのうち、nega SPRの速い回復肢やposi SPR, diphasic SPRの陽性成分の発現についても膜の存在が仮定されている。posi SPRやdiphasic SPRの陽性成分の潜時は、Edelberg (1966)の示した水再吸収反射(皮膚表面の汗が導管内に再吸収される)や表面発汗の潜時とほぼ同じであることから(Wilcott, 1962)、また、表皮湿潤によってposi SPRが消失すること(奥田ら, 1971)から、posi SPRやdiphasic SPRの陽性成分の発現が表皮の表層部で生起することが示唆されている。ネコの汗腺管に微小電極を挿入してSPRを測定した場合と表面電極によって測定した場合(Shaver, Brusilow, & Cooke, 1962)、後者においてのみ陽性方向へのオーバーシュートが観察された。次に微小電極を表皮細胞に接触させて測定した場合と真皮細胞(乳頭層)に接触させて測定した場合、前者では陽性電位が測定され、後者では電位変化が認められなかった。それゆえ、この陽性方向へのオーバーシュートは表皮の何らかの機能に関連していると結論できよう。

Edelberg (1971)は、陽性波の発現機序を胚芽層の導管壁で説明している。すなわち、活発な汗腺活動に伴う汗の静水圧(hydrostatic pressure)増加や Na^+ 濃度増加で表皮導管壁の膜反応がトリガーされる(Fowles, 1974)。表皮導管壁の膜は陽イオンに対する選択性に乏しいため、膜反応は短い陽イオン透過性増加の後、陰イオン透過性を増加させる。陰イオン透過性増加は膜を脱分極させ、陰性

電位の減少をひき起こし、陽性波を生起させる。

V. Edelberg と Fowles のモデル

現在、EDA の末梢発現機序に関するモデルは、Edelberg (1968) と Fowles (1974) によって提出されている。Fowles のモデルは Edelberg のモデルに手を加えたもので、基本的には同じである。まず、2つのモデルの概略を説明してから、SPL・SPR の発現と関連づけていく。

Fig. 4 (a) は Edelberg のモデルである。S は表面陰性の汗腺電位、E は表面陰性の表皮膜電位を表わしている。Rs は汗腺管の抵抗、Re は表皮抵抗を表わしている。S は E より大きな電位と仮定されており、Rs と Re は可変抵抗である。Rv は測定器の入力インピーダンスである。

Fig. 4 (b) は Fowles のモデルである。E₁ は真皮導管壁で生じる管内陰性電位で、主に導管内の Na⁺ 濃度の関数である。E₂ は表皮導管壁、とくに胚芽層レベルで生じる管内陰性電位で、おそらく導管内の Na⁺ や Cl⁻ 濃度の関数であろう。E₃ は角質層底部にある緻密層の膜（淡明層に相当する）によって生起する電位で、適用された電極電解質と間質液の濃度関数である。電極電解質濃度が間質液濃度より高い限り、表面陰性電位が得られるであろう。R₁ は表皮導管の抵抗を、R₂ は真皮導管の抵抗を表わしており、ともに汗の導管充満によって変化する。R₃ は胚芽層の導管壁の抵抗を、R₄ は真皮導管壁の抵抗を表している。R₅ は角質層上部の抵抗を、R₆ は緻密層の抵抗を表わしている。R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ は可変抵抗である。

1. SPL 末梢発現機序

被験者の安静時、すなわち汗腺活動最少時では、Na 再吸収は分泌をしのぎ、R₁, R₂, R₃ は高抵抗を維持するため、E₁, E₂ の電位は最少である。この時測定される電位は、E₃—間質液の K⁺ または Na⁺ 濃度を反映一であり、Christie & Venables (1971a, b, c, d) が結論した BSPL 発現機序に相当する。

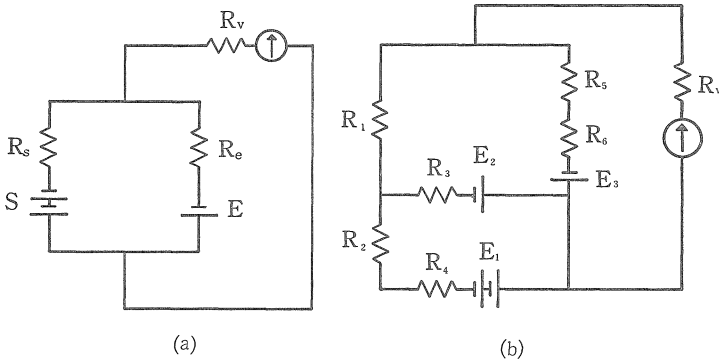


Fig. 4 (a) Edelberg のモデル (Edelberg, 1968)
 (b) Fowles のモデル (Fowles, 1974)

汗腺活動が開始されると、導管内 Na^+ 濃度は分泌量に伴って増加し、 R_2 にひき続いて多分 R_1 の抵抗をも減少させる。その結果、 E_1 は増加し、測定される SPL は上昇する。したがって、電極電解質濃度の変化に伴って SPL が変化する現象は、汗腺の活発な活動時には不明瞭になるであろう。

2. SPR の末梢発現機序

安静条件下で誘発される nega SPR, 換言するならば、比較的汗腺活動が少ない場合の nega SPR は遅い回復肢をもった波形を示す。この nega SPR は次のように説明できる。小さな発汗反応は R_2 と多分 R_1 をも減少させ、陰性電位は増加する。しかし、分泌物が導管からゆっくりと再吸収されることにより、 R_1 と R_2 はゆっくりと増加し、その結果、遅い回復の nega SPR が得られる。

発汗が持続したり、あるいは大きな発汗反応があった場合、 R_1 と R_2 はさらに減少する。もし静水圧や Na^+ 濃度が充分高い水準に達すると、 R_3 は減少し、 E_2 で小さな管内陰性電位が生じる。これは胚芽層の表皮導管壁の膜反応（透過性

増加)であり、真皮導管電位 (E_1) に対して分流効果をもつ。それゆえ、速い回復の *nega SPR* や *posi SPR* が生起する。多くの場合、膜反応に先行して陰性波が生じるので、*posi SPR* の初期成分に小さな陰性成分が入ってくる。これが *diphasic SPR* である。

発汗反応が活発になり、導管が最大に充満すると、 R_1 , R_2 の抵抗は最少状態で一定となる。したがって、汗腺反応は膜反応のみを生起させ、*posi SPR* が出現する。堀 (1979) が報告している *posi SPR* 群発時の SPL 陽性変動も、膜反応の連続で説明しうるかもしれない。

VI. お わ り に

SPA に関する基礎的な背景についてのみ述べてきたが、関連するすべての知見を紹介できたわけではなく、また、方法論の問題や発現機序についても不明な点が多い。これらの諸問題を明らかにしていくうえで、ヒトの外分泌腺に関する今後の電気生理学的研究、薬理学的研究、あるいは生化学的研究に期待したい。

一方、行動科学における有効な指標としての SPA も一層期待される。SCR や SPR 回復肢の定量化 (Edelberg, 1971), Christie らのストレス研究への応用、自発性 SPR の臨床への適用 (山崎, 1978) など、SPA は多くの情報を提供してくれるであろう。

REFERENCES

- Bohlin, G. Delayed habituation of the electrodermal orienting response as a function of increased level of arousal. *Psychophysiology*, 1976, 13, 345-351.
- Brusilow, S. W. Determination of sweat gland precursor fluid osmolality by direct cryoscopy. *Journal of Clinical Investigation*, 1963, 42, 920-921.
- Brusilow, S. W., & Munger, B. L. Comparative physiology of sweat. *Proceeding of the Society of Experimental Biology*, 1962, 110, 317-319.
- Cage, G. W., & Dobson, R. L. Sodium secretion and reabsorption in the human

- eccrine sweat gland. *Journal of Clinical Investigation*, 1965, 44, 1270-1276.
- Christie, M. J. The psychosocial environment and precursors of disease. In P. H. Venables & M. J. Christie (Eds.), *Research in psychophysiology*. London : Wiley, 1975, Pp. 234-257.
- Christie, M. J., & Venables, P. H. Characteristics of palmar skin potential and conductance in relaxed human subjects. *Psychophysiology*, 1971, 8, 525-532. (a)
- Christie, M. J., & Venables, P. H. Basal palmar skin potential and the electrocardiogram T-wave. *Psychophysiology*, 1971, 8, 779-786. (b)
- Christie, M. J., & Venables, P. H. Effects on "basal" skin potential level of varying the concentration of an external electrolyte. *Journal of Psychosomatic Research*, 1971, 15, 343-348. (c)
- Christie, M. J., & Venables, P. H. Sodium and potassium electrolytes and "basal" skin potential levels in male and female subjects. *Japanese Journal of Physiology*, 1971, 21, 659-668. (d)
- Christie, M. J., & Venables, P. H. Changes in palmar skin potential level during relaxation after stress. *Journal of Psychosomatic Research*, 1974, 18, 301-306.
- Edelberg, R. Response of cutaneous water barrier to ideational stimulation : A GSR component. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 1966, 61, 28-33.
- Edelberg, R. Biopotentials from the skin surface : The hydration effect. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1968, 148, 252-262.
- Edelberg, R. The information content of the recovery limb of the electrodermal response. *Psychophysiology*, 1970, 6, 527-539.
- Edelberg, R. Electrical properties of skin. In H. R. Elden (Ed.), *Biophysical properties of the skin*. Vol. I. New York : Wiley, 1971, Pp. 513-550.
- Edelberg, R. Electrical activity of the skin : Its measurement and uses in psychophysiology. In N. S. Greenfield & R. A. Stenbach (Eds.), *Handbook of psychophysiology*. New York : Holt, 1972, Pp. 367-418.
- Edelberg, R., Greiner, T., & Burch, N. R. Some membrane properties of the effector in the galvanic skin response. *Journal of Applied Physiology*, 1960, 15, 691-696.
- Fowles, D. C. Mechanisms of electrodermal activity. In R. F. Thompson & M. M. Patterson (Eds.), *Methods in physiological psychology*. Vol. 1 : Bioelectric recording techniques, Part C, Receptor and effector processes. New York : Academic Press, 1974, Pp. 231-271.

- Fowles, D. C., & Johnson, G. The influence of variations in electrolyte concentration on skin potential level and response amplitude. *Biological Psychology*, 1973, 1, 151-160.
- Fowles, D. C., & Rosenberry, R. Effects of epidermal hydration on skin potential responses and levels. *Psychophysiology*, 1973, 10, 601-611.
- Fowles, D. C., & Schneider, R. E. Electrolyte medium effects on measurements of palmar skin potential. *Psychophysiology*, 1978, 15, 474-482.
- Fowles, D. C., & Venables, P. H. The effects of epidermal hydration and sodium reabsorption on palmar skin potential. *Psychological Bulletin*, 1970, 73, 363-378. (a)
- Fowles, D. C., & Venables, P. H. The reduction of palmar skin potential by epidermal hydration. *Psychophysiology*, 1970, 7, 254-261. (b)
- Gordon, R. S. Jr., & Cage, G. W. Mechanism of water and electrolyte secretion by the eccrine sweat gland. *Lancet*, 1966, 1, 1246-1250.
- 堀 忠雄 SPR 陽性波群発と SPL 変動 日本心理学会第43回大会発表論文集, 1979, 103.
- 井上太郎 分泌腺の能動輸送 井上章・品川嘉也(編) 能動輸送 東京, 南江堂, 1969, Pp. 79~110.
- 石原金由 ヒトの日内リズムに関する生理心理学的研究 関西学院大学大学院文学研究科修士論文, 1980.
- 石原金由・宮田洋 異なる電極電解質と皮膚電位活動 心理学研究(印刷中).
- 石原金由・齋藤敬・宮田洋 皮膚電位活動に関する基礎的研究(Ⅲ)—表皮湿潤効果を除去する電解質の検討— 関西心理学会第92回大会発表論文集, 1980, 9.
- Kuno, Y. *Human perspiration*. Springfield, Illinois: Thomas, 1956.
- Lang, A. H. Skin dc potentials and the endosomatic galvanic skin reaction in the cat. *Acta Physiologica Scandinavica*, 1967, 69, 230-241.
- Leiderman, P. H., & Shapiro, D. Studies on the galvanic skin potential level: Some behavioral correlates. *Journal of Psychosomatic Research*, 1964, 7, 277-281.
- Lykken, D. T., Rose, R., Luther, B., & Maley, M. Correcting psychophysiological measures for individual differences in range. *Psychological Bulletin*, 1966, 66, 481-484.
- Martin, I., & Venables, P. H. Mechanisms of palmar skin resistance and potential. *Psychological Bulletin*, 1966, 65, 347-357.
- 宮下彰夫・新美良純 Skin Potential Activityの研究(5)—skin drilling 法の検討— 日本心理学会第43回大会発表論文集, 1979, 106.

- 宮下彰夫・新美良純 Skin Potential Activity の研究(6)—入眠期の SPL と EEG, EOG—
日本心理学会第44回大会発表論文集, 1980, 58,
- Munger, B. L., & Brusilow, S. W. An electron microscopic study of eccrine sweat
glands of the cat foot and toe pads — evidence for ductal reabsorption in
the human. *Journal of Biophysical and Biochemical Cytology*, 1961, 11, 403-417.
- 新美良純 皮膚電位水準と皮膚電位反射 脳波と筋電図, 1980, 8, 147-155.
- 新美良純・白藤美隆 皮膚電気反射 基礎と応用, 東京, 医歯薬出版, 1969,
- 奥田賢一・丹治哲雄・清水功一・山崎勝男・新美良純 表皮湿润による手掌皮膚電位活動の
変化 心理学研究, 1970, 40, 158-162.
- Papa, C. M., & Kligman, A. M. Mechanisms of eccrine anidrosis : 1. High level
blockade. *Journal of Investigative Dermatology*, 1966, 47, 1-9.
- Peiss, C., Randall, W. C., & Hertzman, A. B. Hydration of the skin and its effect
on sweating and evaporative water loss. *Journal of Investigative Dermatology*,
1956, 26, 459-470.
- Randall, W. C., & Peiss, C. The relationship between skin hydration and suppres-
sion of sweating. *Journal of Investigative Dermatology*, 1957, 28, 435-441.
- Rothman, S. Physiology and biochemistry of the skin. Chicago: University of
Chicago Press, 1954.
- 斎藤修二 皮膚の界面化学 中垣正幸・岩田修造(編) 生体表面 東京, 南江堂, 1975, Pp.
159-185.
- Sarkany, I., Shuster, S., & Stammers, M. C. Occlusion of the sweat pore by hy-
dration. *British Journal of Dermatology*, 1965, 77, 101-104.
- Sato, K., & Dobson, R. L. Enzymatic basis for the active transport of sodium in
the duct and secretory portion of the eccrine sweat gland. *Journal of Inves-
tigative Dermatology*, 1970, 55, 53-56.
- Sato, K., Dobson, R. L., & Mali, J. W. H. Enzymatic basis for the active trans-
port of sodium in the eccrine sweat gland: Localization and characterization
of Na-K-adenosine triphosphatase. *Journal of Investigative Dermatology*, 1971,
57, 10-16.
- Schneider, R. E., & Fowles, D. C. A convenient, non-hydrating electrolyte medium
for the measurement of electrodermal activity. *Psychophysiology*, 1978, 15,
483-486.
- Schneider, R. E. & Fowles, D. C. Unibase/glycol as an electrolyte medium for
recording the electrodermal duct filling response. *Psychophysiology*, 1979, 16,
56-60.

- Schulz, I., Ullrich, K. J., Frömter, E., Holzgreve, H., Frick, A., & Hegel, U. Mikropunktion und elektrische potentialmessung an schweißdrüsen des menschen. *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 1965, 284, 360-372.
- Shaver, B. A., Brusilow, S. W., & Cooke, R. E. Origin of the galvanic skin response. *Proceeding of the Society of Experimental Biology and Medicine*, 1962, 110, 559-564.
- Shimizu, K., Tajimi, T., Watanabe, T., & Niimi, Y. Effects of external electrolyte concentration on both skin potential level and reflex : Successful observation. *Japanese Psychological Research*, 1969, 11, 32-36.
- Stombaugh, D. P., & Adams, T. Skin electrical phenomena, sweat gland activity, and epidermal hydration of the cat footpad. *American Journal of Physiology*, 1971, 221, 1014-1018.
- Surwillo, W. W., & Quilter, R. E. The relation of frequency of spontaneous skin potential responses to vigilance and age. *Psychophysiology*, 1965, 1, 272-276.
- Thaysen, J. H. Handling of alkali metals by exocrine glands other than the kidney. In H. H. Ussing, P. Kruhøffer, J. H. Thaysen, & N. A. Thorn (Eds.), *The alkali metal ions in biology*. Berlin : Springer-Verlag, 1960.
- Thaysen, J. H. The sweat glands. In G. Giebisch, D. C. Tosteson, & H. H. Ussing (Eds.), *Membrane transport in biology. III. Transport across multi-membrane systems*. Berlin : Springer-Verlag, 1977, Pp. 379-413.
- Venables, P. H. The relationship between level of skin potential and fusion of paired light flashes in schizophrenic and normal subjects. *Journal of Psychiatric Research*, 1963, 1, 279-287.
- Venables, P. H., & Christie, M. J. Mechanisms, instrumentation, recording techniques, and quantification of responses. In W. F. Prokasy & D. C. Raskin (Eds.), *Electrodermal activity in psychological research*. New York : Academic Press, 1973, Pp. 1-124.
- Venables, P. H., & Christie, M. J. Neuroticism, physiological state and mood : An exploratory study of Friday/Monday changes. *Biological Psychology*, 1974, 1, 201-211.
- Venables, P. H., & Christie, M. J. Electrodermal activity. In I. Martin & P. H. Venables (Eds.), *Techniques in psychophysiology*. Chichester : Wiley, 1980, Pp. 3-67.
- Venables, P. H., & Martin, I. The relation of palmar sweat gland activity to level of skin potential and conductance. *Psychophysiology*, 1967, 3, 302-311.

- Venables, P. H., & Sayer, E. On the measurement of the level of skin potential. *British Journal of Psychology*, 1963, 54, 251-260.
- Wilcott, R. C. Palmar skin sweating vs. palmar skin resistance and skin potential. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 1962, 55, 322-331.
- 山崎勝男 汗腺の Na^+ ポンプと皮膚電位活動 *心理学研究*, 1975, 46, 222-227.
- 山崎勝男 皮膚電位活動と精神現象 *日本心理学会第42回大会発表論文集*, 1978, S46.
- Yamazaki, K., & Tajimi, T. What is skin potential level? *Psychophysiology*, 1972, 9, 650-652.

——石原金由 大学院博仕課程後期課程——

——宮田 洋 文学部教授——