

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-880

動揺不快感に伴う皮膚電気現象

井 須 尚 紀 ・ 幸 尾 治 朗 ・ 高 橋 信 之

1985年 9 月

航空宇宙技術研究所

NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

動揺不快感に伴う皮膚電気現象*

井 須 尚 紀** 幸 尾 治 朗*** 高 橋 信 之****

Electrodermal Changes Corresponding to the Degree of Discomfort Induced by Motion Sickness

ABSTRACT

The qualitative correspondence between the degree of discomfort induced by motion sickness and the following electrodermal changes was examined; skin potential level (SPL), skin resistance level (SRL), and skin potential reflex (SPR).

A depolarizing change in SPL and a lowering of SRL were observed which corresponded to lasting discomfort. These changes were detected in the thermal sweat areas. It was suggested that the change in SPL also occurred in the arousal sweat area. Arousal response appears in the arousal sweat area rather than in the thermal sweat areas. SPL showed better correspondence than SRL, especially in the time required for recovery after the discomfort stimulation.

On the other hand, SPR was observed in the arousal sweat area accompanied by transient discomfort induced by Coriols stimulus. It was indicated that the amplitude of the positive wave (P wave) in SPR might correlate quantitatively to the degree of discomfort. SPR was not remarkably detected in the thermal sweat areas.

1. はじめに

1961年8月、ソビエトの宇宙飛行士G. Titovはヴォストーク2号の船内で目まい、食欲不振、吐き気を催した。これが宇宙酔の最初である。以降、約半数の宇宙飛行士が宇宙酔を体験しており、最近では米国のスペースシャトルの乗員16名中7名が不快に陥り、内6名が嘔吐したと報告されている(1983年現在)。

この宇宙酔も「乗物酔」に代表される動揺病(motion sickness)の一種であると考えられ、その歴史は古代に遡る。動揺病の最も特徴的な症状の一つは吐き気(nausea)であるが、この nausea の語源を辿るとギリシャ語の naus となり船の意味である。

このことは船酔に苦しんだのが動揺病の最初であったことを物語っているのではなからうか。

以来、動揺病防止のために数々の努力が払われてきたであろうが、酔止め薬が市販されているものの未だに十分な効果を上げるには至っていない。これは、動揺病の発生メカニズムが十分に解明されていないためであり、また防止法あるいは抑制法を体系的に研究するために必要な指標、即ち動揺病の程度を定量的に評価するための良い指標が得られていないことにも一因があると思われる。かつて、動揺病との関係を血圧、心拍数、呼吸数、脳波、発汗量、内臓の収縮運動などの変化に求めて多くの実験が行われたが¹⁾、血圧、心拍数、呼吸数については系統的な変化は見られなかった^{1,2)}。1972年、McClure and Fregly³⁾は、環境温度を適当に選べば発汗の測定によって動揺病の発生時点を検出することが可能であることを示した。また、内臓の収縮運動については、胃腸運動の活動低下¹⁾や子宮運動の振幅増大

* 昭和60年8月19日受付

** 計測部

*** 東海大学(前計測部長)

**** 日本大学(研修生)

⁴⁾が報告されている。しかし、いずれも動揺病の進行過程と量的対応を見るには至っていない。動揺病の程度の量的表現は、被験者のコメントによる主観的評価⁵⁾や動揺病の諸症状に評点を付ける方法^{6,7)}に頼っているのが現状である。

さて、この量的表現を生理変化に求めるために、交感神経活動と関係の深い皮膚の電気活動に着目してみよう。動揺病は前庭系を主な入力器官とし自律神経系の活動に失調を来すことによって生じるものであるから、皮膚の活動に何らかの変化を観察し得ることが期待される。また、嘘発見器への応用にも見られるように、皮膚の活動は、自律系の中では速い反応を示すものの一つであり、精神性の反応など中枢神経系の活動によく対応するものである。McClure et al.⁸⁾は被験者に動揺不快刺激を与えると発汗に伴って皮膚抵抗が減少することを見出した。この抵抗減少は精神性発汗部位には見られず温熱性発汗部に生じるものであった。その後、McClure and Fregly³⁾は上述のように発汗・皮膚抵抗減少の開始時点と動揺病の発生時点との相対関係について検討したが、動揺不快感の程度や推移との対応については明らかにされていない。そこで本研究では、動揺不快感発生時における皮膚電位と皮膚抵抗の測定を行い、被験者のコメントに基づいて動揺不快感の推移と皮膚電位水準(SPL)および皮膚抵抗水準(SRL)の変化との対応を比較検討した。また、不快刺激の強度を変化させて短時間の反応である皮膚電位反射(SPR)を測定し、一過性不快感との対応を量的に検討した。

2. 実験 - SPL および SRL の測定 -

実験Ⅰ-Ⅲでは、動揺不快感に伴う SPL および SRL の変動を以下の3つの場合に分けて記録した。

実験Ⅰ：強度の不快刺激を長時間加えた場合

実験Ⅱ：緩徐な不快刺激を長時間加えた場合

実験Ⅲ：強度の不快刺激を短時間加えた場合
強度の不快刺激としては身体回転中の頭部の前屈運動(コリオリ効果を生じる運動であり、以降「コリオリ刺激」と呼ぶ)を、緩徐な不快刺激には身体の回転のみ(以降「回転刺激」と呼ぶ)を用いた。いずれの場合も、額(frons)-耳垂(auris)間および

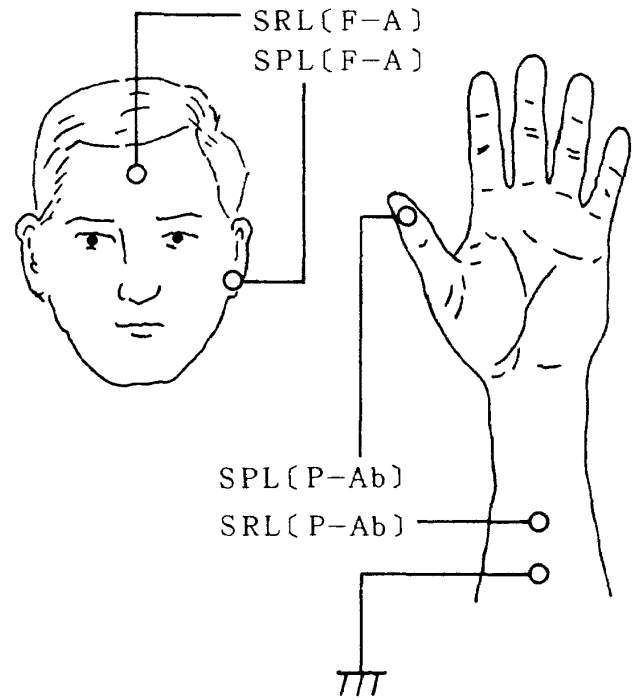


図1 表面電極の装着部位 額-耳垂間および母指末節掌面-前腕掌面間でSPLとSRLを測定した。

母指末節掌面(pollex)-前腕掌面(antebrachium)間の皮膚電位水準(以降「SPL(F-A)」および「SPL(P-Ab)」と略す)と皮膚抵抗水準(以降「SRL(F-A)」および「SRL(P-Ab)」と略す)を継時的に同時測定した(図1)。

2-1 実験システム

室温21-24℃の暗室内に、図2に示す実験システムを構成した。

被験者を回転椅子に坐らせ、回転軸が頭部および体幹のほぼ中央を通るように調整して身体に水平回転を与えた。

被験者の額、耳垂、母指末節掌面および前腕掌面2箇所皿電極(Beckman 650931-650935, ベースト:日本光電P-10E)を装着し、回転椅子に組込まれたスリッリングを介して切換えスイッチに接続した。この切換えスイッチは、SPLとSRLを互いに干渉することなく同一部位から継時的に同時記録するために、電極の接続する回路を周期的に切換え、断続的に測定しようとするものである。切換えは1秒毎に行い(2秒周期)、額-耳垂および母指末節掌面-前腕掌面の2組の電極が同時に同種の回路(SPLあるいはSRL測定回路)に接続され

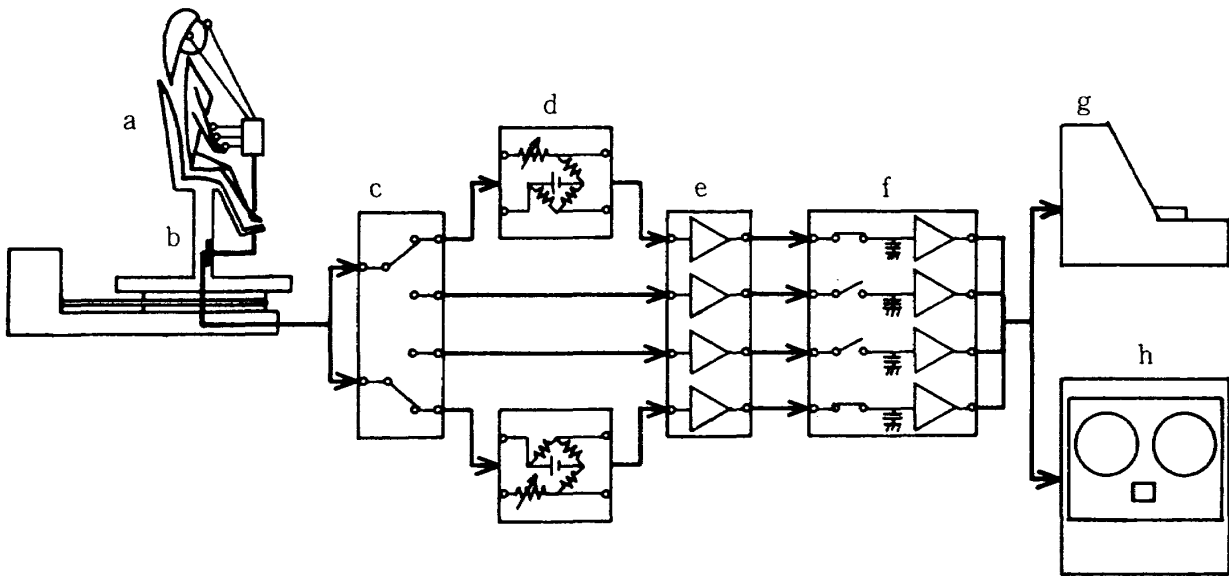


図2 実験システムの模式図 説明は本文。a：回転椅子，b：スリッピング，c：切換えスイッチ，d：ブリッジ回路，e：生体現象用増幅器，f：サンプルホールド回路，g：ペンレコーダ，h：データレコーダ。

るようにした。

SPLの測定では、額および母指末節掌面をそれぞれの回路の陽極，耳垂および前腕掌面を陰極にとり，信号を生体現象用増幅器で直接5～20倍に増幅した。一方，SRLはブリッジ回路を用いて通電法により測定し，その出力を生体現象用増幅器に入力した。尚，ブリッジ回路の両端に掛ける電圧はDC 3 Vとし，人体に $40\mu\text{A}$ 以上の過大電流が流れることのないように，皮膚と直列に抵抗を挿入した。また，SRL(F-A)はしばしば $10\text{K}\Omega$ 以下となりSRL(P-Ab)は $100\text{K}\Omega$ 以上となるので，ブリッジ回路の抵抗を可変にし，それぞれ0～ $70\text{K}\Omega$ および50～ $160\text{K}\Omega$ の範囲で線形性の良い出力が得られるようにした。生体現象用増幅器の通過帯域はDC～5 Hzとし，更にハム除去フィルタによりハムの混入-30 dB以下に抑えた。

生体現象用増幅器の出力をサンプルホールド回路に入力し，SPL-SRL切換えスイッチと連動させて2秒周期でサンプリングを行い，その値をホールドして出力した。サンプリングのタイミングは各スイッチング後990～995 msの5 ms間とした。ホールド回路の入力段に位相遅れがあるため，スイッチング後の入力の立上がりに遅れが生じる。そのため，ホールドされる信号は入力信号よりも小さくなり，

直流入力の場合にSPLではほぼ100%の電位をホールドしたがSRLでは90%の値となった。尚，このサンプルホールド回路の後段で入力を25倍に増幅し，ローパスフィルタで64 Hz以上の高周波を遮断した。

サンプルホールド回路の出力を，ペンレコーダでモニタすると共に，後のデータ処理のためにデータレコーダに記録した。データレコーダの使用周波数範囲はDC～1.25 kHzとした。

2-2 実験I ー長時間強度不快刺激の場合ー

動揺病に陥った時に生じる一般的現象を調べるために，被験者に強度の不快刺激を長時間に亘って（コリオリ刺激の繰返し）加え，その時のSPLおよびSRLの変動を記録した。この刺激は動揺病を誘起する一般的状況を想定して用いたものであるが，実験室実験であるため比較的短時間で被験者に不快感を生じさせるように，通常乗物等で経験する不快刺激に比べてかなり強度な刺激となっている。

2-2-1 被験者および実験方法

被験者の額，耳垂，母指末節掌面および前腕掌面を消毒用エタノールに浸した脱脂綿で強く摩擦し，その部位に両面テープで皿電極を装着した（図1）。

被験者を回転椅子に坐らせて安静を維持させ、前記（2-1節）の実験システムでSPL(F-A), SPL(P-Ab), SRL(F-A)およびSRL(P-Ab)を記録した。

SPLおよびSRLが安定して記録されることを確認した後、回転椅子を 6 deg/s^2 の角加速度で反時計方向(CCW)に回転させ、角速度が 180 deg/s に達した時点で等速回転に切換えた。回転の加速時にしばしばSPLやSRLの変動が見られるので、その変動が収束した後(約5分後)、コリオリ刺激を繰返し加えた。刺激は、実験者が発する5秒周期の号令に合せて、被験者に「頭下げ」「頭上げ」の頭部前屈運動を能動的に行わせることによって加えた。被験者が吐き気を催し、嘔吐直前であると自覚するまでコリオリ刺激を繰返した。尚、繰返しが100回に達した場合には、嘔吐直前の自覚の有無に係わらず刺激を終了した。このことによって、被験者に100回達成という目標を与え、この範囲内で可能な限り刺激を続行しようとする意欲を与えることが出来たと思われる。コリオリ刺激終了後、 -6 deg/s^2 で回転を減速し回転椅子を停止させた。回転停止後、SPLおよびSRLが回転前のレベルに安定するまで記録を続けたが、被験者が不快から快復せずSPLやSRLが安定しない場合には回転停止30分後に記録を終了した。これは、しばしば被験者が眠気を催し、記録に大きな影響を及ぼすからである。尚、この間に、不快の程度や自覚症状について被験者にコメントを求めた。

また、本実験の対照として、身体の回転は与えず頭部の前屈運動を5秒周期で50回行わせてSPLおよびSRLを記録し、不快感を伴わない頭部前屈運動が及ぼす影響を調べた。

被験者には内耳既往症のない健康な男子5名(24-28歳)を用いた。この内3名は以前の予備実験にも参加していた。いずれの被験者も最近数年間に動揺病を呈したことなく、内2名は全く動揺病の経験のない動揺病耐性の強い被験者であった。

各々の被験者が本実験を4試行、対照実験を1試行ずつ、毎週1試行のペースで実験を行った。

2-2-2 結 果

SPL(F-A) 最も頻繁に見られたSPL(F-A)の変動は、コリオリ刺激開始後に過分極性(SPL(F-A)は通常、陰性電位を示しており、その電位差の増大を過分極と呼ぶ。SPL(P-Ab)に関しても同様に変動し、その後徐々に脱分極性(陰性の電位差の減少を脱分極と呼ぶ)の変動を示すものであった(図3(A))。この過分極-脱分極性変動は20例中10例(50%)に見られた反応である。また、4例(20%)では脱分極性変動のみが記録された。いずれの反応も、被験者が強い不快感を覚えてコリオリ刺激を中止した時点においては、回転刺激前に比べて約2-10mV脱分極した電位を示した。

また、刺激終了後、被験者が不快から快復するの

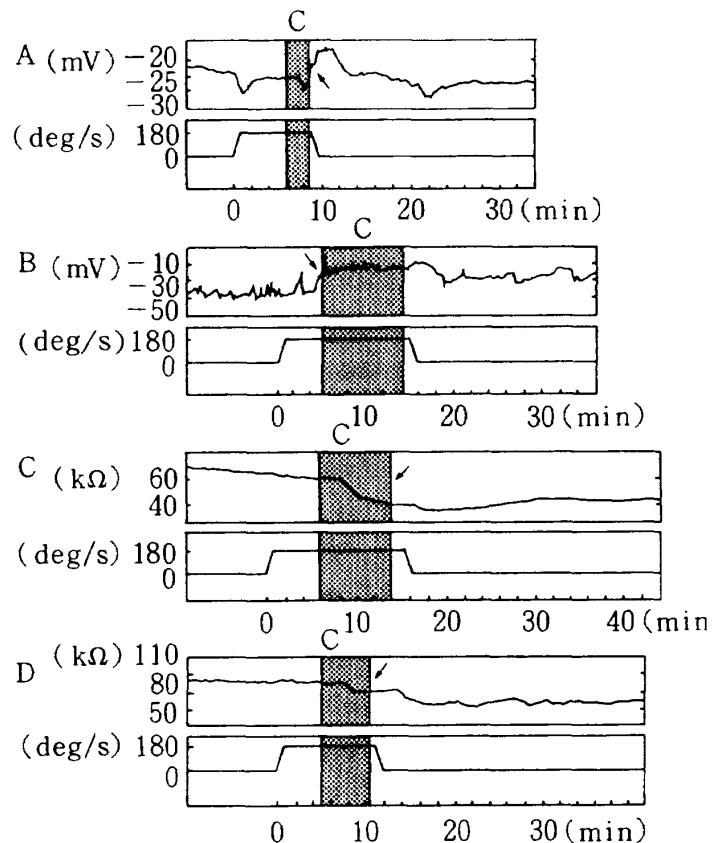


図3 長時間強度不快刺激によって生じる皮膚電気現象 A. SPL(F-A), B. SPL(P-Ab), C. SRL(F-A), D. SRL(P-Ab) それぞれ上段が反応, 下段が回転角速度。AとBではSPLの脱分極性変動, CとDではSRLの抵抗減少が生じている。矢印で各変動を示す。C: コリオリ刺激の繰返し期間。

に伴ってSPL(F-A)は徐々に刺激前の電位レベルに復帰した。尚、快復が遅く不快感が長く持続した場合には、SPL(F-A)の復帰は見られなかった。これらの対応は被験者のコメントに基づくものであり、SPL(F-A)と不快感とは全般的に良い対応を示した。

SPL(P-Ab) コリオリ刺激の開始と同時に、SPL(P-Ab)は脱分極性の皮膚電位反射(SPR: 持続時間の短い一過性の反応)を伴いながら脱分極性に変動した(図3(B))。この反応は16例(80%)に見られ、そのほとんど(15例)では初期に脱分極性のピークを生じており、コリオリ刺激の初期に引き起こされる大きな不快感に対応するものと思われた。また、1例(5%)ではSPL(F-A)に見られたような過分極-脱分極性変動を生じた。いずれの反応も、脱分極性変動の大きさは約25-60 mVであった。

SPRの振幅は20 mV以下であったが、データを2秒周期でサンプルホールドして記録しているため正確な値を示しているとは言えない。コリオリ刺激を繰返すに従ってSPRの振幅は徐々に減少し、やがて消失した。

被験者が不快から快復するのに伴ってSPL(P-Ab)も刺激前の電位レベルへ復帰するなど、被験者の不快感に関するコメントとSPL(P-Ab)の変動とは良い対応を示したが、被験者が眠気を催した時等にそのことを反映したと思われる変動が混入して記録を複雑化した例も多く見られた。

SRL(F-A) コリオリ刺激の開始後、SRL(F-A)は全例(20例; 100%)が抵抗減少を示した(図3(C))。刺激前の抵抗値は約20-60 k Ω であり、コリオリ刺激による不快感を伴った抵抗減少は約5-30 k Ω であった。刺激終了後、被験者の快復と共に緩徐な抵抗増加の傾向を示したが、SPLが刺激前の電位レベルに復帰した場合でもSRL(F-A)は必ずしも復帰しない例が見られた。

SPL(F-A)とSRL(F-A)とは1対1対応はしないものの、SPL(F-A)の過分極性あるいは脱分極性変動とSRL(F-A)の抵抗減少とは対応を示し、その変動の始まるタイミングは良く一致した。

SRL(P-Ab) 16例(80%)において、SRL(P-Ab)はコリオリ刺激によって抵抗減少を示し

た(図3(D))。刺激前の抵抗値はSRL(F-A)よりもかなり大きく約80-150 k Ω であった。コリオリ刺激の開始と同時に、SPL(P-Ab)の初期の脱分極性ピークに対応して極小さな抵抗減少を生じた。その後徐々に約20-80 k Ω の抵抗減少を示したが、その変動の開始はSPL(P-Ab)に比べてやや遅れる傾向があった。刺激終了後の快復期に抵抗増加の傾向を示す例も見られたが、顕著ではなかった。

対照実験 身体を静止させた頭部の単純な前屈運動では、SPL(F-A)およびSRL(F-A)には全く変化は見られなかった。一方、SPL(P-Ab)およびSRL(P-Ab)には、同じ2例でそれぞれ数mVの過分極性変動および数k Ω の抵抗減少が運動開始と同時に一過性に生じた。しかし、本実験で生じた変動と比較すると、SPL(P-Ab)は逆極性の小さな電位変動であり、SRL(P-Ab)は十分に小さな抵抗減少であった。よって、本実験で生じた変動は、頭部の単純な前屈運動によるものではなく、動揺不快感に伴った反応であると考えられる。

尚、SPL・SRL(F-A)には反応がなく、SPL・SRL(P-Ab)に反応が見られることは、額に比べて母指末節掌面が不快感以外の要因に対しても感受性が高いことを示しているものと考えられる。

2-3 実験Ⅱ -長時間緩徐不快刺激の場合-

実験Ⅰではかなり苛酷な条件で被験者に不快感を誘起させたが、緩徐な刺激であっても長時間持続することによって動揺病を発生し得る。また、激しい動揺刺激では短時間で不快感を催させる。Hill⁹⁾は1936年、この両者の刺激がそれぞれEppinger-Hessの分類による迷走神経緊張症および交感神経緊張症を誘起すると述べた。現在、自律神経緊張症を明確に二分し得るか否か疑問視されている¹⁰⁾が、2種の動揺刺激が自律神経系に異なる作用を及ぼす可能性は考えられる。

そこで、実験Ⅱでは緩徐な刺激として回転刺激を与え、長時間の刺激の持続によって生じるSPLおよびSRLの変動を記録した。

2-3-1 被験者および実験方法

実験と同様にしてSPL(F-A)、SPL(P-Ab)、

SRL(F-A)およびSRL(P-Ab)を記録した。

SPLおよびSRLが安定した後、回転椅子をCCWに回転させた。回転の加速によって被験者が不快に陥ることを極力避けるために、回転角加速度は 1 deg/s^2 とした。角速度が 120 deg/s に達した時点で等速回転に切換え、被験者が嘔吐直前であると自覚するまで回転を続けた。尚、その自覚に至らない場合には30分を経過した時点で刺激終了とした。その後、 -1 deg/s^2 で減速し回転椅子を停止させた。

回転停止後、SPLおよびSRLが安定するまで記録を続け、不快の程度や自覚症状に関して被験者にコメントを求めた。

被験者には内耳既往症のない健康な男子(22-28歳)11名と女子(16歳)1名を用いた。この内3名は少年期に頻繁に動揺病を経験していたが、いずれの被験者も最近数年間には動揺病を呈したことはなかった。

実験の総試行数は24回であり、7名の被験者が2回以上の試行を行ったが、2回目以降の試行では多少不快になりにくい傾向が見られた。

2-3-2 結 果

SPL(F-A) 緩徐な不快刺激である回転刺激によって、SPL(F-A)は24例中17例(71%)で脱分極性の変動を示した(図4(A))。変動の始まる時期は被験者の回転刺激に対する感受性によって異なり、回転開始直後あるいは数分乃至十数分後であったが、これは被験者が軽い不快を感じるよりも幾分早い時期であった。回転刺激を続けるとSPL(F-A)はゆっくりと脱分極性に変化し、その変位量は約2-10mVであった。回転停止後、被験者の快復に伴って刺激前の電位レベルに復帰した。被験者のコメントと照合すると、SPL(F-A)が最も脱分極した時期は被験者が最も不快に陥った時期(回転の減速時乃至停止時)と良く一致した。

尚、1例では被験者が嘔吐したが、その際、直前に一過性の脱分極性変動を示した後、嘔吐直後に急激かつ非常に大きな脱分極性の変動を生じた。嘔吐後は速やかに快復し、SPL(F-A)も3分後には刺激前の電位レベル近くまで復帰した。

SPL(P-Ab) 18例(75%)のSPL(P-Ab)

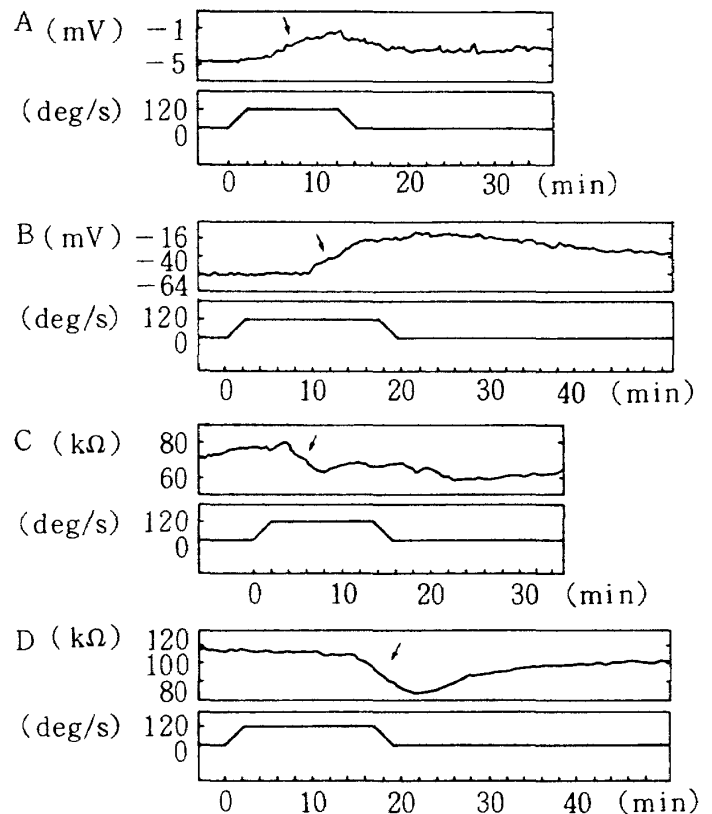


図4 長時間緩徐不快刺激によって生じる皮膚電気現象 A. SPL(F-A), B. SPL(P-Ab), C. SRL(F-A), D. SRL(P-Ab) それぞれ上段が反応, 下段が回転角速度。AとBではSPLの脱分極性変動, CとDではSRLの抵抗減少が生じている。矢印で各変動を示す。

が回転刺激によって脱分極性の変動を示した(図4(B))。SPL(F-A)と同様に、ゆっくりとした変動が回転刺激開始直後あるいは数分乃至十数分後に生じ、その変位量は約10-40mVであった。また、回転停止後は徐々に刺激前の電位レベルに復帰した。

SRL(F-A) 回転開始の数分乃至十数分後に、13例(54%)のSRL(F-A)が抵抗減少を示した(図4(C))。刺激前の抵抗値は約10-60kΩであったが、回転刺激により約2-20kΩの減少を生じた。一般に変動の開始時期はSPLよりも遅いが、その変動は速く、SPLの緩徐な変化に比べるとかなり急峻な変化であった。一方、回転停止後の快復期では、SRL(F-A)の変化はSPLよりもむしろ遅く、SPLが刺激前の電位レベルに復帰した後もSRL(F-A)は復帰しない例が多く見られた。

SRL(P-Ab) 19例(79%)において、回転刺激によるSRL(P-Ab)の抵抗減少が見られた(図4(D))。刺激前の抵抗値は約80-200k Ω であり、回転刺激による抵抗減少は約20-100k Ω であった。変動開始の時期はSPLより遅く、SRL(F-A)と比較すると僅かに先行する傾向が見られた。抵抗減少期の変動の速さはSRL(F-A)と同様にSPLよりも速いが、快復期での復帰はむしろ遅い例が多く見られた。

被験者が嘔吐した例では、SRL(P-Ab)は嘔吐の約6分前から小刻みな変動を繰返しながら徐々に抵抗が減少し、嘔吐と同時に急激な抵抗減少を生じた。回転停止後はSPL(F-A)とほぼ同時期(約3分後)にかなりの復帰を示した。

2-4 実験Ⅲ -短時間強度不快刺激の場合-

実験Ⅲでは、コリオリ刺激を1回加え、短時間の激しい不快刺激によって生じるSPLおよびSRLの変化を調べた。また、コリオリ刺激による効果を明確にするために、各試行に先立ち、コリオリ刺激を構成する身体の回転運動のみを回転刺激として与えて対照とした。

2-4-1 被験者および実験方法

実験ⅠおよびⅡと同様の手順で、SPL(F-A)、SPL(P-Ab)、SRL(F-A)およびSRL(P-Ab)を記録した。

SPLおよびSRLが安定した後、回転椅子をCCWに1deg/s²の角加速度で180deg/sまで加速した。2分間の等速回転の後、-1deg/s²で減速して回転を停止した。そのままの状態ですぐ5-15分間被験者を休息させた後、再度同手順で身体の回転を与え、等速回転に移行した1分後に実験者の号令に合せて頭部の前屈運動(コリオリ刺激)を行わせた。尚、コリオリ刺激時間(頭下げから頭上げまでの時間)は約3秒であった。

コリオリ刺激のために発する号令は、極力被験者にショックを与えないように配慮したものの、一種の音刺激となっている。また、コリオリ刺激自体が不快感だけでなくショックを被験者に与え、覚醒レベルを一時的に高揚させることになる。そこで、こ

れらの効果を検討するために、各試行の最後に被験者の背後から音声による音刺激を突然与え、ショックによるSPLおよびSRLの変動を調べて対照とした。

実験終了後に、不快感や自覚症状に関するコメントを被験者に求めた。

被験者には内耳既往症のない健康な男子(22-28歳)10名を用いた。この内3名は少年期に頻りに動揺病を経験していたが、いずれの被験者も最近数年間には動揺病を呈したことはなかった。

実験の総試行数は21回であり、6名が2回以上の試行を行った。

2-4-2 結 果

SPL(F-A) 1回のコリオリ刺激によって、ほとんどの被験者が強いショックを感じ不快感を催した。その不快感は一過性に感じる急激なもので、頭下げおよび頭上げの瞬間に生じた。刺激後には持続的な不快感が多少残るが、被験者が最も不快に陥ったのはむしろ減速時から停止直後にかけてであった。このような被験者のコメントに対応して、8例(38%)に見られたSPL(F-A)の脱分極性変動(図5(A))の内、半数は減速時に始まるものであった。この変動の大きさは約0.5-4mVであった。

コリオリ刺激直後に着目すると、脱分極性変動3例、過分極-脱分極性変動1例および過分極性変動1例が見られた。しかし、いずれも顕著な反応ではなく、刺激直後から緩徐な変化を示すものであり、コリオリ刺激による一過性の急激な不快感との対応は見出されなかった。むしろ、ここで見られた脱分極性変動は、コリオリ刺激後に残る持続的な不快感に対応するものと考えられる。

SPL(P-Ab) 10例(48%)のSPL(P-Ab)が約20-80mVの脱分極性変動を生じた(図5(B))。この内5例はコリオリ刺激の直後から緩徐な変化を示しており、SPL(F-A)に見られた脱分極性変動と同様の反応であった。また1例は、コリオリ刺激直後に大きな脱分極性ピークを生じた後、再び脱分極性に変化する二峰性の反応を示した。この時、被験者は刺激直後に最も不快になったと報告している。2例が刺激直後に過分極性の変動を示したが、この

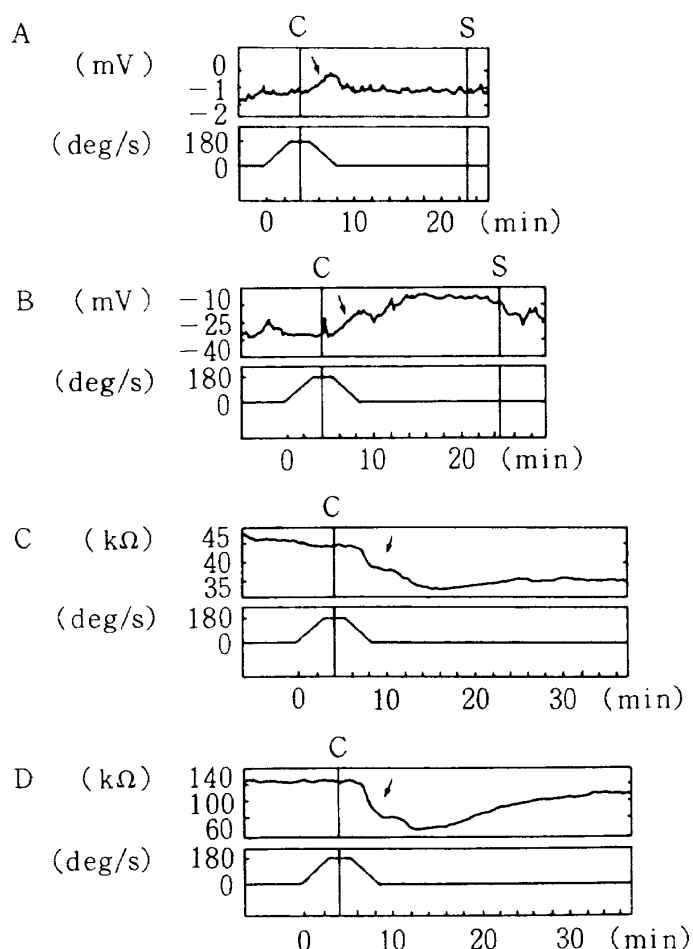


図5 短時間強度不快刺激によって生じる皮膚電気現象 A. SPL (F-A), B. SPL (P-Ab), C. SRL (F-A), D. SRL (P-Ab) それぞれ上段が反応, 下段が回転角速度。音刺激によって, Aには反応が見られないが, Bでは脱分極性変動が生じている。矢印で各変動を示す。C: コリオリ刺激, S: 音刺激。

時にはあまり不快にならなかったと報告している。

尚, 19例 (90%) がコリオリ刺激に同期してSPRを生じた。コリオリ刺激による一過性の不快感との対応が示唆される。

SRL (F-A) 14例 (67%) に SRL (F-A) の抵抗減少が見られた (図 5(C))。刺激前の抵抗値は約 10–40 kΩ であり, 抵抗の減少値は約 2–15 kΩ であった。この内 4 例はコリオリ刺激直後に生じたものであり顕著な抵抗減少であった。しかし, この抵抗減少はコリオリ刺激による一過性の急激な不快感に対応するものとは考え難い。実験 II でも見られたように, 一般に SRL は SPL に比べて急峻な変化を

不快発生時に示した。また, 減速時からの抵抗減少もこのコリオリ刺激直後からの抵抗減少と類似した時間経過を示した。さらに, 最小の抵抗値は減速時以降停止後にかけて得られた。以上の点から, コリオリ刺激直後に始まる SRL (F-A) の抵抗減少は, コリオリ刺激によって誘発され, その後の回転刺激および回転の減速によって増強された持続的な不快感に対応するものと思われる。

SRL (P-Ab) コリオリ刺激以降に, 18例 (86%) の SRL (P-Ab) が抵抗減少を示した (図 5(D))。刺激前の抵抗値は約 70–180 kΩ であり, 約 20–200 kΩ の減少が生じた。この内の 8 例がコリオリ刺激直後から減少を示したが, SRL (F-A) と同様に, この抵抗減少はコリオリ刺激後に残る持続的な不快感に対応するものと思われる。

対照実験 (回転刺激) 実験の各試行の初めに, コリオリ刺激を構成する身体回転運動のみを被験者に与えたが, この回転刺激によって被験者はほとんどの試行で多少の不快感を感じた。多くの場合, 回転の減速時に不快感を催しているが, コリオリ刺激を加えた後の減速時に比べると不快感の程度は軽いものであった。後者の場合には, コリオリ刺激が一過性の不快感を誘発し, その後に残った持続的な不快感を回転の減速がさらに増強したものである。

回転刺激による不快感に対応して, SPL (F-A) および SPL (P-Ab) には脱分極性変動, SRL (F-A) および SRL (P-Ab) には抵抗減少が観察された。それぞれの時間経過はコリオリ刺激を加えた場合の反応と同様であった。このことから, コリオリ刺激時の SPL および SRL の反応は一過性の不快感に対応するものではなく, 後に残る持続性不快感に伴うものであると考えられる。

回転刺激とその後の回転およびコリオリ刺激によって段階的に変動した SPL および SRL の一例を図 6 に示す。この時, 被験者は「1 回目の加速中に少し気分が悪くなったが, 等速時には多少楽になった。減速中徐々に不快になり, 停止直前が最も不快であった。停止後, 徐々に不快感は和らいだ。2 回目の加速中に再び徐々に不快になり胃の圧迫を感じた。コリオリ刺激で急に不快感が増し冷汗をかいた。そ

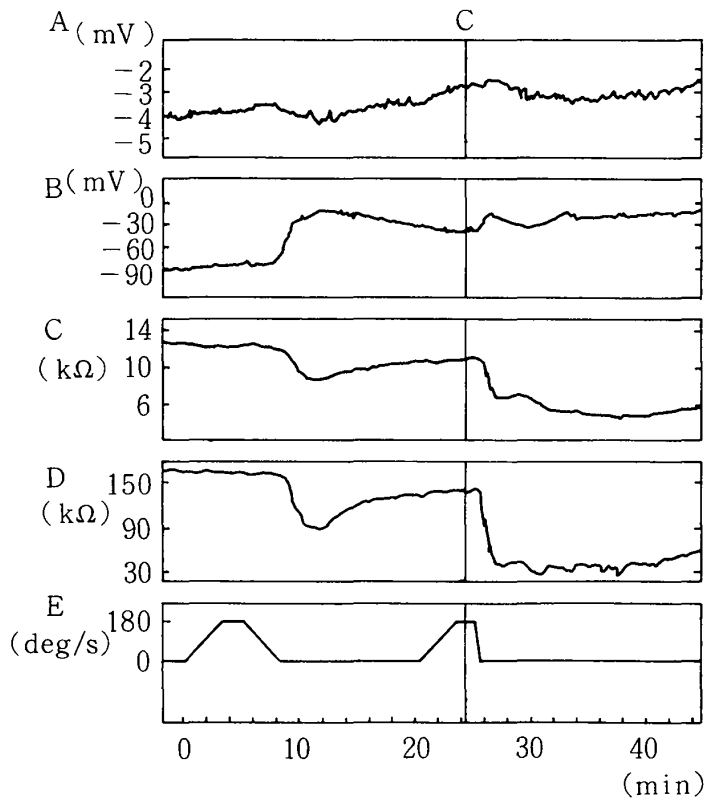


図6 回転刺激およびコリオリ刺激によって生じる皮膚電気現象の同時記録 A. SPL (F-A), B. SPL (P-Ab), C. SRL (F-A), D. SRL (P-Ab), E. 回転角速度
AとBではSPLの脱分極性変動, CとDではSRLの抵抗減少が不快刺激と対応して段階的に生じている。C: コリオリ刺激。

の後も不快感は増し、停止前後が最も不快であった。』と報告している。このコメントと反応とを照合すると、SPL (F-A)の脱分極性変動のタイミングが被験者の不快時期と非常に良く一致していることが判る。SRL (F-A)も、小さな変化ではあるが不快感と忠実に対応しており、被験者が最も不快に感じた時には急激かつ大きな変化を見せている。また、SPL (P-Ab) および SRL (P-Ab) は、細かな不快感の推移との対応は見られないが、最も不快であった時期に急激な反応を生じている。

対照実験 (音刺激) 被験者にショックを与えて覚醒レベルを高揚させる目的で背後から突然に音刺激を加えた。しかし、被験者が刺激を予測したこと等のために必ずしも有効な刺激とはならず、有効であったと思われるものは11例であった。

SPL (F-A)には2例に過分極性変動が生じ、脱

分極性の変動は見られなかった。また、SPL (P-Ab)では9例に過分極性変動が生じた。一般に覚醒レベルが高くなると精神性発汗部位の電位がより低くなる(過分極する)ことが知られている^{11, 12)}。このことから、コリオリ刺激の直後にしばしば見られた過分極性あるいは過分極-脱分極性の変動は、覚醒レベルの高揚を反映した過分極性の変化によるものであると示唆される。

さて、SRL (F-A)には3例、SRL (P-Ab)では11例全例に音刺激による抵抗減少が観察された。この抵抗減少もSPLの過分極性変動と同様に、刺激による覚醒レベルの高揚を反映したものであると思われる。よって、コリオリ刺激直後のSRLの抵抗減少には、不快感に対応する反応だけでなく、覚醒レベルの変化による影響も含まれているものと思われる。

3. 実験 -SPRの測定-

2章の実験により、被験者の動揺不快感に伴って、SPLの脱分極性変動およびSRLの抵抗減少が出現することがわかった。これらの反応の時間的推移は持続的な不快感と良く一致したが、コリオリ刺激による一過性の急激な不快感とは対応が見れなかった。しかし、実験Ⅲではコリオリ刺激直後にしばしば持続時間の短い反応であるSPRが見られ、特にSPL (P-Ab)の測定で21例中19例と頻繁に観察された。また、実験ⅠにおいてもSPL (P-Ab)はコリオリ刺激の繰返し中にSPRを伴っており、しかも一過性不快感の大きい刺激の初期ほどそのSPRは大振幅であった。このことから、一過性不快感にはSPRが対応する可能性が考えられる。

そこで、本章の実験では、不快刺激の強度を変化させて被験者に加え、額-耳垂間および母指末節掌面-前腕掌面間の皮膚電位反射(以降「SPR (F-A)」および「SPR (P-Ab)」と略す)を測定して、一過性不快感との対応を調べた。

3-1 実験Ⅳ -一過性不快感とSPRとの対応-

一過性不快感の強度を変化させるために、3種類の身体回転の角速度を用いてコリオリ刺激を加えた。SPRは時間経過の速い現象であるため、切換えス

ッチやサンプルホールド回路は介さずに皮膚電位を連続記録し、刺激に対応するSPRを測定した。

SPRは音刺激や運動等によっても生じることがあるので、SPRとコリオリ刺激による一過性不快感との対応をより明確にするために、実験の前後で身体静止時に頭部の前屈運動を被験者に行わせて対照とした。

3-1-1 実験システム

2章の実験と同様のシステムを構成したが、切換えスイッチ、ブリッジ回路およびサンプルホールド回路はシステムに含めなかった。被験者に皿電極を装着し、回転椅子に組込まれたスリップリングを介して生体现象用増幅器に接続した。その入力を100-500倍に増幅し、直接ペンレコーダおよびデータレコーダに出力して記録した。

コリオリ刺激のタイミングを記録するために、ヘッドレストにマイクロスイッチを取付けた。被験者の頭部がヘッドレストに接触している時にON状態、前屈時にはOFF状態となるようにし、乾電池を直列に接続してコリオリ刺激の期間を皮膚電位と共にペンレコーダおよびデータレコーダに記録した。

3-1-2 被験者および実験方法

2章の実験のSPL測定と同様の手順で皮膚電位を記録し、SPR(F-A)およびSPR(P-Ab)の測定を行った。

皮膚電位が安定に記録されるようになった後、身体回転開始前に、被験者に頭部の前屈運動を1分間隔で3回行わせた。その後、回転椅子を 1 deg/s^2 の角加速度でCCWに回転させ、以下に記す角速度で等速回転とした。1分間の等速回転の後、1分間隔でコリオリ刺激を3回加え、その1分後に -1 deg/s^2 で減速して回転を停止した。さらにその5-10分後に頭部の前屈運動を1分間隔で3回行わせた。実験終了後、被験者に不快感や自覚症状に関してコメントを求めた。

等速回転の角速度は60、120および 180 deg/s の3種類とした。

被験者には内耳既往症のない健康な男子(22-27歳)3名を用い、各被験者はそれぞれの角速度につ

いて1試行ずつ、1週間程度の間隔をおいて実験を行った。

3-1-3 結果

額-耳垂間では、回転前後の頭部前屈運動によって顕著なSPRを生じることではなく、回転中のコリオリ刺激によっても数例に小さなSPRが見られるのみであった。そこで、本項では、SPR(P-Ab)についてのみ解析を行う。

波形 一般にSPRには、過分極性波形(以降「N波形」と略す)、過分極-脱分極性波形(以降「N-P波形」と略す)、および脱分極性波形(以降「P波形」と略す)の3種類の波形のあることが知られている^{13~15)}。本実験ではコリオリ刺激によって全例(27例)にSPR(P-Ab)が見られたが、その内15例(56%)がN-P波形を示し、12例(44%)がP波形を示した。コリオリ刺激を構成する回転角速度別に見ると表1に示すようになり、生じる波形に統計的な有意差は見られなかった<脚注1>。また、コリオリ刺激の3回の繰返しで、その順序による波形の差異は全く見られず同数であった。

一方、回転前後の静止時における頭部の前屈運動によっては、54例中28例(52%)にSPR(P-Ab)が見られ、その内23例(43%)がN-P波形を示し、5例(9%)がP波形を示した。尚、回転の前後で波形の差異は見られなかった。

潜時 コリオリ刺激の開始時点、即ち頭部の前屈によって頭部がヘッドレストから離れた時点からSPR(P-Ab)の開始時点までの時間を潜時として計測し、回転角速度と波形別にまとめると表2に示すようになる。ここで、SPR(P-Ab)がN-P波形を示す場合には、過分極波(以降「N波」と略す)と脱分極波(以降「P波」と略す)に分けてそれぞれの潜時を測定した。ただし、N-P波形のP波の潜時はSPR(P-Ab)が過分極から脱分極方向に移る時点、即ちN波の谷までの時間とした。

コリオリ刺激によって生じたSPR(P-Ab)の潜時を平均すると、P波形を示した場合の潜時($1.6 \pm 0.2\text{ s}$)はN-P波の場合のN波の潜時($1.0 \pm 0.1\text{ s}$)に比べて有意に長く<脚注2>、後に続くP波の潜時($1.7 \pm 0.1\text{ s}$)とほぼ一致した<脚注3>。こ

表1 コリオリ刺激および静止時の頭部前屈運動によって生じるSPR(P-Ab)の波形の頻度 コリオリ刺激によって全例にSPRが生じたが、その波形には回転角速度による有意な差異は見られなかった。静止時の頭部前屈運動によって約半数にSPRが生じ、その多くはN-P波形であった。

	回転中のコリオリ刺激			全 体	静止時の頭部前屈運動		
	60 deg/s	120 deg/s	180 deg/s		回転前	回転後	全 体
N-P波形	7	4	4	15(56%)	12	11	23(43%)
P 波 形	2	5	5	12(44%)	2	3	5(9%)
無 反 応	0	0	0	0(0%)	13	13	26(48%)

表2 コリオリ刺激および静止時の頭部前屈運動によって生じるSPR(P-Ab)の潜時 N-P波形のN波、P波およびP波形に分けて平均の潜時を求めた。全体の潜時は平均±標準偏差を表す。コリオリ刺激によって生じるN-P波形のP波とP波形の潜時には有意差は見られなかった。

	回転中のコリオリ刺激			全 体	静止時の頭部前屈運動		
	60 deg/s	120 deg/s	180 deg/s		回転前	回転後	全 体
N-P波形							
N 波	0.9	1.1	1.1	1.0 ± 0.1	1.1	1.2	1.2 ± 0.1
P 波	1.6	1.7	1.7	1.7 ± 0.1	1.8	1.9	1.9 ± 0.1
P 波 形	1.1	1.6	1.7	1.6 ± 0.2	1.2	1.3	1.3 ± 0.1

のことから、両波形に見られるP波はコリオリ刺激に対する共通の反応であると思われる、N波を欠除した場合の反応がP波形であると考えられる。以降、コリオリ刺激時に生じるSPR(P-Ab)ではN-P波形とP波形を区別せず、両者を合せてN波とP波とに分けて検討する。N波およびP波はいずれも、回転角速度によって潜時に有意な差を生じなかった<脚注4>。一方、コリオリ刺激を加える時の回転角速度が大きいほど被験者が催す不快感は増大した。このことから、一過性不快感の程度によってSPRの潜時が変化することはないものと思われる。

静止時の頭部前屈運動によって生じたSPR(P-Ab)では、P波形の場合の潜時(1.3 ± 0.1 s)とN-P波形の場合のP波の潜時(1.9 ± 0.1 s)とは有意な差を示した<脚注5>。また、これらは、コリオリ刺激を加えた時に生じたSPR(P-Ab)のP波の潜時とも有意な差があり<脚注6>、いずれも異なる反応であることを示している。コリオリ刺激では不

快感を催すが、静止時の頭部前屈運動では不快感が生じないことを反映しているものと思われる。一方、N-P波形の場合のN波の潜時(1.2 ± 0.1 s)はコリオリ刺激時のN波の潜時と有意な差はなく<脚注7>、両者のN波は共通の反応である可能性が考えられる。

振幅 SPR(P-Ab)の振幅をN波とP波に分けて平均すると図7のようになった。ここで、SPR(P-Ab)の振幅は刺激前の定常的な電位レベルと刺激後のN波およびP波各々のピークとの電位差として測定した。ただし、上で述べたように、静止時の頭部前屈運動によって生じたSPR(P-Ab)のP波は2種(あるいはそれ以上)の異なった反応を含んでおり、且つ回転中のコリオリ刺激によるP波とは異なる反応である。しかし、同種の反応が混在している可能性を完全には否定出来ないことや、SPRによって一過性不快感を評価しようとする時に一般には潜時によって反応を区別するのは困難であることを考慮して、ここではP波についても一括して平均

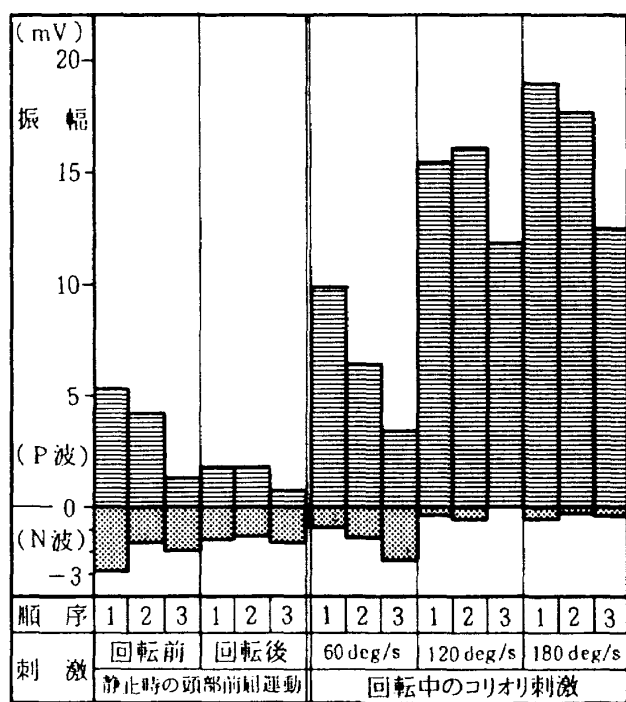


図7 コリオリ刺激および静止時の頭部前屈運動によって生じるSPR(P-Ab)の振幅 N波とP波に分けて平均の振幅を求めた。コリオリ刺激によって生じるSPRのP波の振幅は回転角速度が大きいく程大きく、刺激を繰返すと順を追って小さくなった。

値を求め、コリオリ刺激によって生じるSPR(P-Ab)と比較する。

コリオリ刺激によって生じたSPR(P-Ab)のP波の振幅は、回転角速度が大きくなるに従って有意に増大した<脚注8>。コリオリ刺激を加える時の回転角速度を大きくすると被験者が催す一過性不快感も増すことから、SPR(P-AB)の波は一過性動揺不快感と量的にも対応していることが示唆される。また、1試行当り3回のコリオリ刺激を繰返して加えたが、その順序によってP波の振幅に有意な差があり<脚注9>、順を追うに従って振幅は小さくなった。コリオリ刺激を繰返すと持続的な不快感は増すが一過性に生じる不快感は次第に減少するというコメントが得られており、振幅の減少はこのことを反映しているものと思われる。

一方、静止時の頭部前屈運動によって生じたSPR(P-Ab)のP波の振幅は、コリオリ刺激によるP波の振幅に比べて小さく、回転の前後で比較すると回転後はさらに小さくなっている<脚注10>。上で

述べたように、このP波はコリオリ刺激時に見られたP波とは異なる反応であるが、持続性不快感が増した時に振幅が小さくなることは共通した現象である。

さて、SPR(P-Ab)のN波の振幅については、回転の前後で有意な差はなく<脚注11>、静止時の頭部前屈運動と60 deg/sの回転時におけるコリオリ刺激との間にも有意な差は見られなかった<脚注12>。しかし、120 deg/sと180 deg/sの回転時では有意に小さくなっており<脚注13>、一過性不快感に対応するP波によって抑制された可能性が考えられる。ただし、その両者間には有意差は見られなかった<脚注14>。また、コリオリ刺激の繰返しの順序で振幅に差はなく<脚注15>、回転の前後で有意差のないことから、N波の振幅は持続性不快感の影響を受けることはないように思われる。

脚 注

<1> 「平均値に差がない」を帰無仮説として分散分析法による有意差検定(F-検定)を行った。第1および第2自由度はそれぞれ2と4でありF値は2.00となった。本来「差がない」場合にF値がこの値以上となる確率(危険率)は25%であるこれを、

$$F(2, 4) = 2.00, (p = 0.25)$$

と表す。一般に、危険率が小さい時には「差がある」と解釈し、大きい時には「差があるとは言えない」と判断する。この場合では危険率が25%であることから「差があるとは言えない」と判断した。以下の脚注では上式と同様にF値と自由度および有意水準を記述し、著者の解釈の統計的根拠を示す。

<2> 「平均値に差がない」を帰無仮説としてt-検定法による有意差検定を行った。自由度は25でありt値は3.94となった。本来「差がない」場合にt値がこの値以上となる確率(危険率)は0.1%以下である。このとき、

$$t(25) = 3.94 \quad (p < 0.001)$$

と表す。この場合では危険率が0.1%以下

4. 考 察

2章および3章の実験結果を簡略にまとめると表3のようになる。持続性不快感に対応してSPLの脱分極性変動およびSRLの抵抗減少が観察された。また、一過性不快感にはSPRのP波の振幅が対応を示した。以下、これらについて考察する。

4-1 SPL, SRL と持続性不快感

1972年McClure et al.⁸⁾は、皮膚抵抗の測定と電気化学的センサを用いた発汗量の測定を行い、コリオリ刺激によって生じる不快感と発汗との関係を調べた。皮膚抵抗は精神性発汗部位である手掌（母指と小指）と温熱性発汗部位である手背-前腕で測定し、電気化学的センサによる発汗量の測定は手背で行った。その結果、手掌では覚醒レベルの推移に伴う一過性の抵抗減少が生じたのみであったが、温熱性発汗部位では刺激開始のしばらく後に皮膚抵抗の減少と発汗が記録された。変化が一旦始まると、刺激の持続中、皮膚抵抗は減少を続け、発汗量も増

加を続けた。また、低室温ではコリオリ刺激によって発汗の生じなかった被験者でも、室温を上げるとコリオリ刺激による発汗が同様に観察された。これらのことから、彼らは、動揺病による発汗と温熱性の発汗は同一の神経路を介しており、前庭システムと温熱システムからの入力が増加されると、あるいは前庭刺激によって温熱性発汗の閾値が低下すると考えた。さらに、McClure and Fregly³⁾は、胃のむかつきを感じ始める潜時(NI)と発汗の潜時(sweat)を比較し、NIは室温に依存しないこと、また動揺刺激に対する慣れ(habituation)に依らずsweat/NIの比が一定であるという結果を得た。このことから、室温を適当に選ぶとsweat/NI<1となる温度が存在し、この時、発汗が不快感に先行するので、不快を感じる以前に動揺病の発生を検出出来ると述べている。

さて、本研究の2章の実験では、額-耳垂間および母指末節掌面-前腕掌面間のSPLとSRLを記録した。母指末節掌面は精神性の発汗部位であり、温熱性には発汗は少量であるが、室温の上昇による発汗の増加率は他の一般体表面（温熱性発汗部位）と同じである。他の3部位はいずれも温熱性に発汗する一般体表面であるが、室温が高くなるとこれらの部位でも精神性発汗が生じる。特に額は、精神性発汗部位である手掌や足底に次いで汗腺の豊富な部位である。また、SRLは汗線活動の影響を受け発汗と相関しているが、SPLは表皮の活動によるものであり発汗とは無相関であることが知られている^{13,16)}。

被験者に不快刺激を与えた時、SPLは持続性不快感に対応して脱分極性の変動を示した。一般体表面である額-耳垂間でこの変動が記録されたことから、不快感に対応する変化が温熱性発汗部位で生じることが判る。また、SPLを電極装着部位2箇所（額の表皮に生じる陰性電位の差として測定していることから、SPL(F-A)の脱分極性変動は両部位の陰性電位の減少に起因し、額における電位変化が耳垂よりも大きいために生じるものと思われる。さて、いま、精神性発汗部位である母指末節掌面では変化が生じないものと仮定すると、SPL(P-Ab)には前腕掌面の陰性電位の減少のみが現れることとなり過分極性の変動が生じなければならない。然るにSPL(P-Ab)

であることから「差がある」と解釈した。
以下の脚注では上式と同様にt値と自由度
および危険率を記述する。

- <3> $t(25)=0.75$ ($p>0.2$)
- <4> N波： $F(2, 4)=1.18$ ($p>0.25$)
P波： $F(2, 18)=0.43$ ($p>0.25$)
- <5> $t(26)=3.82$ ($p<0.001$)
- <6> N-P波形： $t(47)=2.38$ ($p<0.05$)
P波形： $t(31)=1.97$ ($p<0.1$)
- <7> $t(35)=1.62$ ($p>0.1$)
- <8> $F(2, 18)=6.86$ ($p<0.01$)
- <9> $F(2, 4)=18.53$ ($p<0.01$)
- <10> $t(43)=2.62$ ($p<0.02$)
- <11> $t(43)=1.49$ ($p>0.1$)
- <12> $t(52)=0.38$ ($p>0.5$)
- <13> 60 deg/s と 120 deg/s：
 $t(16)=2.63$ ($p<0.02$)
60 deg/s と 180 deg/s：
 $t(16)=2.85$ ($p<0.02$)
- <14> $t(16)=0.27$ ($p>0.5$)
- <15> $F(2, 4)=0.22$ ($p>0.25$)

表 3 動揺不快刺激等によって生じる皮膚電気現象 2 章および 3 章の実験結果を簡略にまとめた。持続性不快感に対応して SPL の脱分極性変動および SRL の抵抗減少が観察され、一過性不快感には SPR (P-Ab) の P 波の振幅が対応を示した。

	記録部位	長時間強度不快刺激	長時間緩徐不快刺激	短時間強度不快刺激	音 刺 激 等
SPL	F-A	過分極 - 脱分極性変動 (50%) 脱分極性変動 (20%) 快復時に刺激前のレベルへ復帰	脱分極性変動 (71%) 変動開始は不快感より幾分早期 快復時に刺激前のレベルへ復帰	脱分極性変動 (38%)	音刺激：過分極性変動 (2/11)
	P-A b	脱分極性変動 (80%) 過分極 - 脱分極性変動 (5%) 快復時に刺激前のレベルへ復帰	脱分極性変動 (75%) 快復時に刺激前のレベルへ復帰	脱分極性変動 (48%)	音刺激：過分極性変動 (9/11) 静止時の頭部前屈運動： 過分極性変動 (2/5)
SRL	F-A	抵抗減少 (100%) 変動の開始は SPL と一致 快復時に必ずしも復帰しない	抵抗減少 (54%) 変動の開始は SPL より遅い 快復時に復帰しない例が多い	抵抗減少 (67%)	音刺激：抵抗減少 (3/11)
	P-A b	抵抗減少 (80%) 変動の開始は SPL よりやや遅い 快復時の復帰は顕著でない	抵抗減少 (79%) 変動の開始は SPL より遅い 快復時の復帰は遅い	抵抗減少 (86%)	音刺激：抵抗減少 (11/11) 静止時の頭部前屈運動： 小さな抵抗減少 (2/5)
SPR	F-A			数例に小さな SPL	
	P-A b	コリオリ刺激の繰返しで徐々に減少		刺激強度を増すと P 波の振幅が増大。コリオリ刺激を繰返すと小さくなる。	

でも脱分極性の変動が記録されたことから、精神性発汗部位にも陰性電位の減少が生じ、その変化は前腕掌面よりも大きいものと考えられる。SPLは発汗とは相関しないので、SPLの変化が精神性発汗部位にも生じることはMcClure et al.⁸⁾の結果と矛盾するものではない。一方、対照として音刺激を被験者に与えた時には、覚醒レベルの高揚に伴ってSPLの過分極性変化が見られたが、この反応はSPL(F-A)に比べてSPL(P-Ab)に多数観察された。また、不快刺激の終了後に被験者が眠気を催した例がかなりあったが、この時には居眠りと目覚めの周期に対応してSPL(P-Ab)に変動が生じた。これらのことから、覚醒レベルに関係する反応は精神性発汗部位に優位なものと思われる。不快感に伴うSPLの脱分極性変動は一般体表面にも同様に生じているので、これは単に覚醒レベルの低下を示すものではなく、異なるメカニズムによって生じる反応と考えられる。

持続性不快感に伴ってSRLに生じた抵抗減少も、額-耳垂間および母指末節掌面-前腕掌面間で同様に観察された。SRL(F-A)の抵抗減少から一般体表面に抵抗減少が生じていることは明らかである。しかし、SRLは電極装着部位2箇所 of 皮膚抵抗を直列結合したものとして測定されるために、SRL(P-Ab)の抵抗減少は前腕掌面の皮膚抵抗のみの減少に起因するという可能性を否定することは出来ず、精神性発汗部位である母指末節掌面の皮膚抵抗の変化の有無に関しては本実験からは不明である。一方、音刺激に対してはSRL(F-A)に比べてSRL(P-Ab)に抵抗減少が多数記録されており、覚醒レベルの変化は精神性発汗部位に優位に現われるものと思われる。

4-2 SPRと一過性不快感

本研究の3章の実験で、コリオリ刺激による一過性不快感に対応してSPR(P-Ab)の生じることが観察された。額-耳垂間にはSPRは生じず、母指末節掌面-前腕掌面間にのみ見られることから、この反応は精神性発汗部位にのみ生じるものと思われる。

さて、一般にSPRにはN波形、N-P波形およびP波形の3種類の波形が観察されており、刺激の強

度を増すに従ってN波形、N-P波形、P波形の順に出現するようになると考えられている^{13~15)}。本研究ではSPRはN-P波形あるいはP波形を示した。不快感を伴わない静止時の頭部前屈運動ではSPRの出現頻度は低く、特にP波形はコリオリ刺激時に比べて低頻度であった。しかし、コリオリ刺激に応じるSPRでは、身体の回転角速度を大きくして不快刺激を強めた場合にも、その波形に有意な差異を見るには致らなかった。

しかし、本研究の結果は、回転角速度が大きくなるに従ってP波の振幅は有意に増大し、N波の振幅は120 deg/sと180 deg/sで小さくなることを示した。刺激強度とSPRの振幅との関係について、SPRがN波形を示す場合では、刺激強度が大きい程N波の振幅は大きいことが知られている^{13,17)}。ところが、刺激がさらに強くなると、P波が加わって(N-P波形)N波が次第に小さくなり、P波のみが大きくなる(P波)^{13,18)}。上記の結果はこの刺激強度と振幅との一般的な関係を示していると言える。ただし、不快感を伴うコリオリ刺激時のSPRと不快感を伴わない静止時の頭部前屈運動によって生じるSPRとでは、N波の潜時には有意差がなくP波の潜時のみが有意に異なっており、SPRを刺激強度と一義的に対応させることは出来ない。

SPRの振幅にはSPLも関係しており、SPLの陰性電位が大きい(過分極)程SPRのP波は大きくN波は小さくなり、逆にSPLの陰性電位が小さく(脱分極)なる程SPRのP波は小さくN波は大きくなる^{13,19)}。さて、実験Iでコリオリ刺激を繰返すと持続性不快感が増大し、SPLが脱分極性に変動した。一方、個々のコリオリ刺激による一過性不快感は順を追って減少し、それに伴ってSPRの振幅も小さくなった。実験Nでもコリオリ刺激の順を追ってSPRのP波の振幅が小さくなり、さらに回転停止後のSPRも回転前と同じ刺激に対するものより小さくなった。ただし、N波の振幅は変化しなかった。これらの結果は上に述べたSPLとSPRとの関係に矛盾するものではないが、SPLに大差の生じない場合でもSPRの振幅が小さくなることから、この振幅が小さくなる現象はむしろ慣れ^{3,13)}によるものとするのが妥当であると思われる。

SPRのP波は、刺激の回転角速度を大きくするに従って振幅が増大し、コリオリ刺激の繰返しで順を追って振幅が小さくなっており、一過性に生じる不快感の大きさとよく一致した。また、その潜時が静止時の頭部前屈運動によって生じるSPRのP波の潜時と有意に異なることから、不快感に関係した反応であることが示唆される。一方、N波は120 deg/sと180 deg/sの回転時に振幅が小さくなるのみで、一過性不快感の大きさと対応は明確でなかった。さらに、コリオリ刺激によるN波と静止時の頭部前屈運動によるN波の潜時に有意差がないことから、これらのN波は刺激の種類に関係しない非特異的な定位反射であると思われる。よって、SPRのN波、P波の2成分は、それぞれ汗腺および表皮の活動に起因すると考えられている^{13,15)}ことから、精神性発汗部位の表皮が一過性不快感に対応した活動を示すものと思われる。

5. おわりに

本研究では動揺不快感とSPL, SRLおよびSPRとの定性的対応が調べられ、量的にも対応する可能性が示唆された。

動揺不快刺激によって生じる持続性の不快感に対応して、SPLの脱分極性変動とSRLの抵抗減少が観察された。温熱性発汗部位では両反応が生じ、SPLの変動は精神性発汗部位にも生じると考えられた。SPLが刺激終了後の快復期にも不快感の推移によく対応して刺激前の電位レベルに復帰するのに対し、SRLでは復帰しない例が多数見られた。一方、覚醒レベルに対応するSPLおよびSRLの変化は精神性発汗部位に優位であった。

また、一過性の不快感に伴って精神性発汗部位にSPRが観察され、SPRのP波の振幅が不快感の程度と量的にも対応することが示唆された。尚、温熱性発汗部位では顕著なSPRは観察されなかった。

本稿を終るにあたり、不快感を催す実験にも拘わらずご協力戴いた被験者の方々に感謝の意を表したい。また、計測部人間工学研究室岡部正典室長には多岐にわたってご助言を戴いたことを付記して謝意に替えたい。

参 考 文 献

- 1) Reason, J.T. and Brand, J.J.: Motion Sickness. Academic Press, London, 1975.
- 2) Graybiel, A. and Lackner, J.R.: Evaluation of the Relationship between Motion Sickness Symptomatology and Blood Pressure, Heart Rate, and Body Temperature. Aviat. Space Environ. Med., 51: 211—214, 1980.
- 3) McClure, J.A. and Fregly, A.R.: Effect of Environmental Temperature on Sweat Onset during Motion Sickness. Aerospace Med., 43: 959—967, 1972.
- 4) Tanaka, S.: The Influence of the Labyrinthine Stimulus upon the Movement of the Uterus. Pract. Otol. Kyoto, 51: 838—853, 1958.
- 5) Reason, J.T. and Graybiel, A.: Changes in Subjective Estimates of Well-being during the Onset and Remission of Motion Sickness Symptomatology in the Slow Rotation Room. Aerospace Med., 41: 166—171, 1970.
- 6) Graybiel, A., Wood, C.D., Miller, E.F. and Cramer, D.B.: Diagnostic Criteria for Grading the Severity of Acute Motion Sickness. Aerospace Med., 39: 453—455, 1968.
- 7) Suri, K.B., Crampton, G.H. and Daunton, N.G.: Motion Sickness in Cats: A Symptom Rating Scale Used in Laboratory and Flight Tests. Aviat. Space Environ. Med., 50: 614—618, 1979.
- 8) McClure, J.A., Fregly, A.R., Molina, E. and Graybiel, A.: Response from Arousal and Thermal Sweat Areas during Motion Sickness. Aerospace Med., 43: 176—179, 1972.
- 9) Hill, J.: The Care of the Sea-sick. Brit. Med. J., Oct.—Dec., 802—807, 1936.
- 10) 南山堂医学大辞典, p.1011, 南山堂, 東京, 1978.
- 11) Leiderman, P.H. and Shapiro, D.: Studies on

- the Galvanic Skin Potential Level: Some Behavioral Correlates. *J. Psychosomat. Res.*, 7: 277—281, 1964.
- 12) 新美良純, 渡辺尊己, 堀忠雄: ヒトの皮膚電位活動の睡眠深度との対応. *日本生理誌*, 30: 231—244, 1968.
 - 13) 高木健太郎: 皮膚, (飯島宗一, 入沢宏, 岡田節人編) 岩波講座現代生物科学10 組織と器官, pp. 413—453, 岩波書店, 東京, 1977.
 - 14) Wilcott, R.C.: Palmer Skin Sweating vs. Palmer Skin Resistance and Skin Potential. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 55: 327—331, 1962.
 - 15) Shaver, B.A. Jr., Brusilow, S.W. and Cooke, R.E.: Origin of the Galvanic Skin Response. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 110: 559—564, 1962.
 - 16) Martin, I. and Venables, P.H.: Mechanisms of Palmar Skin Resistance and Skin Potential. *Psychol. Bull.*, 65: 347—357, 1966.
 - 17) Lang, A.H.: On the Physiological Significance of the Amplitude of the Endosomatic Galvanic Skin Reaction (GSR) in the Cat. *Acta Physiol. Scand.*, 73: 151—160, 1968.
 - 18) Nakayama, T. and Takagi, K.: Two Components Involved in Galvanic Skin Response. *Jap. J. Physiol.*, 8: 21—30, 1958.
 - 19) Wilcott, R.C.: The Partial Independence of Skin Potential and Skin Resistance from Sweating. *Psychophysiol.*, 1: 55—66, 1964.

既 刊 報 告

TR-870	極低温ポンプの二相吸込性能試験 The Performance of a Cryogenic Pump for the two-phase flow Condition	1985年 8 月	山田 仁, 長谷川 敏 渡辺光男, 上條謙二郎
TR-871	半円柱の臨界レイノルズ数前後における風圧分 布風洞実験および関連特性 Wind-tunnel Investigation on the Pressure Distribution and Deduced Characteristics of Semi-Circular Cylinder in the Vicinity of Critical Reynolds Number	1985年 8 月	滝沢直人, 岡田典秋 岩崎昭人
TR-872T	On the Convergence of the Finite Element Solution of a Nonlinear Crack Type Problem in Finite Elasticity	August, 1985	Kunihiko OHTAKE
TR-873	翼型まわり遷音速流の粘性・非粘性干渉計算法 A Viscous-Inviscid Interaction Method to Predict the Aerodynamic Performance of Airfoils at Transonic Speed	1985年 8 月	松野謙一
TR-874	高温風洞における非平衡現象と窒素酸化物の生 成 Nonequilibrium Effects and Production of NOx in High-Temperature Wind Tunnels	1985年 9 月	松崎利一, 平林則明
TR-875	HMX添加コンポジット推進薬に関する基礎的 研究とその実用化 The Fundamental Study of HMX Composite Propellant and its Practical Application	1985年 9 月	HMX推進薬研究会
TR-876	超音速自由飛行試験法による飛しょう体の空力 特性の研究 Research on the Aerodynamic Character- istics of Vehicles by Free Flight Testing at Supersonic Speeds	1985年 9 月	河本 巖
TR-877	常圧焼結窒化けい素のねじり強さ Torsional Strength of Pressureless-Sintered Silicon Nitride	1985年 9 月	藤沢良昭, 松末勝利 高原北雄
TR-878	光パルス式ディジタルトランスデューサの研究 Study on the Digital Position Transducer with Optical Time-delay Pulse	1985年 9 月	真柳光美
TR-879	中空ファンブレードの衝撃強さに関する基礎研 究 Fundamental Investigation on the Impact Strength of Hollow Fan Blades	1985年 9 月	池田為治, 宮地敏雄 祖父江 靖

航 空 宇 宙 技 術 研 究 所 報 告 880 号

昭和 60 年 9 月 発行

発行所 航 空 宇 宙 技 術 研 究 所
東京都調布市深大寺東町 7 丁目 44 番地 1
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182
印刷所 株 式 会 社 実 業 公 報 社
東京都千代田区九段南 4-2-12
