

宇宙空間における視覚安定性に関する研究

代表研究者：古賀 一男（名大・環境医学研究所・宇宙医学実験センター）
協同研究者：間野 忠明（名大・環境医学研究所）
木田 光郎（愛知学院大学文学部）
太田 芳博（名大・環境医学研究所・宇宙医学実験センター）
辻 敬一郎（名大・文学部）
後藤 倬男（名大・文学部）
苅阪 良二（愛知学院大学・文学部）

要旨

1 G空間における人間の視空間構造特性は常に重力に規定されているが、低重量環境下においては、自分の体軸をリファレンスとすることで全ての作業空間を規定することができる。宇宙空間におけるヒトの順応過程を行動科学的に考察する時、視覚的認知、眼と手の協応動作、眼と頭部・頸部の協応運動などに重力の果たす役割を考察しなければならないがこのことが本研究の目的である。この研究はヒトの宇宙空間における順応過程の研究の一環として大局的に位置付けることができる。無重力空間では、1 G下において常に重力で上下関係を規定されているものにとって、垂直方向の自由度が増大する、すなわち空間が垂直的に拡大したといえるかもしれない。一方、後頸筋の筋電図活動のうち、重力に依存する反射性活動は無重量下では顕著に低下乃至消失するが、大脳からの下降性指令による活動と、視標追跡時における眼球運動との共同活動は無重量下でも影響されがたいことが予想される。

この実験では、すばやい眼の動きである、衝動性眼球運動 (saccadic eye movement) ではどのように変化するかを明らかにした。部を固定しない状態で、眼で物を見る動作に際しては、眼球と頭部の共同運動が出現する。例えば右方の物を見る場合には眼球と共に、頭部が右方へ回転する。頭部を固定した状態での視標の追跡に際しては、頭部の回転運動は出現しないが、頸筋に筋活動が引き起こされると思われる。このような視標追跡時の頸筋（僧帽筋）の筋電図活動を眼球運動と共に観察し、無重量下での変化を宇宙滞在期間中の順応の観点から検討した。入手したデータは、1) 画像データ、2) デジタルデータ、3) スチール写真であった。画像データ：画像データはDRVTRに記録されたMET1, 3, 6のL-4実験中の被験者（毛利PS）の眼球の close-up, 上半身 shotであった。デジタルデータは研究室内のワークステーションによって処理した。実験結果を総合すると、1) 眼球運動は重力の有無で変化はみられない、2) 抗重力筋である僧帽筋の活動は低重力環境下で極度に抑制された、3) 眼球運動と抗重力

筋の協応運動はみられなかった，4) 低重力環境の時間経過に関する順応は顕著でなかった，5) 自己内省報告には空間識の混乱を思わせる記録が残されていた。6) 飛行後の行動と被験者の感覚には一致しないところがあった。このような結果を総合的に考察すると，知覚系（視覚，前庭）からの入力と運動系，特に抗重力筋を中心とした運動系の協応動作系は，初期の低重力環境下においては調和しておらず，そのことはヒト自身意識したり認識できていない，あるいは誤って認識している可能性が示唆されるものと思われる。

序論

宇宙空間におけるヒトの行動を考察する時，その特異な環境下における視覚的認知 (visual cognition) や，作業時の眼と手の協応動作 (eye-hand coordination)，あるいは眼と頭部・頸部の協応運動などに地上 1 G 下の場合と微妙に相違するものがあることが予想される。この課題は，ヒトの宇宙空間における順応過程の研究の一環として大局的には位置づけることができるが，実際の作業を考察してみると測定，遠隔操作に係わる様々な人間-機械系の困難で解決されなくてはならない課題がある。このプロジェクトには 1981 年より著者等が参画しその後何回かの延期を経て 1992 年 9 月に実施された。

ヒトは直接的に重力をセンスする前庭感覚から以外にも間接的に重力を知覚することもできる。ベッド上に仰臥して身体を傾けると，下側になった体表面にかかる圧を体性感覚によって自分の身体の傾きとして知覚することもできる。間接的ではあるが，目から得られる視覚情報によってさえ重力の存在とか方向を知ることでもできる。視知覚はいちばん間接的な重力の情報入力感覚器官でありながら，その圧倒的入力情報量の多さによりそこから受ける重力情報量は全ての感覚器官のうちで最大であると言って良い。また視知覚には「恒常性」という極めて合目的的な機能が備っており，我々の視覚世界をいっそう複雑なものにもしている。一方体性感覚や筋からの入力と関節の屈曲による深部感覚等々の異なった感覚情報が求心性に入力され，それがヒトの外界の知覚の成立に大きく貢献しているだろうことも一方では想像に難くない。またこれら異種感覚間入力の統合された認識は常に合目的に働くばかりとは限らないことも事実である。十分に学習された機能は単一の感覚器官からの入力（視覚性入力）だけによって自動的に動き出すプログラムなどが，例えば誘導運動と呼ばれる複合的感覚錯誤がその典型的な例としてあげられる。かつて宇宙船内の狭隘なキャビン空間にクルーを押し込めて身体の自由もままならなかった時代には，「宇宙酔い」といわれる現象などはほとんどおこらなかったと言われているが，彼らの生活空間が狭隘なキャビンから開放され重力のない空間で 3 次元的に自由度を増した時，突然のように「宇宙酔い」といわれる一過性の症状が出現するようになった。この宇宙酔いの発生機序については，いくつかの仮説が提唱されているが，最も説得的な仮説は，各種感覚器官，特に視覚と耳石からの入力情報の内容が，地上と異なる状況におかれた

ために、感覚間の mismatch（感覚の混乱）がおこるといふ仮説と、地上 1 G のもとでプログラムされた運動-感覚系の制御系が突然の低重力環境下において十分に作動しないといふこれも mismatch が仮説される。宇宙空間における視覚安定性という研究は、このような自己中心の垂直軸と物理的垂直軸が一致しない環境下でのヒトの空間認識に係わる諸問題を、地上でプリプログラムされた行動の最統合の観点から検討しようとしている。

宇宙実験に至るこれまでの研究と経過

宇宙空間における視覚的安定性の研究を実行に移すまでには様々な研究の背景と実験的研究の経過があった。ここではそれらを手短かに記述しておきたい。

1) 眼球運動の測定に係わる技術的問題

眼球運動の測定に関して常に問題となるのは、眼球の動き（廻旋点に対して眼球がどのくらい回転したか）が、測定結果の出力（実際の物理的視角値）とどのような関係にあるのかという点に関してである。一般には、両者の関係は、一次線型関数関係にあることがのぞましい。またそのほうが測定する側にとってもデータの二次的処理に際して問題が生じにくいと考えられる。もしそのような関数関係が前提条件として仮定可能なら、眼球運動の計測に際しては、測定前の較正值から推定されたパラメータにより実測値に対して一次線型変換を施してやることで実測値の補正は簡便に可能である。しかし、様々な理由によって実測値が、仮定される眼球の運動量を確実に一次線型関数でとらえ得ないケースがある。このことは、測定方法のいかなを問わずに生ずる問題であり、光学的測定方法、あるいは電気生理学的測定方法（EOG 法）のいずれの方法においても同様に問題となる。仮に一次線型変換が仮定できなくても、両者の関数関係が既知であれば、測定値の変換は可能である。先に述べた様々な理由とは、例えば、光学的な方法では、眼球の様々な形態上のパラメータ（角膜曲率、眼球内廻旋点等に関するもの）の個人差と測定時の測定機器の設定条件に起因するものが大部分であるといえる。あるいは、EOG 法では、眼球の周辺に配置した電極の各対の相対的位置関係によって、増幅結果の振幅が大きく異なったり、あるいは水平・垂直への各出力が相互に干渉しあったりすることがある。これらは、測定する側からいえば測定時に解決すべき性格の問題であるという論理も正しい見解である。しかし測定の実際においては、ある程度までチューニングが可能であるとしても、幾分かは測定誤差のようなかたちで残存するものがあることもまた事実である。

我々の研究室においてはさまざまな方法で眼球運動を測定してきたが、これまでに述べた問題を測定後の処理によって解決しようとする試みがなされてきた。（古賀 他, 1981, 古賀 1983）。また、眼球運動の測定方法論を中心に研究する研究者たちによってもさまざまな努力がはらわれてきた (Carmody, et. al. 1980,

Sheena & Borah 1981). これらの試みは多くの場合、得られたデータがいったん計算機によって digital化されているケースに限られている。またそのような場合には、測定値の変換が容易であることも事実である。ここで報告する試みも同様な研究の延長線上にあるものであり、さらにデータ取得時の状況において、実験者が被験者と時間・空間を同時に共有できないことを余儀なくされているという特殊な条件が加わり、そのためにもデータ取得後の二次変換が必須の要件であった。ここでは EOG 法を用いたデータにより normalization (規準化)を試みたのでその手順に関して、方法とデータ変換の実際について述べてみたい。ここでは、ひとりの被験者の個人内変動、あるいは、データの規準化を目的とすることが主目的であったことと、予備実験の性格を目的としていたため、実験は、ひとりの被験者(85802M)から数種類の異なったデータ点を記録しそれに対して規準化の試みをおこなった。EOG 法による眼球運動の測定は直流増幅器(NIHON-KOHDEN, Nystamograph,)を用いた。電極は、同社製の小型 Ag・AgCl 不分極皮膚電極をもちいた。電極糊は、K⁺系の分極抑制力の強いもの(TDK 株)を用いた。記録は、データレコーダ(TEAK, SR-30)に収録し、解析は、電子計算機(MELCOM-70/10)上で AD-converter 経由により数値化をおこなった。数値の変換と規準化は全て、同計算機により実験後おこなった。被験者は、被測定眼(右眼)の上下に二対の、さらに両眼の水平位置に二対の電極を配置してそれらのクロス・コンビネーションによりデータを取得した。この水平・垂直の各二対の電極配置位置は、各一对がかなり正確な位置に、他の一对は意識的に偏位した位置におかれて、意図的な偏位記録をおこなった。被験者は、電極貼付ののち約 10 分間程度の aging をおこなったのち、測定位置についた。視覚刺激は、CO²レーザー(NEC 株) 0.5 mW を用いた。レーザー光を二対の直角に配置された galvano-mirror(NEC-SANEI)で 1.2m 先の等距離・等質スクリーン上に導き MELCOM-70/10 の DA-converter 出力により光点の生成位置をプログラマブルに制御した。被験者に与えられた視覚刺激は二種類に分類される。一つは測定前の較正用の連続した光刺激と、他のひとつはそれに続く固視・飛越眼球運動を含む 8 種類の刺激パターンであった。被験者にとってこの二種類の刺激の区別はつかないが、前者は測定前の較正用刺激パターンで第一眼位から 6 方向にベクトルを違えた光刺激を各 2 秒間ずつ呈示し、その間の安定な一秒間のデータを較正用のデータとして取得した。図-2 により較正用の刺激布置、およびテスト用の固視刺激パターンをしめす。ひとつの session は、一回の較正と 8 種類の固視およびパターン視(trial)からなっていた。各 session ,trialの前には必ず一回の増幅器の強制的なダイナミックレンジの 0-調整がおこなわれた。各 trialsessionの開始、および強制的 0-調は被験者自身が両手に持ったボタンを押すことで被験者自身の任意の時点で行うことができた。刺激呈示、較正刺激呈示の時間制御は、MELCOM-70/10 の DA-converter からの出力を EOG の出力とともにデータレコーダに収録して、後のデータ解析時の割込み信号とした。

いったんデータレコーダーに収録された EOG出力は、アプリケーションプログラ

ムによって、AD-convert され、較正值データ、計測データおよび ID 共に FLD に収録された。その後、このデータは、さらに別のアプリケーションによって規準化がなされた。規準化の手続は以下のとおりである。各 session, trial で強制的 0-調をおこなってはいるが、規準化の各段階で生ずる原点ずれを補正するために、必ず毎回原点への引き戻し作業をおこなった。規準化の第一ステップは水平・垂直の各出力毎に、較正時の固視標の物理的視角値と EOG 出力との間の最適関数関係をもとめることであった。一般に、出力値と物理的視角値の間には一定の範囲内では、一方向性の関係が仮定されるので、この関数関係についても、いくら fitness がよくても実情に合わないものは恣意的にこれを排除した。結論的には、3次の関数までで fitness は満足すべき結果が得られた。さらに水平・垂直各出力の、電極貼付位置の不整合による出力の相互チャンネルへの電位の混入が補正された。これは、記録の水平・垂直の各成分を単独で分析するときは、余り気にならないが、両者を合成出力させた時には、その僅かの不整合が顕著に露見するものである。補正の原理は、較正の物理的刺激の水平成分・垂直成分と、それに対応する EOG 出力の同成分との勾配差をまずもとめた。さらにその値を各成分へのクロストーク成分として相互に勾配差を乗じたものをキャンセル成分として加えることで補正をおこなった。すべての作業は、graphic display との対話形式でおこなわれ、最適の fitness に至ったところで作業をうちきった。現在は出力の XY-Plotter 出力が利用可能である。

正規化を行った結果では、原データで EOG 出力の水平成分が垂直成分にくらべて magnitude でかなり大きく、また電極貼付位置の不整合（垂直対の位置が内側に傾斜している）が明瞭にあらわれている。一般にこのような例では magnitude の補正のみでは、二次元的方向ずれの修正までは不可能であり、先にのべた第二ステップの規準化の手続が必要となる。結果的には規準化はある程度成功していると考えてもよいと思われる。例えば、測定中第一眼位への飛越眼球運動が常に drift を伴いこれが前述の規準化では補正しきれなかった例はかなりの頻度で測定中に生ずるもので、規準化というよりも、補正という範疇の手続で今後解決しなければならぬ問題である。この現象を、飛越眼球運動に随伴して生起する一時的で急速な直流成分の変位と分類することができるなら、その他に比較的長い時間にわたって生起する一方向性のゆっくりした直流成分の変位がもう一方の異なった範疇にはいるものとして観察される。今回の報告では、このような drift 成分に関する補正については言及しなかったが、今後避けることのできない課題であると思われる。

2) 眼球運動が運動知覚に与える影響 - 1

ヒトが外界の環境から感覚器官を通して情報を摂取する方法には種々の様式がある。とりわけヒトの視知覚がもつ情報処理能力には極めて高い水準での多様性と処理能力が備っており、それらの機能分担の解明、神経径路の特定、相互機能

の連関の研究は現在精力的におこなわれている。視知覚の研究を進めて行く時に、眼球運動にかかわる研究は、感覚器及び運動効果器としての二重の機能が重疊していることを峻別して注意しておく必要がある。前者は、外界を直接知覚するものであり、その感覚器としての特性を考慮しなければならないが、一方後者は、それを効率よく運用していくための手段としての運動系であるといえよう。感覚機能が十分に機能し得る条件が失われた時、例えば感覚器としての機能の閾値を越える刺激入力があった時、あるいは他のモダリティーからの外乱入力があった時に感覚の錯誤あるいは、異常が生ずることも事実である。錯視現象や、前庭からの過剰入力による感覚異常はその格好の例といえるだろう。一方ヒトの知覚を効率化するもののなかで、眼球運動が深く関与するものとして、静止網膜像, saccadic suppression等があげられる。前者は、眼球の微細な運動が常に知覚の感覚閾値を低下させる格好の例であり正常な知覚に欠くべからざる眼球運動の寄与である。後者は急速な眼球運動中の不用な入力をキャンセルするために知覚の閾値を上昇させる合目的なメカニズムであるといえる。ここでは、眼球運動が視感覚に対して直接的に影響を与えていると思われる一つの特異的な例を示すことで、眼球運動の感覚系への影響の新たな側面を推測してみた。

刺激：Parks, T. の用いた駱舵の刺激図形をスリット越しにグリッドとともに Apple-II の Display に生成して被検者に提示した。(刺激図形の詳細については、高橋、坂田) スリットの中は 7mm, 6mm, 5mm (0.94°, 0.81°, 0.67°, visual angle; 以下 va と略記), グリッド間隔 7mm, 5mm (0.67°, 0.94°, va) を変数にして各条件で 90 秒観察させその間の眼球運動を EMCC 法 (Koga & Osaka,) によって測定・記録した。視距離は右眼前方 425 mm。較正は水平 310mm (40.07° va), 垂直 240mm (31.53° va) でおこなった。図柄のサイズは 4.37° × 6° va で図柄間の距離は 4.37° va であった。実験条件はスリットの中 (65, 7, 6, 5mm) 条件 × グリッド間隔 (7, 5mm) 条件 (4 × 2) の直交配置を行った。刺激図形のうち, target となる駱舵の移動速度は 5.4° /sec で提示された。なおスリットなしで 60 秒間観察させる条件を特に slit-off として統制条件とした。図-1 で使用された視覚刺激を示す。被験者：被験者は 85801M, 85804M, 85805F の正常視力をもつ成人男女 3 名であった。各被験者ともにこの種の実験の被験者の経験はなかった。計測に先立って 1) スリット越しに駱舵の一部分通過して行くのが見えること, 2) 計測中は自由にどこを視認してもよいこと, 3) 計測の障害となる瞬目をできるだけ我慢すること, 等をあらかじめ教示した。

各実験条件ではきわめて特徴的な眼球運動の記録が観察された。図-2 で各被験者の眼球運動の例を示す。各被検者共に、各視覚刺激条件毎の感覚量の差異は明確でなかった。しかし、スリット内に図柄が見えている時には、グリッド間の中が広く、あるいはグリッドの通過速度が速く知覚される報告があった。この知覚的印象は既に報告されている Parks, Anstis & Atkinson, Rock & Halper) 等の報告と一致するものであった。図柄となる駱舵がスリットの右端に出現した時に

それと対応した時点で、水平成分に特徴的な fast-phase, slow-phase の optokinetic nystagmus (OKN) が観察された。さらに詳細に記録をみると眼球運動は saccade(s) fixation(f), smooth pursuit eye movement(sp) の 3 種類にカテゴリーライズされることがわかる。OKN の各成分に関して fast-phase では、target 出現時からの潜時とその振幅, slow-phase ではその duration, 振幅およびその速度, 等に関して各被検者, 条件毎に比較した。スリット, グリッドの各条件で有意な差は見出されなかったが, 眼球運動の slow-phase の速度と図柄に随伴して移動するグリッドのみえの感覚量との間に一定の関連性があるという事実がわかった。図柄がスリットの背後を通過する時には, 微細だがしかし明確な複数の saccade がどの条件でも観察された。このことは saccade に起因する saccadic suppression が retinal image を分断し, 極めて短い時間であるが視覚情報を失わせている可能性が示唆される。一方, smooth pursuit eye movement は丁度, 輪転機で網膜上にスリット越しの駱舵の像を展開していくことに例えられる。この時, slow phase の pursuit の速度をみると, スリット条件ではいずれも図柄の物理的な移動速度 ($5.4^{\circ}/\text{sec}$) より遅い ($3.9 - 4.78^{\circ}/\text{sec}$) ことがわかる。このことは網膜上で retinal slip がおこっていることを示している。視認対象物と眼球の相対的速度が仮に正なら retinal slip は網膜像を短縮することになり, 負なら長大化させることになる。同じく表-1 で slit-off 条件の pursuit 速度をみると, この時は, 眼球が target となるべき駱舵の動きにほぼ完全に同調しており ($5.65, 5.85^{\circ}/\text{sec}$) target の速度 $5.4^{\circ}/\text{sec}$ とほとんど変わらないといつてよいであろう。この時 retinal slip はほとんど無いと考えてもよく, 網膜上の target の像はほとんど物理的なサイズに等しく再生・展開されていると思われる。

これらの結果を総合すると次のような現象が網膜上で生起していると考えられる。スリット上に target となるべき視対象があらわれている時, 眼球運動は saccade と smooth pursuit eye movement を繰り返しており, この時, saccade は saccadic suppression によって網膜像を分断し, 視認対象より遅い速度の smooth pursuit eye movement が retinal slip を生起させながら網膜像を引き伸ばす方向に作用する。この時の saccade と smooth pursuit の trade-off はこの実験からは確定的とはいえない。網膜上のグリッドの像は眼球運動と同方向に移動するため retinal slip があるにしても網膜上での相対速度はかなり遅くなっていることが予想される。一方, スリット上に図柄が視認されていない時, 眼球はスリットのあたりで次の target が現れるまで固視 (fixation) を持続させている。この時, 網膜上には本来の物理的速度で, つまりほとんど静止した網膜上をグリッドだけが移動し続け, これは, 先の smooth pursuit 時の相対的速度に比較してかなり速い速度感覚を起こさせるに違いない。このような一連のリズミカルな眼球運動の繰り返しが, 自発的ではなく視覚刺激そのものによって他動的に引き起こされ, それが motion perception を結果的に変容させていると考えることができそうである。もしこのことがさらに詳細な実験的手続によ

て確認されるなら、眼球運動自身が知覚を変容させるひとつの新しい知見を与えることになるものと思われる。今回の実験で先にのべた、視覚刺激の size 問題のほかにもうひとつ解決しなくてはならない問題がある。それは retinal slip が生じた時の像の 'みえ' が果たして安定的であるかどうかという問題である。機械的に考えるなら網膜上でずれをおこして、いわゆる blur の状態がおこり、明確な知覚が成立しないのではないかという疑問が残る。さきの問題と合わせてさらに詳細な実験が必要と思われる。

3) 眼球運動が運動知覚に与える影響 - 2

運動する対象物の運動印象に眼球運動が大きな修飾を加えることが示された。最初の報告(古賀 他)では刺激図形としてスリット視実験状況下におけるスリットの背後を通過する主図形(駱駝)に対する眼球運動の smooth pursuit eye movement の相と、スリット近傍に眼球が停留している fixation の相との違いで、同じスリット越しの副図形(移動する連続格子)の運動印象に明確な違いのあることが確認された。この時、副図形の運動印象を大きく変えている主要因のひとつとして眼球運動にその原因があることが示唆された。このことはさらに別の実験でも確認された(古賀 他, Koga et al.)。実験では先の実験と同じく Parks の駱駝とスリットの視覚刺激を用いたが、主図形と副図形の運動方向を相互に逆方向に動くようにかえた。この場合予想された運動印象は、先の実験と異なって、主図形に逆行する移動格子縞の運動印象が smooth pursuit 中と fixation 中では fixation 中にむしろ遅く、そして追視中には逆に速く知覚されるだろうというものであった。運動印象はこの仮定を満足する結果を示した。一方、眼球運動は主、副図形共に追視する極めて複雑なパターンを示した。被験者の運動印象を時間経過に添って記録せずに、実験後の印象としてだけ記録したことに対して異論を唱えるむきもあり、即ちそれは眼球運動と運動印象との時間的対応関係が取れてない以上眼球運動が運動知覚や運動印象に修飾を与えたと断定はできないという批判であった。しかし刺激図形の観察時に他の付加作業を行なわせたり、あるいは何か他の比較刺激を提示して二次的な付加作業を与える事は、そのこと自体が運動印象に変化を与える公算が強く、このことに関する議論は見解の相違を見ただけに終わった。しかし正当な示唆としては、刺激図形と眼球運動の緩徐相の間の関係をより明確にするために PST-histogram を検討すべきだというものがあつた。現在この点に関しては新しく実験をおこなうことで検討を行う予定である。この他に、スリットと主図形の両方を相互に異なった速度で運動させることで被験者の眼球運動がどのような様相を呈するのかについて実験と報告をおこなった。眼球運動はスリットに単純に追従する相と、スリット中の駱駝(主図形)を走査する(時としては、それまでの追視方向とは逆行する追従性眼球運動も見られた)相とがみられた。この逆向性追従眼球運動は極めて重要であると思われる。スリット内の刺激図形に対する自発的な探索行動を示すのがこの逆向性眼球運動であり、このことが先の実験でみられた副図形に対するいはば二次的な運動印象の変化を

もたらした原因であったものと思われる。ここで更に問題とされたのは、眼球運動が運動する視覚刺激に影響を与えるのはスリット視条件の場合に限られるのかという議論であった。スリットを除いた、いわゆる一般的な知覚実験で使用される刺激提示状況下で運動刺激を観察した時に生じた2種類の眼球運動 pursuit eye movement と fixation (厳密には3種類の眼球運動が観察された; pursuit eye movement, saccade, and fixation) が刺激対象の運動印象に影響を与えたとしたなら、スリット視条件でなくとも、そのような眼球運動をおこさせる刺激を呈示すれば、同様の運動印象の変化が生じるはずである。我々はスリット・オフの条件下において様々な刺激を呈示し、その時の眼球運動と視覚刺激の対応関係を検討した。スリット視条件の時と同様に眼球運動の smooth pursuit eye movement 成分及び fixation 成分の違いとが視覚刺激の運動印象に直接的な影響を与える結果が得られた。この実験では被験者の運動印象の変化を被験者の反応によって時間経過に添って記録した。被験者の運動印象と眼球運動の対応関係はここでも明確に確認された。ここでは、これ迄のべた幾つかの実験に加えて、更に相対運動(誘導運動)を起こさせる刺激を用いて、被験者の運動印象と眼球運動の対応関係を検討した。

視覚刺激の呈示方法はこれまでの実験と同様に graphic display comtec-2555 を MELCOM-70/10 の制御により生成した(古賀)。眼球運動の測定もこれまでと同様に第1プルキニエ像の自動追跡法による EMCC 法によりおこなった(Koga)。運動印象の変化は被験者が運動印象に変化が生じた時に時間的経過を追って眼球運動、刺激運動と共に記録した。視距離60cmのディスプレイ上の中央に直径2.5mmの白い小点を2個、間隔2.5mm離して生成した。この小点のうちひとつを胴側方向に4.0mm/sで6.5秒間水平方向に動かすか(Uni-lateral Target Movement),あるいは両方を同時に2.0mm/sの速度で6.5秒間動かすか(Bi-lateral Target Movement)をそれぞれ50試行づつ計150試行をランダムに呈示した。(図-3)被験者の視覚刺激追視としては1)自由視条件,2)右側のみの強制追視条件,3)左側のみの強制追視条件の3条件を負荷した。被験者の課題は教示に従って刺激を観察すること,及び2つの小点がどちらの方向へ動いたかということに関して運動印象(速度と方向の両方)に変化があれば変化のあった方向の反応キーを押すことであった。

滑らかに移動する視覚刺激を観察した時の自由視条件,眼球運動を右側の刺激に強制的に着目させたもの,同じく左側に着目させたもののうち右側方向へ強制的に視覚刺激を追視させた時の眼球運動の記録を図-4に示す。刺激呈示条件(右,左,双方)×被験者の判断(右,左,双方,双方が交代で運動する)×眼球運動の種類(視覚刺激と同側方向への滑動性眼球運動,反側方向への滑動性眼球運動,交代性の滑動性眼球運動,連続した固視,交代性固視)に分類して比較した。全反応中の運動方向と速度を正しく判断しなかったかあいまいな反応の割合は,自由視条件,強制追視条件のそれぞれで32%,26%(図-5)であった。

つまり全反応のうち、1/3から1/4程度正しい運動印象（運動知覚）を持てなかったことになる。正しい速度の判断ができなかった場合を更に眼球運動のパターンで分類してみると、自由視条件では固視が滑動性眼球運動を大きく上回り、強制追視条件下では固視する場合に誤った判断を行なうことが多かった。誤反応に関しては、その他の眼球運動のカテゴリー間で顕著な差は見られなかった。正反応に関しては眼球運動のモダリティーに差が見られなかった。実験中の被験者の運動印象では、明らかに眼球運動の影響による運動印象の変化と思われるものとうでないものとの両方が確認されたが、眼球運動の固視と追視のいずれがより効果的かに関しては今回の実験では確認できなかった。

3) 眼球運動が運動視覚刺激の運動軌跡に与える影響

これまでは眼球運動が視覚的運動刺激の運動量に対する修飾の程度についての実験的検討を加えてきた。（古賀他;1987, Koga 1987, Koga et al., 1988a, 1989）ここまでにわかったことは、1) 眼球運動のなかでも滑動性眼球運動成分は当該運動視覚刺激が網膜上に固定されることによる当該運動刺激以外の視覚刺激（運動刺激, 非運動刺激を問わない）の相対的運動量が過大に、あるいは過少に知覚される(Koga, 1988b⁵⁾), 2) Saccade 成分が運動知覚の一部を抑制する可能性がある, 3) そのような運動知覚の non-veridical な知覚は static な視覚刺激（刺激図形とよばれるもの）に関してよく知られているのと同様な知覚的な錯誤を生じさせやすく、その主たる原因を、眼球運動に求めることがより合理的であること等であった。最初に著者らがこのような眼球運動の運動知覚に対する修飾を確認したのは、いわゆる Parks によるスリット視刺激に工夫をこらした運動刺激と眼球運動の対応関係（temporal synchronization）の刺激事態が最初であった。ここでは眼球運動の固視相と主刺激に誘発された滑動相との間で、網膜上に映じた副刺激の retinal slip の量の違いが刺激の veridical な移動速度を変化させ、それが速度感を変化させた、という因果関係が議論された。ここでは研究では、運動刺激に対する眼球運動の寄与の程度を言語的に教示する方法を避ける為に、スリット視という手法を用いたが、このことがスリット視という特殊状況でのみ生起するのではないことを示す為に、スリットを用いない状況下で、2個の相対的に運動する小光点の移動方向、移動速度の異同を眼球運動の測定と同時に行ない、先の実験と同様なメカニズムが働くことを確認した。（Koga & Groner, 1989⁴⁾）運動刺激の方向の誤認は緊密に眼球運動の滑動性成分のベクトル（方向性）と対応していることが再び確認された。速度成分を含めた運動ベクトルの誤認、誤判断の生起率は、運動刺激の方向条件を全て含めても60%を越えており、即ち veridical な判断は偶然の確立レベルにまで落込んでいることになる。重要なことは、眼球運動の滑動性成分と運動刺激の網膜上での移動ベクトルの相対的な速度関係が他の運動刺激の運動印象を、スリット無しでも確認できたという点である。

ここでは、スリットを無付加の実験状況下で単一の運動視覚刺激を生成し、①運動のベクトルを既知の方向に変化させた場合と② そうでない場合において i) 運動刺激の運動の〈見え〉がどのように変化するかということ、ii) およびそれが眼球運動とどのような因果関係にあるかということを検討することを目的として実験をおこなった結果を報告する。

運動刺激の生成は、高速2次元GD, COMTEC/2555(DAIKIN)を MicroVAX-II(DEC)により DRV11-WA インターフェース経由で制御して行なった。固有の運動ベクトルをもつ運動刺激は、 $\phi 5\text{mm}$ の白色小光点を 60mm/s の速度で運動させた。刺激の輝度は 7nit 、背景輝度が 1nit であった。①運動の方向は、方向による差異の検討を兼ねて、i)水平2方向(右→左, 左→右) ii)垂直2方向(上→下, 下→上)の4方向を設定した。②運動方向の変化は、運動時間の midpoint でおこない、i)水平方向の場合は上下2方向のいずれか、ii)垂直方向の場合は逆に水平2方向のいずれかの方向におこなった。③また刺激のベクトル変節点と方向を被験者に対して呈示しない i)未知条件、ii)反射板の呈示で示す既知条件の2条件を設定した、各セルの試行数は15試行で全体として1人の被験者に対して160試行を呈示した。被験者は健常視力を有する男女9名を用いた。被験者の反応は、①運動刺激のベクトルに veridicalな運動がみられなかったかどうかの運動印象、②その時に同時に測定記録した第1プルキニェ反射の自動追跡法による2次元的眼球運動(水平/垂直)の両者により行なった。反応は全て PCM データレコーダに記録される。眼球運動の記録は従来行なわれている方法に準じて、線型化のための較正を試行ブロックごとに行なった。

眼球運動の retinal slip 成分が運動刺激の速度成分のみならず方向成分まで規定している結果が得られた。Fig.2 で被験者の運動刺激に対する知覚印象を示す。運動ベクトルの変換点が明示された場合には、ターゲットの運動に先立って眼球運動が先行して滑動性成分を示し、ターゲットより先にベクトル変換点に到達し、そのまま停留している。眼球運動にやや遅れてターゲットが変換点に到達し、運動ベクトルを変えたあと、眼球運動は一定の潜時を経て先行する運動ターゲットを追視している。即ち、運動するターゲットが方向ベクトルを変えている間眼球運動は固視を継続しているわけで、この間運動刺激は網膜上に物理的絶対座標を維持し得る関係にある。このことは運動印象の veridicality を増加させるのに寄与する成因而してかなり重要なものと思われる。図-6で眼球運動と運動刺激の対応を示す。一方、運動刺激のベクトル変換点が明示されない場合、被験者は運動刺激の時間的/空間的な情報が得られてないことで、滑動性眼球運動の方向ベクトルを変更する為の確実な時間的/空間的 cue が得られないことになる。従って物理的なターゲットの運動に対する追視は多くの場合連続的で、ベクトル変換点に関しては時間的/空間的に常に正の潜時を示す場合が多いことが予想される。即ち、このことは眼球運動の滑動性成分のベクトルと運動刺激のそれとが直交することが頻発することを示している。この時網膜上には両ベクトル

の合成成分が一時的にはあるが軌跡を残す事になり、これが視覚的に知覚されたとすればターゲットの運動の veridicality は大きく修飾され、網膜上に描かれた相対的運動軌跡が知覚されることになり図-6に示すような運動印象を得ることが合理的になる。図-7ではターゲットに対する運動ベクトル変換時前後の潜時を、図-8では運動刺激のベクトル変換点が明示された場合の眼球運動の例を示す。図-7、8では、眼球運動と運動印象のデータが整合性をもっていることが示されており、運動対象に対して相対的に運動する眼球運動によって知覚が大きく修飾されることを示している。現在定量的な分析を行っているが報告は後にゆずる。

4) パラボリックフライト中の眼球、頭部協応運動

我々は、1 G環境下で生活を営んでいるが、日常的に耳石器官や三半器官などの平衡感覚器官からの入力の変化を直接的に意識しているわけではない。むしろ2次的な感覚入力系、たとえば筋の緊張、体性感覚、視覚入力の変化などが、重力の変化を感知するするのに重要な役割を担っている。このような複合的感覚入力の相互的協応関係が低重力環境下でどのように再体制化されていくのかを検討する為に、パラボリックフライト中 ($10^{-2}G$) の眼球/頭部協応運動を分析してきた。繊細な行動を示す眼球運動の計測に関しては、これまで数多くの計測装置の開発が行われてきた。開発の初期においては測定方法として接触的方法を採用していたが、眼球という器官そのものが感覚情報処理のかなり大きな部分を占めていることの重要性等から、かなり早い時期に光学的方法による非接触的測定方法でありながら高い精度でその運動を測定し得る方法が要求されてきた。

一方頭部運動はそれ自身の3次元的自由度が3次元全ての軸にあり、また眼球の運動に比較してかなり粗大な尺度でしか測定できないという、幾分誤解にも似た測定に対する態度があって、非接触的方法による精度の高い測定はなおざりにされてきたといつてよい。

我々は短時間の低重力環境下における頭部/眼球の協応運動を検討する為に、小型航空機によるパラボリック飛行による実験を重ねてきた。この間、幾つかの測定装置が実際に用いられてきたが、それぞれのデバイスには長所と短所があり、先に述べたような測定器開発の遅れもあって最適の測定機器を得る事が困難であった。幾つかの測定方法についてその概略と限界を述べ今後の指針としたい。

i) 小型3軸加速度センサーによる頭部運動の測定

比較的多用される方法として直交3軸に組合せた小型軽量の加速度センサーユニットがある。最近では比較的安価ではあるが精度もある程度保障されたセンサー(例えば三菱油化(株); SUPER-G, G-1A)が入手できる状況にあることも手伝って、かなり一般的な測定手段といつてよいだろう。測定値は加速度で得られるが、そ

の値はあくまでも、① 測定軸に平行にかかった加速度を検出する事と、②重力軸に対する傾きによって重力加速度を変数として測定しないことが絶対の条件となる。パラボリック・フライト中の眼球／頭部運動の測定では、HPx が X-軸方向の頭部加速度を2回積分して位置情報に変換した値を示しているが、低重力期間中にほとんど出力がみられないことが多い。これは、本来頭部運動の緩慢さが増大していることにもよるのだが、ここに示されるほど頭部位置の変位が得られないという訳ではない。これは、急速な重力変化によって(2.4G → 0.0G)頭部方向に浮上した被験者がVOR測定用の固視点を深く見降ろすような姿勢をとることになり(0Gの初期にトランジェントな変化が観察される)、その後測定軸が頭部運動を検出する軸に離反した位置まで偏位したことによるアーチファクトと考えたほうがより説得的である。いっぽう1G環境下で測定を行う時には、先に述べた重力方向成分への位置の傾きの成分がセンサーにかかる加速度以上の偏位を検知することになり、やはり自由度の大きい頭部位置の測定には不向きであるといえる。

ii)超音波センサーによる2次元投射法による頭部位置情報の測定。

次に超音波センサーを用いた頭部位置の測定方法についての試みを述べる。超音波センサー、および同レーザーの組合せによる1次元測距装置装置はそれほど特殊なものではない。ここでは一次元の回転角度の測定として2個の受信センサーと1個の発振器の組合せを考える。(村田製作所;MA40E1R/S)発振器は固有の周波数(40-45KHz)を一定の発振強度勾配(音圧レベルで-74dB以上)をもっているが、受信機も同様である。1次元 - 線状に配置した2個の受信機の間で発振器の角度を変えると、受信センサーのいずれか一方が強い感度を持つ。この出力を整流し更に作動増幅すれば1次元の回転角度情報が得られる。2対4個の受信センサーを直交配置し、頭部に発振器を装着すれば水平／垂直方向の回転角が2次元平面内で得られる。加速度センサーによる計測例でみられたほど極端ではないが眼球運動に比較して頭部運動の出力が少ない事がよくわかる。この計測方法の問題点は、発振器-受信器の感度分布がお互にピーク値を前後する位置関係になった時急速な感度の変化が生じる点にある。ピークポイントで5-8Hz程度の低周波発振波がみられるが、これはおそらく発振器と受信器の感度分布がピーク位置あたりにあって、体動による前後値を拾っているものと考えられる。ピーク値以内で使用する場合には問題はないが、指向性のないセンサーの開発が待たれるところである。この他にセンサー固有の性質として発振器以外からの特発的な外乱を受けやすいこと、気流の影響を受けやすい事、温度変化に敏感な事などが問題点として残る。

iii)光学的ポジションセンサーによる計測

光学的ポジションセンサー(HAMAMATSU F. C-2399)は半導体位置検出素子(PSD)を用いた投射型2次元位置検出装置である。この素子の特徴は、素子自体が検出能力を持っているために、走査によるデータの読取りの必要が無いために応答速

度が速く、連続した高速の位置検出に適している。素子を組みこむ形態として、パルス発光と同期して計測するアクティブ型と直流光源を検出するパッシブ型があるが、ここでは後者を用いた。センサーブロックは 150g 程度と軽量で、これを先の超音波発振器／受信器測定装置と同じ支持装置で光源部と共に被験者の背面に固定し、頭部に装着した一様な濃度勾配をもつ反射板を用いて計測をおこなった。パラボリックフライト中の水平方向に頭部運動を行った時の眼球、頭部協応運動を、位置およびその微分値による速度成分で示してみると、この測定方法は極めて安定的に頭部位置情報を2次元的に記録することができるが判る。しかし、実験室外における測定時に光による外乱が致命的な測定誤差につながる危険性が大きい。

以上3者の計測の実際と比較を行ったが、光による外乱を防止すれば光学的ポジションセンサーを用いる方法が圧倒的な測定精度を示すものと思われる。次にこれらの方法による重力を変数とした VOR-gain の変化を検討してみる。

1988年2月のパラボリック飛行では、EOG法による眼球運動の計測、および超音波位置計測装置による頭部位置変位量の計測をおこなった。眼球、頭部協応運動は両者のゲインを指標にして検討した。パラボリックフライトでは低重力前後に2-2.5Gの過重力期が過渡的に存在するが、これもパラメータとして検討した。過重力期→1G→低重力期のそれぞれで水平、垂直方向ともに0.5Hz以下においてゲインの低下が認められた。位置データでみる限り重力条件で振幅の変化は見られないのだが、速度成分では顕著にその差が認められた。ゲインの値が垂直方向で1.2-1.3とやや高いが、頭部運動が能動的であることに起因する現象かもしれない。今後の検討課題といえる。図-9で測定結果の一部を示す。

FMP T / S L - J 宇宙実験

〔実験方法〕

低重力環境下においてヒトの視覚的安定性がどの程度保持されるか（崩壊するか、順応するか、回復するか）という過程を、搭乗科学者の眼球運動と頸筋の筋活動から検討を加える。搭乗科学者のサッカドと固視を electrooculogram 法 (EOG)により記録し、僧帽筋による抗重力筋の活動を electromyogram 法(EMG)によって測定した。眼球運動の記録はこれまで1G条件下において様々な実験条件を加えて測定されてきた。今回の測定ではシャトルのオービター上と同様の実験条件で記録を行なうことと、そこで得られたデータを基礎にしてミッションでのデータとの両者間の差異について比較検討をおこなう。地上1G重力下では、重力に拮抗して頭頸部と肩の姿勢保持に重要な役割を担う後頸部の抗重力筋（僧帽筋など）の活動が、上位中枢（大脳）からの下行性指令と、末梢の感覚受容器

(前庭器官, 筋紡錘, 腱器官, 皮膚・関節受容器など)からの求心性入力による反射により引き起こされる。このような抗重力筋の中樞性活動と末梢性(反射性)活動の各々が無重量下ではどのように変化するかを明らかにすることが本実験の具体的な目的である。頭部を固定しない状態で, 眼で物を見る動作に際しては, 眼球と頭部の共同運動が出現する。例えば右方の物を見る場合には眼球と共に, 頭部が右方へ回転する。頭部を固定した状態での視標の追跡に際しては, 頭部の回転運動は出現しないが, 頸筋に筋活動が引き起こされると思われる。このような視標追跡時の頸筋(僧帽筋)の筋電図活動を眼球運動と共に観察し, 無重量下での変化を明らかにすることが第2の目的である。この実験データをもとに, 無重量下における頸部の抗重力筋活動の変化を知ると共に, この筋活動の調節機構と, これに及ぼす重力の作用を明確にすることも重要な目的である。

[装置/被験者/手続き]

(装置)

眼球運動及び筋電図の記録には所定の皮膚上に表面電極を装着して, 生体用前置増幅器を用いておこなう。眼球運動測定用皮膚表面電極の装着では, 認識番号が表示されている電極を所定の位置に確実に装着する。その位置は①→左眼外眼瞼角, ②→右眼外眼瞼角, ③→右眼眼窩上縁, ④→右眼眼窩下縁, である。筋電図記録用皮膚表面電極の装着は, ①→左僧帽筋, ②→同僧帽筋上で①の電極から2cm.下, ③→右僧帽筋, ④→同僧帽筋上で③から2cm.下, ⑤→②の電極の下方2cm. (アース電極)におこなう。各電極の装着に際しては, 皮膚をアルコール綿でよく拭き脱脂すること, 筋電用前置増幅器の増幅率の決定, 筋収縮をさせて増幅率を決定し記録が確実になされていることを確認する, 眼球運動記録用直流増幅器のチューニング, 直流増幅器に関しては, DC オートバランスをとり, DC レベルを調整すること, 眼球運動は眼前の固視標の点滅に従って追視をおこなうが, その時の固視すべきパターンは予めプログラムされておりそれに従って追視をおこなうこと, 筋電図は正立位および体位変換時における自発性活動の変化, および視標追視時における活動の変化を眼球運動と同時に記録すること等が分析された。図-10で FMPT/L-4 実験における被験者の電極取り付け位置を, 図-11で実験室内のレイアウトと身体頭部固定装置をそれぞれ示す。地上統制実験ではセンター内に設置してある全周体位傾斜装置, レーザースキャニングジェネレーター, 同装置制御用汎用ミニコンピュータ, ニスタモグラフ, 汎用生体アンプ, PCM-データレコーダ, 及び汎用 AD-conversion/PC 装置一式等を用いた。被験者は搭乗科学者(MM, CM, TD)であった。

(手続き)

実験手続きは, 各種電極を装着の後手順に従って EOG, EMG 記録用専用が開発された不分極電極(日本光電三栄機)を被験者の所定の位置に取り付けた後に, ①身体, 頭部の固定, ②電極の装着とアンプ出力の確認, ③眼球運動位置出力の

確認, ④実験本体の実施(体位の変換を含む), ⑤実験の終了, ⑥次実験の準備, の順序で実験を行う。被験者である搭乗科学者とGサポート側である(POCC; Payload Operation Control Center)の実験管理側との接触は②のフェーズだけで可能であってその他は全て前もって自動的にプログラムされた実験専用の制御用 ROOM から行なわれた。被験者が視認すべき視覚刺激のパターンは, 1)1点固視(10秒) 2)水平/垂直サッカード課題(1秒間隔), 3)水平/垂直サッカード課題(0.5秒間隔), 4)第3眼位サッカード課題(1秒間隔/CW) 5)第3眼位サッカード課題(0.5秒間隔/CW) 6)第3眼位サッカード課題(1秒間隔/CCW) 7)第3眼位サッカード課題(0.5秒間隔/CCW) 8)一点固視(10秒間)である。

[プレフライト・アクティビティ]

1991年からミッションの運用に関するスタッフの訓練が頻繁に行なわれるようになり, それは主としてNASA諸施設の使用に係わる訓練であった。実験研究者は今回のミッションでは主としてNASAの幾つかの施設のうちアラバマ州ハンツビル市にあるMarshal Space Flight Center(MSFC)で実験の運用と管制を行なうことになっていた。ここにも幾つかの主要な施設があるのだが, 実験期間中主として使用されるのはPayload Operation Control Center(POCC)とよばれる施設であった。POCCにもいくつかの施設が含まれるが, 主として使用するのはSOA(Science Operation Area)とよばれる管制室であった。1991年度中にはこの管制施設の総合的な使用方法の習熟, そこで使用される航空管制用語への導入オリエンテーション, 及び実験データ等のダウンリンク表示装置の使用法の習熟等が数回程度訓練期間として設定された。これらの訓練は全て日本で行なわれ, NASAのコントラクターである Teledine Brown Engineering がその任に当たった。また, 実験研究者への運用訓練とは別に1991年5月29日には日本人搭乗科学者のL-4に関する Pre-flight 地上統制実験とデータの取得が行なわれた。ここでは3名の日本人搭乗科学者が被験者となって on-board と同じ実験 configurationで眼球運動, 僧帽筋筋放電の記録を行った。この時点では最終的に3名の日本人搭乗科学者の誰が飛行実験に関与するのかということの最終的な決定は下されてなかったので, 3名ともにたいして同じ実験プロトコルを試行した。

1992年に入ると, 4月, 7月, 8月のそれぞれにおいて約2週間づつのNASA諸施設を使用してのシミュレーション訓練が行なわれた。この3回の訓練はそれぞれ, CPS#1, (Cardre, PI Simulation #1), JIS#1(Joint Integration Simulation #1)およびJIS#2であった。それぞれ実施期間は1992年4月6日~17日, 7月10日~24日, および8月6日~21日であった。CPS#1(1992年4月)では実験研究者に対する最初の general guidance, 講義, 及び実際の装置を使用した実地訓練が集中的に行なわれた。日程の後半では実際の運用の3日分をMET: 1~3までカバーして日夜兼行で行った。実験研究者は実際の運

用の時と同様に昼夜2交代でSOAに詰めNASA側の用意したinteractive scenarioに従って運用を行った。このシミュレーションがこの後のJIS#1, 2と異なる点は、シミュレーション自体がMSFC単独で行なわれた点にあり、シャトルの飛行運用と管制から切り離されていたためにシミュレーション自体はかなり簡素化されていたと言えるだろう。

JIS#1 (Joint Integration Simulation #1)は1992年7月に実行された。このシミュレーションは地理的に遠隔地にあるMSFCとJSC (Johnson Space Center)が協同して同時進行の形式でシミュレーションが行なわれた。

JSCは本来シャトルの飛行管制を行う部署であり、その為にJISではシミュレーションに組込まれたシナリオが隠された部分で一層複雑になっているものと思われた。JIS#1ではCPS#1ほど多くの初心者訓練は無かったが、コミュニケーション装置、データモニター装置、などに一層習熟することが要請された。また日米搭乗科学者、ミッション科学者等との個別の実験に関する細部の詰めに関する話合いが多く現地で持たれた。これらのことで、実験の運用に関する不明な事項は徐々に少なくなっていくものと思われる。JIS#1のシミュレーションはMET:3から5にかけてがシミュレートされた。JIS#2 (Joint Integration Simulation #2)は同じ1992年8月にJIS#1と同じ目的で実施された。実施されたシミュレーションのタイムスライスはMET:2から3にかけてであった。CPS#1, JIS#1, 2を通じて用意されたシミュレーション用のシナリオは複雑多岐にわたり、実験研究者とサポート運用隊との緊密なコミュニケーションを必要とし、更に限られた時間内で判断を下すという点では、日常的に研究室で行なわれる実験とは全く異なる印象を得た。ひとつの行為が必ず他の行為に影響を及ぼすということ、即ち極めて限定された資源(物理的、空間的、時間的)を共有しながら実験を進めるということは我々の日常の実験研究で日常的に看過されている多くの事を再認識させる結果となった。しかし一方では、遠隔操作で何人もの人手を介して行う実験研究というもの如何に非効率的であるかということも強く印象づけられた。

[実験運用およびポスト・フライト・アクティビティ]

1992年に入ってからは大別して3種類の大きなイベントがあった。ひとつは実験研究者がアメリカ現地において実際のNASA諸施設を使用した大規模な実験研究者のためのシミュレーション、そしてもうひとつは実際の実験運用であり、これは1992年9月12日から8日間24時間体制で行なわれた。もうひとつは飛行後約1か月経過してから実際に飛行を行った搭乗科学者(毛利PS)に対して飛行後統制実験を試行したことである。これは1992年10月に行なわれた。運用シミュレーションについては先にのべたが、ここでは実験運用の概略について述べる。と飛行後の統制実験データの取得については飛行前と全く同一の手続を踏んで行ったのでここでは説明を省略する。

(飛行実験の概略)

ミッションSL-Jは1992年9月12日、14:23 (GMT, 現地時間9:23) に定刻通りKSCにおいて実行が開始された。この時の launch window は9:23から12:54までの3時間20分であった。Launch に先立って9:09よりシャトル本体と実験室(space lab:SL)のsupportが開始され、POCCでの作業もほぼ同時刻に開始された。最初の予定ではSLの activation がMET:0:2, 10から4, 40を予定し、deactivation はMET6:20, 36を予定していた。また着陸は第1帰還地がKSCで9月19日05:59が予定されていた。これらの時間パラメータはシャトルの発射とスペースラブの activation を除いて後で大幅に変更されたものが多い。実験と飛行の管制に係わる全てのデータはMMU(Mass Storage Unit)にあらかじめ入力されており、これらはPOCC内の microVAX-II, MIPS の制御による utility でいかなる時にも検索可能であった。また、SLからの downlink 画像等のビデオデータはvideo matrix 経由で検索、再生、複製の製作が可能であった。管制、船上の音声も同様に voice matrix で multiple に選択、交信が可能で、検索と複製の作製も要求可能であった。ただし、スペースラブとの交信はA/G-1,2の2回線しかなく、許可無く交信することは不可能であり、2, 3段のポジションを経て必要なら uplink されるという制限が加えられていた。ビデオ映像、音声の複製要求はPDRF (Pre-launch Data Request Form)によって可能であり、non-critical な要求はRFS (Request for Service)によって実行可能であった。この他に各種の一般的な事務サービス(ファクス、清書、ランナー)、生活上のサービス、ハウスキューピング等が24時間体制で徹底的に供給された。POCC内の実験研究者、及び同代表者は、on-board の搭乗科学者の実験従事スケジュールに合わせてほぼ12時間交代で実験の管理、援助を行った。L-4 (Life Science-4; Comparative study of visual stability in cosmic space) は日本人搭乗科学者(毛利PS)自身を被験者として実験を行ったが、彼の active phase はCDTでいわゆる昼にあたる部分であり、実験研究者はその裏側(夜間)の業務担当を引受けたため、全ミッション8日中3日間はほぼ24時間勤務を行ったが、これは変則リズムによる勤務よりも疲労が少ないように感じられた。一般的な実験運用に係わる作業形態は以上のとおりであった。次にL-4に特殊な実験の概略を述べる。

L-4のミッション中における実験はMET:1, 3, 6に行なわれ、またこの間に行なわれた各実験の完遂度は、それぞれのMET毎に違いがあった。MET:0では僧帽筋の筋電図の放電の確認に操作時間を消費し、実験の一部を割愛した。またMET:6では予定外の実験を行う為に実験の一部を割愛した。割愛した実験は被験者(毛利PS)の各姿勢条件の1種類であった。表-2で割愛した条件を示す。MET:6で1種類の実験を割愛した代りに、頭部を0.5Hzで左右に5, 6回、上下に同じく5, 6回正弦波状に振らせる実験を行った。この実験は、微小重力環境下において頭部及び眼球運動の協応関係を実際に確かめ

る目的でなされ、今後の微小重力実験への展開を試みる試みであると位置付けることができるだろう。しかしこのような巨大プロジェクトにおいて実験スケジュールの一時的、変則的、変更は許可されないのが通例であるが、今回は実験手順の変更ということではなく、筋電の放電確認という理由を上げてextraの実験を強行した。しかし、自分自身の本来の実験条件を割愛したことでタイムライン上に他の実験、特に今回は重複した実験装置を多く使用するためにシリーズに配置されたL-10に対しても全くインパクトを与えなかったのは幸いであった。

飛行実験の成果と今後の解析の計画

飛行中データが実験研究者に完全なカタチで入手できたのは1993年2月であった。飛行実験後約6ヵ月後であった。このことは実験運用の当初から予定されていたことであってこの事自体に問題はない。しかし、マーシャル飛行管制センター内POCCには地上サポート設備としてリアルタイム・ダウンリンク用のモニター装置があり、PI側からこの装置にPI側から持込むPCMデータレコーダを接続して収録させて欲しいという要求を強く希望したのだが、このことは宇宙開発事業団の意向により拒否された。理由は、1)PI間の不公平を招く、2)不測の事態を招く、の2点であった。しかし我々PIはこの2点共を<科学>の見地からこれを全く容認できないと考える。PI間の不公平等という概念はもともと存在しない杞憂であり、データレコーダをストリップ・チャート・レコーダーに接続したら不測の事態が生ずるという見解に至っては全く科学とは無縁の無知蒙昧な見解であって論評する余地すらない。

実験データのオービタからPIまでの伝達経路は、実験パラメータが取得されると、1)オービタ上でDIU(Digital Interface Unit)、に一旦入力され、即座にHRM(High Rate Multiplexer)により50Mbit/sで変換された時系列データがKu-band 経由で地上に送信された。Ku-band からのデータ列は2個のTDRS(静止衛星)により米国ホワイトサンズで一旦受信され、さらに複数の国内用静止衛星(DOMSAT)にuplinkされた。DOMSATからはNASAの各施設に全く同一のデータが送信されるが、各施設で必要とするデータは様々出ある。例えば、JSCではオービタ/シャトル全体の運用中のパラメータが必要であり、JSCではペイロードに関するデータが最重要日本DECある。従ってそれぞれの施設では、リアルタイムには必要なデータだけを取得することになる。例えば我々がモニターしたMSFCの端末には実験に必要なデータのみがretrieval可能でしかなかった。我々が現在入手したデータは、ゴダード空軍基地においてリアルタイムに取得されたデータとloss中のデータを編集したあと一括してNASDAに手渡され、その後各PI毎に仕分けされたものがCSKから送付されたものと思われる。

デジタルデータは以下の様な2種類の異なる形式で入手した。ひとつは240

Of tの9 track フォーマット, no-label の逐次記録テープであり, これは主として大型計算機センターにおける処理に使用する為の媒体である. 他のひとつは MS-DOS によって読取り可能な 3.5"/2HD にフォーマットされた disk に ASCII text で書かれた同様の逐次記録データである. この媒体は主として研究室内の PC 経由でワークステーション MicroVAX-II あるいは VAXStation-3100 で処理するために必要な媒体であった. この disk には, EOG#1, EOG#2, EMG#1, EMG#2, Time cue のそれぞれがチャンネル別, session 別 (MET 毎) にマルチボリュームのファイルとして格納されていた. 2枚の読取り不能ファイルを含んだ defective diskette と timing code の変換等を含めて総計185枚の disk を受領した. オープンリール上のデータは大型計算機センターのベクトル計算機にかけられるべくファイルとしてセンターの disk に収納された. floppy disk は複数 volume 処理の繁雑さを避ける為に 1) いったん光磁気ディスクにデッドコピーされ, 2) ネットワーク経由の FTP プロトコルを用いて更に研究室内のワークステーションに転送された. 元のファイル構成は80バイトのヘッダーが付いた40バイト毎の指数形式によってパッキングされたファイルであったのが, これを独自に作製した format conversion program により2バイト単位形式のファイルに変換した. また, 入手したデータのなかで EOG#2 は正負のポーラリティが逆転していたのでそれも正常に戻した. 更に全てのデータ中には転送やその他の多くの特定できない原因による信頼性に欠ける部分にはデータフラグが立っていたが, これも全て gain を0にして処理した.

このようにして二次処理されたデータは再度PCに再転送され, 現有の処理プログラムによって必要な部分の切出し作業にかけられ飛行前後のデータと共に評価された. デジタルデータと共に入手したストリップチャート式のアナログ出力グラフが111枚あった. このチャートは3回の実験の全てのデータを概観するのに極めて有効であった. このチャートを見ると, 眼球位置情報 (EOG#1,2) は問題無く取得されていることが良く判る. 一方僧帽筋の出力は概ねノイズレベル以下で, 筋のトーンスが増幅器の増幅限界まで達しないほど無かったことを良く示している. このようにして処理された眼球運動の全データを図12a - 12b に示す. 最終的な評価と考察は現在のところ断定できないが, 地上と宇宙では明らかに運動に寄与する筋の使い方が異なっていることが確認された. 眼球運動は地上のコントロール条件に比較すると空間的/時間的にむしろ正確に行なわれていた. ただターゲットの出現時間に対する潜時は地上コントロール条件に比較するとややばらつきが大きかった. しかしこれはシャトルのラブ内でのターゲットの視認特性が実験室より悪かったことに原因が求められるようである. 一方, 抗重力筋である僧帽筋の活動は極端に抑制され, 例え自発的に頭部を大きく動かしても筋放電はほとんど認められなかった. 地上のコントロール条件でみられる眼球運動に付随して生起する等尺性運動として発火する筋活動にいたっては全く現象が認められなかった. この現象はMET: 1, 3, 6を通して一貫しており, 帰還後の再統制条件下でのデータには再び地上コントロール条件と同じ筋活動が

再現的に観察された。これらのことは、以下の様な重要な結論を導き、さらに将来の宇宙実験で検討すべき重要な案件を含んでいるものと考えられる。

1) 従来いわれていた<各種感覚系>の入力情報の不一致が<宇宙酔い>を引起こすという考え方が<感覚不一致説>として極めて有力な考え方であったが、抗重力筋と非抗重力筋の運動形態の相違に起因する筋 afferent の遠心性入力情報の不一致も重要な役割を果たしている可能性がある。

2) ヒトを含めた各種生物の微小重力環境下での行動を検討する時には、単に外見的な行動の観察と、それを記録し解析するだけでは不十分である。何故ならそのような行動を引起こす運動系の制御メカニズムそのものが全く変化している可能性が充分にあり、そのことを考慮に入れながらデータを解析する必要があるという事実が抗重力筋の不活性的活動から明らかになったからである。特に眼球、頭部協応運動測定時における VOR gain の検討は十分に注意を要する。

3) 帰還直後の被験者の主観的運動の知覚異常は、実際の行動の知覚異常ではなくて、知覚そのものの再順応過程での知覚そのものの異常である可能性が示唆されるような結果がみられた。このことは今後重力に対するトランジェントな再順応過程の分析に重点を置くことで、生物の重力に対する耐性と可塑性を検討するうえにかなり重要な事柄である。

文献

- Dichgans J, Brandt T. Optokinetic motion sickness and pseudo-Coriolis effects induced by moving visual stimuli. Acta Otolaryngol(stockh) 1973; 76: 339- 48.
- Guedry FE. Orientation of the rotation-axis relative to gravity, its influence on nystagmus and sensations of rotation. Acta Otolaryngol (stockh), 1965; 60: 30-48.
- Graybiel A, Kellogg RS. The illusion in parabolic flight: Its probable dependence on otolith function. Aerospace Med 1967; 50: 383-6.
- Howard IP, Templeton WB. Human Spatial Orientation, London: Wiley & Sons, 1966: 1-533
- Howard IP, Anstis T. Muscular and joint-receptor components in postural persistence. J Exp Psychol 1974; 103: 167-70.
- Howard IP. The perception of posture, self motion, and the visual vertical. In : Boff KR, Kaufman L, Thomas JP, eds. Handbook of Perception and Human Performance. New York: John Wiley & Sons, 1986: 18/1-61.
- Kazuo Koga The relationship between reactive inhibition and reminiscence, Psychologia, 1971, 91-96
- Kazuo Koga and Ryoji Osaka Comparison of triple recording methods of eye movement, Japanese Psychological Research, 1983, 25, 181-190
- Kazuo Koga Rhythmic micro movements of the eye, Perception 13, 1984, A14
- Kazuo Koga Unknown letter recognition and eye movements: Research note from University Bern, 1984, 1-23
- Kazuo Koga Japanese character recognition and eye movements in non-Japanese subjects, Environmental Medicine, 29, 1985, 39-46
- Kazuo Koga Can eye movement modify motion perception? in "Forth European Conference on Eye Movements", C. J. Hogriffe, Toronto, 1987, 98-100

Kazuo Koga, Tatsuro Makino, Katsuaki Sakata, and Nobuo Takahashi How can we know the veridical velocity of a moving objects? in "Eye Movement Research: Physiological and Psychological Aspects", C. J. Hogriffe, Toronto, 1988, 320-336

Kazuo Koga and Rudolf Groner Intellectual experience as a research tool in the study of cognitive skill acquisition: Japanese character recognition and eye movements in non-Japanese subjects. in "Knowledge acquisition from texts and pictures, Elsevier, Amsterdam, 1989, 279-291

Kazuo Koga, Tatsuro Makino, Nobuko Takahashi, Katsuaki Sakata, and Ryoji Osaka Stability of visual perception under the microgravity in space, in "Aerospace Science", Nihon University press, 1989, 267-272

Kazuo Koga and Rudolf Groner Pursuit eye movement and object motion perception. in "From eye to Mind: Information acquisition in perception, search, and reading", Elsevier, Amsterdam, 1990, 59-68

Kazuo Koga Eye movement modifies both target velocities and motion pattern, Perception, 19, 1990, 379

古賀 一男, 間野 忠明: 眼球運動が運動ベクトルの変化に与える影響, 環境医学研究所年報, 41, 1990, 283-285

古賀 一男, 間野 忠明 他: パラボリックフライト中の眼球運動および頭部運動の計測法に関して, 環境医学研究所年報, 41, 1990, 47, 50

古賀 一男: 3次元眼球運動測定装置の開発—新しい測定装置 ober²システムの試用—, 環境医学研究所年報, 41, 1990, 279-283

Kazuo Koga & Tadaaki Mano: The effect of the eye movements to the motion perception: Quantitative analysis, Annals of Research Institute of Environmental Medicine, 42, 1991, 238-240

Kazuo Koga: Eye movements plays important role in motion perception, Japanese Psychological review, 34, 1991, 93-120

Kazuo Koga, Tadaaki Mano, Mitsuro Kida, Keiichiro Tsuji, Takuo Goto, Satoshi Iwase and Ryoji Osaka: Visual stability in the cosmic

space: Data acquisition and on-board operation in mission SL-J/L-4,
Annals of Research Institute of Environmental Medicine, 43,1991,
69-73

古賀 一男, 間野 忠明: 眼球運動が運動ベクトルの変化に与える影響—定量的分析—,
環境医学研究所年報, 42, 1991, 238-240

古賀 一男, Yves Rossetti 他: ウエッジプリズムによる順応事態における眼と手の
運動協応, 環境医学研究所年報, 42, 1991, 241-245

古賀 一男: 眼球運動が運動知覚に果たす重要な役割, 心理学評論, 34,1991, 93-120

Kazuo Koga: Motion perception and gravity cue, Environmental Medicine, 36,
1992, 35-41

Kazuo Koga: Difficulties of Target Motion Perception in Space, in "Proceed-
ings of International Symposium on Space Medicine in Nagoya 1992",
N. Matsui and H. Seo eds., 1992, 195-201

Kazuo Koga, Tadaaki Mano, Mamoru Mohri, Hiroyuki Ohta, Mitsuro Kida,
Keiichiro Tsuji, Takuo Goto, and Ryoji Osaka: Human Space experiment
in SL-J: Preparation and conducts, Environmental Medicine, 37,1993
(In press)

Keiichiro Tsuji, K. Hayasibe, M. Hara Chick's avoidance of visual cliff
technique, Japanese Psychological Research, 14, 1972,145-150

Keiichiro Tsuji, K. Hayasibe, M. Hara A further study on the chick's
avoidance of visual pitfalls: An analysis of the cue in visual
depth perception, Japanese Psychological Research, 16, 1974, 126-131

Keiichiro Tsuji and Y. Ide Development of bilateral transfer of skills
in the mirror-tracking, Japanese Psychological Research, 16, 1974,
171-178

Keiichiro Tsuji The origin of visual depth perception: Analysis of the cue
through animal experiment, Psychology, 36, 1983, 34-41

Keiichiro Tsuji A research note on 'ecological' viewpoint in the psychology
of mind and behavior. Bulletin of the School of Letters, Nagoya

University, 111,1991, 87-101

Keiichiro Tsuji Tridimensionality in 'Ganzfeld'. Proceeding of the International Symposium on three Dimensional Image Technology and Arts (seiken Symposium 8), 1992, 125-129

Keiichiro Tsuji Observing animal behaviors. Japanese Psychological Review, 36, 1993(In press)

Keiichiro Tsuji Introductory Psychology. Hoseidaigaku-kyoikushinkokai, 1993, Tokyo,

Lackner JR. Induction of illusory self motion and nystagmus by a rotating sound field. Aviat Space Environ Med 1977; 44: 129-31.

Melvill Jones G, Gonshor A. Oculomotor responses to rapid head oscillation (0.5-50Hz) after prolonged adaptation to vision reversal. Exp Brain Res 1982; 45: 45-58.

Rock I, Halper F. A control for ocular tracking in the demonstration of post-retinal visual storage. Am J Psychol 1968; 82: 425-40.

Ryoji Osaka and Kazuo Koga Instability of ocular control during mental tasks. Annual Report of the Research Institute of Environmental Medicine, Nagoya University, 25, 1980, 18-30

Ryoji Osaka and Kazuo Koga Variation of voluntary fixation during mental tasks. in "Cognition and Eye Movement",1982, 74-83, North-Holland, Amsterdam

Shigeo Mori, Satoru Watanabe, Akira Takabayashi, Manabu Sakakibara, Sadaji Takagi, Kazuo Koga, and Shiro Usui Behavior and brain activity of carp during parabolic flight low gravity, in "Biological Science in Space 1986", Myu Research, Tokyo, 1987, 155-177

Young LR, Oman CM, Watt DG, et al. M.I.T./Canadian vestibular experiments on the Spacelab-1 mission: Sensory adaptation to weightlessness and readaptation to one-g: an overview. Exp Brain Res 1986; 64: 291-8.

Yves Rossetti, Kazuo Koga, and Tadaaki Mano Eye and hand coordination

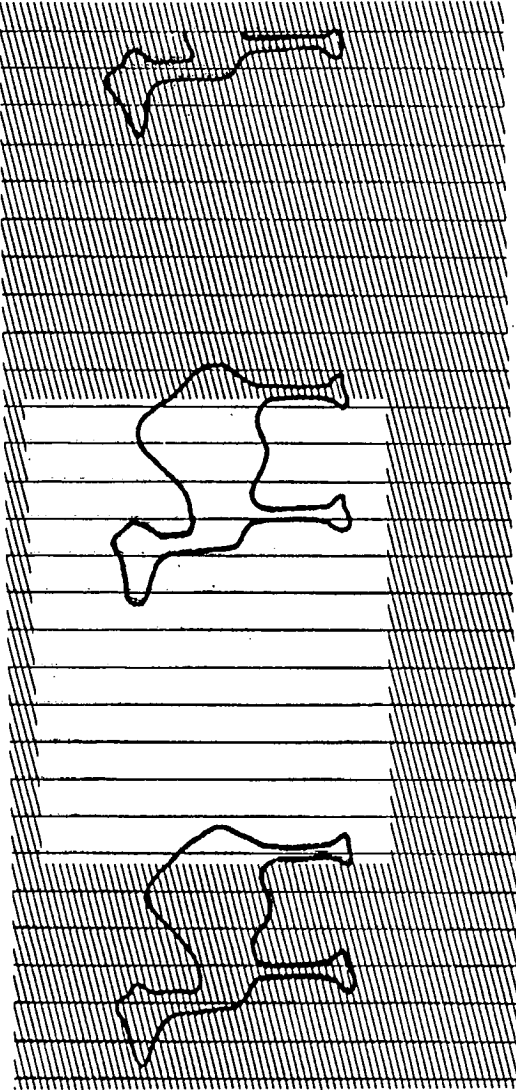
under the wedge prism application to the human subjects, *Annals of Research Institute of Environmental Medicine*, 42, 1991, 241-245

Yves Rossetti, Kazuo Koga, and Tadaaki Mano Prismatic displacement of vision induces transient changes in the timing of eye-hand coordination, *Perception and Psychophysics*, 54, 1993, 355-364

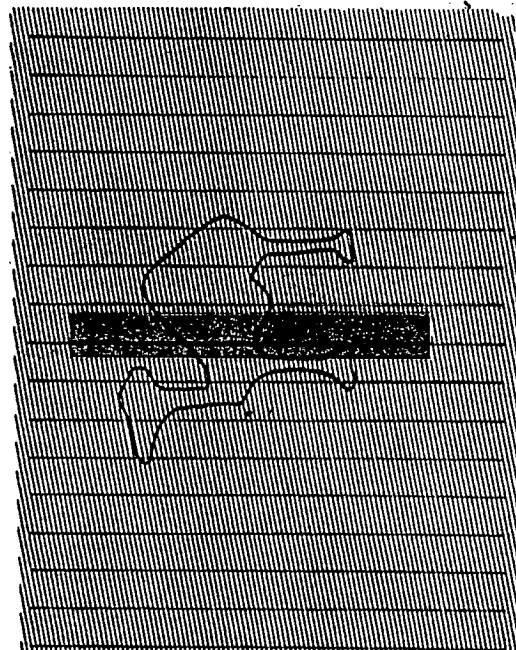
図表の説明

- 図-1 : The configuration of the moving stimuli used in the experiment
- 図-2 : The eye movements record during the moving visual stimulation behind the slit.
- 図-3 : A configuration of visual stimuli generated on the graphic display terminal is shown schematically. Two small dots were generated on the center of the display, and one of them moved ipsi-laterally at 4mm/s, or both of them moved ipsi-laterally at 2mm/s. 50 trials of each conditions (r-ipsilateral, l-ipsilateral, bilateral) were randomized
- 図-4 : Eye movements when subjects observed the target motion freely are shown. Upper panel shows horizontal eye position and lower two trace indicate each right and left target position. Filled triangles indicate subject's motion perception. The direction of them indicate the direction and temporal change of motion perception. Small dots indicates ambiguous or incorrect motion perception. Small arrows indicate temporal eye position shift accompanying with motion perception.
- 図-5 : Proportion of correct judgment for the target motion latency in each conditions are shown. In bilateral target motion condition, more than 60% responses were misjudgments or ambiguous. Even in uni-lateral conditions, 30 - 40 % of responses are false or ambiguous. Dotted bar indicates the percent frequencies of correct response under free gaze conditions, and open bar indicates the same data under forced gaze condition.
- 図-6 : The configuration of the target motion path and subjective non-veridical motion path is shown here.
- 図-7 : Percentage of the incorrect judgment and saccadic latency for the visual stimuli in each stimulus condition was shown.
- 図-8 : Typical eye movement trace pattern both under the of with-cue and without-cue conditions.

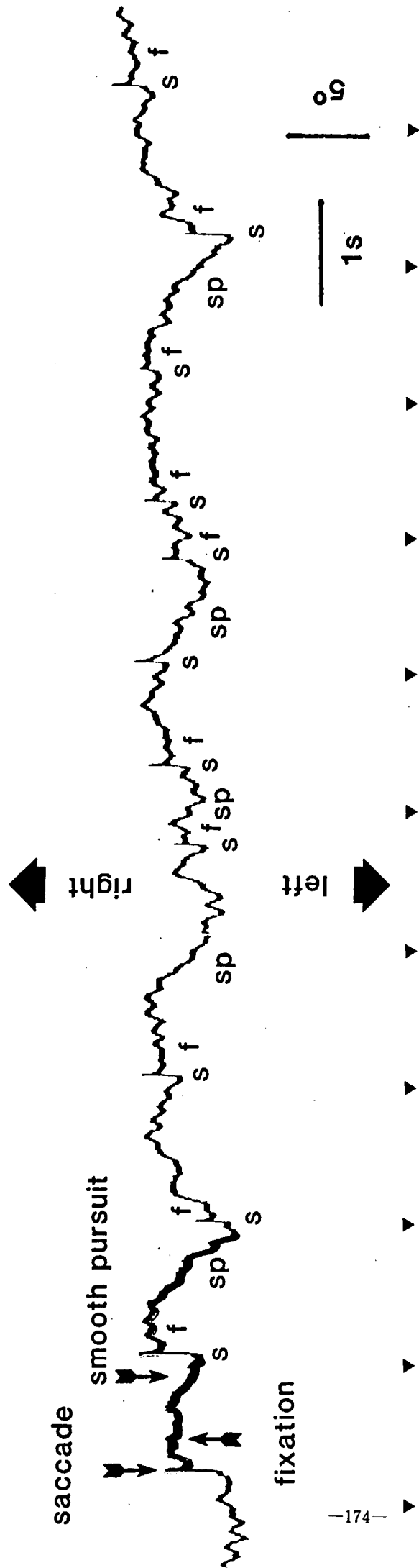
- ☒- 9 : Eye and head position measurements during parabolic flight
- ☒- 1 0 : Total configuration for the electrode attached to the JPS is indicated.
- ☒- 1 1 : The picture indicates the front view of the body restraint and Rack in the space lab.
- ☒- 1 2 a-b: Pre-flight data collection, in 1989 and 1991 and post-flight data collection in 1992 were originally scheduled for the ground base data acquisitions. In the flight experiments, three sessions were carried out (MET 1, 3, and 6) to examine the PS's adaptation processes in the microgravity. In each session, four different body postures, which had seven different eye movement tasks, were included.



slit-off condition



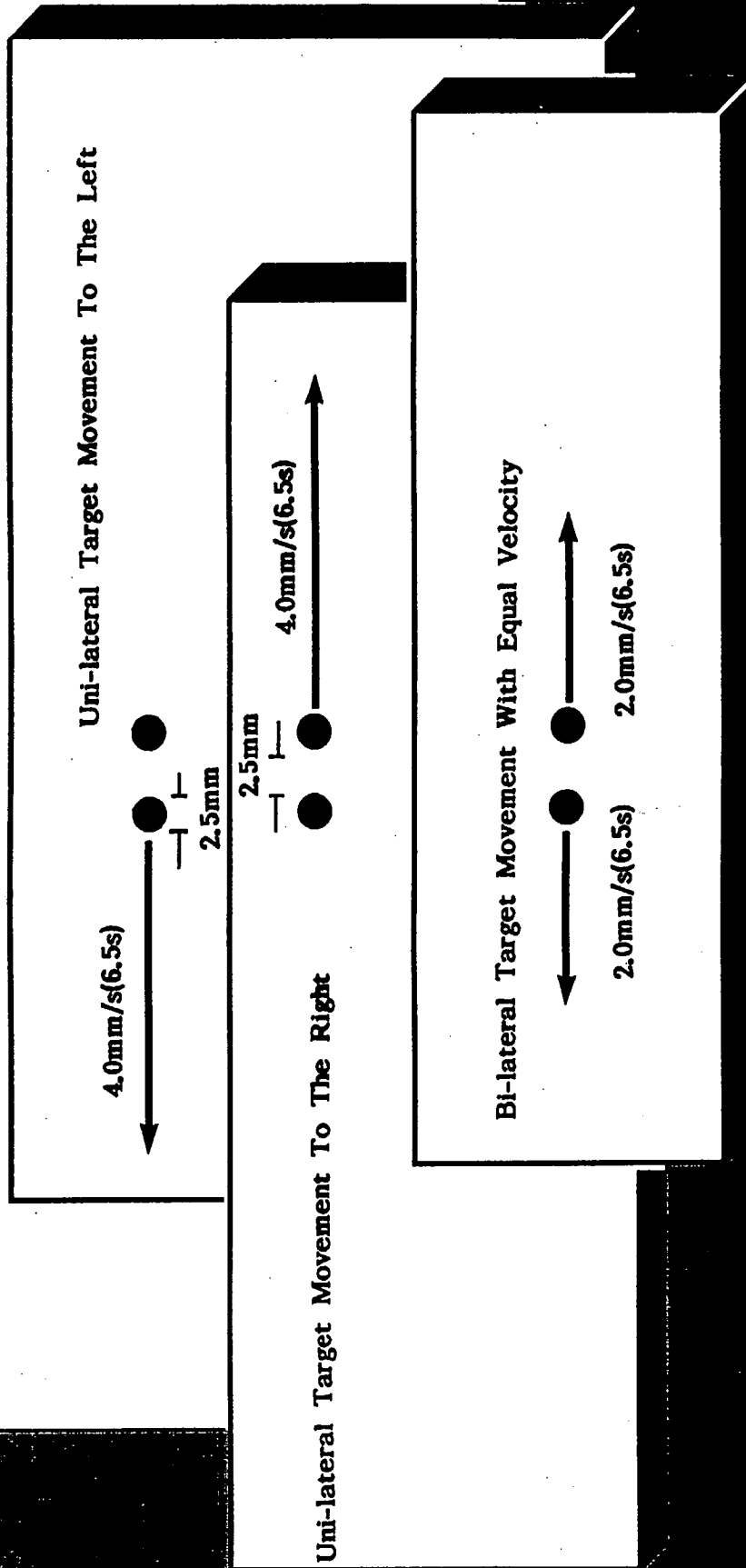
slit condition

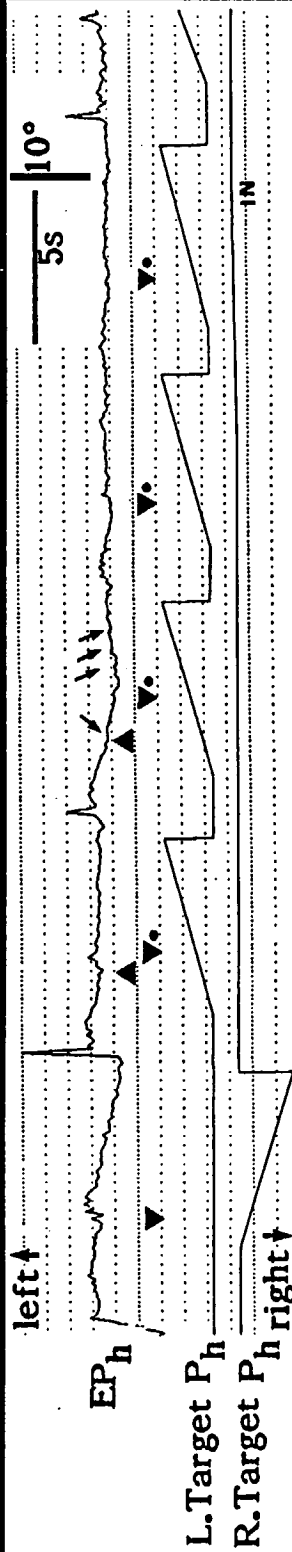
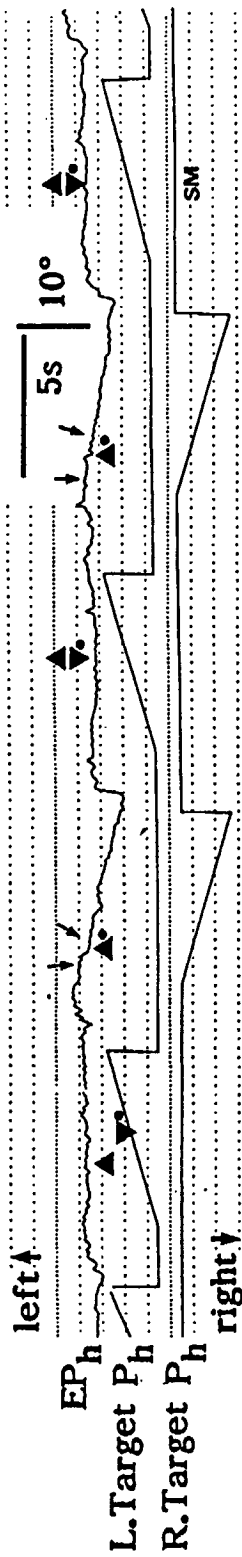
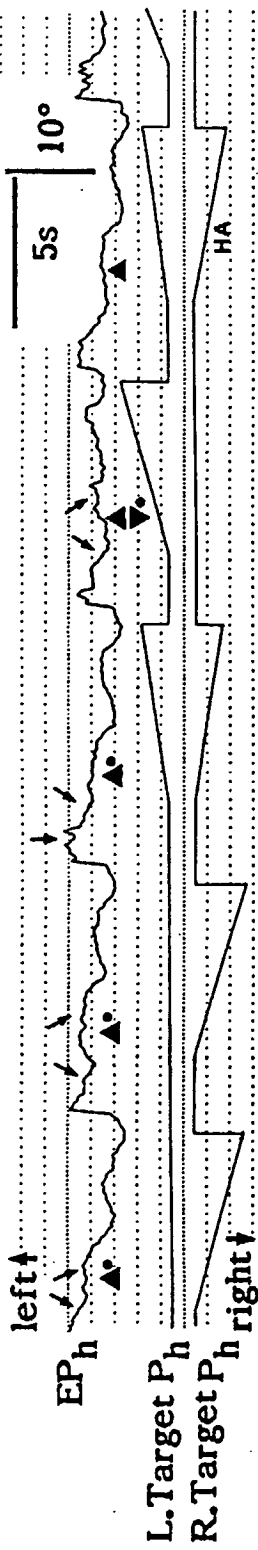


The combination of the saccade, fixation and smooth pursuit eye movement corresponding to the camel's movement.

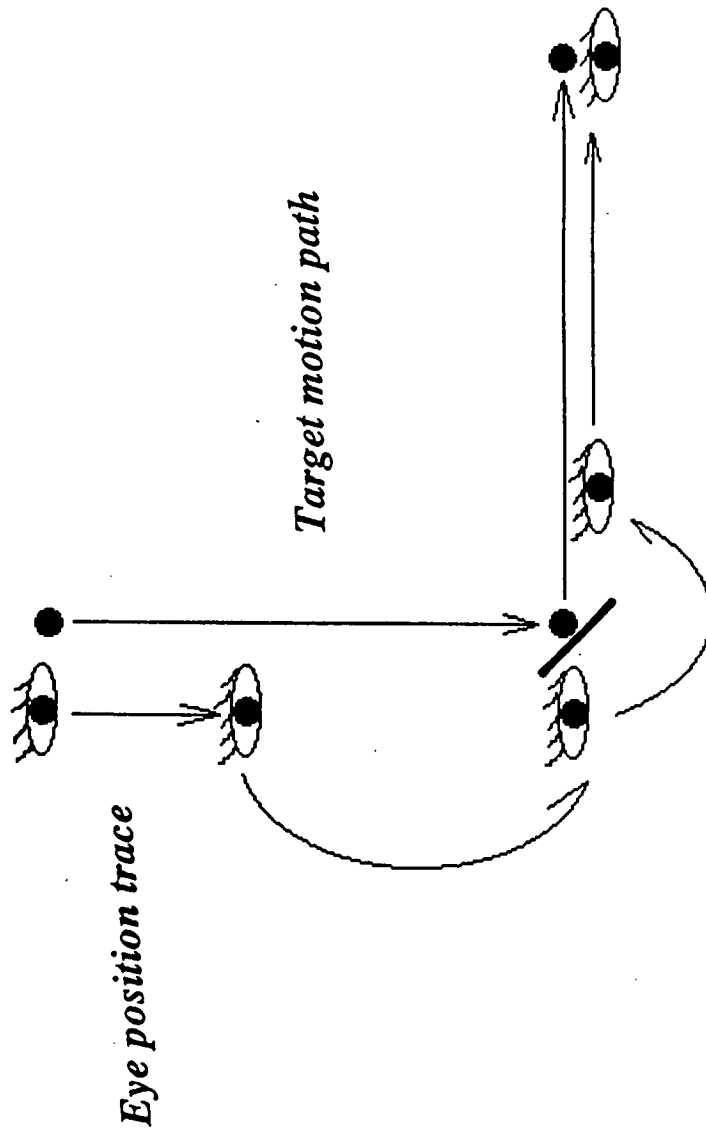
S, f and sp mean saccade, fixation and smooth pursuit eye movement. ▼ indicates the time when the camel appears at the edge of the slit.

CONFIGURATION OF VISUAL STIMULI GENERATED ON THE GRAPHIC DISPLAY TERMINAL





Eye movements when subjects forced to observe the right target movements are shown. Upper trace shows horizontal eye position and lower two trace indicate each right and left target position. Filled triangles indicate subject's motion perception. ▲ and ▼ Indicates the direction and temporal change of motion perception. Small dots indicates ambiguous or incorrect motion perception. Small arrows indicate temporal eye position shift corresponding with motion perception change.



BI-LATERAL TARGET MOVEMENT

Free gaze

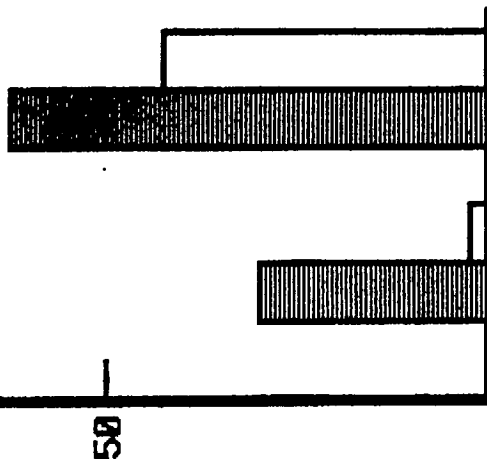
pursuit(5) alter

UNI-LATERAL

correct (20

incorrect (9
or
ambiguous

PROPORTIONS OF THE SINGLE AND ALTERNATIVE EYE MOVEMENTS IN FREE GAZE CONDITION FOR UNI-LATERAL TARGET MOVEMENT



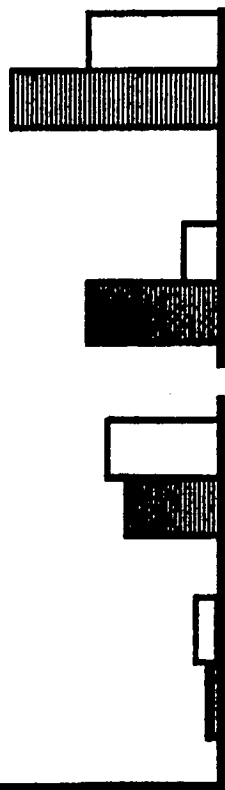
Pursuit Fixation

Correct Judgement

PROPORTIONS OF THE SINGLE AND ALTERNATIVE EYE MOVEMENTS IN FREE GAZE CONDITION FOR BI-LATERAL TARGET MOVEMENT

Single
Alternative

50



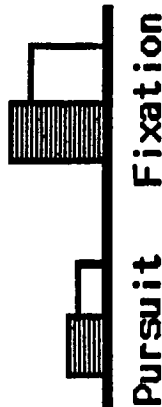
Pursuit Fixation Pursuit Fixation

Correct

Ambiguous

(94) or
ambiguous

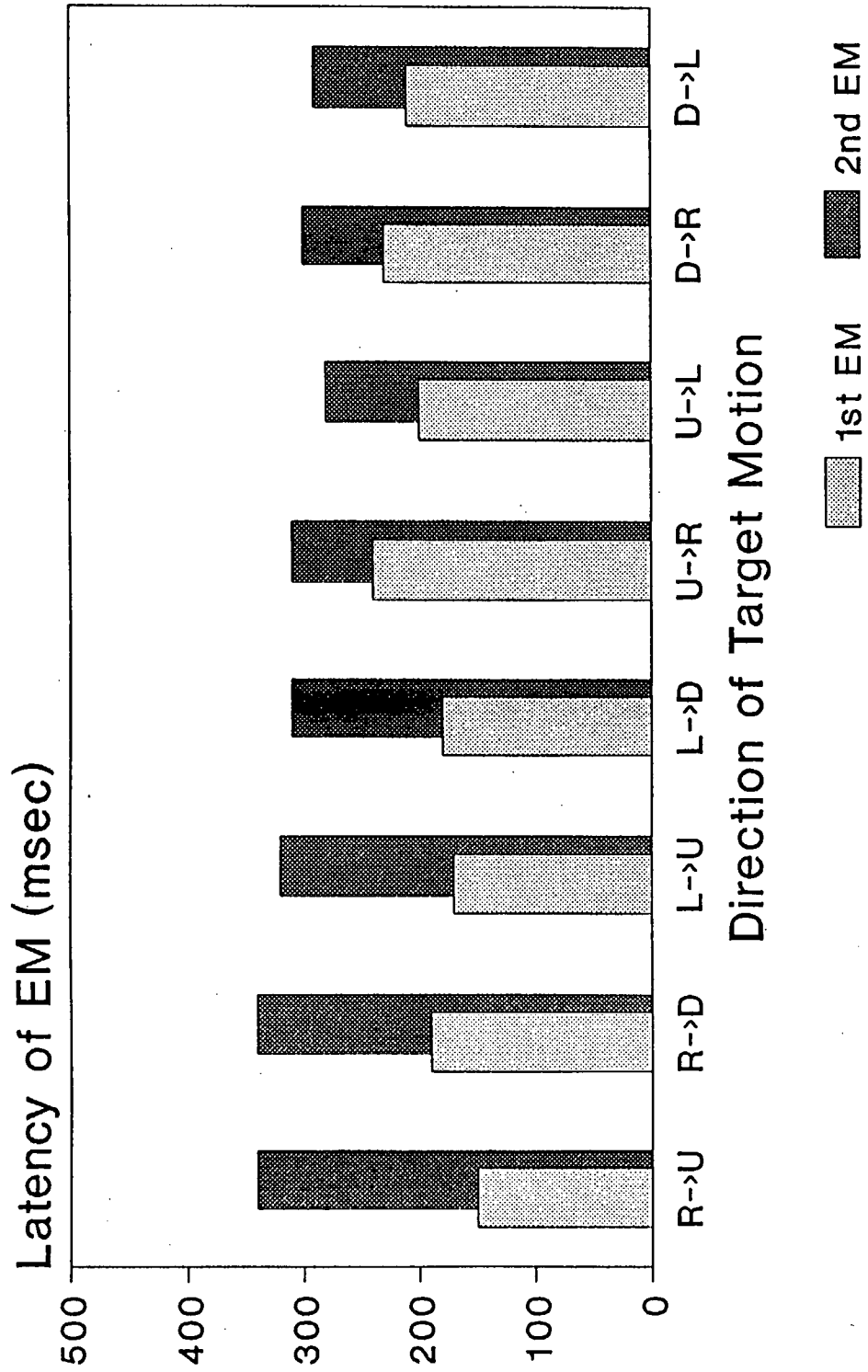
(94) fixation

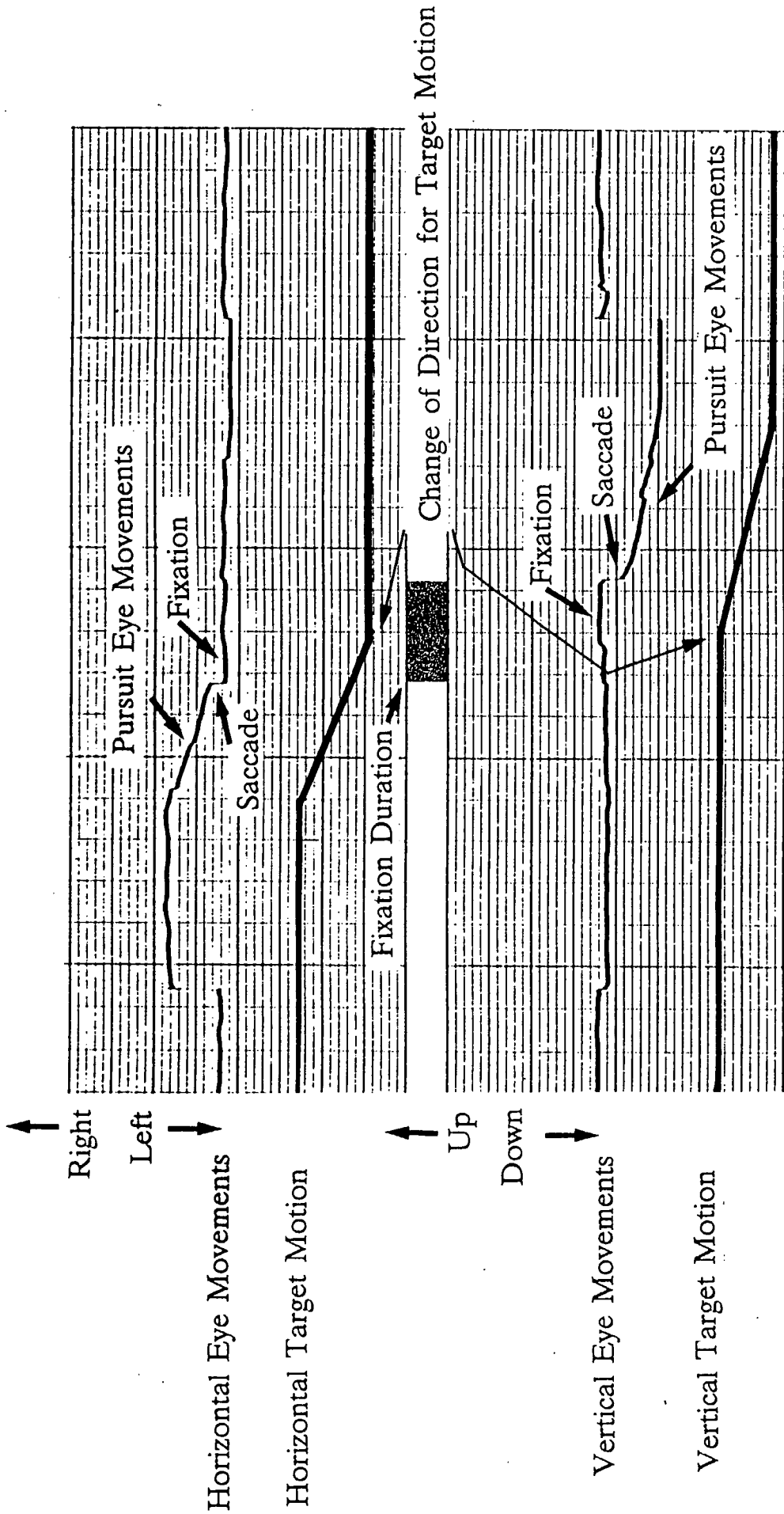


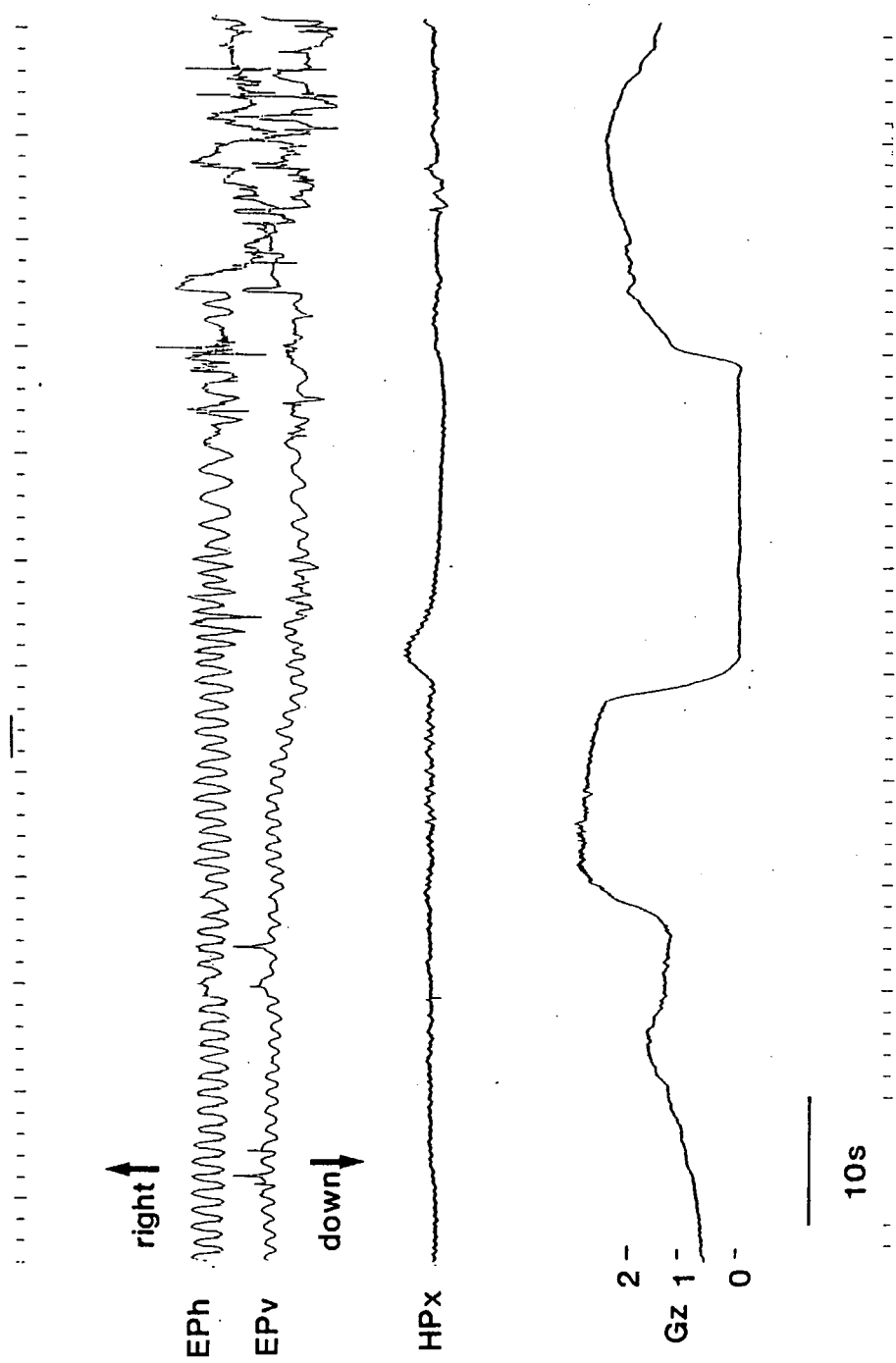
Pursuit Fixation

Incorrect or Ambiguous Judgement

Latency of EM against Target Motion (Without Cue Condition)







AK

VISUAL STABILITY/JOYSTICK (CONT)
(L4/10)

I. PREPARATION (CONT)

23 Attach face electrodes per Figure 1.23

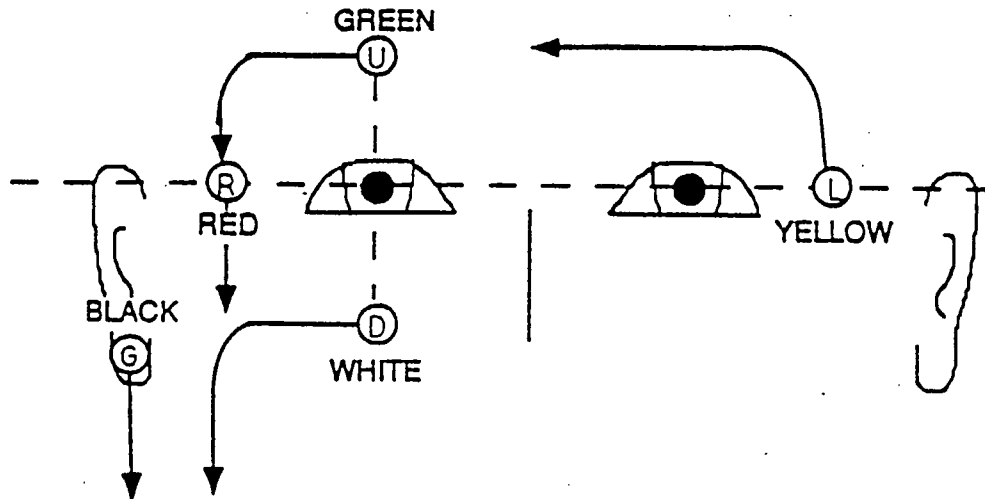


FIGURE 1.23. ELECTRODE PLACEMENT (FACE)

- 24 Perform 35-mm photography
- PMS 25 Power sw - OFF
- 26 Don BODY RESTRAINT
- 27 Disconnect QD3 from QD1 (gold)
- 28 Connect QD2 to QD1 (gold)
- 29 Connect NECK EMG and EOG connectors to amplifier
- EMG1 (White) --> White
 - EMG2 (Red) --> Red
 - EOG (Black) --> Black
- 30 Secure
- RCDU to BODY RESTRAINT handle
 - HEAD RESTRAINT strap

P/TV07

VISUAL STABILITY/JOYSTICK (CONT)
(L4/10)

1. PREPARATION (CONT)

OH10

3 Unstow and assemble CONNECTING RODS (2)
and JAWS (2) for NORMAL POSITION per Figure 1.3

PS

ATTACH POINT
IDENTIFICATION

EXPERIMENT POSTURE	INTERFACE POINT
NORMAL	A8
NORMAL SLANT	C3
INVERT	E7
INVERT SLANT	H4

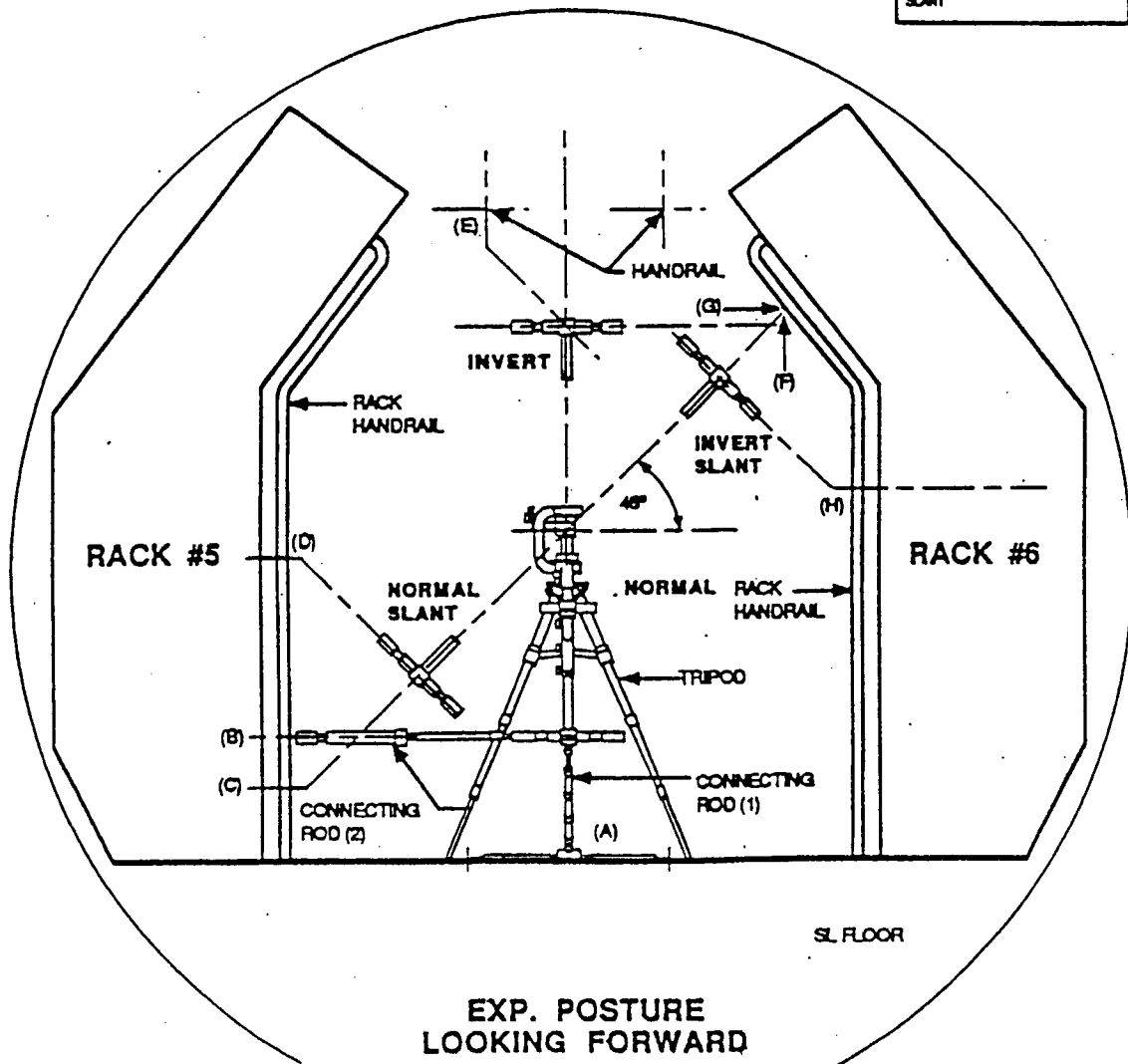
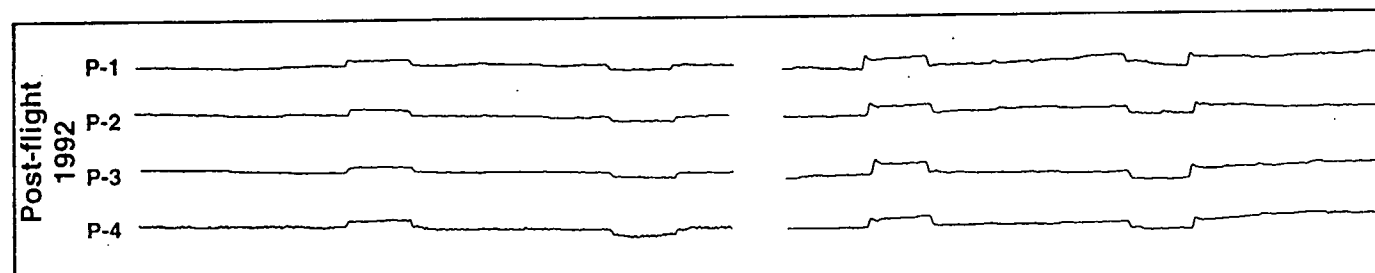
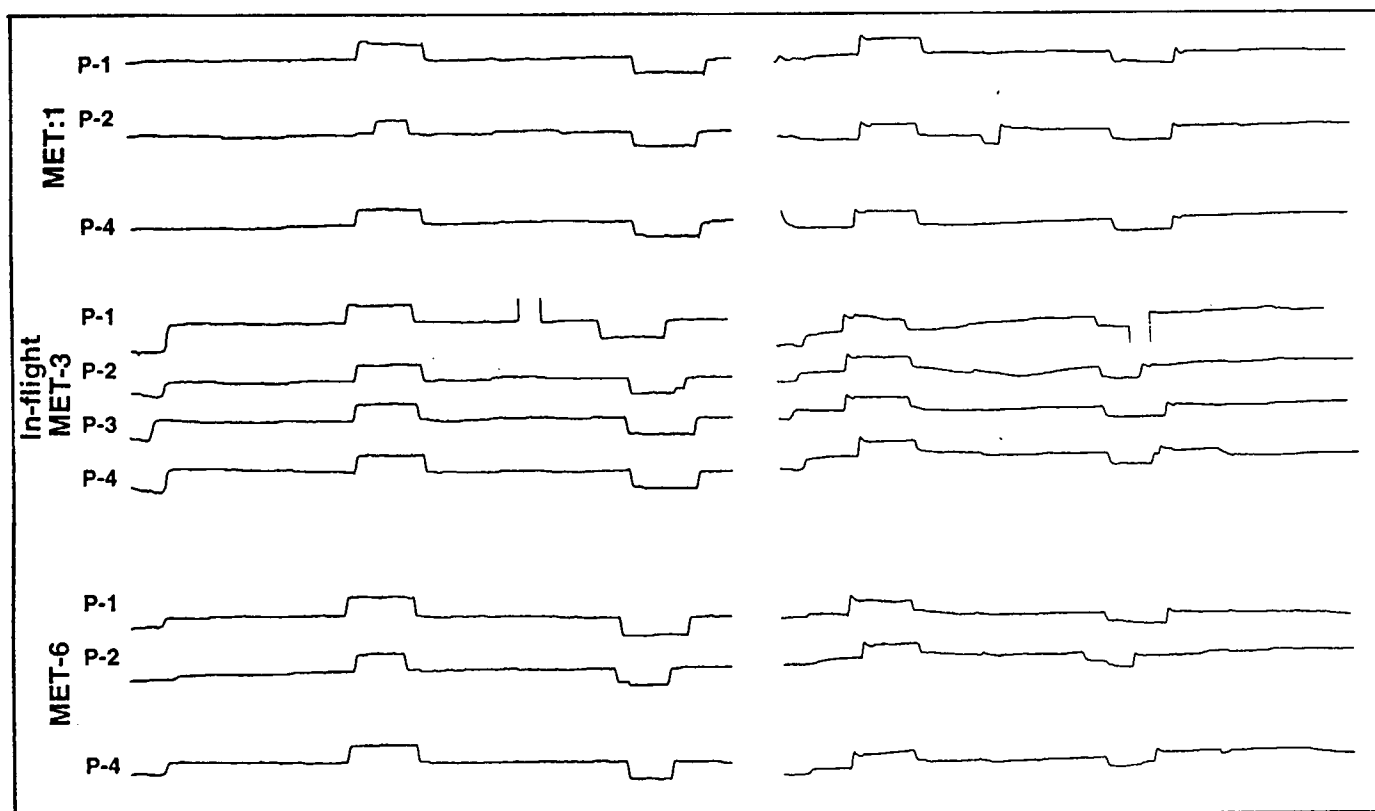
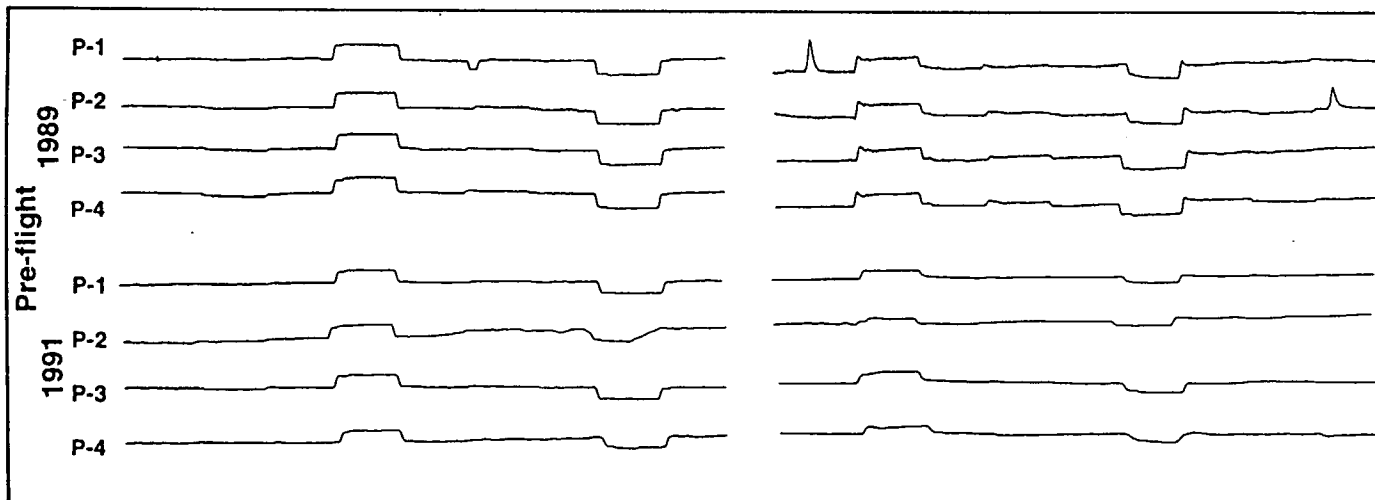


FIGURE 1.3. CONNECTING ROD ASSEMBLY/POSITION

Horizontal Eye Movements

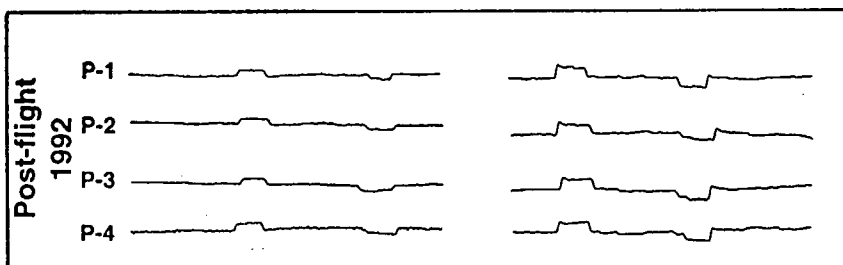
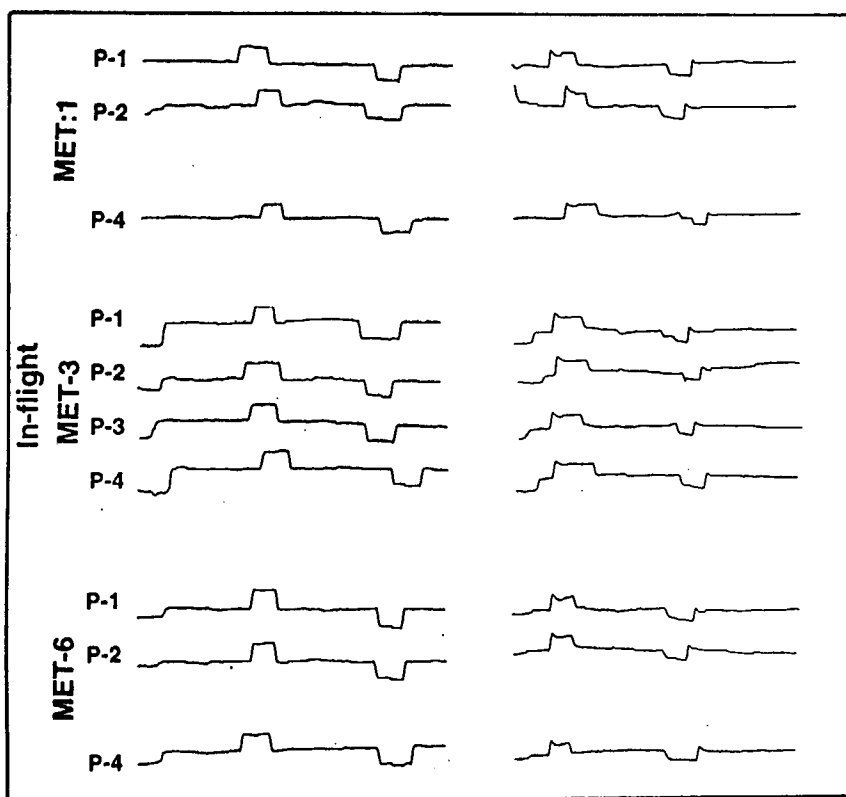
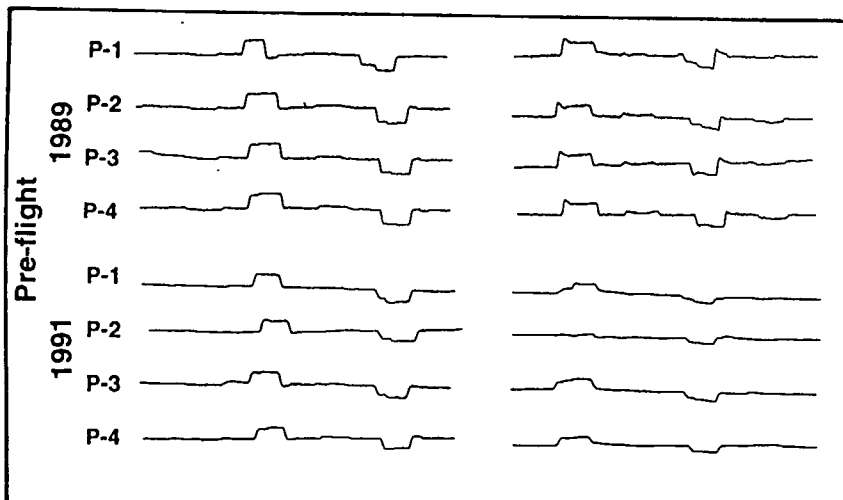
Vertical Eye Movements



Visual Target Pattern-1

Horizontal Eye Movements

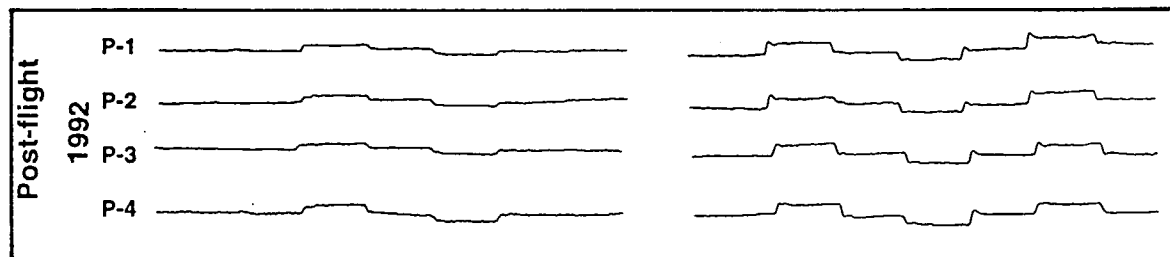
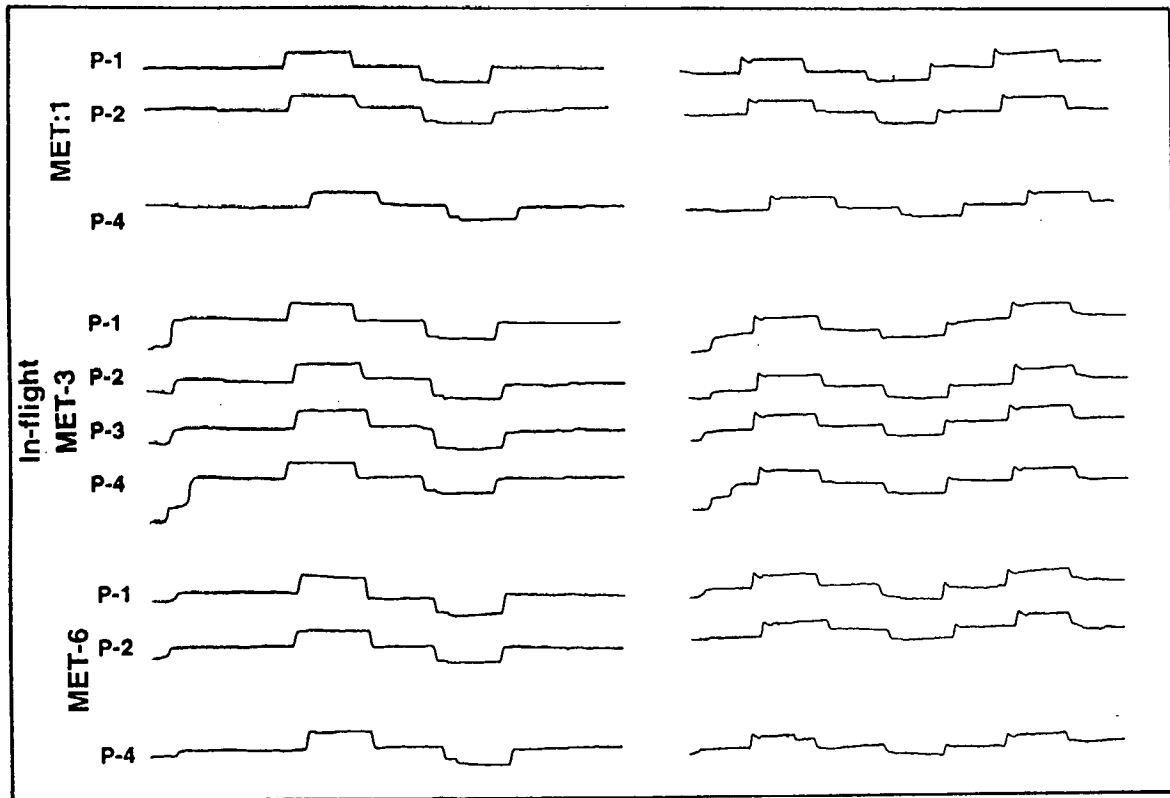
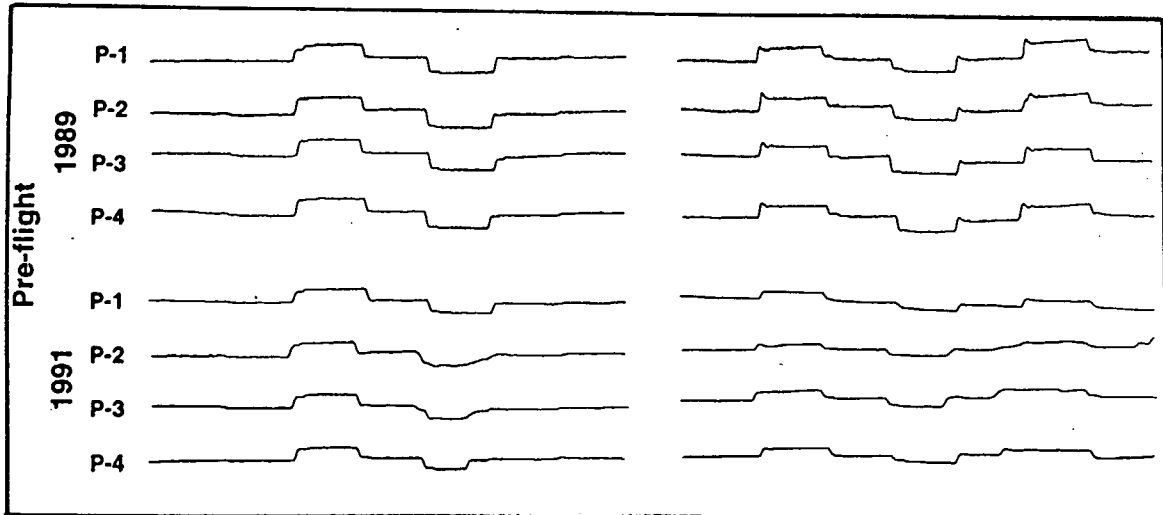
Vertical Eye Movements



Visual Target Pattern-2

Horizontal Eye Movements

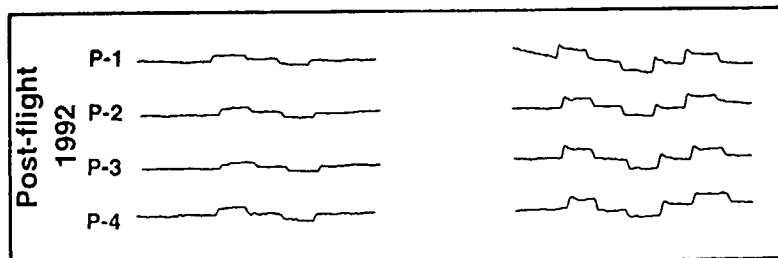
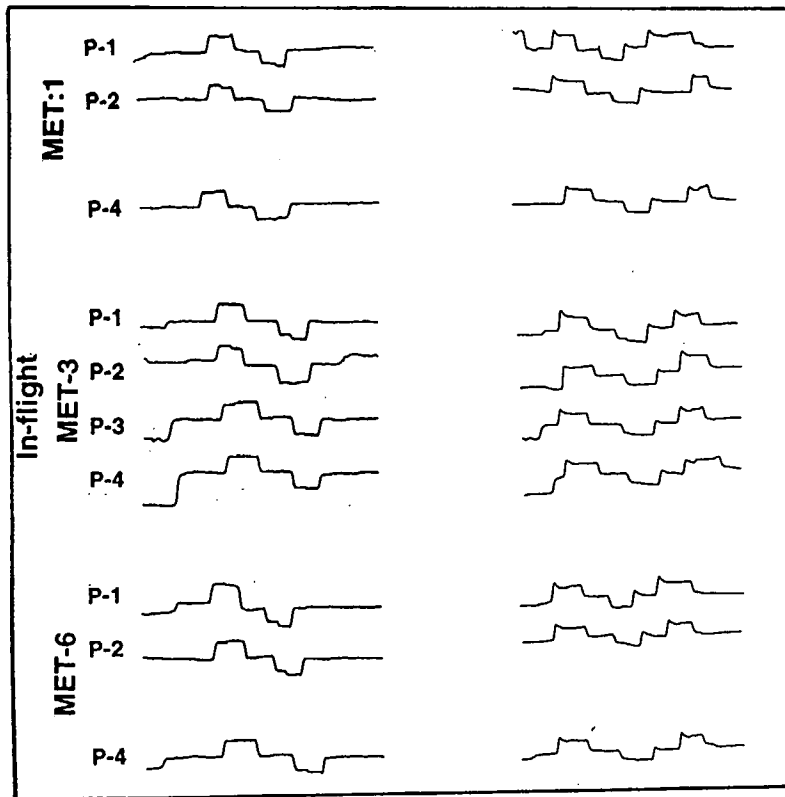
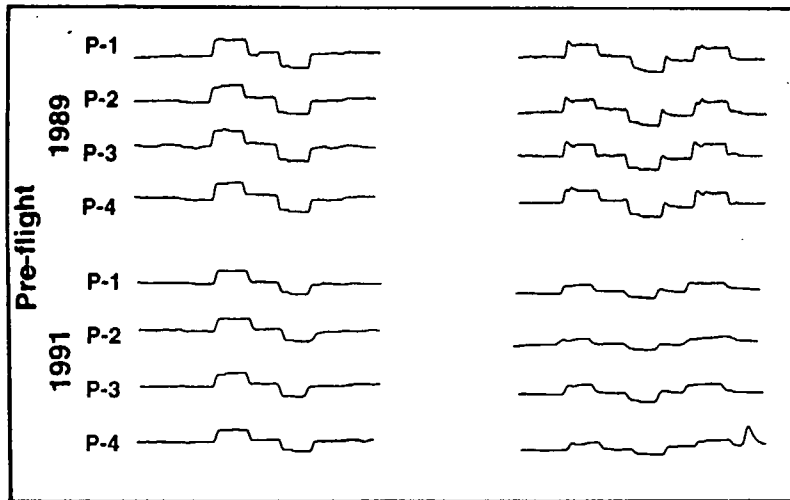
Vertical Eye Movements



Visual Target Pattern-3

Horizontal Eye Movements

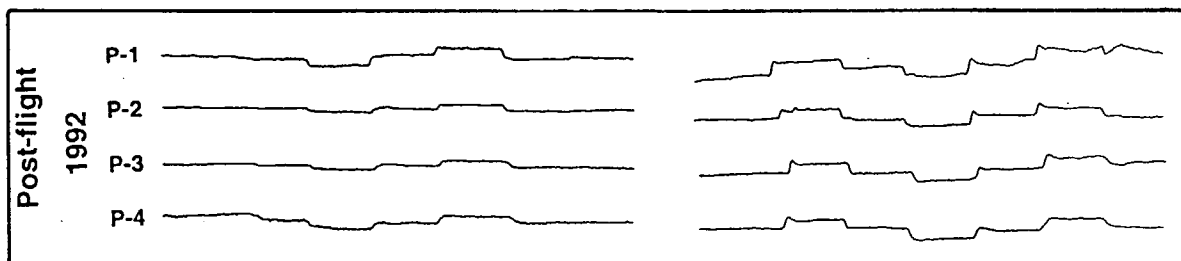
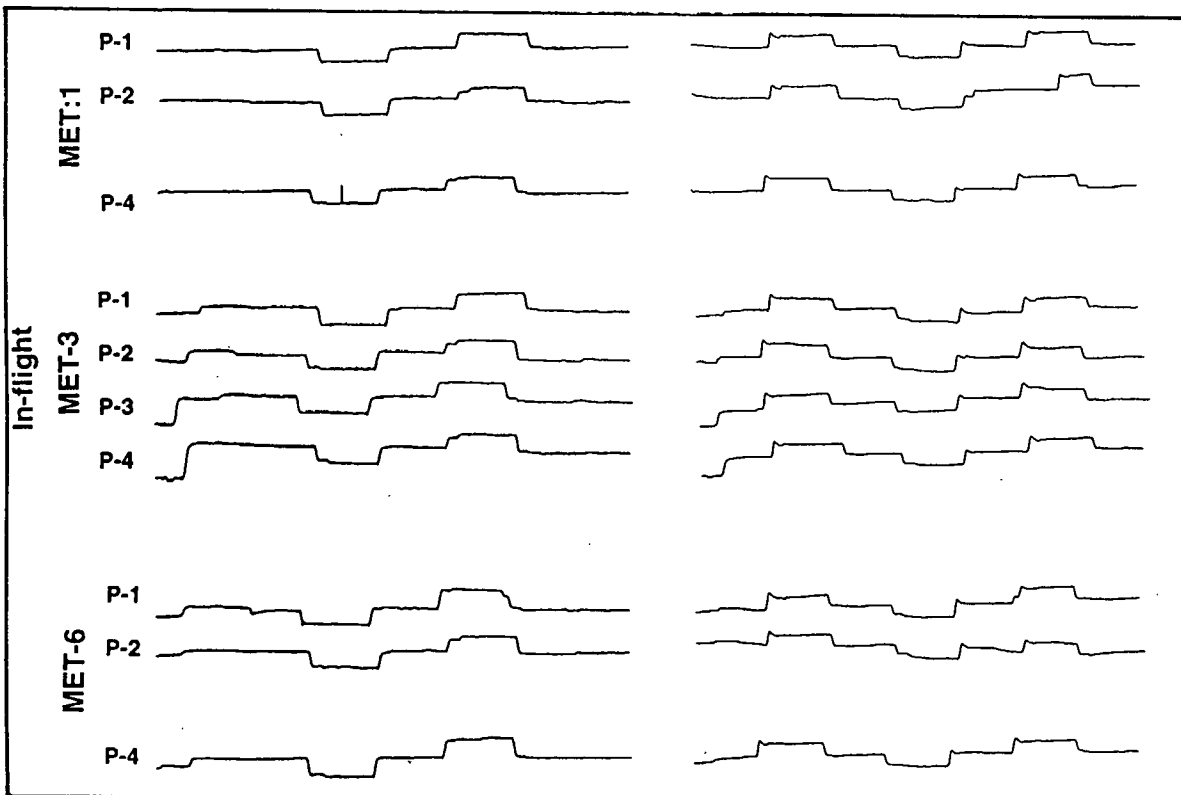
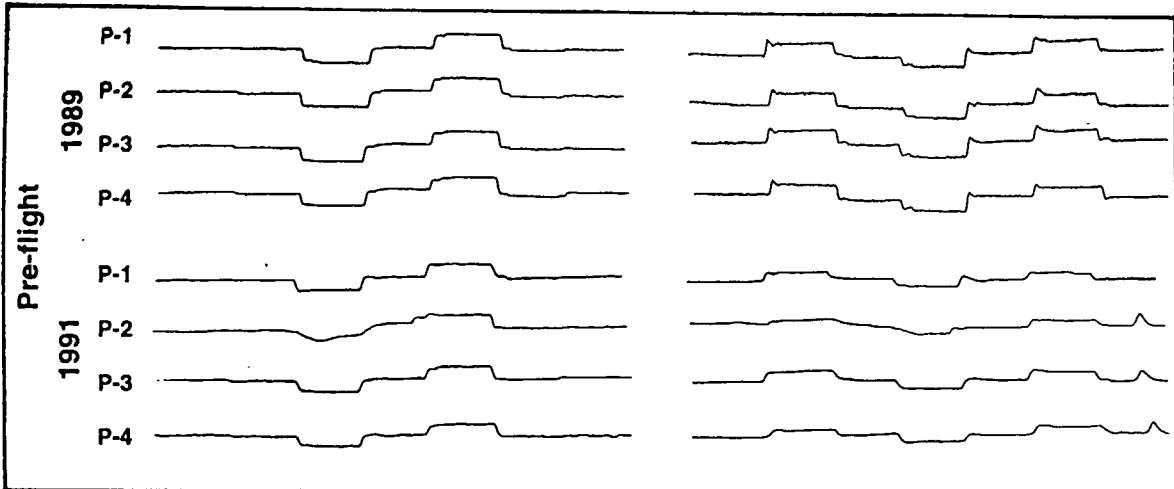
Vertical Eye Movements



Visual Target Pattern-4

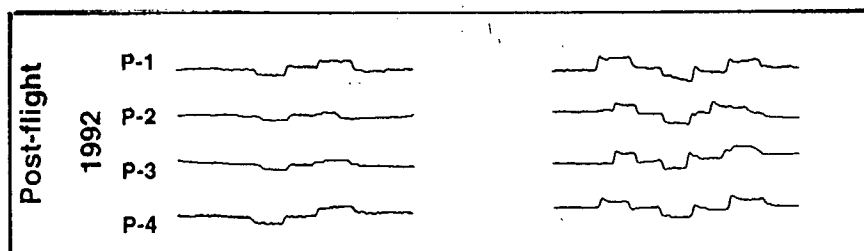
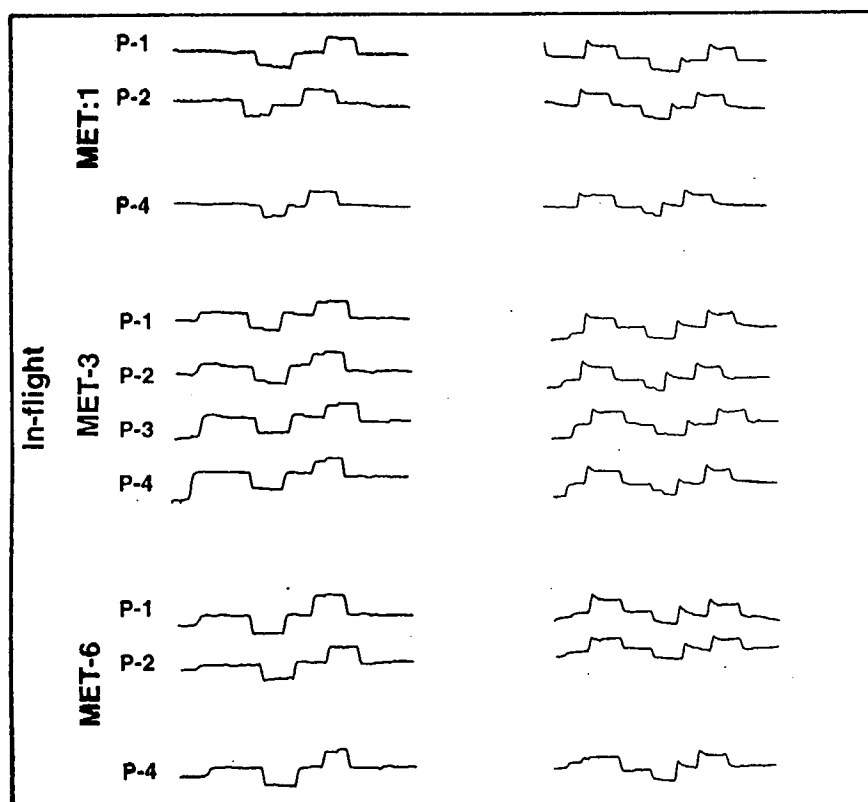
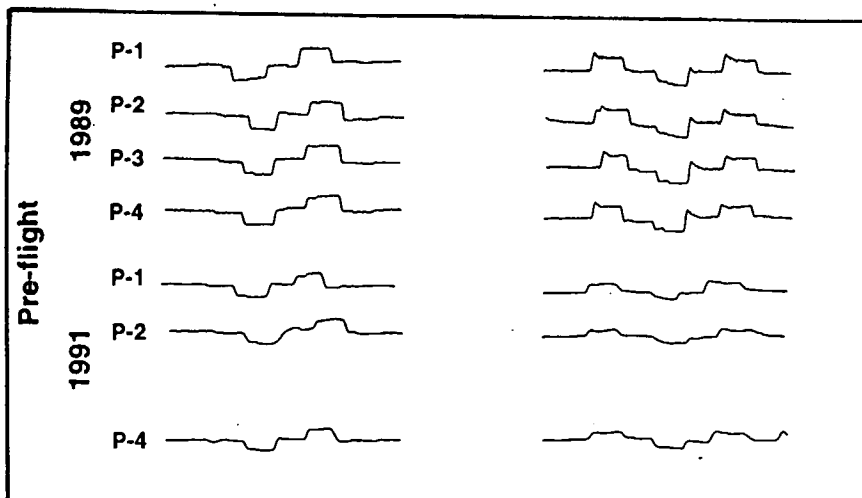
Horizontal Eye Movements

Vertical Eye Movements



Visual Target Pattern-5

Horizontal Eye Movements Vertical Eye Movements



Visual Target Pattern-6