

## 高所における神経系の機能 遠藤克昭（京都大学医学部）

はじめに、本隊の登山活動の安全と成功に直接役立つ問題について述べる。

今回の学術登山隊においては、酸素と通信を受け持つことになったが、これらは、どちらもヒマラヤの高峰、特に、8000m峰の登山活動の安全に、重要な意義を持っている。そこで、これらの問題について、神経生理学的な面に重点を置いて、1989年9月のネパール隊および他の調査活動に於いて、これまで調べてきたことを簡単に記し、次に、低酸素環境下の大脳の電気活動についてまとめた結果を報告する。この調査は、高所における脳の機能障害、脳浮腫などの発生機序を解明し、その予防法を確立するための手がかりを得ることが、主な目的である。

### I. 高所における脳の機能障害とその予防対策

ヒマラヤに遠征した日本隊における1987年までの遭難死亡者は173名であるが、原因別死亡数は、雪崩が76名（44%）、転滑落が70名（41%）、高山病が11名（6%）、その他16名（9%）であった。雪崩に遭遇する場合は、運命的ともいえる要素が大きな部分を占めるが、雪の中に埋没した状態が持続すると、低酸素症および低体温症により死亡する。人体は酸素の供給が断たれると約20分で、また、0℃の水に浸ると約60分で脳死の状態に陥る。転滑落が原因と考えられる遭難事故も、技術的な問題に帰せられるものは少なく、脳の機能障害に起因する不可抗力とも言える事故が多数を占めている。即ち、標高8000mにもおよぶ高所においては、酸素の欠乏、脱水、飢餓、寒冷等の過酷な環境により、視力、判断力等の低下に加えて、平衡機能、運動機能等の障害が重なり、転滑落を誘発するものと考えられる。そこで、今後の高所登山活動において、これらの高所脳障害に起因する事故を予防し、本隊の登頂を始めとする重要な目標を達成するための適切な手段を、現在可能な範囲で、実地に活用できる形に整理した。

#### 1. 酸素吸入

高所に於いては低酸素の影響により脳の機能障害を来すが、これは酸素吸入により防ぐことが出来る。これを実験データを基礎にして最初に指摘したのはポール・バールであった。一方、ヒマラ

ヤの高所登山に於いて酸素吸入の必要性を主張し、初めて実践したのはフィンチである。彼は1922年のエヴェレスト遠征に於いて、自ずから酸素ポンペを背負って頂上を目指し、登山経験のないブルースと二人で8300mの高度まで到達した。1924年のエベレスト遠征に於いてはマロリーがフィンチの主張を受け入れて頂上攻撃の際に酸素を使用した。彼は当時の装備、登山技術等の水準から判断して、エヴェレストの頂上に到達するには酸素の吸入を行うことが大きな力になると考えた。マロリーは若き同僚アーヴィンとともに、オデールのサポートを得て、最終キャンプから酸素の吸入を行いながら頂上に向かって出発し、消息を絶った。オデール達の証言によると、二人はその日遅く頂上に達し、まもなくポンペの酸素が空になった後、第二ステップの上まで戻ってビバークを行い、翌日、無酸素で困難な下降を敢行中に、転滑落したものと推定されている。その後、スマイス、シプトン、ティルマンなどの優れたメンバーが酸素の吸入なしに頂上を目指したが、目的を達することは出来なかった。これらの教訓をもとにして、1953年のハントを隊長とするイギリスの遠征隊に於いては強力な酸素補給計画のもとに科学的な背景の援助も得て、登頂に成功した。これらの先人の努力の結果を教訓にして、登山装備、技術等の格段に進歩した現代に於いても8000m峰の登頂を安全にかつ身体に障害を残すことなく成し遂げる為

には、酸素の吸入が極めて有力な手段になることを示している。高所における脳障害等を予防する目的で酸素の吸入を行いながら登山活動を進めるときは、能率もあがり目的遂行のための強力な支えともなり得るが、酸素が切れた後は、特にビバークの翌日において極めて危険な状態に陥ることを予測して対策を講じておく必要がある。視力障害や運動障害に対しては、少量の酸素の吸入が著効を発揮することが多いので、携行する酸素は使い切らずに、適当量を残しておくのが賢明である。また、8000mを越えた高所では身体の機能を維持し、凍傷等を防ぐためにも、酸素の吸入を行う必要の度が増すが、特に睡眠中は低体温に陥りやすく、呼吸機能も低下して脳の機能障害も起こし易いので、出来れば5%の炭酸ガスを含む酸素の吸入を行うことが推奨される。なお、低圧室の低酸素環境下で現れた心電図、脳波の急性変化は酸素吸入により回復することが観察されており、また高所滞在によるこれらの慢性変化もしばしば酸素吸入により改善されることが示されている。

## 2. 水分と栄養の補給

これは、登山活動を安全に能率よく進めるために必ず実行しなければならないことであるが、意識してこの対策を推進することは極めて重要である。特に水分は絶えず補給することが必要であるにもかかわらず、登頂の前後は水も飲まないで頑張り、脳障害に苦しむことが多い。1953年のイギリス隊によるエベレスト登頂の成功は、高所における水分の十分な補給が大きな支えになったとされている。下降時に備えて酸素ボンベとともに、大量の砂糖水や紅茶の入ったテルモスをデポしておくのも有効である。高度8000m以上においても、1人につき1日に4リットル以上の水分を摂取できるように前もって準備しておく必要がある。さらに、熱の放散を衣服で防ぐとともに、食物を十分に摂取してエネルギーの補給を行う。高所においては、食思不振のために十分な食物を摂取出来なくなるため、様々な工夫がなされている。まず、高度7000m以上では糖分は比較的摂取し易いが、脂肪、蛋白質を含む食物は体が受け付けなくなる。たとえば、餅や羊羹は食べられるが、ハムや肉類は喉を通らなくなる。8000mを越えると餅も喉を通りにくくなり、砂糖水などが辛うじて飲める程度になる。すなわち、7000mから上は、おもに餅

などを中心出来るだけ糖質を多くとり、8000m以上では温かい砂糖入りの紅茶や葛湯等を飲んで、少しでもエネルギー補給の努力をする必要がある。目的によっては、高カロリー液の点滴静注も行う。

## 3. 高所順応

高所脳障害等を予防する目的で、酸素の補給等とともに、高所順応活動が初めて組織的に実行されたのは、これも、1953年のイギリスのエベレスト登山隊においてであったが、その後、これは非常に有力な手段であることが認められた。特に8000m以上の高峰を、酸素の吸入を行わずに登頂する場合は、高所順応、十分な水分と栄養の補給、そして速やかに登り、下降できるための基礎体力の育成等に対して、格別の努力を払う必要がある。低圧室において短期間低酸素環境下に滞在することも高所環境に馴れるためには有意義な方法ではあるが、高所順応を獲得するためには睡眠中も低酸素環境下にとどまる必要があると考えられている。

## 4. 速やかな登行と下降

高所順応が形成された後は、できるだけ速やかに登頂し、下降することが、高所脳障害を防ぐための原則である。脳浮腫や肺水腫等の重篤な高山病の兆候が現れた時は、高所に滞在し続けると命を失う危険が迫ってくるため、何よりも下降を優先させる。この場合は酸素吸入の効果はあまり期待できない。ヒマラヤにおける脳浮腫、肺水腫等の高山病による日本隊員の死亡者は、前記の統計では11名(6%)と推定され、比較的少ないが、これは、その予防及び治療対策が、本邦の医師と登山家の協力によって積極的に推進されているためであると考えられる。

## 5. 炭酸ガスの吸入

炭酸ガスの吸入は呼吸中枢を刺激し、酸素の摂取量を増大させることはすでに明らかにされている。一方、高所で必要な酸素量を摂取するために、過換気の状態が持続すると、血液がアルカリ性になり、脳および神経系に対しても障害を与えることになるが、これは炭酸ガスの吸入により予防することができる。また、睡眠中に5%程度の炭酸ガスを含む酸素を吸入することは、脳の機能回復と高所脳障害の予防のために特に有効な手段であ

ると考えられる。吸入に要する炭酸ガスは少量であるため、高所へ携行する労力と負担も少ない。炭酸ガスの吸入必要量と吸入方法を、早急に確立する必要がある。

#### 6. 血液から赤血球を一部除去する方法

高所に滞在すると血液中の赤血球の数が増え、赤血球の濃度が上昇することにより、血液の粘度が増し、血液の流れがおそくなるため、脳血栓等の起こる危険性も増す。これを防ぐために、血液を濾過して赤血球を除き、血漿は身体に戻すことにより、赤血球の濃度を下げ、高所における脳障害を予防しようとする試みが行われている。赤血球の割合を70%程度にまで減らしても酸素の供給能力には支障は起こらないと考えられている。現在のところ、これらの赤血球の除去操作を自分で簡単に行うことができないところが難点である。この方法はメスナー達が行っているとのことである。

#### 7. フロセミド（ラシックス）及びアセタゾラミド（ダイアモックス）の使用

利尿剤として疾病の治療に用いられるフロセミドおよびアセタゾラミドは、血液がアルカリ性になるのを防ぐ性質があり、高所脳障害の予防に用いることができる。また、呼吸促進作用もあるため、酸素摂取能力を高める効果がある。高所における浮腫の除去にも有効である。副作用として、腎および循環系の障害、感覚異常等を来すので、高所での使用には注意を要する。少量の投与により現われる効果を注意深く観察しながら必要最小限の範囲で使用する。

#### 8. グルココルチコイド（デカドロンなど）の使用

グルココルチコイドは血糖値を上昇させる作用があるため脳の代謝を促進し、脳障害を予防すると考えられている。また精神活動の賦活作用があるともいわれる。長期間連続して使用しない限り副作用も少なく、必要な時は大量に投与してよい。登頂活動を開始する日の朝、あるいは長時間の登山活動を行う日の朝に、水分、栄養等と共に摂取する方法も推奨される。急性高山病、脳浮腫、肺水腫等の予防と治療にも用いられる。人体は高所に滞在して低酸素環境下に曝されると、数日から

数週間の間高所順応が形成されるが、同様に、気温が0℃以下の高所寒冷環境下に数日から数週間滞在すると寒さに慣れて、ノルアドレナリンに対する感受性が高まる。すなわち、ノルアドレナリンの注入に反応して、酸素消費量が著明に増加するようになり寒冷適応が達成される。この面から考えて、人体を適度に寒冷に曝して寒冷適応を形成しておくことは、低体温症を予防するための有効な手段となる。また、寒冷刺激により副腎皮質からのグルココルチコイド等の分泌量が増加するが、これにより体内の糖新生促進、毛細血管の拡張抑制、中枢神経系の賦活作用等が引き起こされ、ある程度低体温症を防止することが出来ると考えられる。また、低温環境下においては、骨折、外傷、呼吸循環系のストレス等により体温維持機構に障害をきたし、低体温症に陥ることがしばしばあるが、これは下垂体副腎皮質系の機能変調によりグルココルチコイド等の副腎皮質ホルモンの分泌量が低下するためである。これらの理由から、必要に応じてグルココルチコイドを服用することは、寒冷に対する防護力を促進するための有力な手段になると考えられる。

#### 9. 無線通信機の応用による安全対策

高所において運動機能、平衡機能、視覚機能等の障害に陥り自分の意思の通りに身体が動かなくなり、転滑落の危険が迫っている隊員を早期に発見し救助活動を行うために、次の様な方法が計画されている。すなわち、左右の上肢及び胸部に記録用の電極を取り付け、随意運動に伴う筋電図及び心電図を同時に記録する。また、可能な場合は脳波の記録も行う。これらの電位を隊員が身につけた小型送信機から周波数変調波として発信する。一方、他の隊員の所有する受信機或は近くのキャンプに設置した受信機を用いて、これらの電位を観察し直ちにその分析を行う。四肢の運動が停止したときは、運動に伴って発生する筋電図も消失し、隊員の活動状態もある程度把握出来るので、必要な場合は救援隊が出動する。また、前記のような記録電極を取り付けることができない場合も、各隊員が持っている小型送信機は常に電波を発信しているので、これらの隊員が雪崩に遭遇したり転滑落により行方不明になった場合などにも迅速に所在位置を確認し、搜索活動を行うことができる。現在、無線連絡用のトランシーバーを生体信

号送信機として、併用する方法も試みている。なお、高周波無線信号発信機としては、PIEPS (MOTRONIC, AUSTRIA)、及び剣岳の救助隊で使用されているヤマタン等がある。シシヤバンマ隊に於いてはPIEPSを使用する予定である。本機は一台で発信機および受信機の機能を有するため捜索にも使用することができる。

#### 10. 低酸素症に併発する低体温症の予防対策

高所の低酸素環境下ではエネルギーの産生不足により、低体温症に陥りやすい。体温が34℃から32℃あたりまで低下すると（軽症低体温症）、精神作業能の低下、指南力の低下、寒冷に対する防護能力の喪失、傾眠等の症状が現れる。さらに体温が低下して32℃以下になると（重症低体温症）、運動、言語、視力等の障害とともにけいれん発作、意識障害等の重篤な神経症状が現れ、治療を行わなければ更に体温が低下し、心室細動に陥り死亡する。高所の寒冷環境に於ては、熱の喪失による体温の低下を防ぐために、適当な衣服を着用することは必要不可欠であり、その選択の適否は極限環境下においては生死の運命を決めるとも云える。外気温が0℃前後の寒冷環境下では、最も適切な防寒衣服としては、ポリエステル（クロロファイバー等）の下着の上に適当なシャツを着て、その上に羽毛服を着用し、必要に応じてゴアテックスのヤッケを用いれば、余程風が強くないかぎり、低体温症に陥ることなく活動を続けることができる。また、ゴアテックスやポリエステルはこの程度の気温では湿気を通し易いので、発汗による水分は衣服を通して容易に大気中に放散される。大気の温度が零下数10℃から零下50℃にも及ぶ極低温環境下で強風を伴う場合に於ては、状況が異なるため慎重に衣服を選ぶ必要がある。通常、この環境下では、羊毛或はポリエステルの下着の上に厚手の羊毛のセーターをできれば二枚着用し、その上に羽毛服を着て、更に風雪が強い場合は、綿或は化繊のヤッケを着る。極低温下においては、クロロファイバー、テトロン、ゴアテックス等の化繊は、水分を吸収することが殆ど出来ないため、身体から発散する水蒸気は大気に接する部分から内へ向かって氷結する場合が多いと推定される。通気性のゴアテックスも、この場合は湿気を大気に発散する能力を失うため、本来の機能を発揮出来ず、保温の面からも有害な存在となる。この結果、

衣服の断熱性は急速に低下し、これを着用している人体は低体温症に陥る。冬の立山やマッキンリーにおける我が国の優れた登山家達の遭難は着用した衣服が原因の一つと推定されている。羊毛の衣服はそれ自体が水分を含む事が出来るので、大気に接する表層の部分も氷結しにくいと考えられる。極低温下に於いては、頭部の防寒対策も重要である。通常は、薄手のポリエステルが目出帽の上に厚手の羊毛或は羽毛の目出帽を被り、その外を皮製の帽子で覆う方法がよく行われている。低温による手足の凍傷はそれ自体は生命に危険を及ぼすことはないが大きな後遺症と機能障害を残す。対策は同じく羊毛が中心であるが、ビバーク或は睡眠中に於ける酸素の吸入が凍傷の予防及び治療に大きな効果のあることが認められている。ここに述べた衣服は悪天候下の低温環境に於ける防寒対策のためのものであるが、極限の過酷な環境下では、たとえ最善を尽くしても低体温症に陥ることも有り得るであろう。この場合は各個人の能力と適性も大きな影響を及ぼすと考えられる。一般に、低酸素に強い者は低温には弱いと云われる。なお、好天下においては、たとえ気温が零下数10度であっても、これほど厳重な衣服を必要としないであろう。むしろ状況にあわせて適宜脱着を行い快適な衣服気候を維持しながら登山活動を進めることが要請される。

#### 参考文献

- 辰沼廣吉 (1968)  
マナスル登山と生体の順化. 医学のあゆみ 6  
5, 325-332
- 中島道郎 (1983)  
積雪期登山と衣服. 登山医学 9, 75-82
- 斎藤惇生ほか (1983)  
ヒマラヤ登山に於いて心電図に現れた酸素吸入の効果. 登山医学 3, 80-87
- Houston, C. (1987)  
Going higher : The story of man and altitude. Little, Brown and Company. Boston and Tronto. 324pp.
- Hunt, J. (1953)  
The Ascent of Everest



## II. 脳の電気活動と低酸素

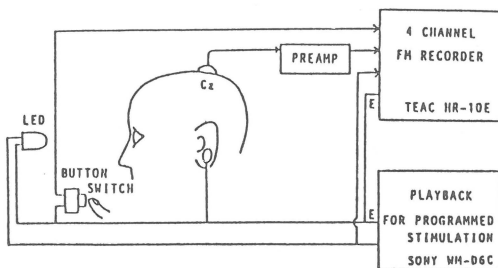
### 1. 緒言

高所においては、主として低酸素の影響により、特徴的な神経系の症状が現れる。通常4000m前後までは頭痛、嘔吐、動悸等の自律神経系の症状が主体であるが、5000mの高度を越えると、運動、感覚、連合機能等の高次神経系の機能障害が顕著になる。本調査は、これらの高次神経系の機能変化を量的にとらえるための指標として、大脳運動関連電位（運動準備電位および付随陰性変動）および視覚誘発電位を記録し、高所において現れる変化とその特性を見い出すとともに、それらの発現機序を解明するための手掛かりを得ることを目的とした。

### 2. 方法

被検者としては、1987年-1989年に日本よりヒマラヤおよびカラコラムに派遣された遠征隊に参加した隊員の中から13名を選んだ。被検者は10日から60日間、4000mから8000mの高度に滞在した。大脳運動関連電位として、警告刺激及び命令刺激の二つの刺激により誘発される付随陰性変動（CNV）或は運動準備電位（RP）をコンピュータを用いて加算記録した。警告刺激及び命令刺激としては、赤或いは緑の光源（LED）の点滅による視覚刺激あるいは聴覚刺激を用いた。前置増幅器により増幅された脳波は周波数変調方式の小型カセットデータレコーダに記録し、後日、実験室においてコンピュータにより加算処理を行った。

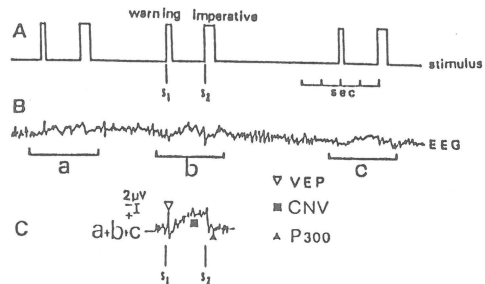
図1 測定方法の模式図



第1図に測定方法の模式図を示す。被検者の頭頂部Czの位置に脳の電気活動を記録するための銀電極を脳波記録用のペーストを用いて取り付ける。Czの位置は10-20国際法の規定にしたがって定

める。被検者は眼前のLEDを注視し警告刺激を確認したのち、1~4秒後に再びLEDが点灯した瞬間を命令刺激としてとらえ、直ちに手指でボタンスイッチを押す。これらの刺激は前もって記録しておいてカセットテープの記録を再生して与える。Cz電極により記録された脳の電気活動は前置増幅器を介して4チャンネルのカセットデータレコーダ（TEAC HR-10）に記録する。同時に刺激波形も別のチャンネルに記録しておく。

図2 データの処理方法



第2図はデータの処理方法を示す。Aの記録は視覚刺激用のLEDを与えるパルス状の電圧を実線であらわしたものである。S<sub>1</sub>が警告刺激、S<sub>2</sub>が命令刺激である。BはCzにおいて、Aと同時に記録した脳の電気活動即ち脳波である。これらの電位からa、bおよびcの部分を取り出して、S<sub>1</sub>を基準点にとりコンピュータで加算したものがCに示されている。Bでは明瞭に見られなかった電位が加算することにより現れてくる。実際にはこの例のように3回の加算では少なく、10回以上加算する必要がある。S<sub>1</sub>の警告刺激により三角印で示されるように視覚誘発電位（VEP）が現れる。記録部位のCzは視覚野からはなれているので、この電位は比較的小さい。そのあとにゆっくりとした上向き（陰性）の電位が現れる（四角印）。これがCNVである。CNVも実際は10回以上の加算を行い記録する。これらの電位は1回の刺激により平均数 $\mu$ Vから数10 $\mu$ Vの範囲の値として検出される。運動準備電位（RP）の記録は、被検者に命令刺激のみを与え、それに一致してボタン押しを行い、ボタンを押した時点を経験点としてCzにおいて記録される脳波を加算することにより検出する。

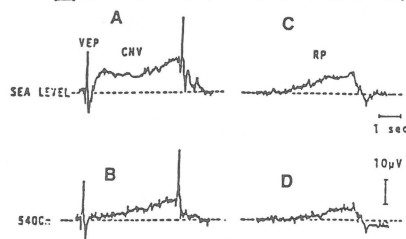
さらに、これらのデータとともに、最大呼気流量（PEF）および心電図（ECG）の記録を行い、高所において現れる変化を比較検討した。PEF

の測定は Airmed 社のライト・ピークフローメーター等を用いて行い、ECG は日本光電製の電池式携帯型心電計により記録した。

### 3. 結果

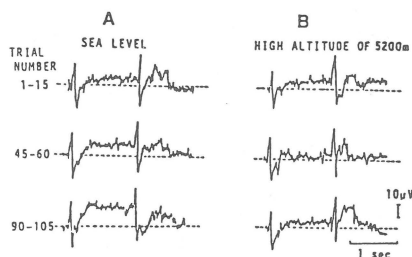
第3図にCNV (AとB), RP (CとD) およびVEP (AとB) の記録を示す。AおよびCは標高約100mの平地における記録である。BおよびDは、5400mの高所における記録を示す。VEPはAとBにおいてほとんど差がないが、CNVはAにくらべて、Bで明瞭な減少が認められている。特にVEPのすくあとに続く初期のCNVの成分に著明な減少がみられる。CとDは、警告刺激を与えずに命令刺激のみに応じてボタン押しを行った場合の加算記録である。この場合は命令刺激を基準点にとって脳波の加算を行う。この方法により検出される上向きの陰性電位が運動準備電位 (RP) である。Cの平地におけるRPにくらべてDの高所における記録は、明かな減少が認められる。RPの後に続いて運動に伴って現れる陽性電位は特に著明な変化はみられない。

図3 CNV, RP, VEPの記録



第4図は平地および高所におけるCNVの漸増現象を比較したものである。Aは平地、Bは5200mの高所における記録である。一番上の列は1-15回の試行の加算記録、二番目の列は45-60回までの加算記録、三番目の列は90-105回までの加算記録である。Aの平地におけるCNVは試行回数を長く続けるほど漸増し、90-105回の試行においてCNVの著明な増強が認められる。ところが同じ様な持続性の試行を高所において行くと、Bの記録に示されるように、1-15、45-60および90-105回の試行において、ほとんどCNVの出現はみられず、また試行を長期間続けても、漸増現象も起こらない。このようにAとBの一連の記録を比較すると高所では平地にくらべて、CNVが減少するだけでなく、漸増現象そのものがみられなくなることわかる。

図4 CNVの漸増現象



平地と高所におけるCNVの有意の差は13名中7名において見出され、その平均値は、それぞれ、 $19.3 \pm 5.7 \mu V$  (S.D.) および  $8.1 \pm 3.9 \mu V$  であった ( $N=7$ )。一方、VEPに有意の差が見られたのは13名中3名であった。平地および高所におけるVEPの平均値は、それぞれ、 $38.7 \pm 11.3 \mu V$  および  $24.6 \pm 8.5 \mu V$  であった ( $N=3$ )。

表1

| Subjects | Age | Highest Altitudes attained | Peak Expiratory flow rate | Changes in ECG                  | VEP | CNV |
|----------|-----|----------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----|-----|
| 1        | 47  | 5400 m                     | -                         | T wave inversion                | -   | -   |
| 2        | 34  | 7800 m                     | +                         |                                 |     |     |
| 3        | 28  | 7500 m                     | +                         |                                 |     | -   |
| 4        | 39  | 7350 m                     |                           | raised height of P wave         |     |     |
| 5        | 42  | 7350 m                     | +                         |                                 | -   | -   |
| 6        | 54  | 5400 m                     |                           | increase in a terminal force VI |     |     |
| 7        | 23  | 7600 m                     |                           |                                 | +   | -   |
| 8        | 49  | 6800 m                     | +                         | appearance of T wave            |     | -   |
| 9        | 35  | 5150 m                     |                           |                                 |     |     |
| 10       | 38  | 7350 m                     |                           | raised height of P wave         |     |     |
| 11       | 48  | 7350 m                     | +                         |                                 |     | -   |
| 12       | 32  | 8100 m                     |                           |                                 | -   | -   |
| 13       | 31  | 6500 m                     |                           |                                 |     |     |

表1は13名の被検者について、年齢、最高到達高度、最大呼気流量 (PEF)、心電図 (ECG)、視覚誘発電位 (VEP) および付随陰性変動 (CNV) の所見等をまとめたものである。+の符号は高所において増大したことを示し、-の符号は高所において減少したことを示す。高所においてCNVが減少したのは7名であったが、そのうち3名はVEPにも減少がみられた。ECGに変化のあった5名のうち、CNVが減少したのは2名、VEPが減少したのは1名であった。また、高所においてVEPが増大した例が1名あった。PEFは増大が5名、減少が1名であった。CNV、VEPおよびPEFすべてに減少のみられた者が1名あった。CNV或いはVEPが減少した者の

うち5名は何らかの神経症状を訴えたが、PEF 或いはECGにのみ変化の現れた者には、特に神経症状は認められなかった。40才以上の高齢者については5名中4名においてCNVの減少がみられた。

#### 4. 考 察

##### (1) 付随陰性変動 (CNV)

本調査における最も注目すべき所見は、高所に移動した時のCNVの減少である。CNVの本態のついては現在の段階では不明な点が多いが、一般に脳皮質浅層において発生している興奮性シナプス電流により生じるフィールド電位が含まれていると推定されている。また、脳の深部に由来する電位もCNVの一部を構成するという報告もある。一方、CNVは感覚入力に続く脳の期待状態を反映するとされている。この点から考えて、高所の低酸素環境下におけるCNVの減少は、随意運動能力の低下、感覚入力に対する応答能力の低下とある程度平行関係があると思なすことができる。運動に先行して神経細胞に発生している興奮性シナプス電流がCNVの起源の一部と仮定すれば、興奮性シナプス電流の減少は脳皮質運動野の錐体路細胞の興奮閾値を上昇させ、このため随意運動の発現が遅れると考えられる。さらに感覚入力に対する錐体路細胞の応答閾値も上昇し、視覚や末梢感覚の情報を受けて発現する運動機能も大きな影響を被るであろう。

警告および命令刺激に対する持続性の反復応答によるCNVの漸増現象が高所においてみられなくなることも興味のある所見である。これは今回の13名の被検者のうち2名においてみられた。高所において持続性の精神作業能力が低下することは、以前から知られていたが、今回のデータは、脳の電気活動を指標として従来の観察結果をうらづけるものと考えられる。

CNVの初期の成分が後期の成分よりも高所で減少しやすいという傾向は次のように解釈することができる。即ち、初期の成分は、脳皮質前頭連合野を中心に発生し、後期の成分は運動野を中心に発生するという報告を考慮すると、高所においては、前頭連合野が運動野よりも電気活動の低下を来しやすく、低酸素の影響を受けやすいと考えられる。即ち前頭連合野の統合能力が運動野の運動始動能力よりも障害されやすいと推定される。

現在のところ、脳の電気活動を脳の機能に直接結びつけることには多くの問題点を含んでいるが、上記の議論は一つの作業仮設として今後の解析の手がかりになることが期待される。

##### (2) 運動準備電位 (RP)

高所においてはCNVの減少とともにRPの減少も観察される。CNVとRPの最も大きな違いはRPには警告刺激に相当する感覚入力の前以って与えられていない点にある。即ちRPは文字通り自身の自由意志に基づいた運動に伴って発生しているため感覚入力による影響を受けない。それではRPを発生させる入力はどこから来るかが問題になるが、その可能性の一つとして前頭連合野からの連合線維による入力が挙げられる。高所の低酸素環境下においては、連合野の活動が低下し、運動野の錐体路細胞に対する連合性入力が減少するためにRPの減少を来す可能性がある。

##### (3) 視覚誘発電位 (VEP)

高所に滞在中はしばしば視力障害をきたす。特に、8000m以上の高度では程度の差はあるが、全員何らかの症状を訴える。今回の調査では、視力障害を来したのは2名のみであったが、1名は8100mの高度に達した後に症状が現れた。日中は暗い場所が見えにくく、夜間、特に早朝は視野がすすんで物の判別が困難な程度であった。VEPは平地にくらべて有意の減少がみられた。一般に7000m以上の高所では視力障害をきたした場合も5000mあたりまで下降すると回復する。今回、VEPが減少したのは3名であったが、7000m以上の高所で測定すると減少例はさらに増えるものと考えられる。

##### (4) 最大呼気流量 (PEF) および心電図 (ECG) の所見との比較

一般に、呼吸及び循環系の機能障害は、神経系に対する酸素、エネルギー等の補給を低下させ、神経系の機能障害が生じると推定されるが、今回の調査では必ずしもこの推定をうらづける所見は得られなかった。即ち、CNV或いはVEPに減少のみられた7名のうち、PEFが減少したのは1名、ECGに変化の見出されたのは2名のみであった。この結果から高所における低酸素域は低温の影響は、呼吸循環系を介さずに、直接、脳神

経系におよび、呼吸循環系に変化が現れる前に脳機能に変化を起こす場合も多いと考えられる。事実、今回もCNVが減少した5名にはECGには変化が認められず、PEFも減少していない。脳の神経細胞に対する低酸素域は低温の直接作用についての解析は、今後進められるべき重要な課題である。

## 5. 要 約

①大脳の付随陰性変動(CNV)、運動準備電位(RP)、視覚誘発電位(VEP)、最大呼気流量(PEF)および心電図(ECG)の記録を、海拔0~100mの平地および4000m以上の高所で行い、その特徴を調べた。被検者は全部で13名であった。

②7名の被検者において、平地にくらべて高所では、CNVが有意に減少した。この7名のうち、4名は運動障害、感覚障害等の症状を訴えた。平地および高所における7名のCNVの平均値は $19.3 \pm 5.7 \mu V$  (S.D.) および $8.1 \pm 3.9 \mu V$  (S.D.) であった。

③上記の7名のうち2名のCNVにおいて、警告刺激に続く初期の成分が、高所で顕著な減少を示した。一方、命令刺激に先行して現れるCNVの後期の成分の減少は軽微であった。これらの結果から、大脳前頭連合野を中心として現れる初期の成分は、運動野を中心とする後期の成分よりも低酸素に対して感受性が強いと結論された。

④警告刺激により発生する視覚誘発電位(VEP)は3名において、有意の減少を示した。そのうち2名は視力障害を訴えた。平地および高所における3名のVEPの平均値は $38.7 \pm 11.3 V$  (S.D.) および $24.6 \pm 8.5 \mu V$  (S.D.) であった。5000m前後の測定高度においては、VEPはCNVよりも低酸素に対して感受性が低いと推定された。

⑤CNVに変化のみられた7名のうち、心電図に変化の見出されたのは、2名のみであった。また、高所において最大呼気流量に有意の減少のみられたのは1名のみであった。

⑥以上の結果を総合して、大脳皮質前頭連合野由来のCNVの前記の成分が、運動野由来の後期成分や視覚誘発電位よりも高度(低酸素)の影響を受けやすく、また高次神経系は呼吸および循環系とは異なった機序により機能障害を来す可能性が示唆された。

## 参考文献

- Araki, T. et al. (1976)  
Supraspinal control of slow and fast spinal motoneurons. *Progress in Brain Research*, 44, 413-441.
- Kornhuber, H. et al. (1965)  
Hirnpotentialänderungen bei willkürbewegungen und passiven bewegungen des menschen. *Bereitshaftspotential und reafferente potentiale*. *Pflügers Arch. ges. Physiol.*, 284, 1-17.
- Rohrbaugh, J. et al. (1976)  
Brain wave components of the contingent negative variation in humans. *Science*, 191, 1055-1057.
- 正路倫之助ほか (1952)  
人体の耐高性に関する生理学的研究。日本生理学雑誌, 13, 145-153.
- Walter, W. et al. (1964)  
Contingent negative variation: An electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 203, 380-384.

### Ⅲ. 神経系の機能検査

高所における神経系の機能検査としては以下の項目が測定可能である。

#### ①神経の伝導速度

高所における末梢神経の伝導速度の測定を電気刺激装置とメモリオシロスコープを用いて行う。活動電位はデータレコーダーに記録しておく。

#### ②脊髄反射電位

神経の伝導速度と同じく電気刺激装置、メモリオシロスコープ、データレコーダーを用いて行う。主にH波及びM波に注目するが屈曲反射により発生するが屈曲反射により発生する活動電位の記録も試みる。

#### ③大脳運動関連電位、事象関連電位

一定のプログラムに従い、判断力を伴った運動を行い脳の表面から電気活動を記録する。専用の前置増幅器、刺激装置、データ処理用プログラムおよびコンピュータを使用する。

#### ④大脳誘発電位

光刺激、音刺激及び末梢の皮膚に与えた電気刺激により発生する誘発電位を大脳表面より記録する。これらの記録には反応加算コンピュータを使用する。

#### ⑤睡眠中の脳神経系の電気活動と動脈血酸素飽和度

高所においては主として低酸素の影響により、睡眠中に呼吸運動のリズムに変調をきたし時

には一時的に呼吸が停止する。このために動脈血の酸素飽和度が低下し、脳の機能障害をきたし、この症状が進行すると、重症高山病・脳浮腫・肺水腫に陥ると推定されているが、直接の証明はなされていない。本隊においては脳波・大脳誘発電位・眼振図・呼吸運動・心電図・動脈血酸素飽和度の同時記録を行い、上記の高山病の発生機序に関する仮説の検証を行う。この調査には長時間の連続記録が必要とされるので専用のレコーダーを使用する。この調査はベースキャンプだけでなく、上部のキャンプにおいても行う。

#### ⑥神経系の電気活動と心電図及び呼吸機能

一般に高所における脳の機能障害と呼吸循環系の機能障害はそれぞれ独立して発生すると考えられている。しかし、高所脳浮腫と高所肺水腫が併発することも多く、一方の機能障害が原因となって他方が誘発される可能性も指摘されている。これらの問題を電気生理学的所見をもとにして検討する。

以上の各項目の調査は、ヒマラヤおよびカラコラムにおいては、今まで行われていない。今回のネパールのナムチェにおける調査では、大脳誘発電位、脳波、コンピュータによる反応検査中および専用プログラムによる刺激中の大脳運動関連電位および事象関連脳電位、眼振図、心電図、胸部および腹部の呼吸運動、動脈血酸素飽和度等の測定を行った。また、数名の被検者について、睡眠中の連続記録も試みた。1990年のシシャパンマ隊においては、これらの項目について系統的に調査を進める予定である。