

乗務員の健康管理 サーキュラー

脳波検査の意義



1 脳波とは ～ベルガーの脳波を信じるか？～

脳は、人間の思考、行動を支配するのみならず、その情動や自律機能をも統御する最高の中枢器官です。数百億の神経細胞は常に活動しており、それらの神経活動から発せられる微弱な電気活動は意識の水準や知的活動に伴い常に変化しています。それらの膨大かつ複雑な脳の電気活動は頭皮の表面では100万分の1ボルトという極めて弱い電位ですが、それを増幅して可視化したものが脳波というものです。しかし、医療が進歩した現代でも時々刻々と変化する脳機能の変動を客観的にとらえる方法は多くはありません。CT、MRIなどの画像検査は形態を把握するには適していますが、神経細胞の活動はわかりません（例えば心臓の不整脈はCTを撮ってみても判らず、心電図ではじめて診断がつくことを想像していただくとわかりやすいと思います）。また、最近では脳血流シンチグラフィ（通称SPECT検査）やポジトロン断層法（通称PET検査）といった脳の血流や代謝をみることで脳の機能を評価する検査方法がありますが、数十ミリ秒～数百ミリ秒単位で変化する脳の機能を知ることはできません。脳磁図という検査がありますが、稼動に巨大な施設や経費を要することもあり現時点では研究レベルでしか用いられていません。一方、脳波計は最も簡便かつ安価な検査機器の一つで、日本中の精神科病院、病院には必ずある医療機器です。

人の脳波活動を最初に記録したのはドイツのイエナ

大学の精神科医であったハンス・ベルガーで、1924年から研究を始め1929年に「ヒトの脳波について」という論文を発表しました。ベルガーが行った脳波研究の成果は、正常人の脳波、てんかん、脳腫瘍、精神障害の脳波など、現在も臨床的に脳波検査が対象とする分野をほとんど網羅している画期的な業績でした。しかし、当時としてはベルガーが脳の活動を電氣的に計測できたということに対して懐疑的な見方が大半で、研究者の間では「君はベルガーの波を信じるか？」といった言葉がよく取り交わされていたそうです。しかし、その後1933年に、ノーベル賞受賞者でもあり、当時最も設備の整ったケンブリッジ大学にいたエイドリアンという人が追試を行ない、ベルガーの研究が正しかったことが証明されました。それを契機に脳波学が広く普及するに至りました。

2 脳波の検査法

脳の電気活動は、頭皮上に装着された電極とその導出線を通して電極箱、そして脳波計に導かれて記録されます。脳波計は、増幅部分と記録器からなり、脳から発生したマイクロボルト単位の微弱な電位変動を増幅器によって100~200万倍に増幅します。その電位の波形を以前は記録用ペンを振れさせ、一定速度で流れる紙の上に脳波を記録させていましたが、現在はデジタル化されモニター上で視察し保存されることが一般的となっています。

頭皮上に装着する電極は通常は金属製の円盤電極で、

図1 国際10-20法の電極位置

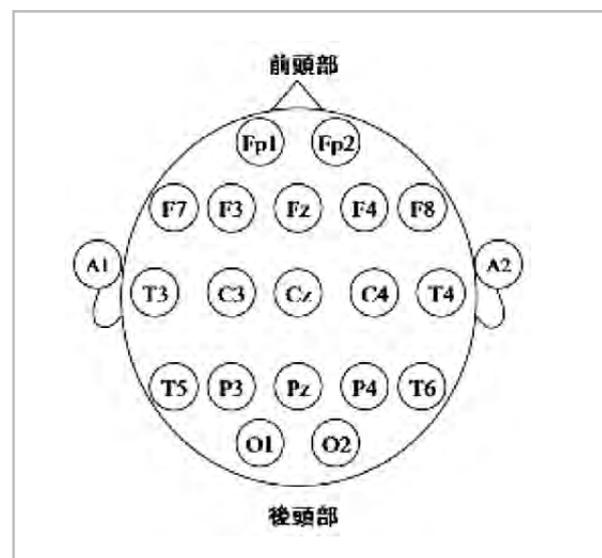
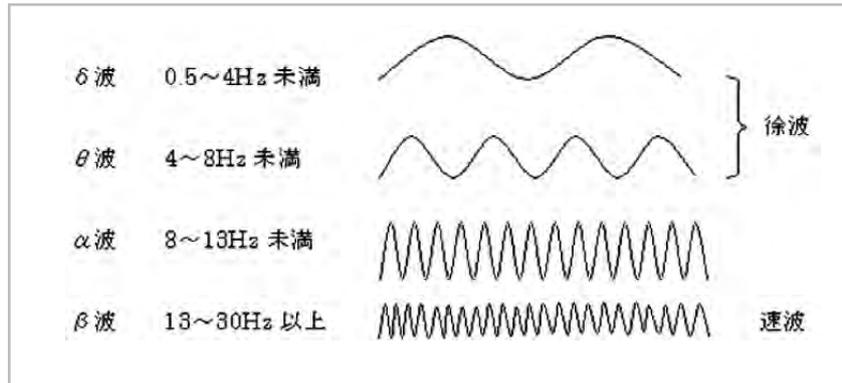


図2 脳波の周波数について



その数と位置は国際脳波学会（1958）が推奨した10-20法に基づいて装着されます（図1）。図にみられる耳にあるA1かA2の電極を基準電極とした場合の各電極との電位差、もしくは各電極同士の電位差を電位変動として脳波では記録することになります。

実際の脳波検査では、シールドルームという電氣的に隔離された部屋で行なわれます。ベッドに仰向けに寝て、頭に十数個の電極をペースト（糊）で取り付けます。安静にしている、目を開いたとき、目を閉じたとき、深呼吸をしたときなどの脳波を調べ、さらにてんかんの異常波形を誘発させるために光や音の刺激を与えて測定します。また、睡眠中の脳波を測定することもあります。検査時間は準備を含めて約30分ですが、他の検査も行ない2時間くらいかけることもあります。

3 脳波はどのように生じるか？

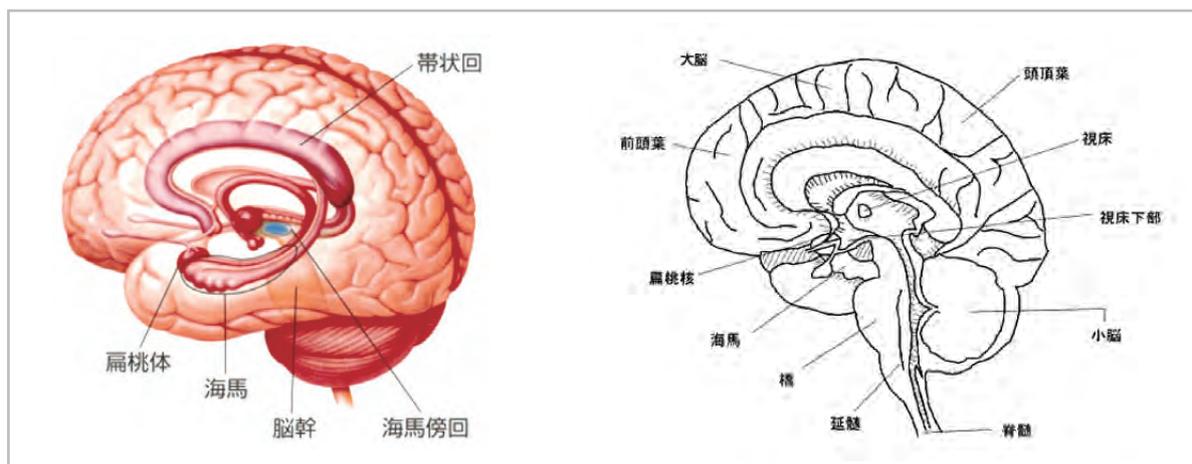
脳の電位変動は1秒間に3cmの速さで流れる紙の上に記録されると通常は後頭部優位に1秒間に8~13個ほど

の電位の波が描かれます。つまり8~13Hz（ヘルツ）の波が出現するわけです。健常者では安静覚醒時ならば、視察的には8~13Hzをメインに4~8Hzや13~30Hzの波が少量含まれるのが一般的です。これらの波を脳波では便宜的にα波、θ波、β波と呼んでいます（図2参照）。

例えばδ波（0.5~4Hz）は安静覚醒時の健常者では出現することは無く、脳内に梗塞や腫瘍などの病変がある場合や意識障害がある場合に出現します。

脳波がなぜα波のようなリズムをもって生成されるのか、実はその発生機序はよく分かっていません。既述のように脳には数百億といわれる神経細胞が常に休まず活動しています。当然のように一個の神経細胞だけでは脳波で記録できるほどの電位は生じませんし、多数の神経細胞がバラバラに興奮しては電位が相殺されてしまいます。大脳皮質のある一定数の神経細胞が興奮・同期してはじめて脳波上の電位が生じます。脳波として反映されるのはあくまで頭皮に近い神経細胞群の電位ですが、脳幹部のような脳の深部にある部位の異常も脳波異常として出現します（図3）。脳の各部

図3 脳の各部位



位は複雑な機能的連携を保っているために、脳幹部の異常が脳表に近い大脳の神経細胞の活動にも影響を与えるのでしょう。しかし、脳の機能的な連携についてはまだまだ未知のことが多く、例えば α 波のような脳波を生じさせるようなジェネレーターが脳内にあると推定されていますが、それがどこにあるのか、どのような機序で α 波を形成するのかわかっていません。

一方、脳波の発生機序ははっきりしないながらも脳の活動状態と脳波が密接に関係していることが分かっています。脳波に最も敏感に反映されるものの一つが意識状態です。例えば、意識が清明な状態では α 波が優勢ですが、少しでも意識がまどろむような状態になるとそこに θ 波の混入が増えてくる、すなわちゆっくりとした波形に変化します(図4)。立体的な構造を把握することが得意であるCTやMRI検査でもヒトが眠っているかどうかは分かりませんが、脳波では入眠するとすぐに変化が現れます。このように意識レベルの変化に関して非常に敏感な検査が脳波です。

4 脳波によってわかる病気

医療や研究の現場では、脳波検査の特性をいかして人間の様々な意識・精神状態の評価、病気の検査に用

いられています。ここでは、健常なヒトにみられる正常脳波と病気のヒトにみられる異常脳波について述べます。

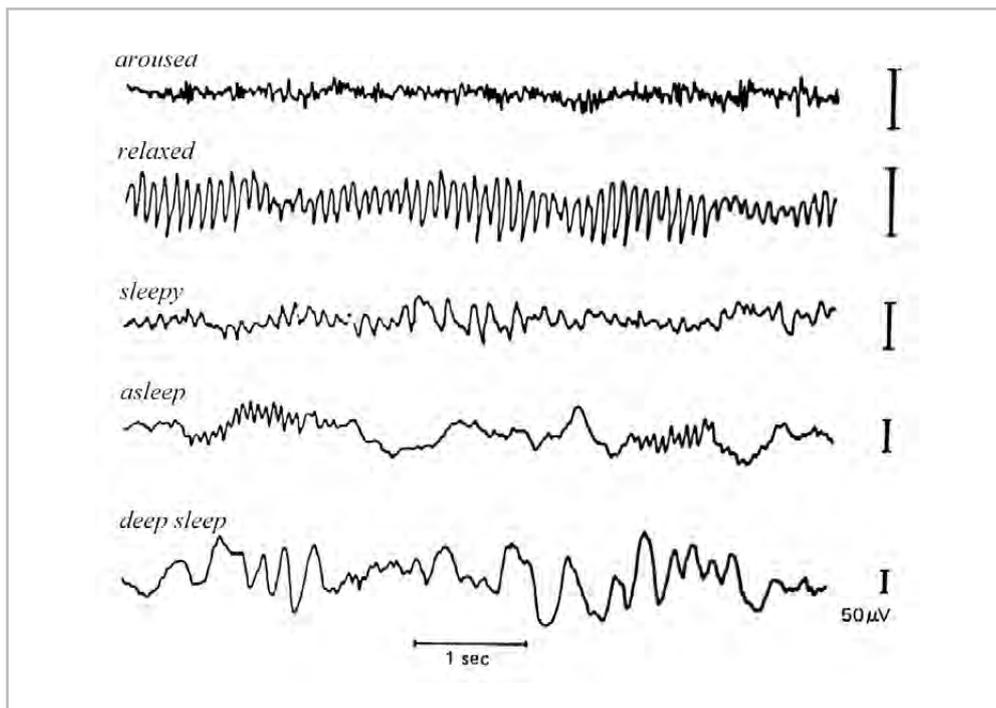
◇ 健常な人にみられる正常脳波

既述のように脳波の周波数は δ 波(0.5~4Hz)、 θ 波(4~8Hz)、 α 波(8~13Hz)、 β 波(13~30Hz)に分類され、 δ 、 θ 波を徐波、 β 波を速波とも呼びます。健常成人(18歳以上)の覚醒、閉眼、安静時脳波は主に α 波から成り、基礎波としての α 波に少量の β 波と θ 波が混入します。開眼、計算などの精神作業で α 波が目立たなくなり、 β 波が優勢になります。 α 波には個人差があり、人によって12Hzが優勢な人もいれば9Hzが優勢な人もいます。

◆ 加齢による変化：小児では徐波が多く、成長とともに α 波が優勢となり18歳前後で成人脳波になります。一方、老人では α 波は優勢であっても α 波自体に徐波傾向がみられます(本来12~13Hzだったものが8~9Hzになっていく)。

◆ 睡眠時脳波：脳波によって睡眠の深さがわかります。入眠期、軽睡眠期、中等度睡眠期、深睡眠期、レム

図4 意識水準によって変化する脳波



覚醒(aroused)から軽眠(sleepy)、入眠(asleep)、深い睡眠(deep sleep)となるに従い、脳波の周波数が遅く(波が緩やかになっていく)なるのが分かる。

期の各ステージに特徴的な脳波所見から判断することができます。脳波に呼吸曲線、眼電図、心電図、筋電図などを加えた長時間睡眠記録（ポリソムノグラフィ）は、睡眠時の種々の異常（睡眠時無呼吸症候群など）の診断に役立ちます。

◇ 異常脳波

1) 正常所見の抑制・消失や左右非対称、2) 健常人にみられない異常活動（棘波、徐波、棘徐波複合などの発作波）の出現があります。これらの異常脳波から、以下のような疾患の診断や病態分析ができます。また、脳波は脳死判定にも用いられます。

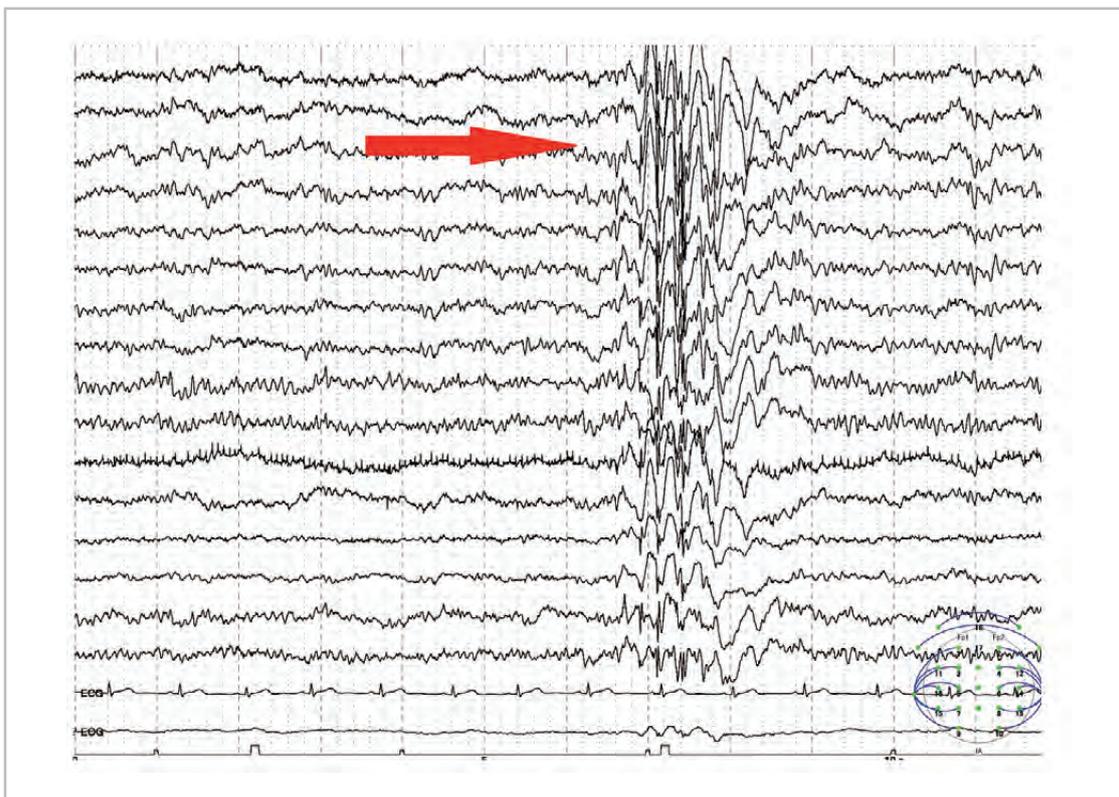
◆ てんかん：健常人においては、大脳の神経細胞は規則正しいリズムでお互いに調和を保ちながら電気的に活動しています。しかし、「てんかん」の人の脳では、この穏やかなリズムを持った活動が突然崩れて、激しい電気的な乱れ（神経細胞の過剰発射）が生じ、手足や身体のかげれん、意識消失が出現します。これが、てんかん発作です。また、てんかん発作は繰り返しおこることが特徴です。そのため、1回だけの発作では、ふつうは「てんかん」という診断はつ

けられません。

脳波検査はてんかんを診断するための最も重要な検査です。「てんかん」には様々な発作型がありますが、脳波は診断的価値が高く、各臨床発作型に特徴的な発作波がみられます。鑑別診断、治療薬の選択や中止の判断材料になります（図5）。

- ◆ 脳の感染症：脳炎による脳障害や意識障害の程度、臨床経過、治療効果、予後などの判定や局在診断に役立ちます。クロイツフェルト・ヤコブ病、亜急性硬化性全脳炎、単純ヘルペス脳炎などでは周期性同期性放電がみられることがあり、診断に役立ちます。
- ◆ 代謝異常、中毒：甲状腺機能異常、糖尿病性昏睡、低血糖昏睡、無酸素脳症、一酸化炭素中毒、尿毒症、肝性昏睡（三相波）では脳波異常が出現します。
- ◆ 脳血管障害、脳腫瘍、頭部外傷、精神疾患、アルツハイマー型痴呆など：徐波化などの非特異的所見を呈します。

図5 てんかんにみられる異常波形



脳波の波形が大きく乱れている（矢印）。棘徐波複合と呼ばれるてんかんに特徴的な波形である。

（提供：東京慈恵会医科大学 精神医学講座 岩崎 弘）

5 おわりに ～航空身体検査における脳波検査

2002年の道路交通法改正により一定の条件を満たせばてんかんを持っている人でも運転免許証が許可されることになりました。警視庁からの要請により、日本てんかん学会が「てんかんに係る発作が、投薬なしで過去5年間なく、今後も再発のおそれがない場合を除き、通常は、大型免許及び第二種免許の適性はない」との見解を示しています。しかし、2011年、クレーン車を運転していた人がてんかん発作により意識を失ったことにより、たいへん痛ましい交通事故が発生しました。その後もてんかンを原因とした重大事故が発生しており、自動車運転に支障のある者が免許取得・更新時に虚偽申告を行った場合に罰則を設ける改正道路交通法が2013年6月14日に公布されました。このように一般の方でも乗用車を運転する際には、法律による適性を問われるわけですから、公共機関の乗組員はさらに厳密な条件を要します。例えば、列車の運転士もその適性検査として脳波検査を行っています。

航空機乗組員は航空法第31条の定めにより、航空機の操縦に係る技能証明のほか、国土交通大臣又は指定航空身体検査医による航空身体検査証明を取得する必

要があります。これは、航空機乗組員が航空機に乗り組んで、その運航業務を遂行するために必要な心身の状態を保持しているかどうかについて検査・証明を行うものです。航空身体検査マニュアルには「脳波検査は、初回の航空身体検査時、航空事故又は他の事故等により頭部に衝撃を受けた後の最初の航空身体検査時及びその他診断上必要と認められた場合に実施する（脳波計は、JIS規格のものを使用する。）。なお、初回の脳波記録は、以後比較参照の必要が生じることもあるため保存されることが望ましい。」とあります。この条項は、前項で示したような脳波検査により評価可能な、てんかん、頭部外傷による後遺症、脳の感染症、脳血管障害、脳腫瘍などの障害を想定していると思われ

ます。航空機乗組員は、他の職種と比較してもとりわけ厳しい身体検査を課せられています。航空会社によってはマニュアル通りに脳波検査を初回の航空身体検査のみで済ましているところもあるようですが、てんかん、脳血管障害、脳腫瘍などは、加齢に伴って新たに発症する病気です。業務の厳格さや責任の重大さから考えると、航空機乗務員が定期的に脳波検査を受けることはいわば社会的な要請といえるかもしれません。

著者略歴

角 徳文 先生

東京慈恵会医科大学精神医学講座・講師

1994年 東京慈恵会医科大学卒業

以後、同精神医学講座にて所属、精神科の診療とともに老年精神医学の研究に従事

2003～2004年 フランス国立モンペリエ大学神経科高度専門医研修

2004～2006年 フランス国立保健医学研究所 研究員

2006年～ 東京慈恵会医科大学精神医学講座・助教

2012年～ 東京慈恵会医科大学精神医学講座・講師

一般財団法人 航空医学研究センター

〒144-0041 東京都大田区羽田空港1-7-1 第二綜合ビル6F
TEL:03-6459-9970 FAX:03-5756-0139
<http://www.aeromedical.or.jp>