

『標準化の理想と現実』

—脳波検査の臨床実践—

■開催日：2023年6月30日（金）

■講師：九州大学病院
酒田 あゆみ

■生涯教育点数：専門-20点

I. はじめに

臨床検査において標準化の需要が高まり、施設ごとの手順書やマニュアル整備、機器のメンテナンス記録保管、技術的要素の内部および外部における精度管理などがごく当たり前に行われるようになってきた。脳波検査においても例外ではなく、患者さんがいつ、どこの施設で検査を受けても同等の評価を受けることができるような記録を行う準備が必要である。とはいえ検査の対象がヒトであるがゆえに、年齢や覚醒度など変動要素が多彩であり、生理的許容範囲が広いと、何をもって精度を管理するか条件設定に苦慮する施設が多い。脳波の専門学会でも確立した精度管理方法は設定が難しい状況である。

今回は脳波検査に必要な精度として機器、電極装着手技、波形記録、解釈において求められる最低限の事項について当院の運用を例に概説する。それらの根拠についても述べるが、理想と現実は付きものであり、「そうは言っても全うし難い」という部分もあるため、その場合の対応や解釈についても例を示す。なお、ここではすべてデジタル脳波計の仕様をもとに説明する。

II. 脳波計について

デジタル脳波計は、大脳皮質由来の脳波が頭皮上に伝わってきたアナログ信号を、処理可能な周波数および電圧の範囲で入力箱に取り込んで差動増幅し、デジタル信号に変換、各種フィルタを経て人の目で視認できる波形とし、ディスプレイ上に表現する仕組みとなっている¹⁾。通常のルーチン脳波検査では視察で周波数の低い方から δ 、 θ 、 α 、 β を視認する運用のため、それらを浮き立たせるように、言い変えるとそれ以外の周波数

帯域が邪魔しないようにフィルタを設定する。また、振幅においてもディスプレイ上に20ch前後の波を並べるため、波形がぶつかり合わないような感度設定を行う。

III. 機器の精度管理

1. 入力箱の性能評価

脳波計の入力箱内で行われている差動増幅の性能評価については各メーカーの点検が基本となる。検査室でできることとして、入力箱からの出力信号が適正に表示されるか簡易的に評価する治具がある。しかし汎用性がなく、機械的に作られた一定のサイン波であり、生体信号とは異なる生成であること、購入費用が必要であることなどの問題点がある。

2. 校正波形

デジタル脳波計における校正波形は入力箱、つまり差動増幅器やA/D変換器を経由しておらず、コンピュータ内で生成している校正の疑似波形である²⁾。かつてアナログ脳波計時代に校正していた名残のようなものであり、デジタル脳波計ではあくまでもディスプレイ上での波形表示条件を表しているに過ぎない。よって校正波形を描くことで入力箱の性能を評価することはできない。横の長さで時間（秒数）を、縦の長さで振幅の表示条件を示しており、「この表示条件で波形を見せますよ」というお知らせツールである。

3. 臨床で入力箱に求められる最低限の性能評価

上記1. 2. を踏まえ、当院では汎用性を考慮し、全施設で実行可能かつ簡易的な方法がないか模索し、非生体試料を用いたNegativeコントロールと生体信号を利用したPositiveコントロールを設定しその結果を2018年の第67回日本医学検査学会で報告した。

Negativeコントロールは、すべての電極を飽和食塩水に浸けて、脳波計の内部雑音を超える異常信号がないか確認するというものである。現在ヒトの脳波としての最低振幅は平成22年度法的脳死判定マニュアルに基く資料より $3\mu\text{Vp-p}$

とされているため、少なくともこの値を超過する異常信号がないことを担保すれば、その入力箱の性能はヒトの脳波を記録するに際し問題がないと判断できることになる。なお、入力端子のすべてを短絡させて確認する方法もあるが、そのためには短絡用のリード線を購入する必要があり、施設の方針に依るところである。

Positive コントロールは、ヒトの開閉眼に伴うアーチファクトの極性変化を利用しその妥当性を評価することとした。ヒトの眼球は網膜がマイナスに帯電しているため相対的に角膜がプラスとなっている。また、閉眼時に眼球は上転しており、開眼により水平位に降りてくる（Bell 現象）。そのため同側耳朶基準導出において安静閉眼記録時に開眼すると眼球が下方移動し前額部（Fp, F）の極性が陰性に傾く（角膜のプラスが遠ざかる）ことで波形は上向きに振れる。次に閉眼すると眼球が上転するため前額部の電極が陽性に傾く（角膜のプラスが近づく）ことで下向きに振れる（**図 1**）。これを眼球運動に異常が指摘されていないスタッフで行っている。通常眼球運動は後半球まで波及しないため、後半球の導出においては頭頂～後頭部電極（P～O）にこのアーチファクトが混入しないことで充足してもいいし、短絡用リード線を購入する施設では全入力端子を Fp と短絡させて同じ波形が描画されることを確認してもいい。

当院では Negative, Positive 両方の試料を脳波計ごとに巡回して毎年 1 回行っている。なお、Negative コントロールについては、新品リード線を使用する際にも行うことで、入力箱とともに電極エージングが十分であることの確認にも利用できる。

4. システムリファレンス導出

デジタル脳波計では差動増幅の基準にシステムリファレンスが設定される仕組みになっている。これはメーカーや入力箱により異なっており、各施設で確認の方法が異なることになる。当院で使用している入力箱ではシステムリファレンスが 2 種類あり、C3 と C4 の電位の平均値を利用する入力箱、国際 10-20 法以外の電極の電位を利用する入力箱となっている。多くの施設が C3 と C4 の平均電位を利用しているが、実はこのシステムリファレンスであれば記録開始時の同側耳朶基準導出において C3 と C4 に明らかなアーチファクトがないかどうかで容易に判断ができる。この時点で電極が不安定でアーチファクトが入るようであれば自ずとシステムリファレンスにもそのアーチファクトが入っているからである。

一方で国際 10-20 法以外の電極を設置するタイプの入力箱を使用している場合はシステムリファレンス導出を描出しなければその電極の不安定さを見つけることができない。また、入力箱は処理可能な電圧以内（通常約 3mV）であれば何

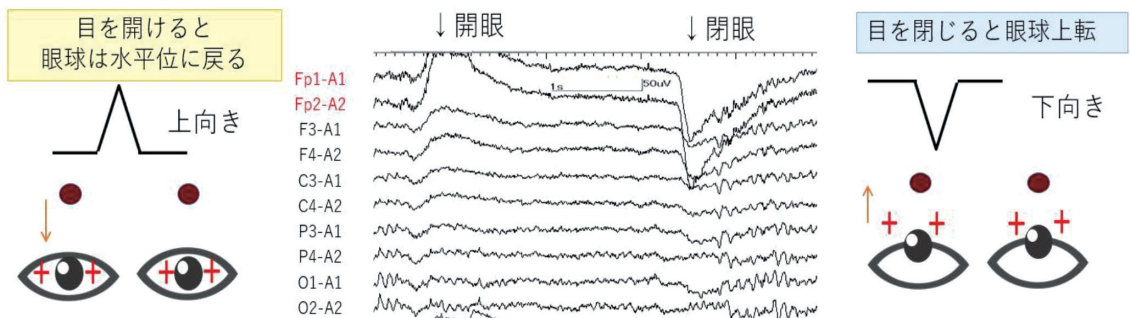


図 1 眼球運動を利用した極性変化の確認

眼球の動きによる電位変化の影響を受ける電極は開眼に伴い上向きに、閉眼に伴い下向きの波形が描かれる。影響を受けにくい後頭部の電極では電位変動の入力がないため増幅される成分がないことを確認する

かしらの電位を差動増幅してしまうので、システムリファレンス電極がどのようなコンディションであれ、波形が平坦になることはない。よって、システムリファレンス導出の波形を記録したとしてもそれらが脳波として妥当な波形か、電位勾配を呈しているかどうか、結局のところ脳波判読スキルが求められる。

IV. 技師（技術）の精度管理

1. 電極装着について

電極は国際 10-20 法に従い装着するが、実際に装着するとなると正しい位置かどうか不安が付きまとい、抵抗低減に手間取り時間がかかり過ぎて被検者が眠ってしまうなど難渋することが多い。厳密には計測して装着することが望まれるが、日常業務の中で許容される所要時間との兼ね合いもあるため施設により簡略化した方法なども提案されている。ここでは適正に装着された場合の目安になる位置を紹介する（図 2）。

また、頭皮に電極を装着する際の髪の毛の掻き分け方、付ける順番など毛髪や頭皮の状態に応じて臨機応変に変化させることで速やかに電極を密着させることが可能になる。

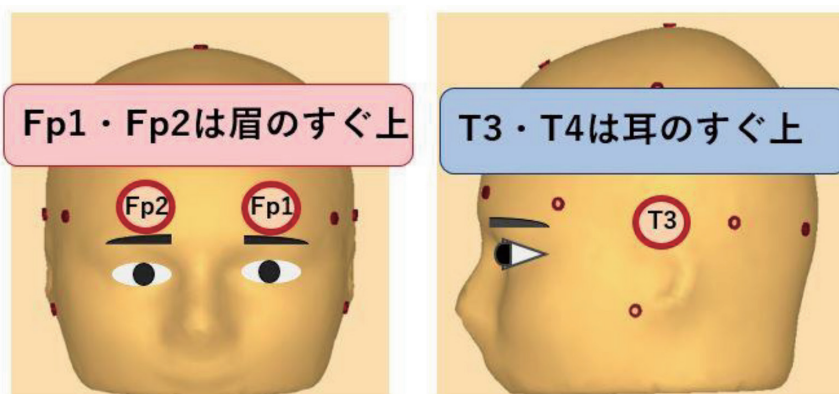
2. 記録時の留意点

脳波記録は安静覚醒閉眼時の背景活動から生理的状態か非生理的状態かという脳機能状態を把握

することから始める。そのためには記録している波形が脳波かアーチファクトかの鑑別、年齢に応じた後頭部優位律動および覚醒度評価、賦活や刺激による背景活動の変化や異常波の誘発、またそれらの反応性などを組み合わせて評価する。そのためには検査者も判読を意識し演出するように記録することが求められる。つまり、手順書通りに記録を進めるだけではなく、今自分が何を記録しているのか、自分のアレンジでどのように変化するのか、させるのかという視点が要求される。

3. 目合わせ

当院では原則、自身が担当した記録においてレポート下書き初版を記載する運用としている。最終報告書との整合性を評価することで判読医との目合わせにもなり、誰がどの程度の判読スキルに到達しているかを可視化している³⁾。過不足については版歴により自身でも復習可能であり、教育担当者からフィードバックする指標にもなる。また、年 1 回の部内目合わせとして、波形を評価する設問と記録の流れから脳波と患者状態を判断する設問の 2 題について行っている。日常検査により近い状況で評価できるよう、生データを用いており、自由にリフォーマットして回答してもらう方式にしている。



■ 図 2 電極位置の目安

国際 10-20 法に準拠した電極配置であれば Fp 1, Fp 2 は眉のすぐ上, T 3, T 4 は耳のすぐ上に配置される。

V. 終わりに

脳波の機器管理、電極装着、記録、判読スキルは何れも理解しにくい用語や状況判断があり、一朝一夕に培うことが難しく感じがちである。原則として順守すべき手順、できれば従う方がいい手順、患者の状況や依頼内容によりアレンジする方がいい手順などを見極めるためには、院内や地域での勉強会に加えて昨今の Web 研修会などを存分に利用し、「波形から脳機能を垣間見る機会」を増やすこと、情報交換をすることが地道な近道と考えている。そうすることで機器の設定条件や各電極の意義、賦活効果など後方視的に理解が深まることに繋がる。また、同じ説明でも異なる演

者によりストンと腑に落ちることもあるため、本講演が東京都技師会の皆さまにとって、少しでも役立つ情報となれば幸いである。

【参考図書および文献】

- 1) モノグラフ 臨床脳波を基礎から学ぶ人のために 第2版. 日本臨床神経生理学会編集 診断と治療社. 東京. pp18-26. 2019
- 2) デジタル脳波の記録・判読の手引き. 日本臨床神経生理学会編集. 診断と治療社. 東京. pp4-17. 2015
- 3) 板倉朋子, 酒田あゆみ, 渡邊恵利子ら: 判読結果比較機能を用いた脳波技師の施設内スキルコントロールの試み. 日本臨床自動化学会誌. 44 (1) 34-40. 2019