



# 成人脳波の判読

西新潟中央病院 機能脳神経外科

増田 浩

01



# 脳波の原理

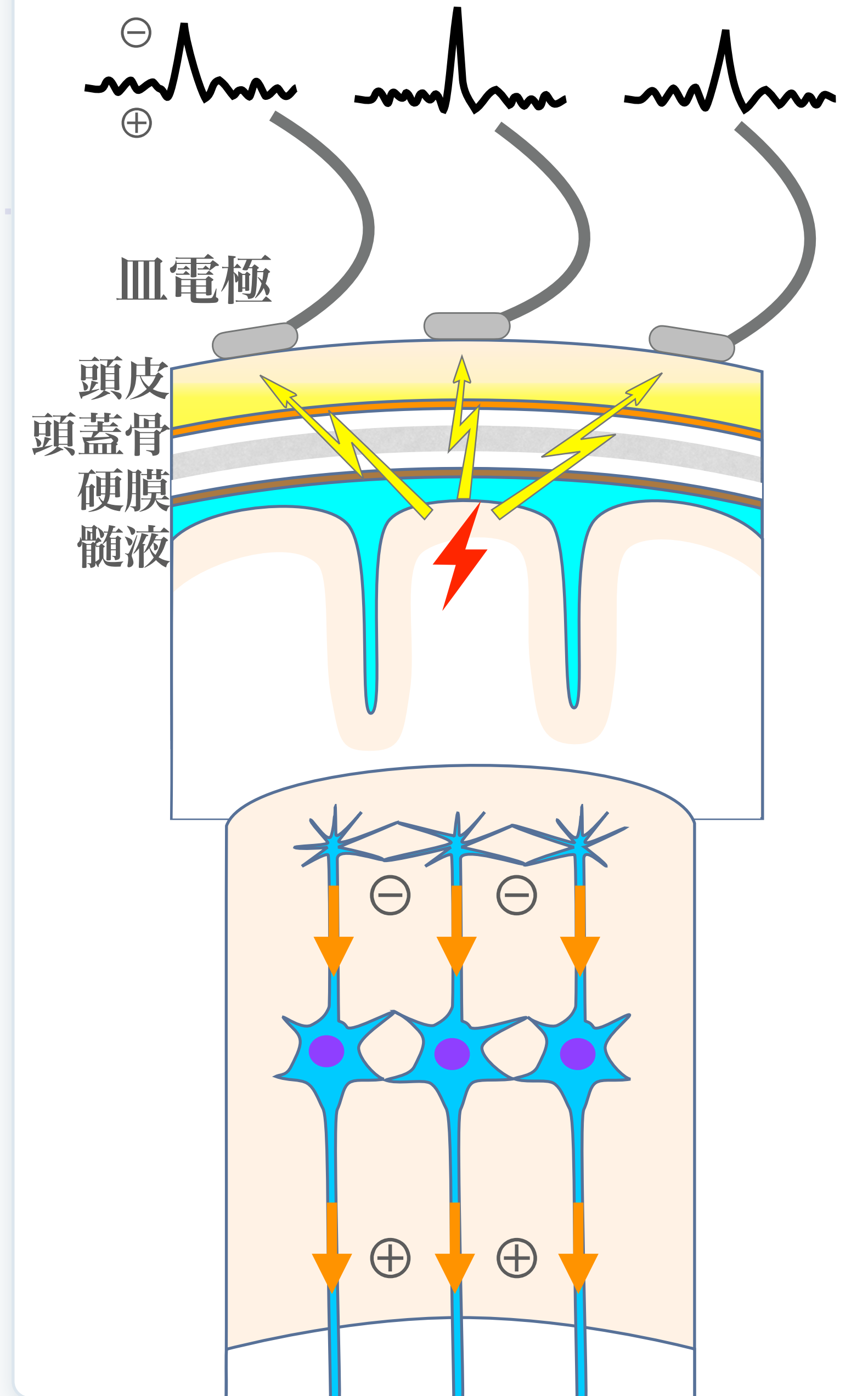
脳波が生成される仕組みと記録の基本を理解する



## SECTION 1：脳波の原理

# 脳波とは何か

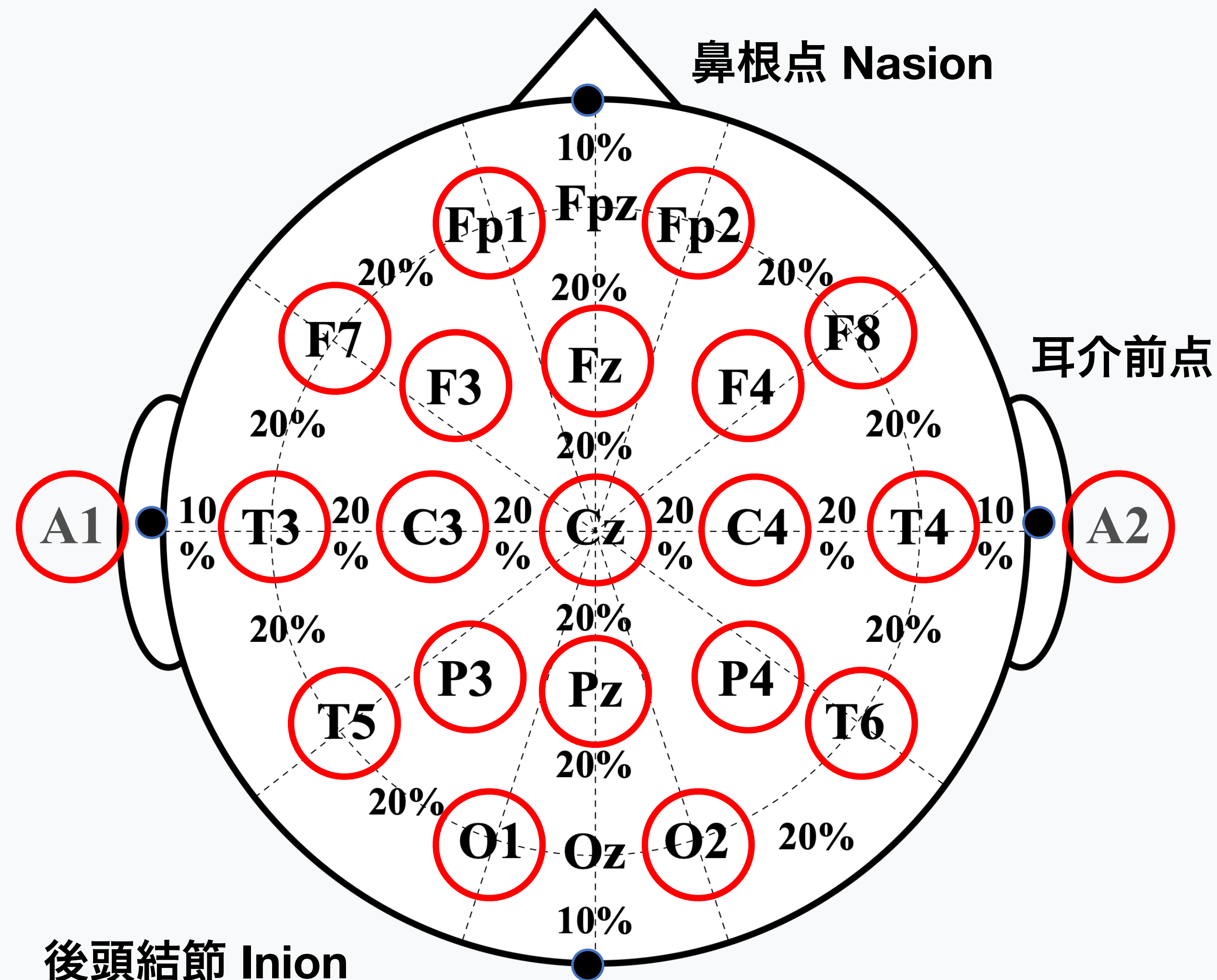
- 脳波 (EEG) は大脳皮質の錐体細胞に生じるシナプス後電位 (EPSP/IPSP) が、同期して加算された電気活動を頭皮上から記録したもの
- 活動電位そのものではなく、樹状突起・細胞体レベルの緩徐な電位変化が主体
- 多数のニューロンが同期して発火するほど振幅が大きくなる (同期性が振幅を決める)
- 頭蓋骨・頭皮を経て記録されるため信号は大きく減衰・平滑化される (容積伝導)
- 記録には多チャンネルの電極、増幅器、フィルタ、記録紙／モニタ表示が必要





## SECTION 1：脳波の原理

# 国際10-20法による電極配置



### 配置の考え方

頭蓋の基準点（鼻根点・後頭結節・両耳前点）からの距離を10%・20%比率で分割し電極位置を決定。頭の大きさに関係なく相対位置を統一できる。

### 記号の意味

Fp=前頭極 / F=前頭 / C=中心 / P=頭頂 / T=側頭 / O=後頭。奇数=左半球 / 偶数=右半球 / z=正中線を示す。

### 特殊な電極配置

蝶形骨誘導 (Sp1/Sp2)、頬骨誘導  
T1/T2 (Silverman)



## SECTION 1：脳波の原理

# 基本用語と周波数帯域

### 判読で用いる基本用語

- 周波数：1秒あたりの波の繰り返し数（Hz）
- 振幅：波の高さ（ $\mu$ V）。基準線からの上下幅
- 出現部位：左右差・前後差など局在の記載
- 対称性：左右半球間の振幅・周波数の対称性
- 反応性：開閉眼や刺激による波形変化の有無

| 帯域               | 周波数        | 主な出現状況                           |
|------------------|------------|----------------------------------|
| $\delta$ （デルタ）波  | 0.5～3 Hz未満 | 深睡眠、新生児期、病的には広範な脳機能障害            |
| $\theta$ （シータ）波  | 4～7 Hz未満   | 浅睡眠、幼児期の正常律動、傾眠傾向                |
| $\alpha$ （アルファ）波 | 8～13 Hz    | 8歳以降の小児、成人では覚醒安静閉眼時の後頭優位律動（基礎律動） |
| $\beta$ （ベータ）波   | 14 Hz以上    | 覚醒開眼時・緊張時、前頭優位、薬剤性に増加            |

02



# モニタージユ

電極の組み合わせ方によって波形の見え方が変わる



## SECTION 2：モンタージュ

# モンタージュとは

- モンタージュとは、多数の電極から得た信号をどの2点間の電位差として表示するかという「誘導の組み合わせ」のこと
- 同じ記録データでも、モンタージュを変えることで異常波の見え方・局在の分かりやすさが変化する
- 実際の判読では双極・単極を組み合わせ、複数モンタージュで確認するのが基本

### ■ 基準 (単極) 電極導出

- 電氣的に安定しているところを基準とする  
(通常は耳朶を用いる)
- 全般性・半球性の異常の検出に優れる
- ノイズの影響を受けやすい

### ■ 双極電極導出

- 通常隣同士の電極を連結して記録する
- 縦方向・横方向など
- 局在性の異常の検出に優れる
- ノイズの影響を受けにくい



## SECTION 2 : モンタージュ

# 単極誘導のバリエーション

### ■ 耳朶のバリエーション

一側耳朶電極基準導出 ( $A1 \rightarrow A2$ 、 $A1 \leftarrow A2$ )

反対側耳朶基準導出 ( $A1 \leftrightarrow A2$ )

耳朶連結基準導出 ( $A1+A2$ )

両耳朶平均基準導出 ( $Aav$ )

### ■ その他の基準導出

平均基準電極導出 ( $Av$ )

全電極の平均を基準とする

頭頂基準電極導出 ( $Vx$ )

$Cz$ を基準とする

発生源導出 ( $SD\ source\ derivation$ )

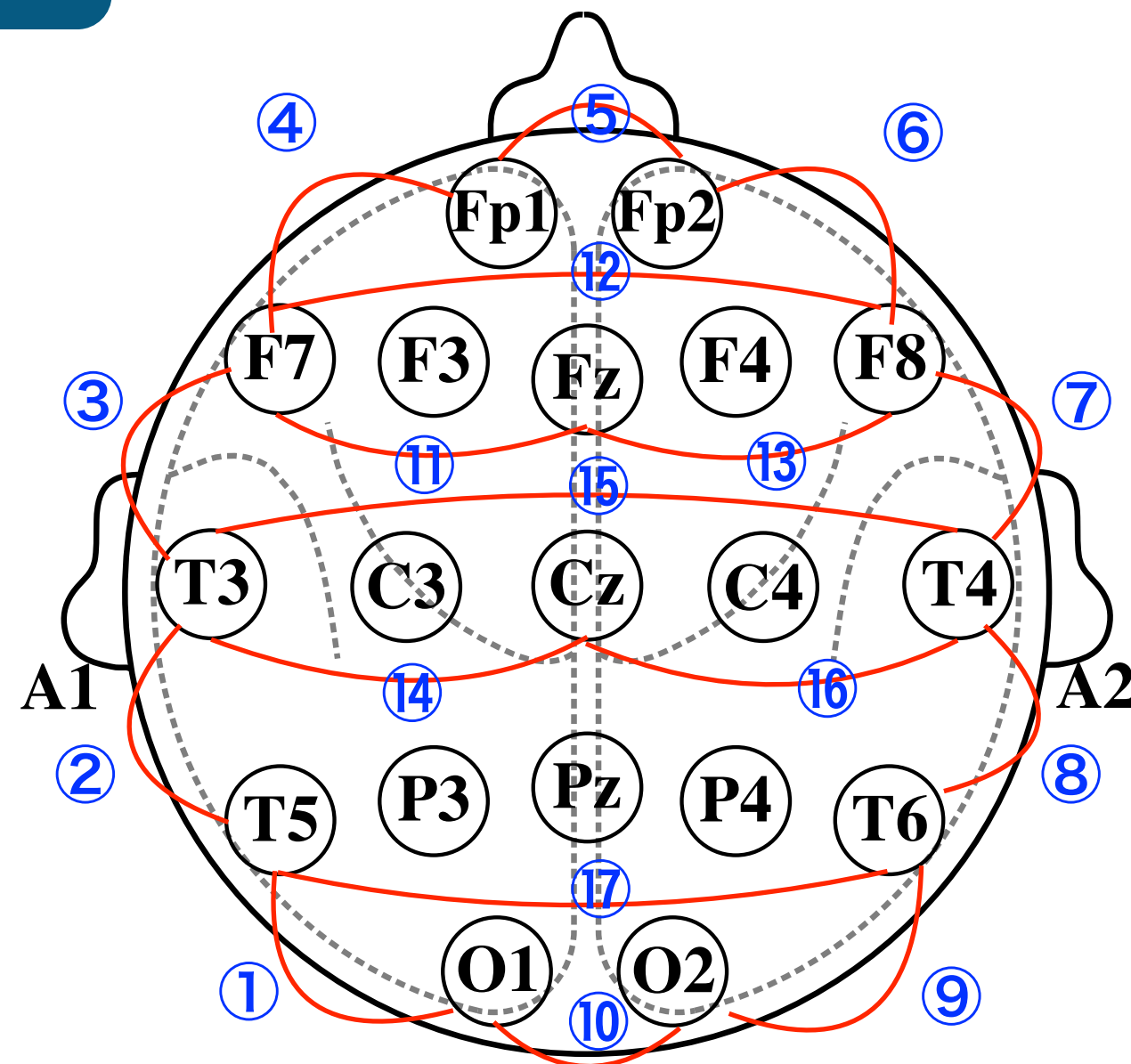
隣接した電極の平均を基準とする



## SECTION 2：モンタージュ

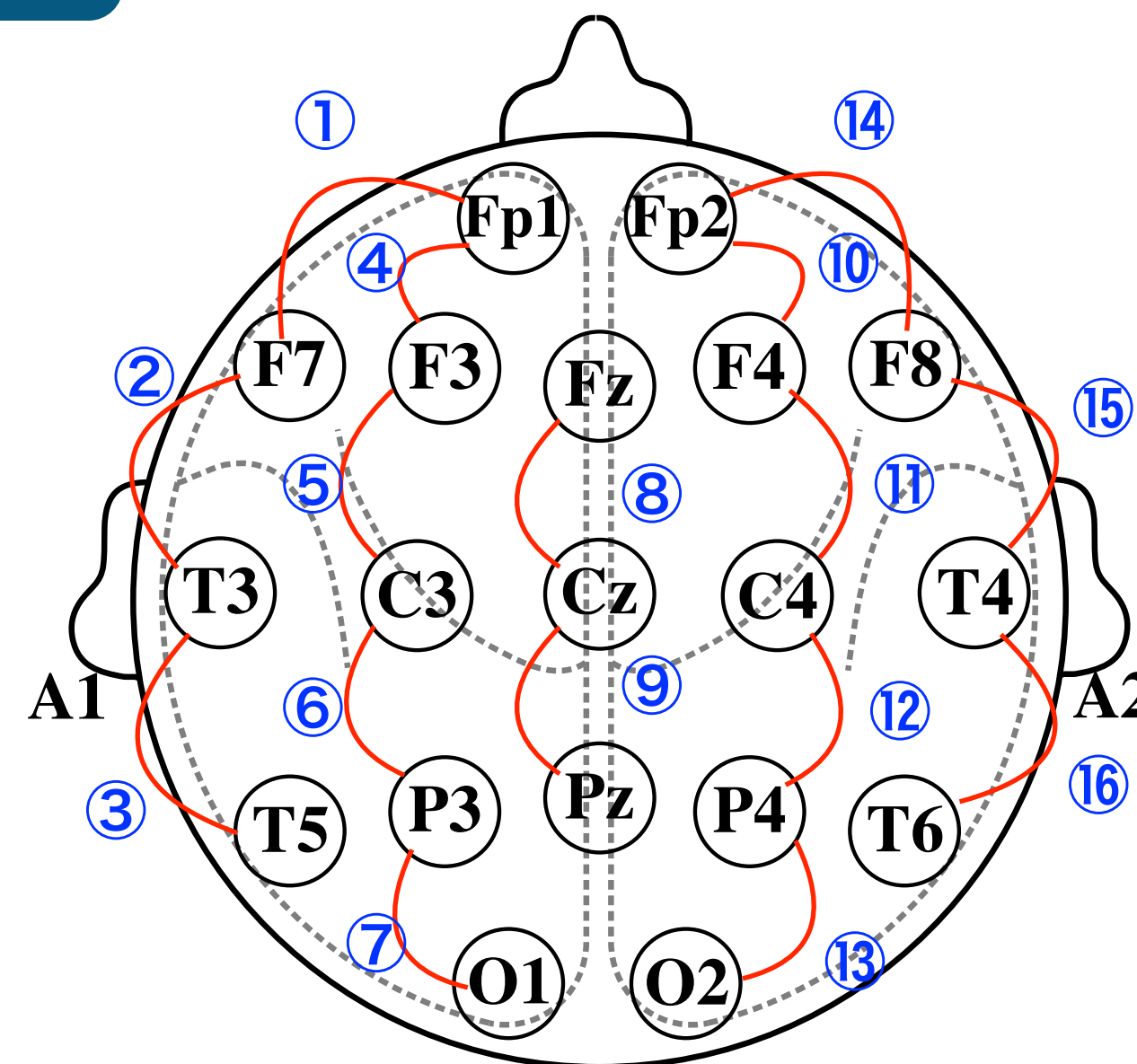
# 双極誘導のバリエーション

### BP1（側頭葉てんかん用）



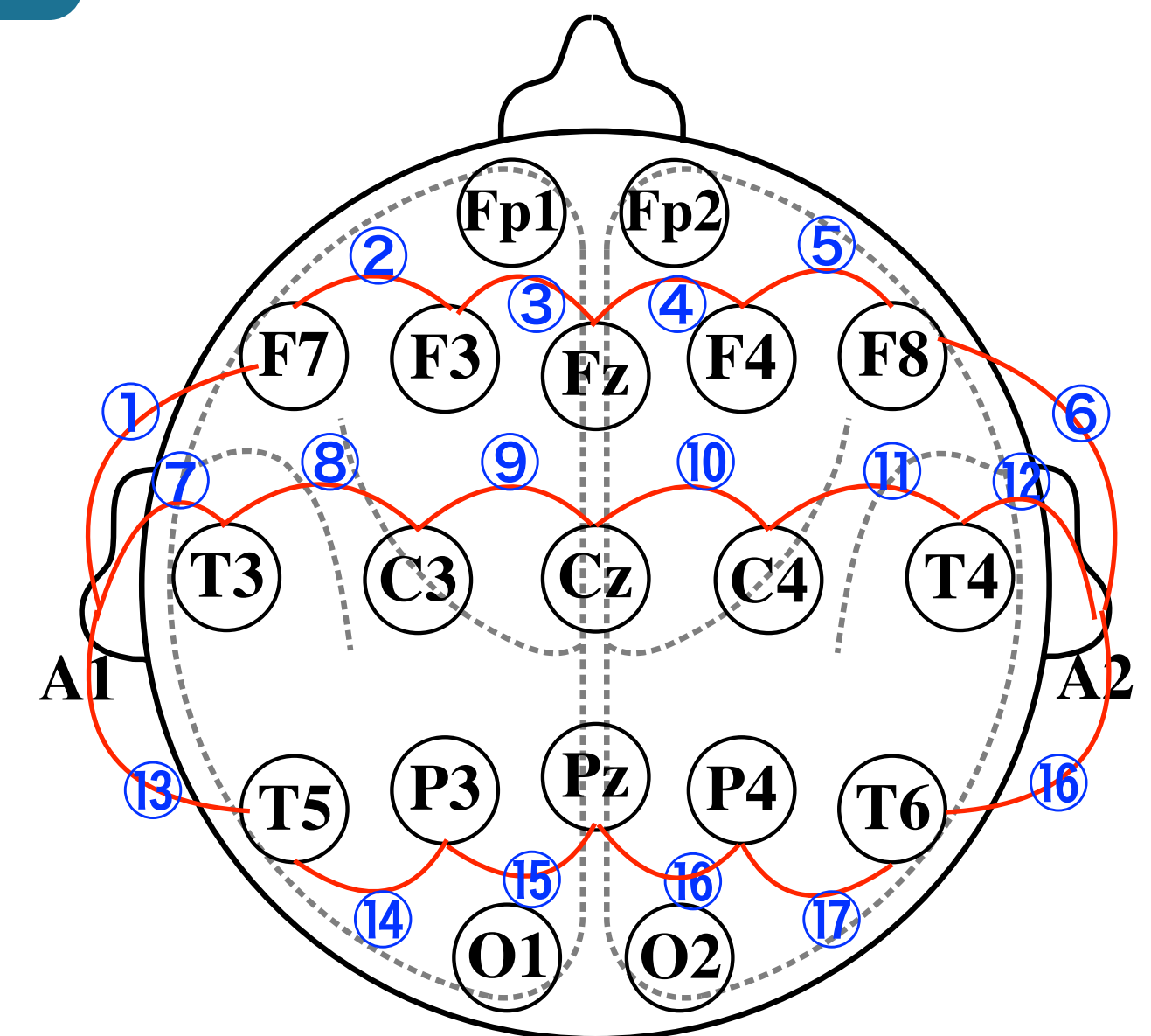
側頭葉のspikeを増幅する  
傍正中の電極の活動は反映されないことに注意

### BP2 (Longitudinal)



縦方向の連結  
左右交互に並べる方法もある

### BP3 (Coronal)



横方向の連結  
FpとOの電極の活動は反映されない



## SECTION 2 : モンターージュ

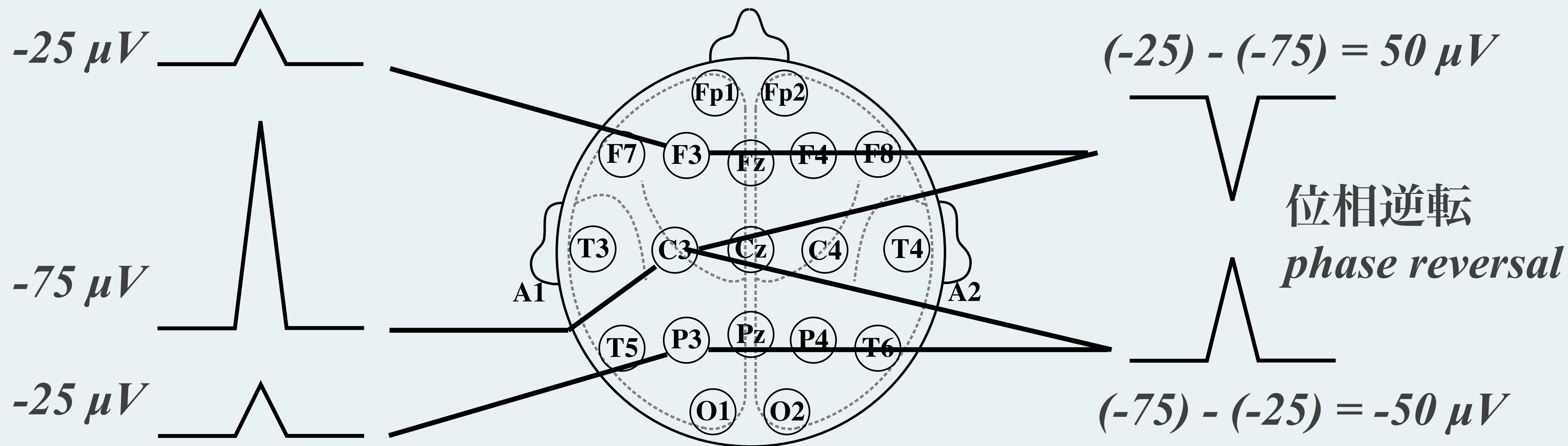
# 位相逆転による焦点推定



基準 (単極) 電極導出



双極電極導出



03



# 正常脳波

覚醒から睡眠、年齢による変化までの正常パターン



SECTION 3：正常脳波

覚醒時脳波と睡眠脳波の特徴

| アメリカ睡眠学会基準 |        | 睡眠段階<br>(Rechtschaffen and Kales) | 脳波所見   |                                                                              |
|------------|--------|-----------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------|
| W          |        | Stage W                           | 覚醒     | $\alpha$ 活動が50%以上、左右対称<br>開眼で $\alpha$ 抑制 ( $\alpha$ blocking / attenuation) |
| N1         | ノンレム睡眠 | Stage 1                           | 入眠期    | $\alpha$ 活動の振幅低下、出現50%未満<br>低振幅 $\theta$ 、瘤波 (hump) 出現、緩徐眼球運動                |
| N2         |        | Stage 2                           | 軽睡眠期   | 紡錘波 (spindle) 出現、K-complex出現                                                 |
| N3         |        | Stage 3                           | 中等度睡眠期 | $\delta$ 波が20~50%                                                            |
|            |        | Stage 4                           | 深睡眠期   | $\delta$ 波が50%以上                                                             |
| R          |        | Stage REM                         | レム睡眠期  | 急速眼球運動 (rapid eye movement REM)<br>筋弛緩（筋電図低電位）                               |



# 年齢による正常脳波の変化

| 年齢層    | 基礎律動の特徴                                               |
|--------|-------------------------------------------------------|
| 新生児～乳児 | 不規則な多形性徐波が主体。基礎律動が未成熟で左右差・非同期がみられても正常なことが多い           |
| 幼児～学童期 | 後頭部律動は年齢とともに徐波（ $\theta$ 帯域）から成人型の $\alpha$ 帯域へ加速していく |
| 思春期～成人 | 後頭部優位の安定した $\alpha$ 律動（約8～13Hz）が確立する                  |
| 高齢者    | 基礎律動の軽度徐波化、側頭部の間欠性徐波が生理的にみられることがある                    |

04



# てんかんの異常脳波

てんかん性放電の波形と代表的な症候群パターン



## SECTION 4：てんかんの脳波異常

# てんかん性放電の基本波形



### 棘波 (spike)

持続時間 20～70ミリ秒未満の鋭く尖った波。皮質ニューロン集団の過剰同期発射を反映する代表的なてんかん性放電。

背景活動からの急峻な立ち上がり  
(突発性)

鋭いピーク  
(陰性から陽性への反転は数ms以内)

徐波成分が後続

上がり下がりが非対称

*under shoot*



### 鋭波 (sharp wave)

持続時間 70～200ミリ秒の尖った波。棘波よりやや幅広いが、臨床的意義は棘波と変わらない。



### 棘徐波複合

#### spike-and-wave complex

棘波（または鋭波）に続いて徐波が出現する複合波形。反復性・律動性に出現し、全般性てんかんの代表所見となることが多い。

*notch*

鋭い立ち上がり



## SECTION 4：てんかんの脳波異常

# 焦点性放電と全般性放電

### ■ 焦点性放電

特定の電極・領域に局限して出現する棘波・鋭波。

位相逆転の部位が焦点の局在を示唆し、焦点てんかんで認められる。

### ■ 全般性放電

両側の脳にほぼ同時に、左右対称・同期性に出現する棘徐波複合など。前頭優位にみられることが多く、時に左右差がみられることもある。全般てんかんの代表所見。

**3Hz棘徐波複合**：定型欠神発作でみられる。

**非定型棘徐波複合**：4Hz以上の棘徐波複合。小児欠神てんかん以外の特発性全般てんかんでみられる。

**遅棘徐波複合**：2Hzより遅い棘徐波複合。非定型欠神発作 (Lennox-Gastaut症候群など) でみられる。



## SECTION 4：てんかんの脳波異常

# 発作間欠時脳波と発作時脳波

### ■ 発作間欠期 (interictal)

発作間欠期てんかん放電 (Interictal epileptiform discharge IEDs)

- 発作でないときに記録されるてんかん性放電
- てんかんの診断を支持する所見だが、必ずしも常に出現するとは限らない。
- てんかんのないひとの0.5%で見られるというデータもある。
- IEDsがみられなくてもてんかんは否定できないし、IEDsがみられたからてんかんと診断はできない。発作との整合性が重要。

### ■ 発作時 (ictal)

発作時に記録される律動的な放電の出現・進展 (Ictal discharge / evolution)

- 低振幅速波 (low voltage fast activity LVFA)
- 先行するspike (leading spike)
- 脱同期 (desynchronization)  
などで始まり、その後律動波となることが多い。
- 進展とともに、周波数は低下、振幅は増加し、空間的に拡がる。
- 臨床症状の開始・終了と脳波変化の時間関係を対応づけて記録することが重要。



## SECTION 4：てんかんの脳波異常

# その他の脳波異常

### ■ てんかんに関連するもの

周期性一側性てんかん波発射

Periodic lateralized epileptiform discharges  
PLEDs

サプレッションバースト Suppression-burst

ヒプスアリスミア Hypsarrhythmia

### ■ てんかんに関連しないもの

周期性同期性放電

Periodic synchronous discharges PSDs

三相波 Triphasic waves

徐波化

局在性シータ・シータ群発

局在性デルタ・デルタ群発

前頭部間欠性律動性デルタ活動 FIRDA

後頭部間欠性律動性デルタ活動 OIRDA

持続性多形性デルタ活動 PPDA

平坦化

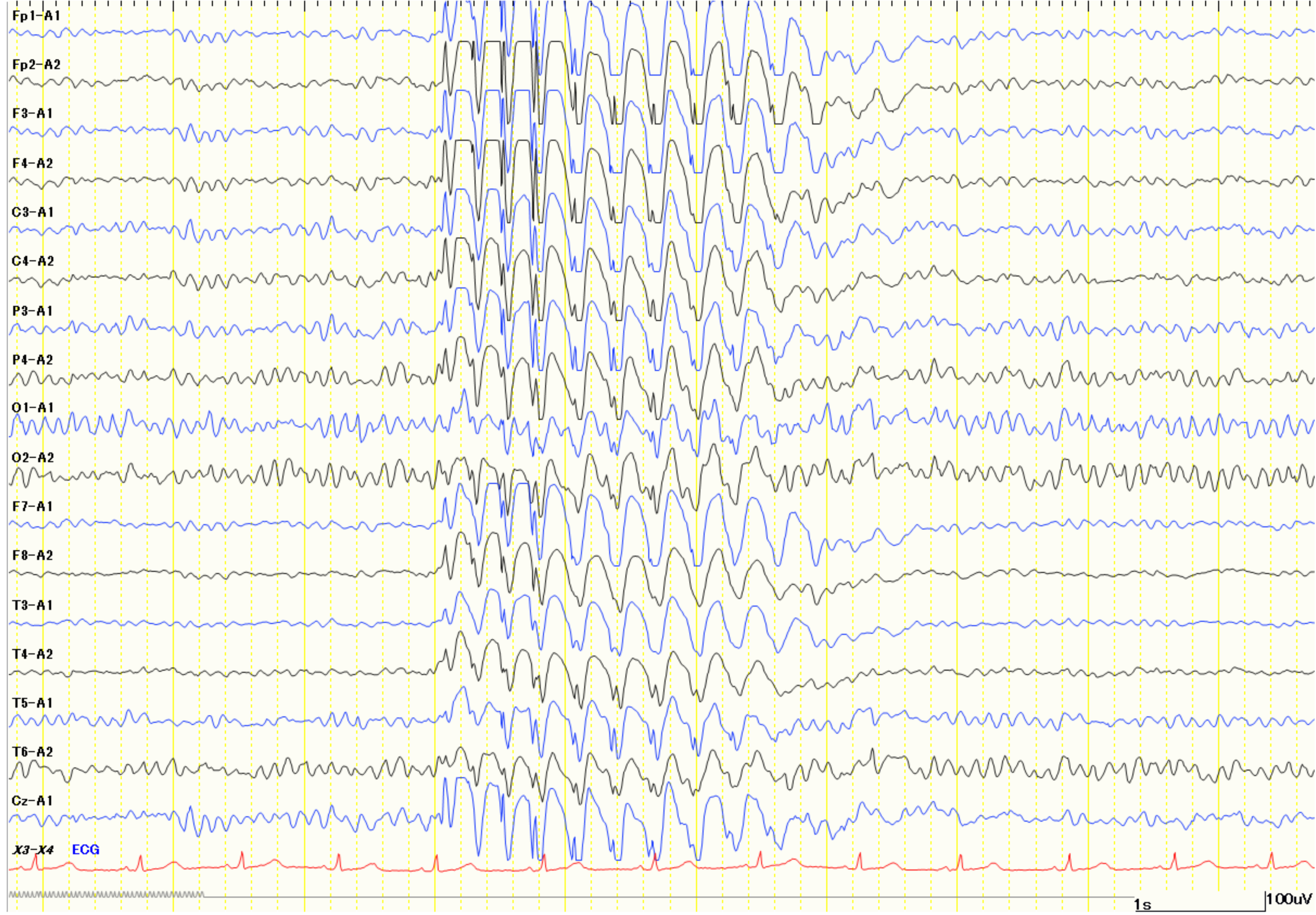


SECTION 4：てんかんの脳波異常

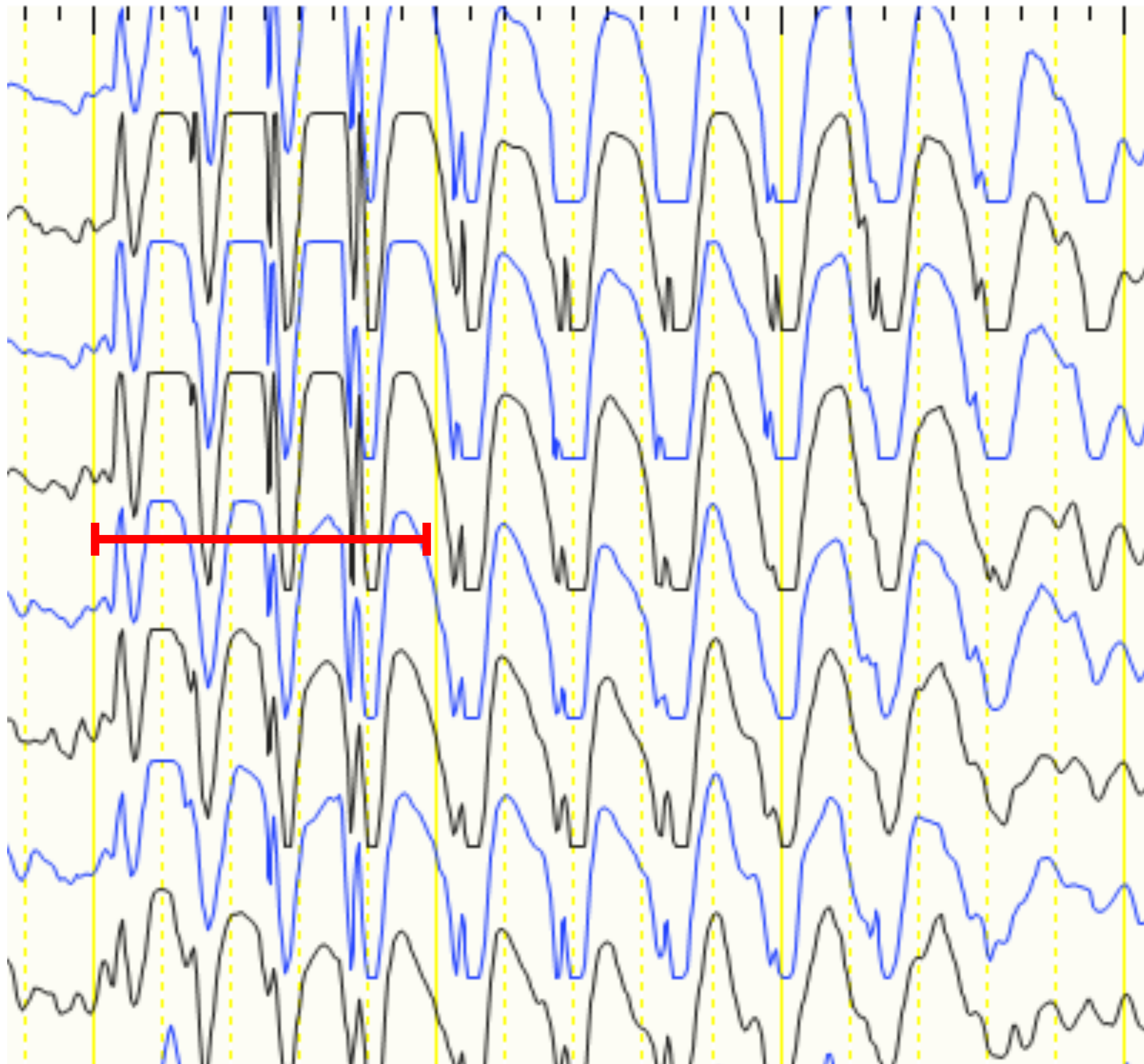
成人てんかんで注意すべきてんかん放電

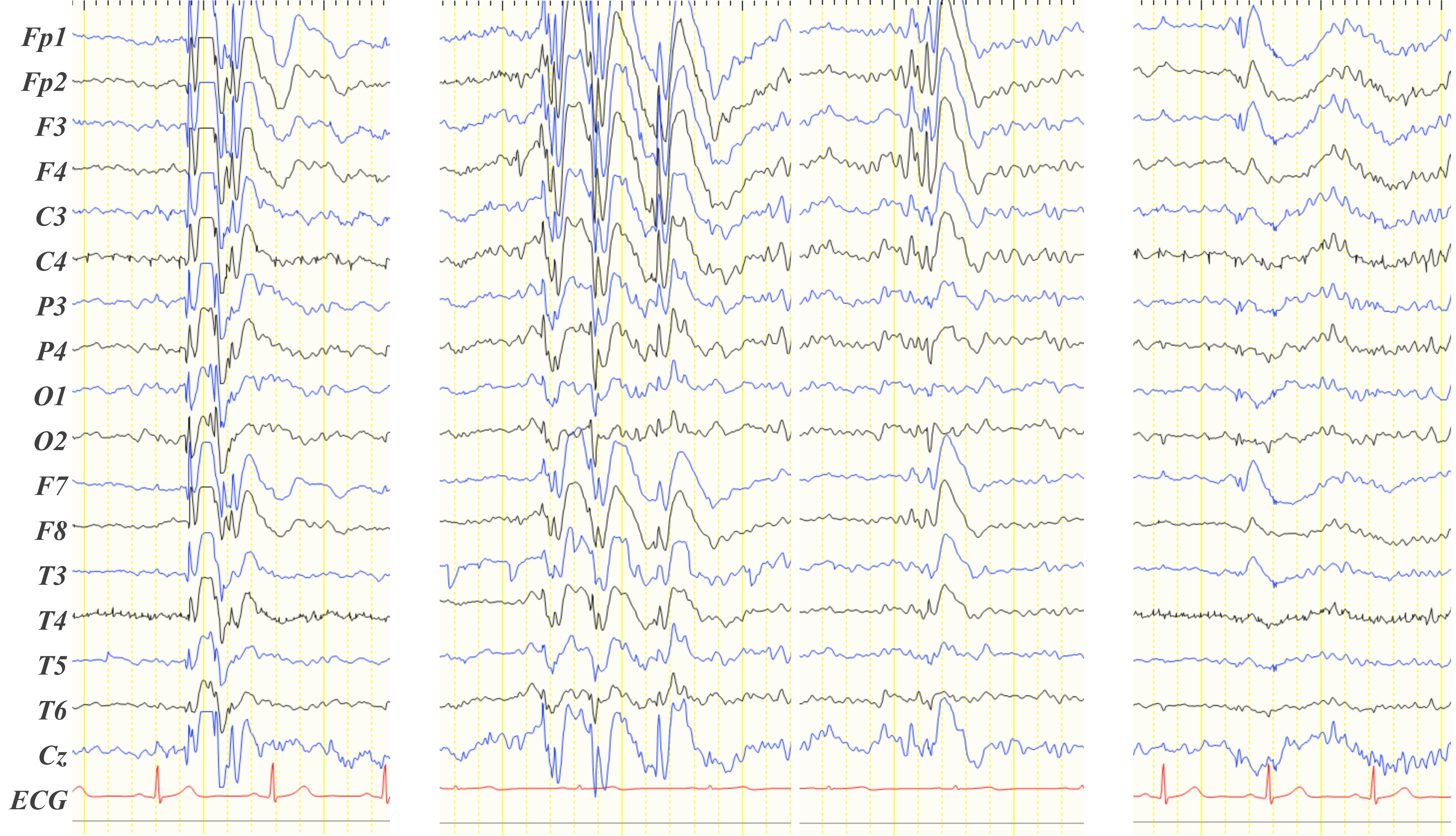
| パターン     | 特徴                         | 関連する病態                                      |
|----------|----------------------------|---------------------------------------------|
| 非定型棘徐波複合 | 4Hz以上、両側対称・同期性             | 若年ミオクロニーてんかん<br>若年欠神てんかん<br>強直間代発作のみを示すてんかん |
| 多棘徐波複合   | 複数の棘波の後に徐波が続く              | 若年性ミオクロニーてんかんなど                             |
| 焦点性棘波・鋭波 | 特定の電極・領域にみられる棘波・鋭波<br>位相逆転 | 焦点性てんかん                                     |

**検査技師としての着眼点** 波形パターンを機械的に暗記するだけでなく、出現の左右対称性・律動性・睡眠覚醒での変化を丁寧に記録し、医師の診断に資する客観的な情報を残すことが役割となる。



1秒







SECTION 4：てんかんの脳波異常

成人てんかんで注意すべきてんかん放電

| パターン     | 特徴                         | 関連する病態                                      |
|----------|----------------------------|---------------------------------------------|
| 非定型棘徐波複合 | 4Hz以上、両側対称・同期性             | 若年ミオクロニーてんかん<br>若年欠神てんかん<br>強直間代発作のみを示すてんかん |
| 多棘徐波複合   | 複数の棘波の後に徐波が続く              | 若年性ミオクロニーてんかんなど                             |
| 焦点性棘波・鋭波 | 特定の電極・領域にみられる棘波・鋭波<br>位相逆転 | 焦点性てんかん                                     |

**検査技師としての着眼点** 波形パターンを機械的に暗記するだけでなく、出現の左右対称性・律動性・睡眠覚醒での変化を丁寧に記録し、医師の診断に資する客観的な情報を残すことが役割となる。

*MP*

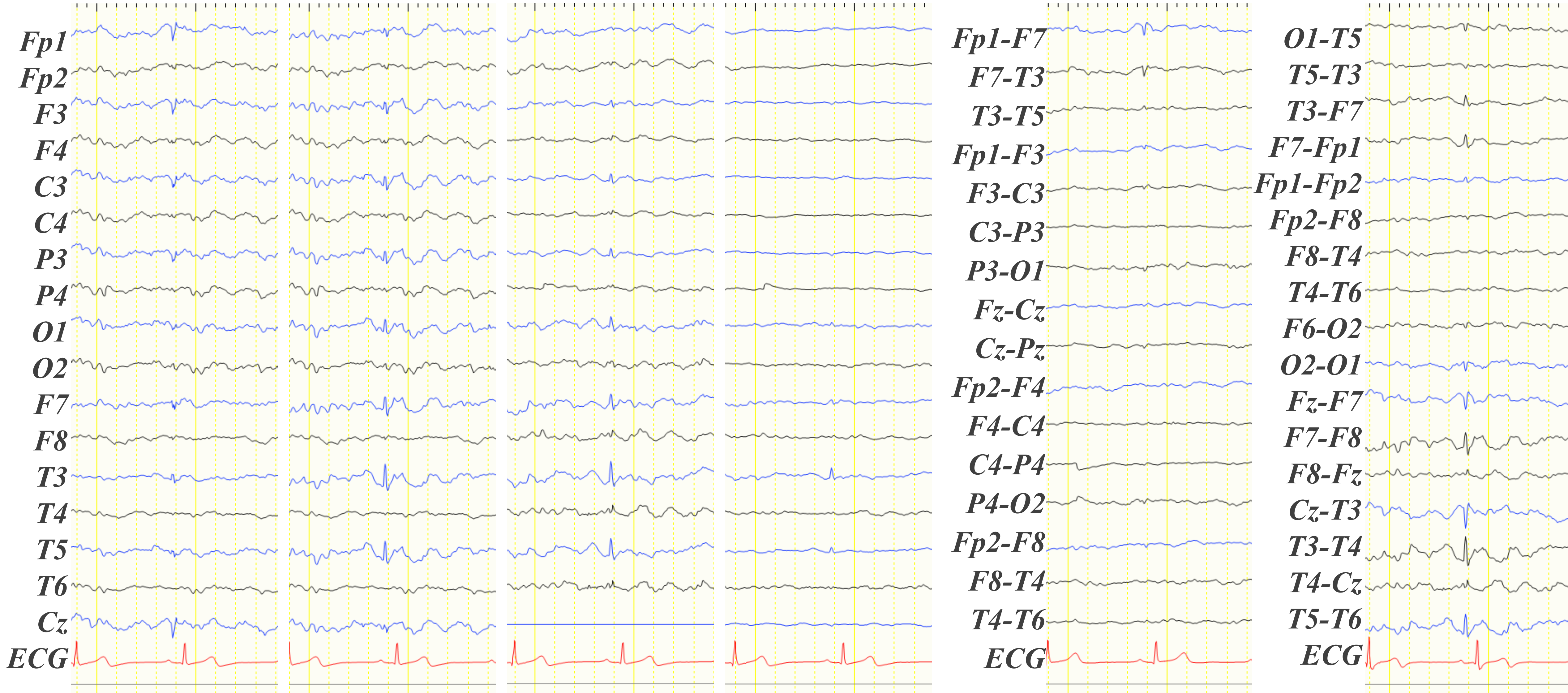
*MP*  
*(A1→A2)*

*MP*  
*(Vx)*

*MP*  
*(SD)*

*BP*  
*(longitudinal)*

*BP*  
*(ring)*



*MP*

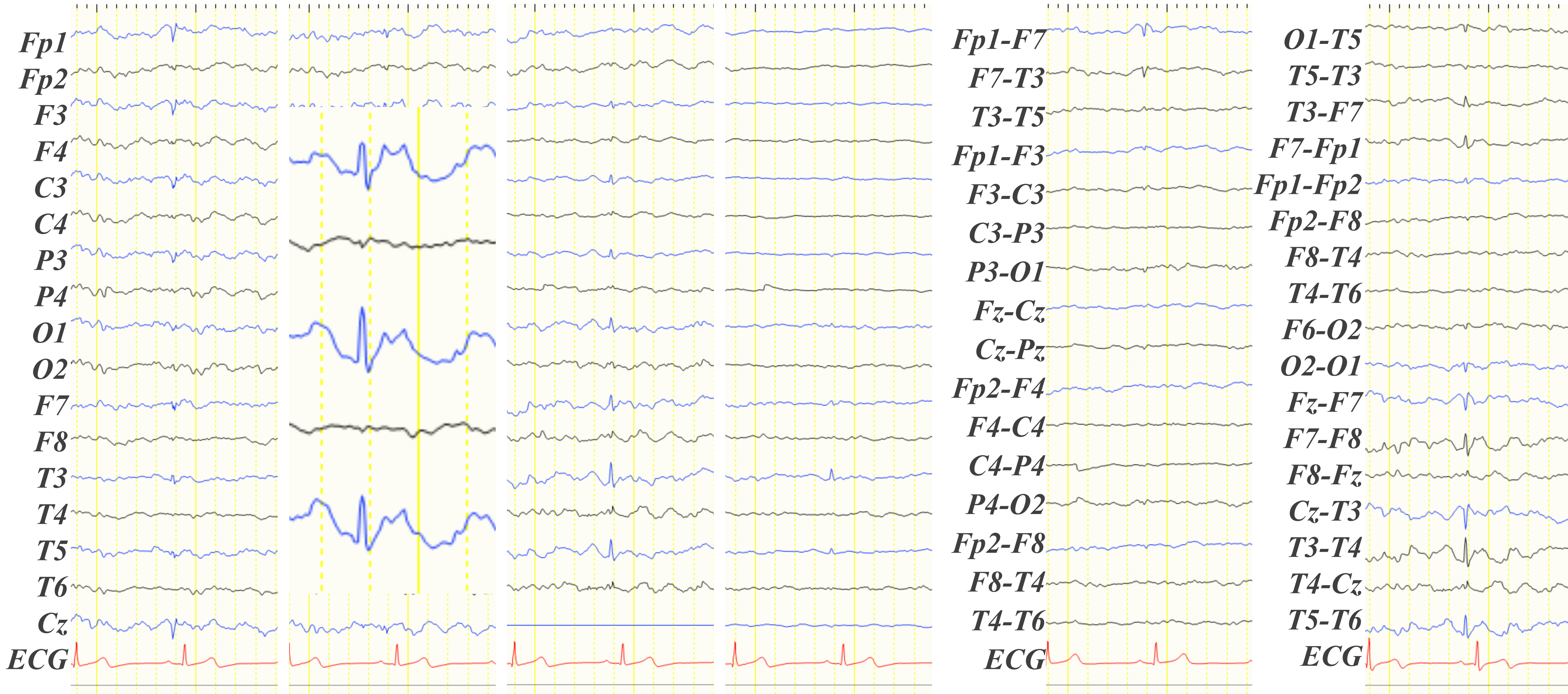
*MP*  
*(A1→A2)*

*MP*  
*(Vx)*

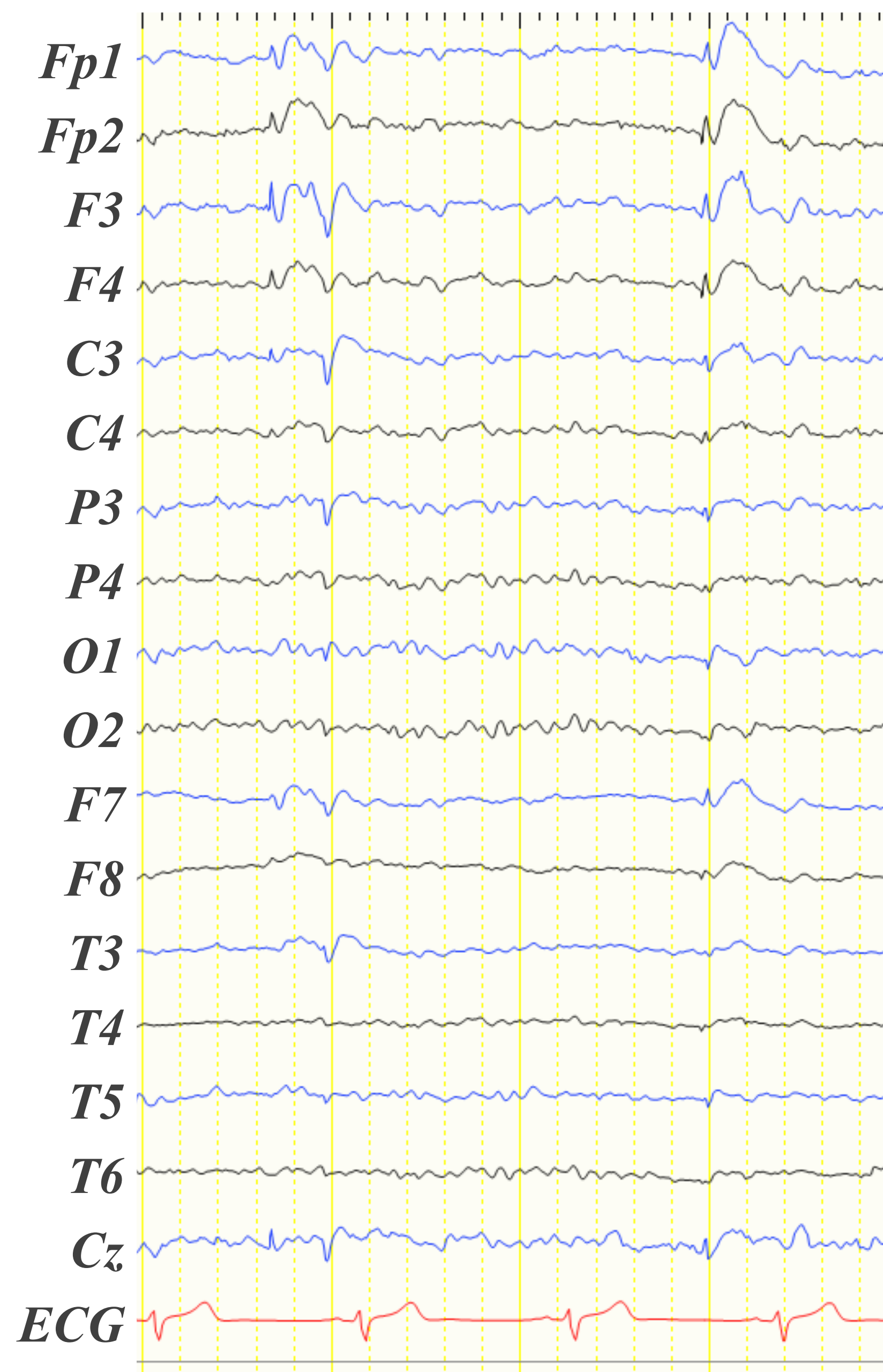
*MP*  
*(SD)*

*BP*  
*(longitudinal)*

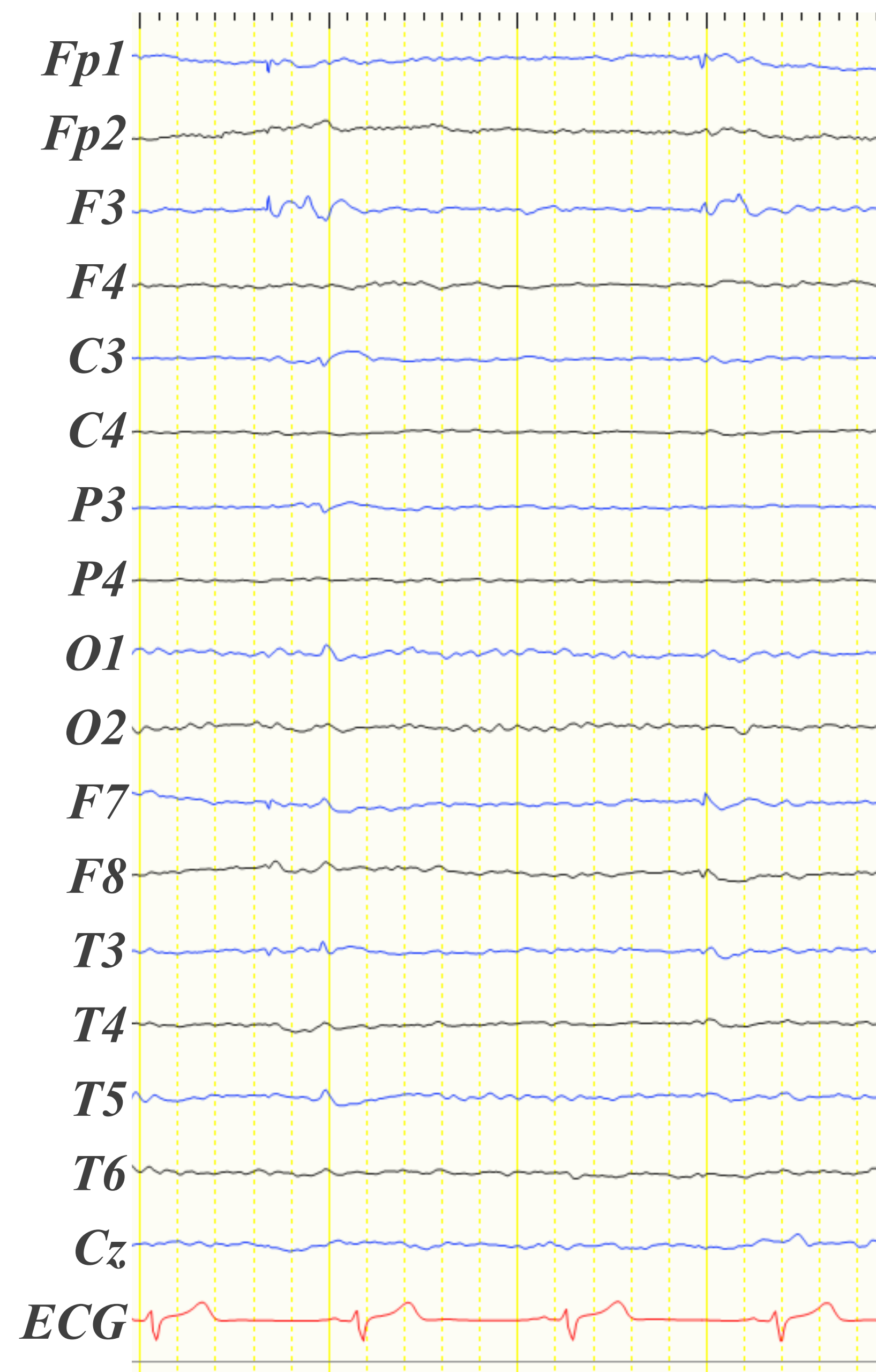
*BP*  
*(ring)*



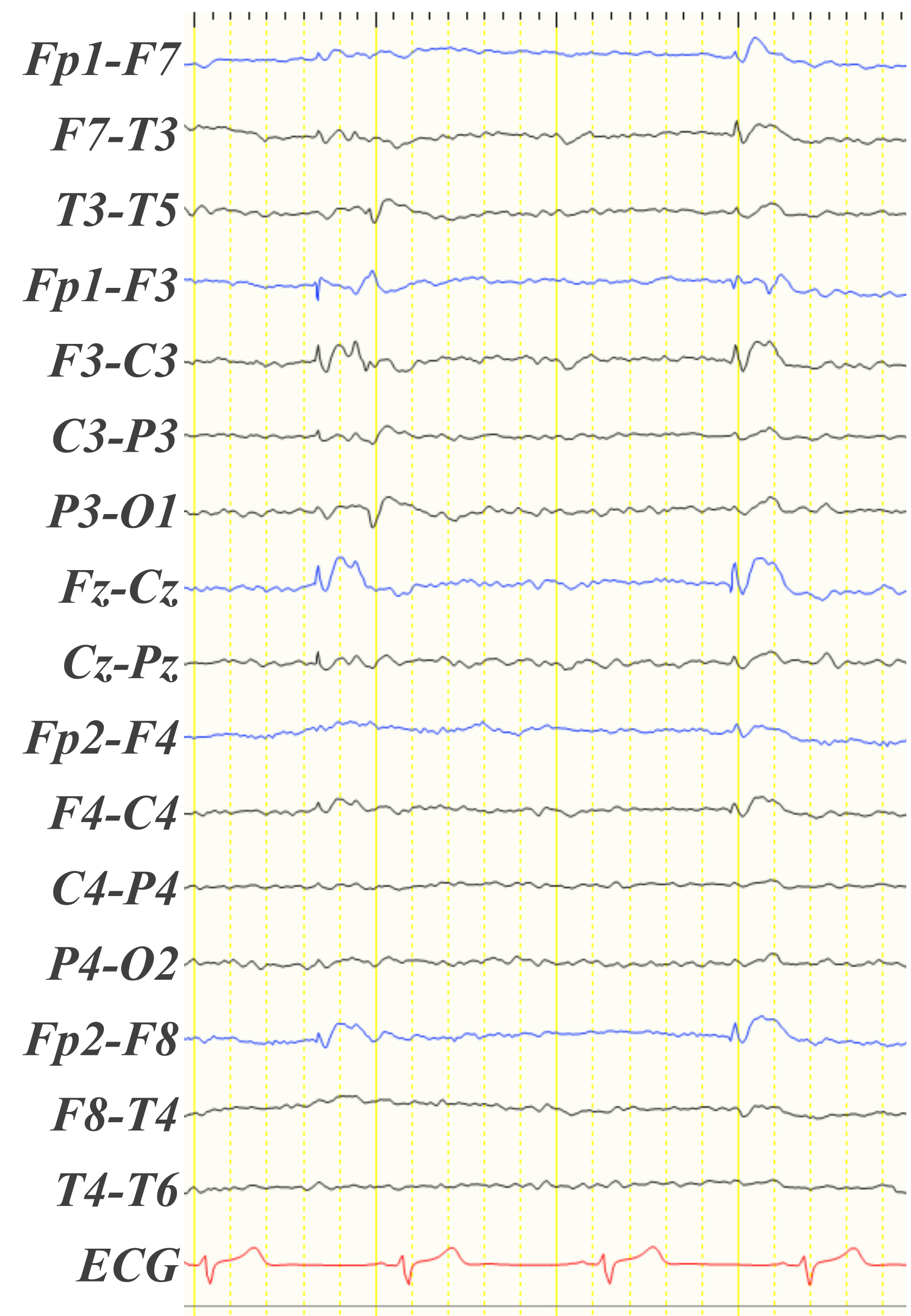
# *MP*

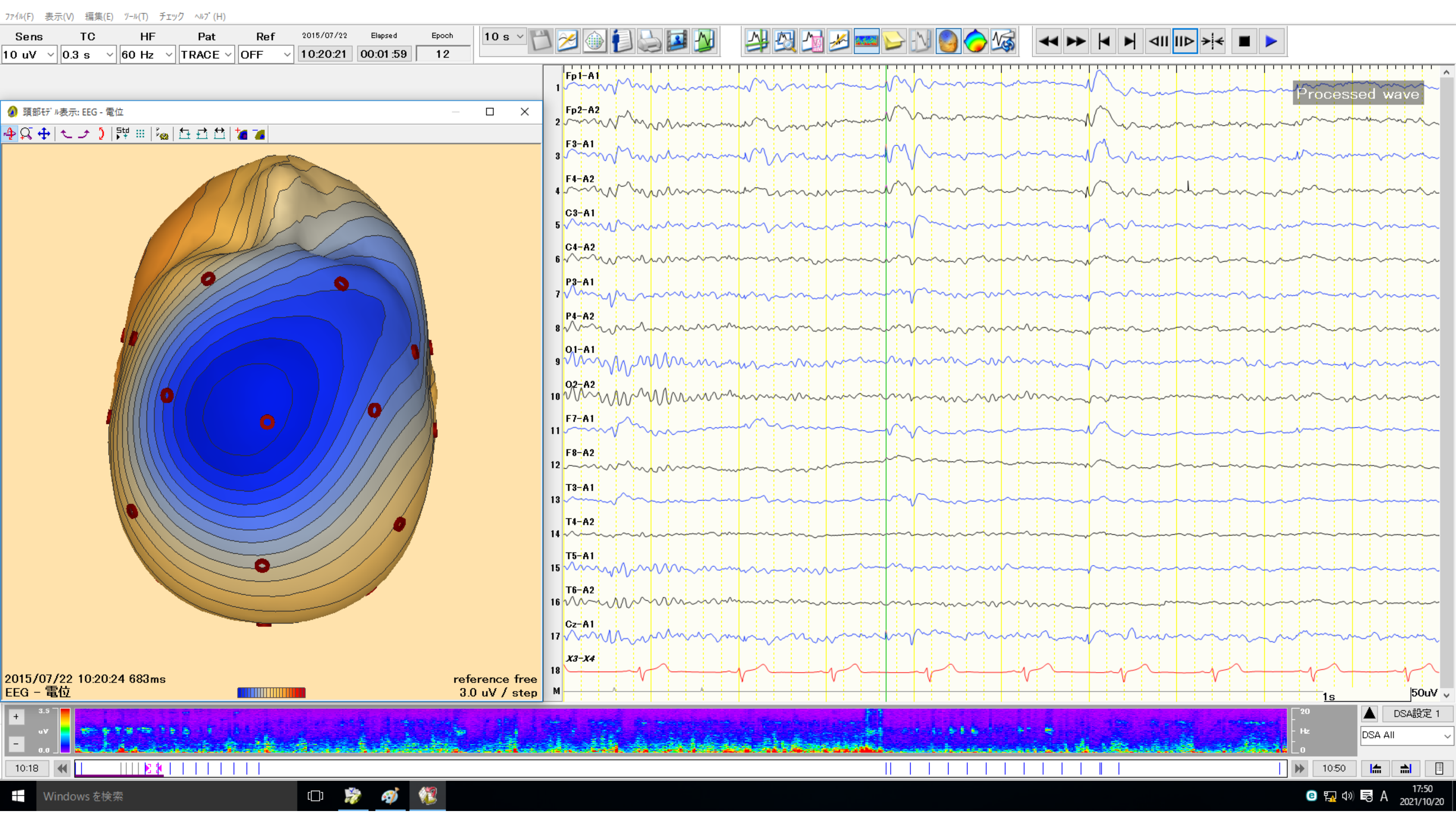


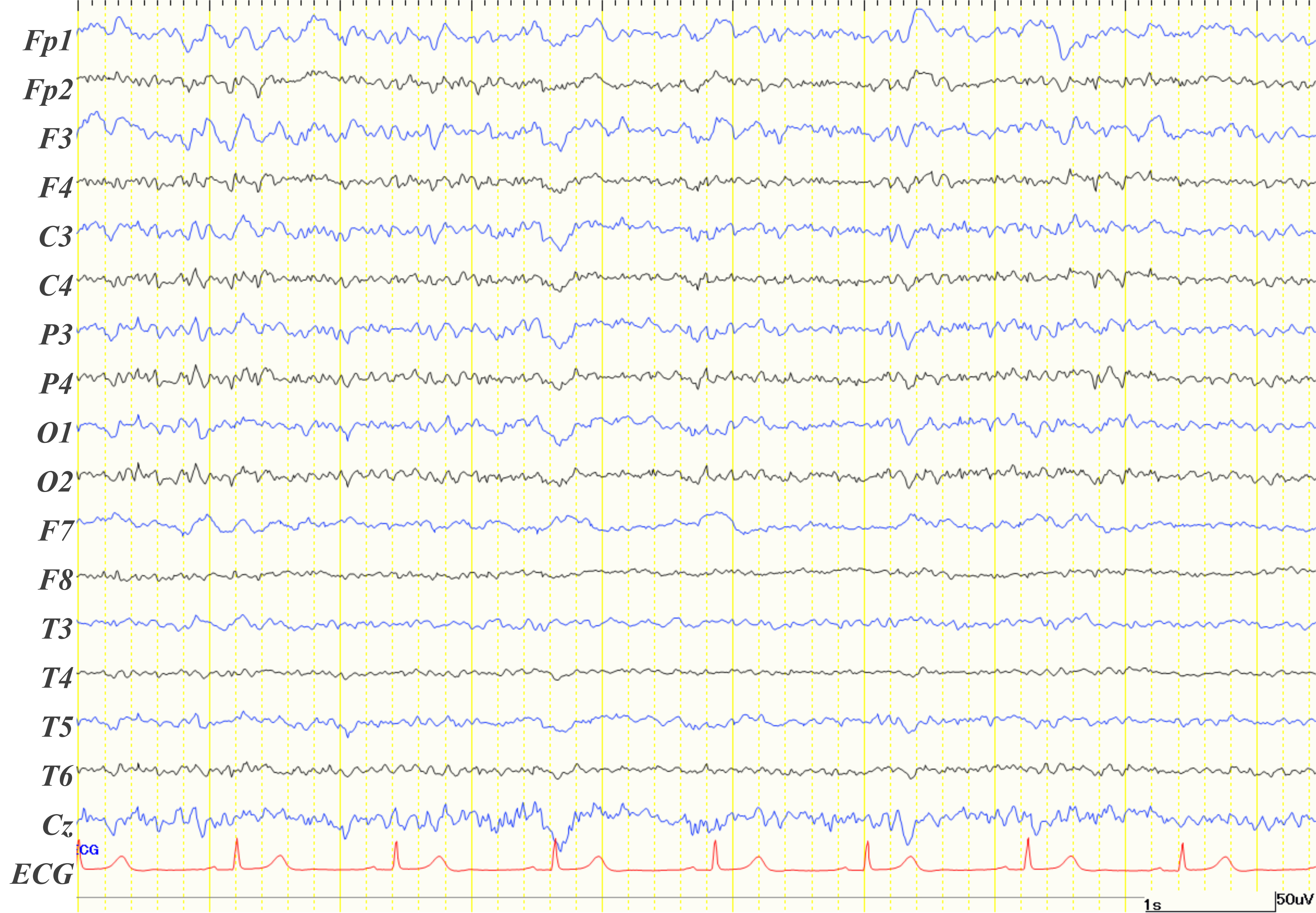
# *MP(SD)*



# *BP*







05



# 賦活法

脳波異常の検出感度を上げる



# 賦活法 Activation

脳波の1回の記録で、てんかん性異常波を検出できる確率は30～40％程度とされる。てんかん性異常波が出現しやすい状況を作ること、その検出頻度を上げるために賦活法が行われる。

| 賦活法       | 正常反応                                                     | 異常反応                                                                                           |
|-----------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 開閉眼       | α blocking / attenuation                                 | αが残る（高齢者）<br>α増強（ナルコレプシー、傾眠）<br>左右差、 <b>突発波</b>                                                |
| 光刺激       | 光駆動反応 (photic driving)<br>光筋原反応 (photomyogenic response) | <b>光突発波反応 (photo paroxysmal response)</b><br><b>光けいれん反応 (photo convulsive response)</b><br>左右差 |
| 過呼吸負荷     | build-up（小児）                                             | build-up、徐波化（若年成人以降）<br>re-build-up（もやもや病）<br><b>欠神発作、突発波の誘発</b>                               |
| 睡眠（自然・薬物） | 睡眠脳波                                                     | <b>突発波</b> の検出頻度 ↑                                                                             |

06



# 正常亜型

てんかん性放電と紛らわしいが病的意義のない波形



SECTION 6：正常亜型

代表的な正常亜型 Normal Variants

|     | 波形                        | 特徴                                  |
|-----|---------------------------|-------------------------------------|
| 覚醒時 | ミュー律動                     | 中心部に安静時に出現し、対側の運動により抑制される律動（7～11Hz） |
|     | ラムダ波                      | 覚醒開眼時、後頭部に視覚探索に伴い出現する鋭い陽性波          |
|     | Breach rhythm             |                                     |
|     | 成人潜在性律動脳波発射 (SREDA)       |                                     |
| 睡眠中 | 睡眠時瘤波 (hump)              | 軽睡眠期にみられるCzに最大振幅を持つ鋭波               |
|     | 頭蓋頂鋭波 (vertex sharp wave) |                                     |
|     | 入眠時過同期                    | 小児でみられる入眠期の高振幅徐波律動                  |
|     | 後頭部陽性鋭一過波 (POSTS)         |                                     |
|     | 小鋭棘波 (SSS)                | 側頭部優位の小型・単発性の鋭い波。持続時間が短く後続徐波を伴わない   |
|     | BETS                      |                                     |
|     | 14 & 6 Hz陽性棘波             |                                     |
|     | 6Hz棘徐波結合                  | 振幅の小さい棘波成分と6Hz律動の徐波の組み合わせ。傾眠期に多い    |
|     | 律動性中側頭部放電                 |                                     |
|     | Wicket spikes             | 側頭部の睡眠期に出現するアーチ状の律動性鋭波              |



## SECTION 6：正常亜型

# てんかん性放電との鑑別ポイント

### 背景脳波との調和

- ・ 正常亜型は基礎律動と調和し、周囲の背景活動を乱さないことが多い

### 後続徐波の有無

- ・ 真のてんかん性棘徐波複合と異なり、明瞭な後続徐波を伴わないことが多い

### 出現状況の特異性

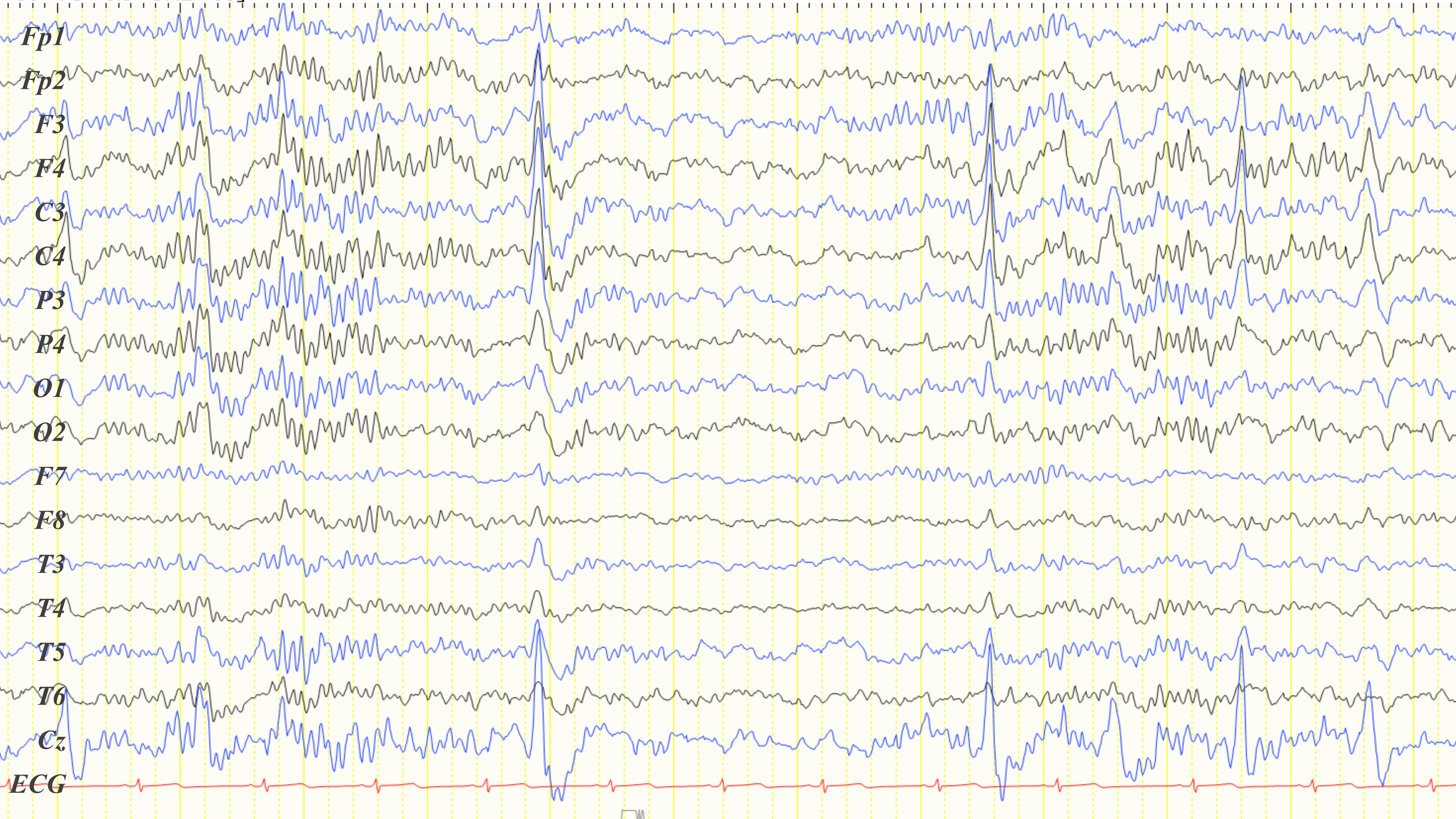
- ・ ラムダ波は開眼視覚探索時、ミュー波は運動で抑制など、状況依存的な出現パターンを示す

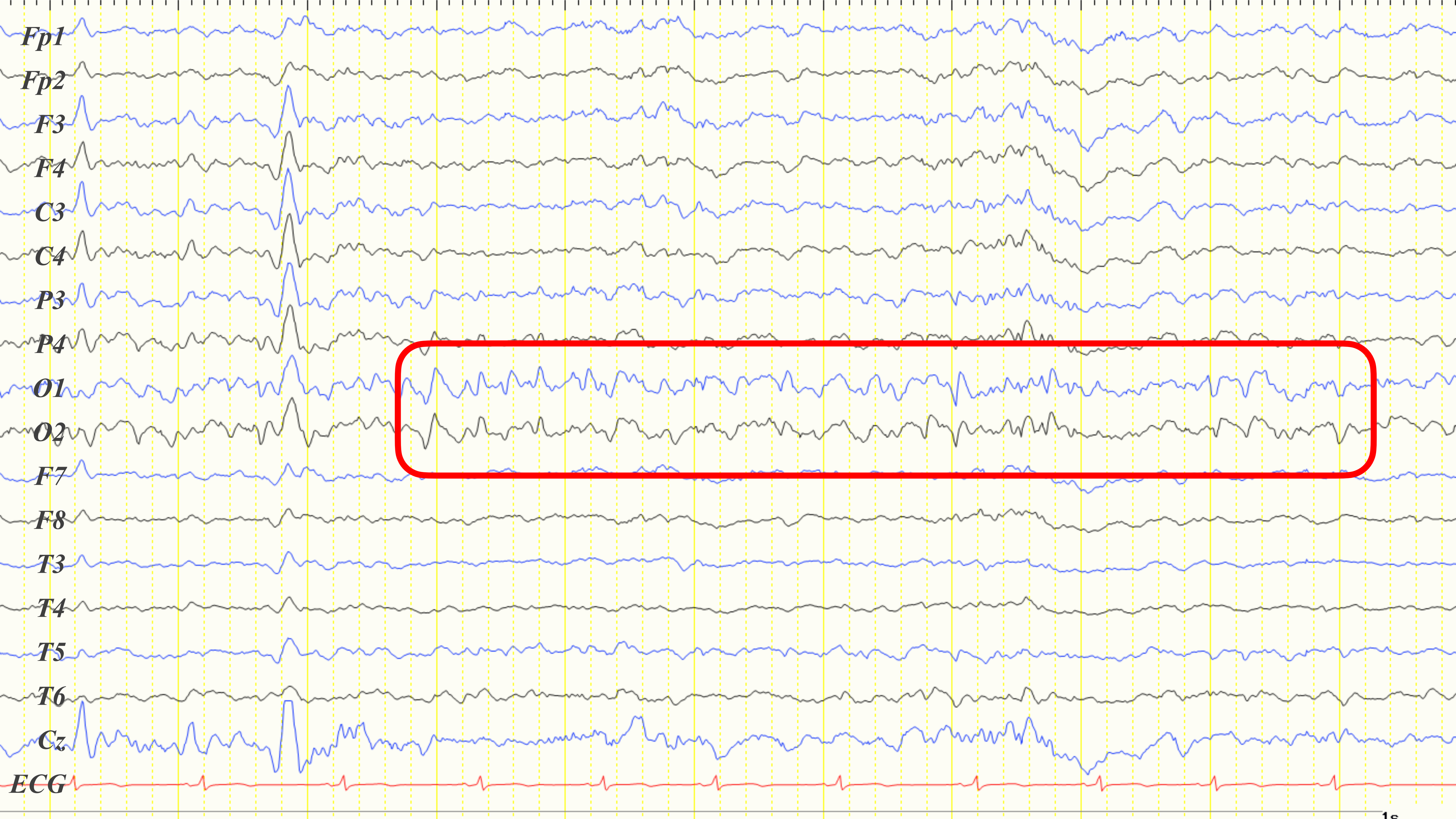
### 反復性・進展性

- ・ てんかん性放電は反復し時に律動的に進展するが、正常亜型は孤発性で進展しにくい

### 臨床情報との対応

- ・ 発作症状や既往歴と矛盾しないかを常に照合し、迷う場合は医師と相談する





07



# アーチファクト

生体由来・機械環境由来のノイズを見分ける



## SECTION 7：アーチファクト

# 生体由来アーチファクト

### ■ 眼球運動・瞬目

前頭部に高振幅の陽性徐波として出現。

角膜が陽性に帯電しているため、上下運動・瞬目で前頭極誘導に大きな陽性波が生じる。

### ■ 筋電図・心電図

前頭筋・側頭筋の緊張による筋電図が混入しやすい。

【対策】少し口を開けさせたり、リラックスすることで回避する。

特に体の大きいひとで、単極誘導で心電図が混入しやすい。

【対策】必ず心電図を同時に記録する。

### ■ 体動・発汗

体動による基線の変動。

【対策】測定時に体動がみられたら記載しておく。

発汗による電極のインピーダンス上昇で基線の動揺がみられやすくなる。

【対策】検査室の温度に注意し、必要ならエアコンで調整。



## SECTION 7：アーチファクト

# 機械・環境由来アーチファクト

### ■ 電極由来

電極の接触不良やペースト乾燥によりインピーダンスが上昇すると、不規則な高振幅アーチファクトや基線の急激な変動が生じる。

【対策】装着前の皮膚処理と適正なインピーダンス確認、電極の固定を徹底する。

### ■ 環境由来

交流障害（ハムノイズ、50/60Hz）、電子機器・静電気、ケーブルの動きによる誘導ノイズなどが代表的。

【対策】接地（アース）を確実にし、ケーブルをまとめて揺れないようにする。



# アーチファクトと真の脳波異常との鑑別

### 分布の生理的妥当性

- ・解剖学的にあり得ない極端な局在や、電極配置と無関係な突然の変化は疑わしい

### 他チャンネルとの関係

- ・複数のモニタージュで確認し、特定の電極にのみ限局する場合は電極アーチファクトを疑う

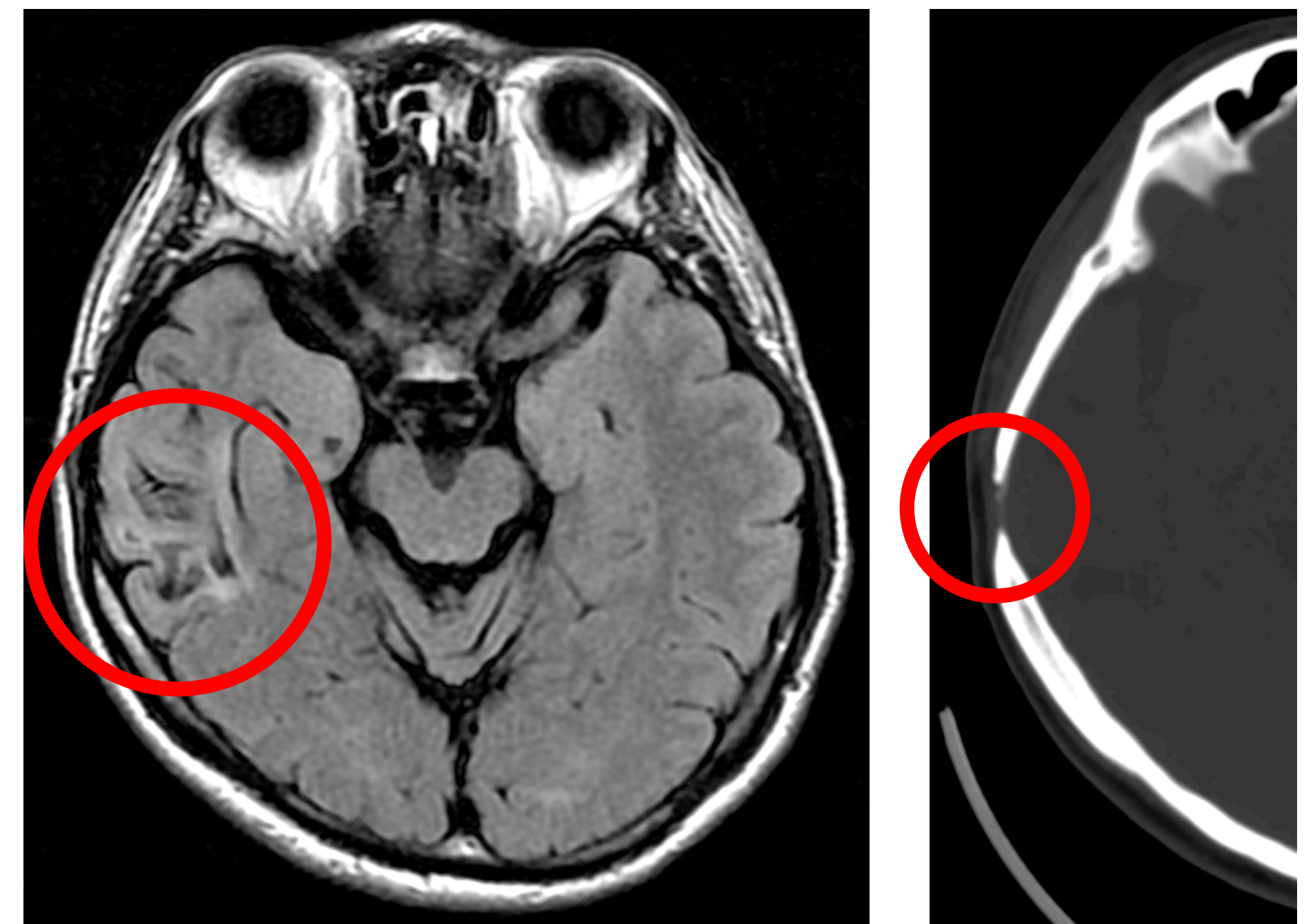
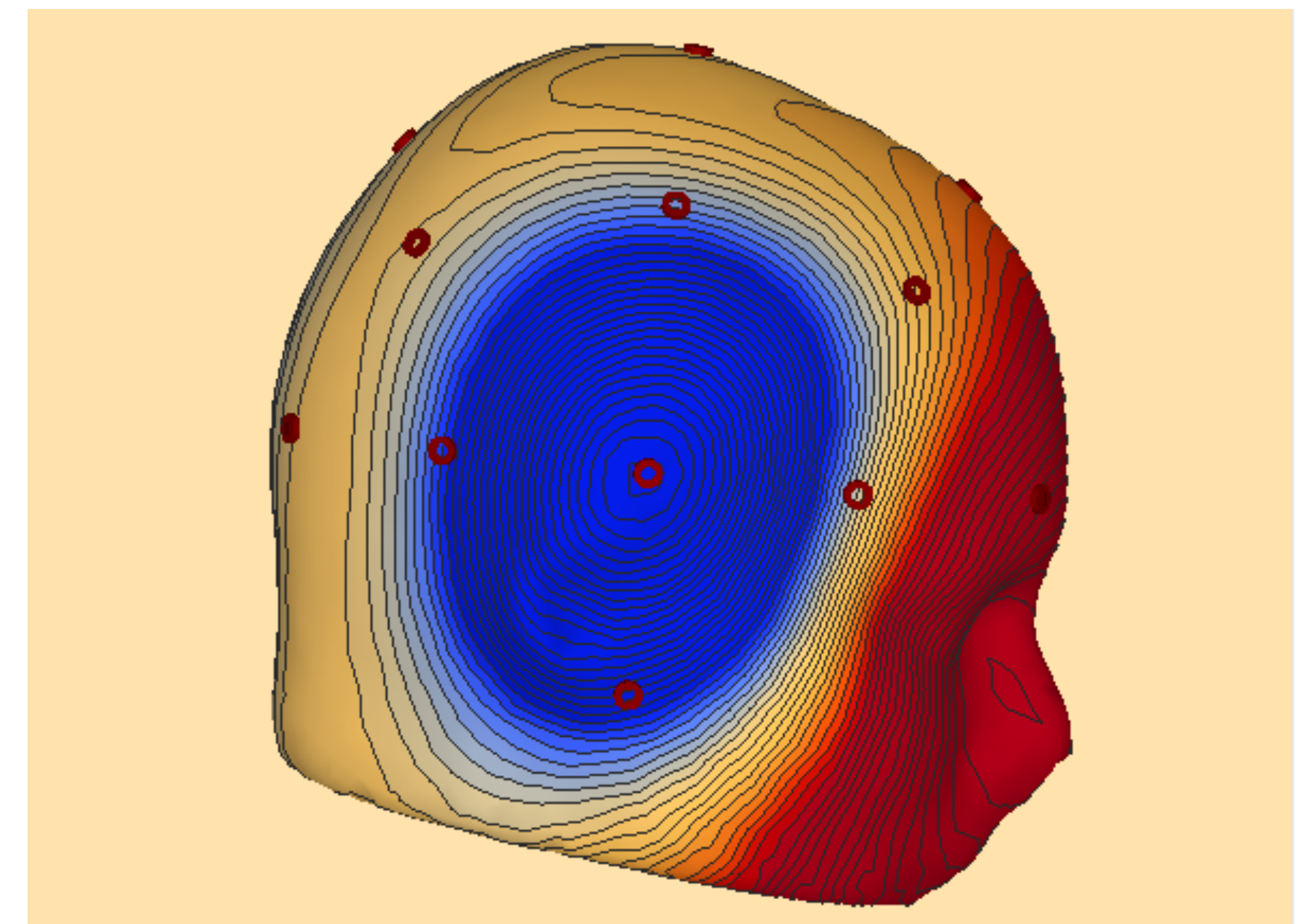
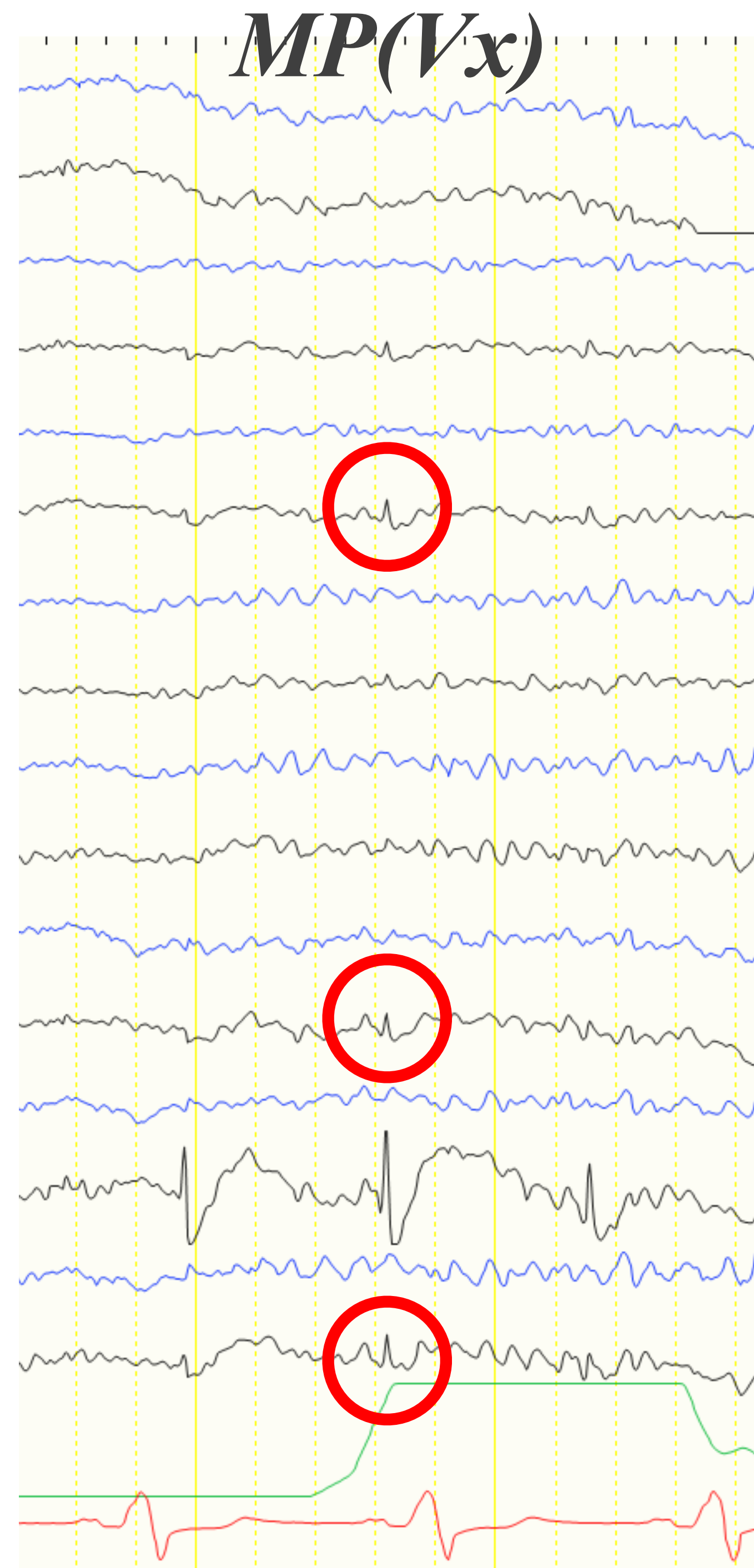
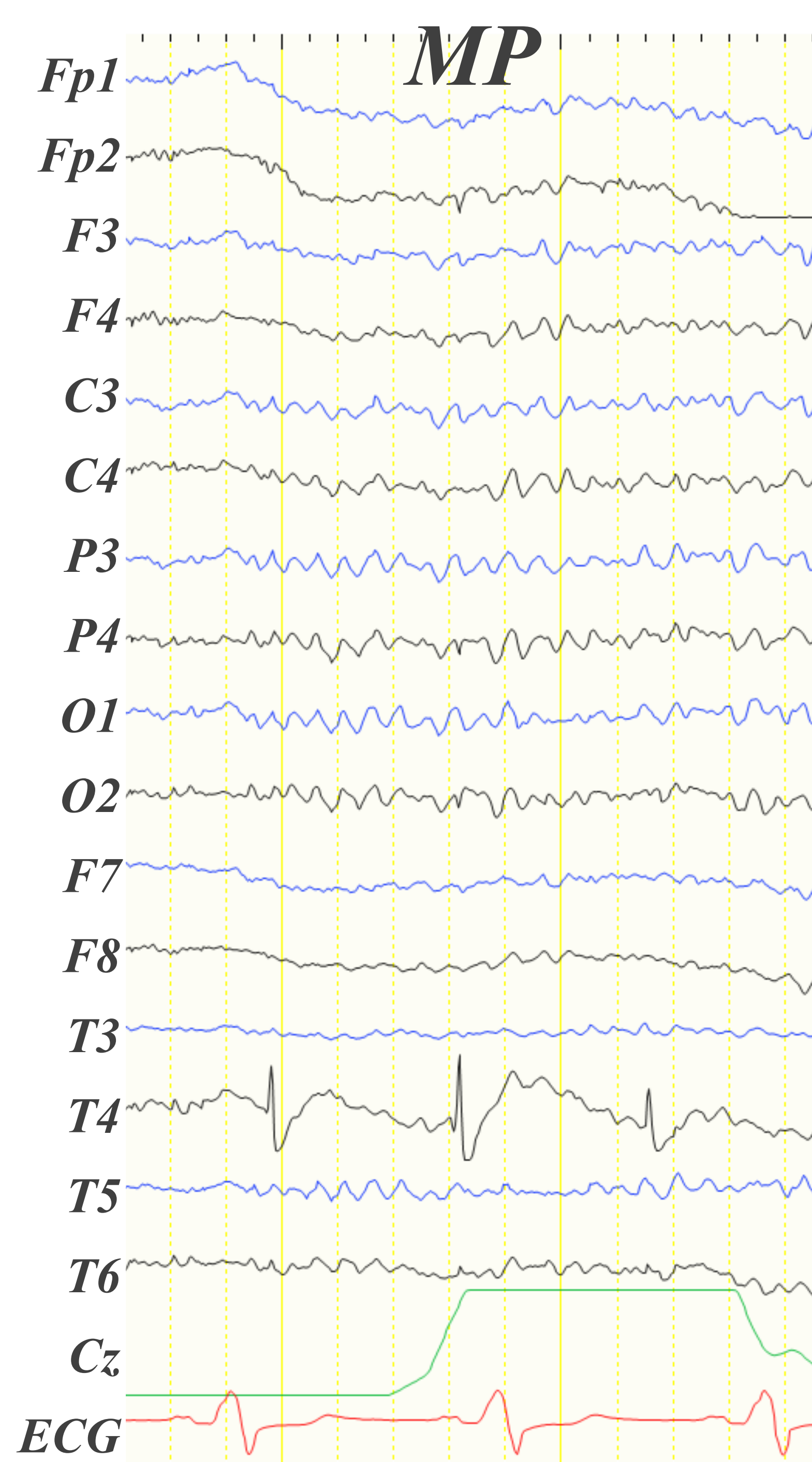
### 同時記録との対応

- ・心電図・眼球運動モニタなど付加チャンネルと時間的に一致するかを確認する

### 波形の立ち上がり

- ・生理的な脳波はなだらかに変化するが、アーチファクトは急峻で不規則な立ち上がりを示すことが多い

**疑わしい場合は記録を止めず、患者観察・電極再装着など原因検索を行いながら判読を進める**



08



# 脳波判読の手順

系統立てた判読の流れを身につける



## SECTION 8：脳波判読の手順

# 判読の基本ステップ

### ① 被検者情報の確認

- ・ 年齢・意識レベル・服薬状況・検査目的を確認する

### ② 基礎律動の評価

- ・ 後頭部優位律動の周波数・振幅・対称性・反応性を確認する

### ③ 睡眠・賦活法への反応

- ・ 自然睡眠、過呼吸、光刺激などによる変化を観察する

### ④ アーチファクトの除外

- ・ 生体・機械由来のノイズを識別し、真の脳由来波形と区別する

### ⑤ 異常波の検出と局在評価

- ・ 棘波・徐波などの異常波の有無、部位、左右差を確認する

### ⑥ 総合判定・記載

- ・ 所見をまとめ、臨床情報と照合したうえで報告する

基準電極導出で観察

複数のモンタージュで観察



## SECTION 8：脳波判読の手順

# レポート記載のポイント

### 客観的記述を徹底する

- ・「異常」と断定せず、周波数・振幅・部位・出現頻度など観察事実を具体的に記載する

### 基礎律動の性状（周波数・対称性・反応性）を必ず明記する

### 異常波がある場合

- ・種類（棘波・鋭波・徐波等） ・局在・左右差・出現状況（覚醒／睡眠、賦活時など）を記載する

### アーチファクトの混入や記録条件（体動が多い等）があれば、判読の限界として明記する

最終的な臨床診断的判断は医師が行うものであり、技師の役割は正確な観察と記録の提供にある

09



# デジタル脳波計の特徴と注意点

アナログにはない利便性と、理解すべき技術的な落とし穴



## SECTION 9：デジタル脳波計

# デジタル脳波計の利点

### ■ モンタージュの再構成

記録後に任意の双極・単極モンタージュへ自由に切り替えて表示できるため、複数の視点から波形を検討できる。

＝リモンタージュ

必要な電極が付いていることが前提なので、Fz / Cz / Pzは付けておくことが望ましい。

### ■ フィルタ・感度の変更

記録後でも低周波・高周波フィルタや感度（振幅の表示倍率）を調整し再表示できる。

### ■ 保存・伝送・共有・解析

デジタルデータとして長期保存でき、遠隔読影や他部門との共有、過去記録との比較が容易になる。

保存したデータをオフラインで、様々な解析をすることが可能。



## SECTION 9：デジタル脳波計

# デジタル脳波計を扱う際の注意点

### ■ サンプルング周波数とエイリアシング

アナログ信号をデジタル化する場合、サンプルング周波数を、目的の最大周波数の2倍以上に設定する必要がある（サンプルング周波数の半分の値をナイキスト周波数と呼び、これ以上の周波数の成分は、本来の周波数より低い波形として記録されてしまう＝エイリアシング）。波形の再現性を考慮すると、通常は3倍程度で設定する。

頭皮脳波では200Hz、頭蓋内脳波では1000～2000Hz、時に10kHz。

### ■ フィルタ設定と時定数の理解

高域遮断 high-cut（低域通過 high-pass）フィルタ

高周波数帯のノイズ（筋電図等）の軽減

低域遮断 low-cut（高域通過 low-pass）フィルタ

基線の変動の軽減＝時定数

帯域除去 band-stop フィルタ（ノッチフィルタ）

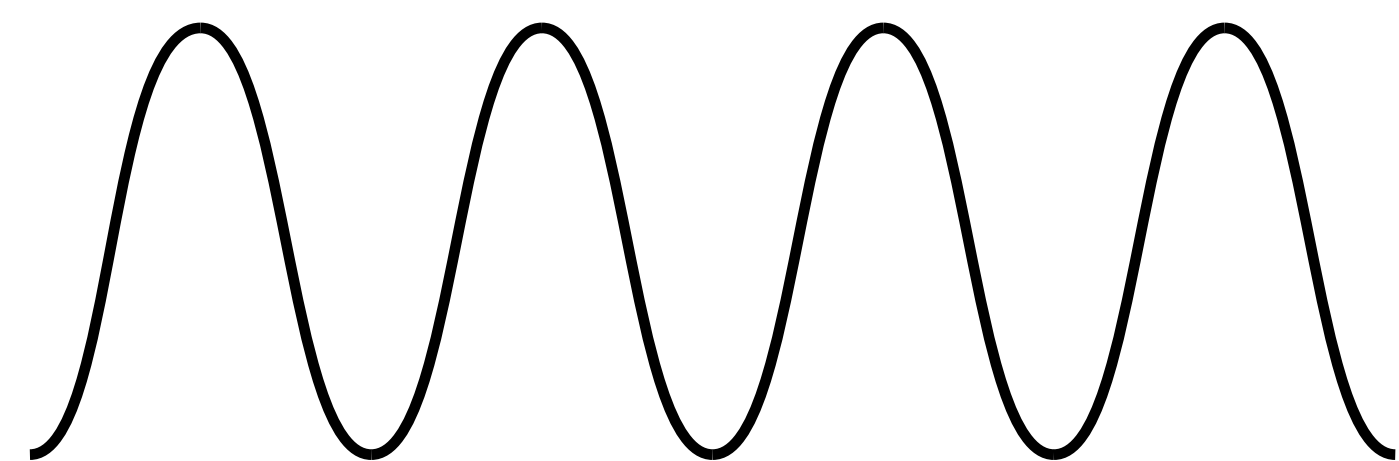
フィルタにより波形の見え方が変わってしまうことがあるので注意が必要。

高域遮断：60Hz（サンプルング周波数/3＝アンチエイリアシングフィルタ）

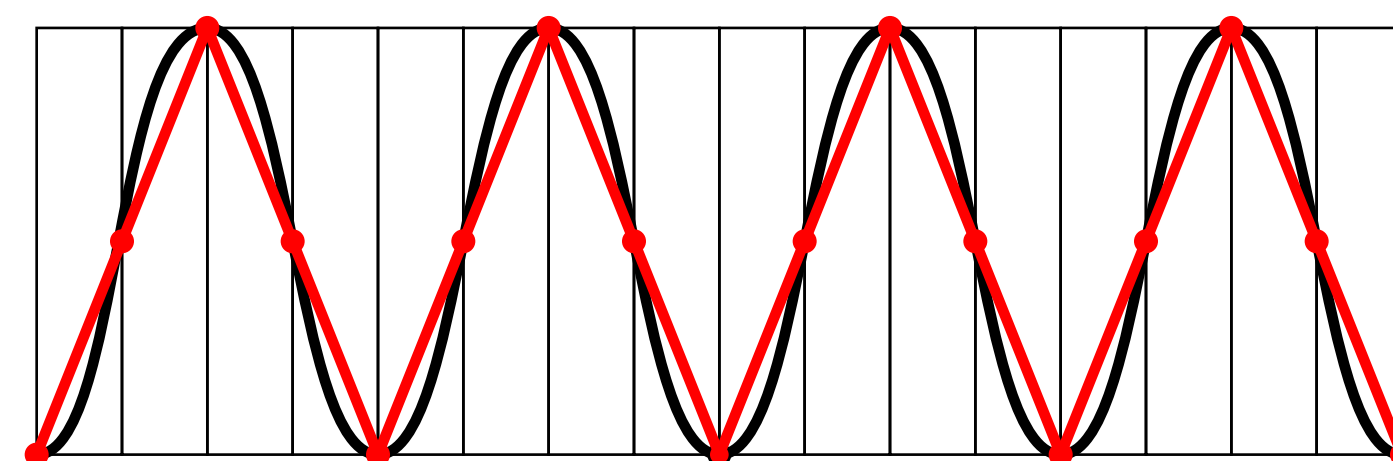
低域遮断＝時定数：0.3 (0.53Hz)

とすることが多い

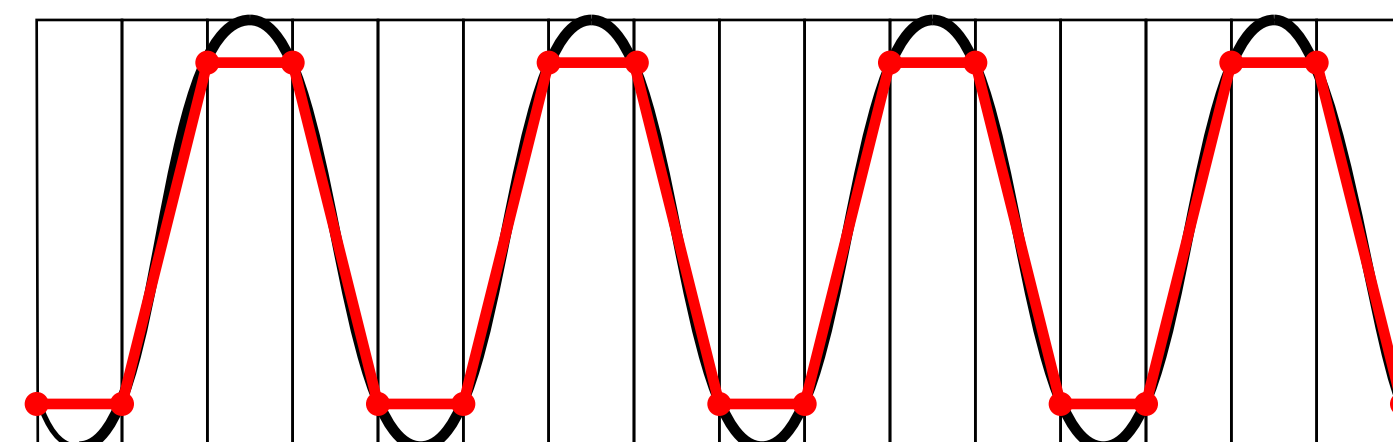
# 参考資料



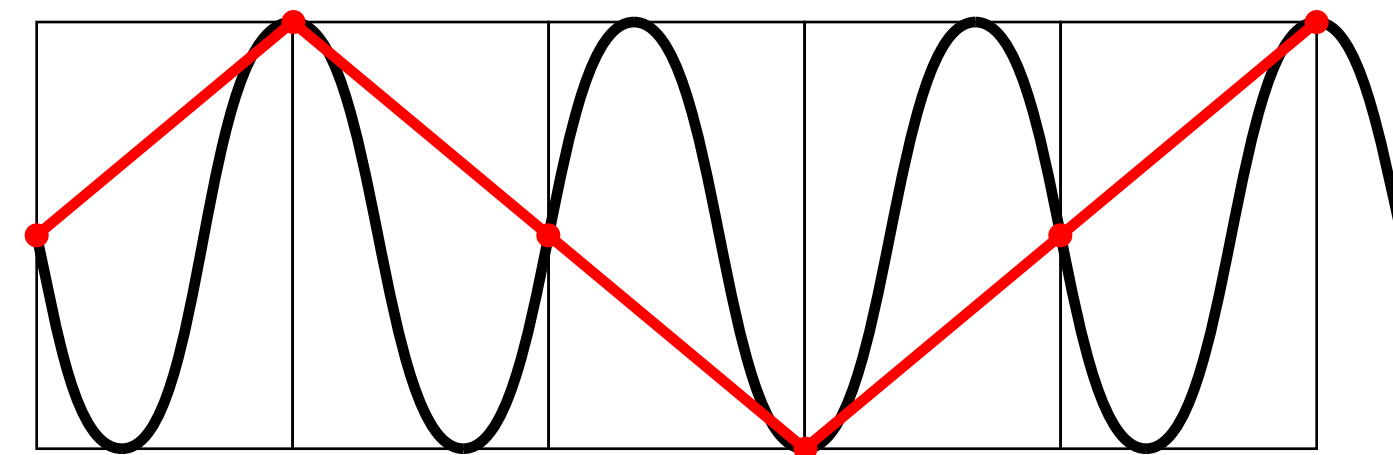
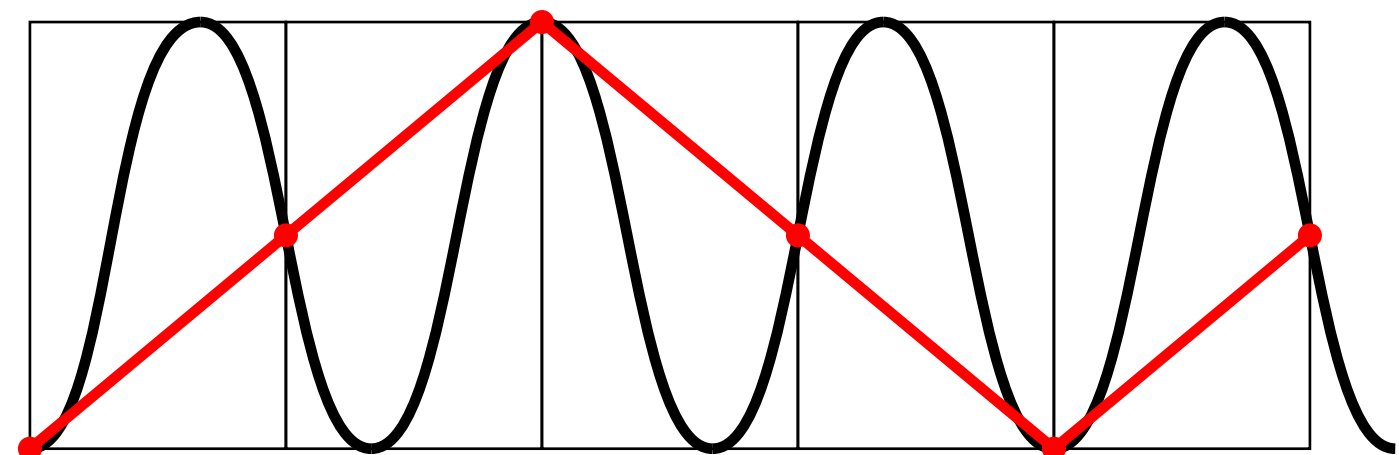
周波数×4でサンプリング



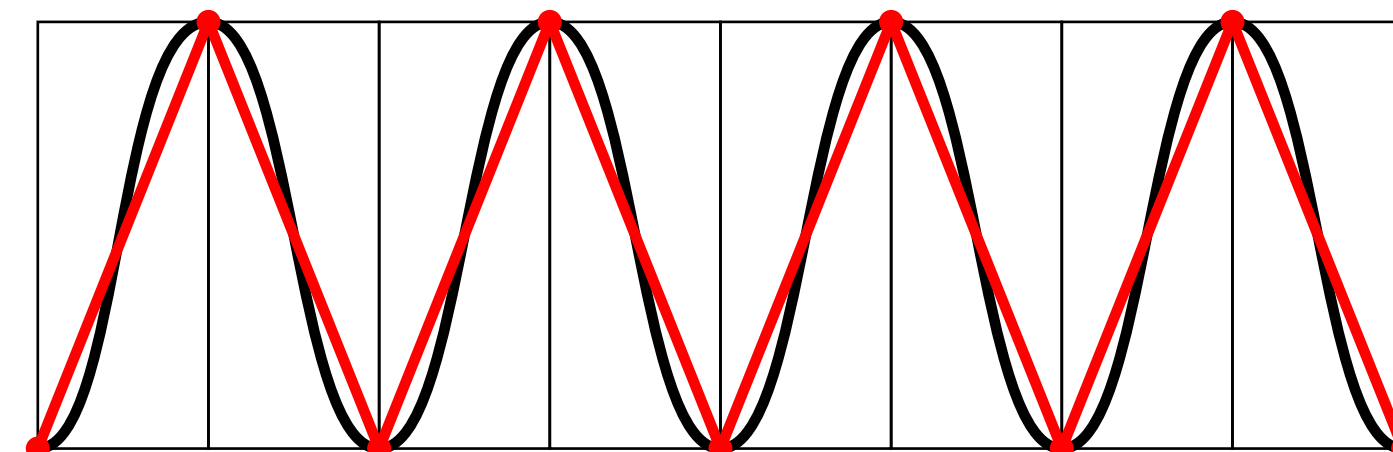
位相がずれても



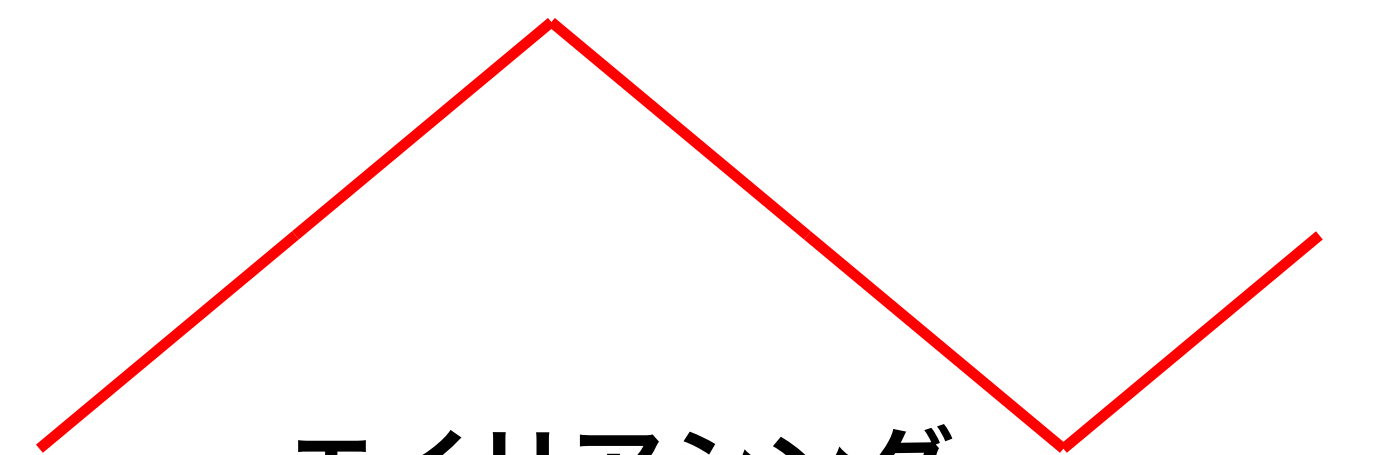
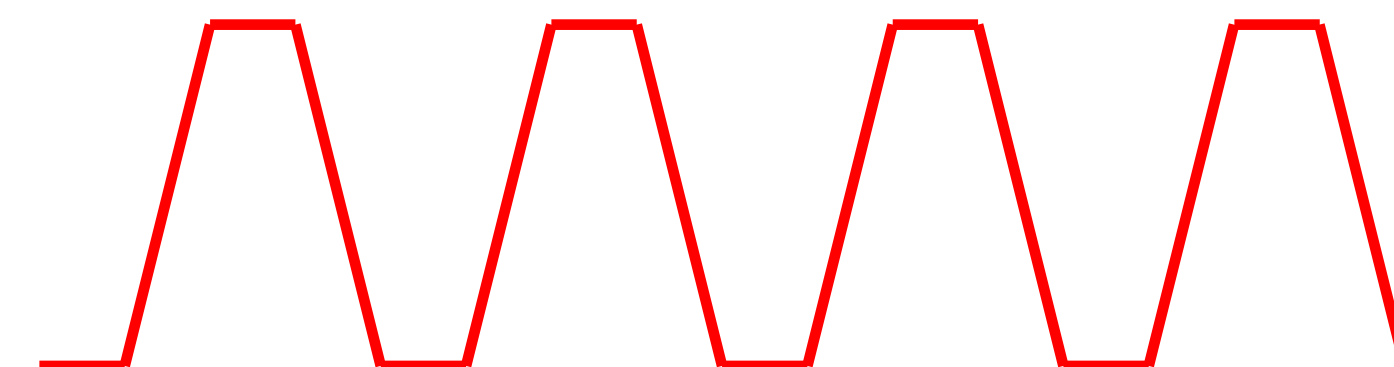
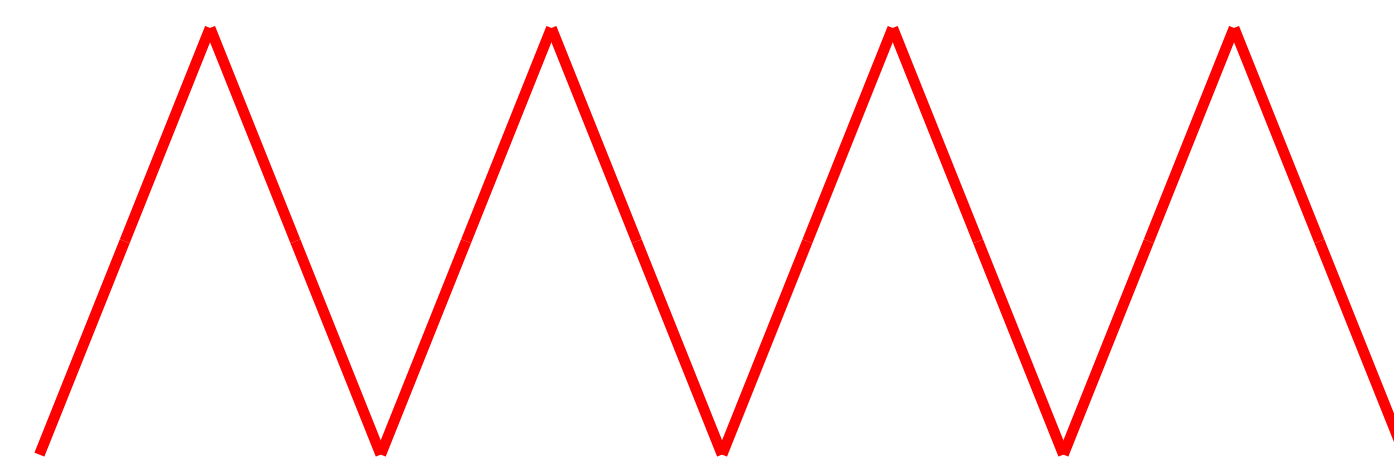
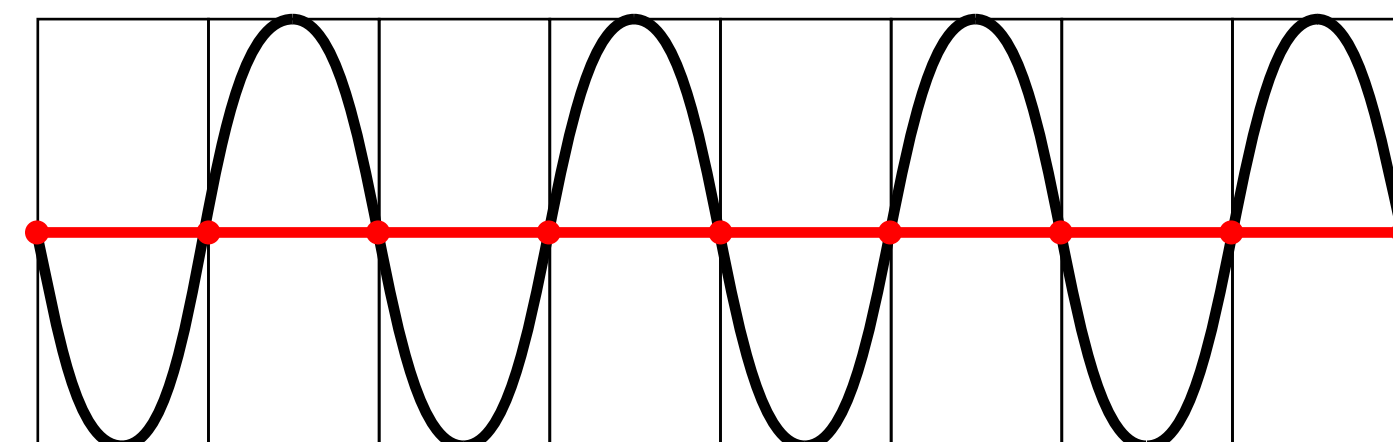
周波数×2より少ないと



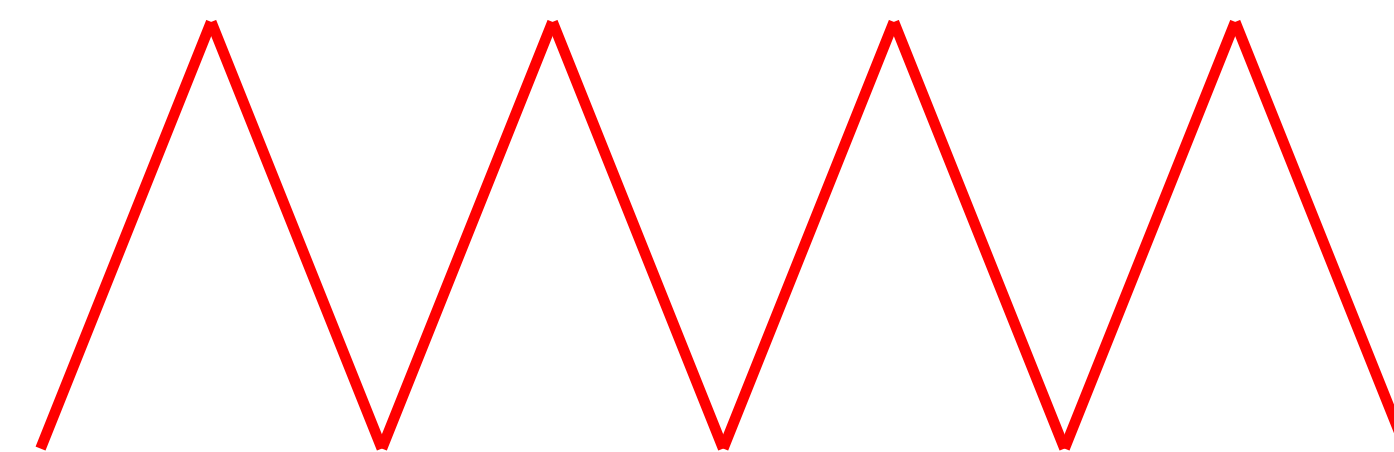
周波数×2丁度だと



位相がずれると

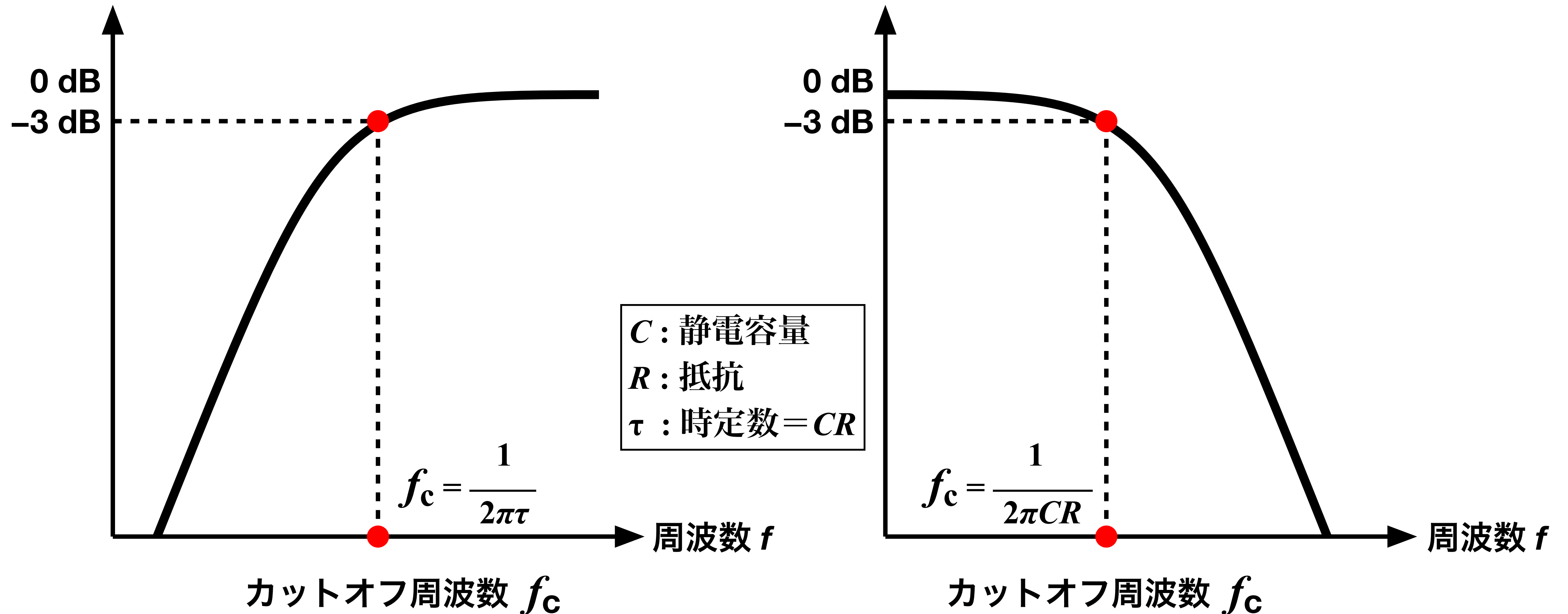


エイリアシング

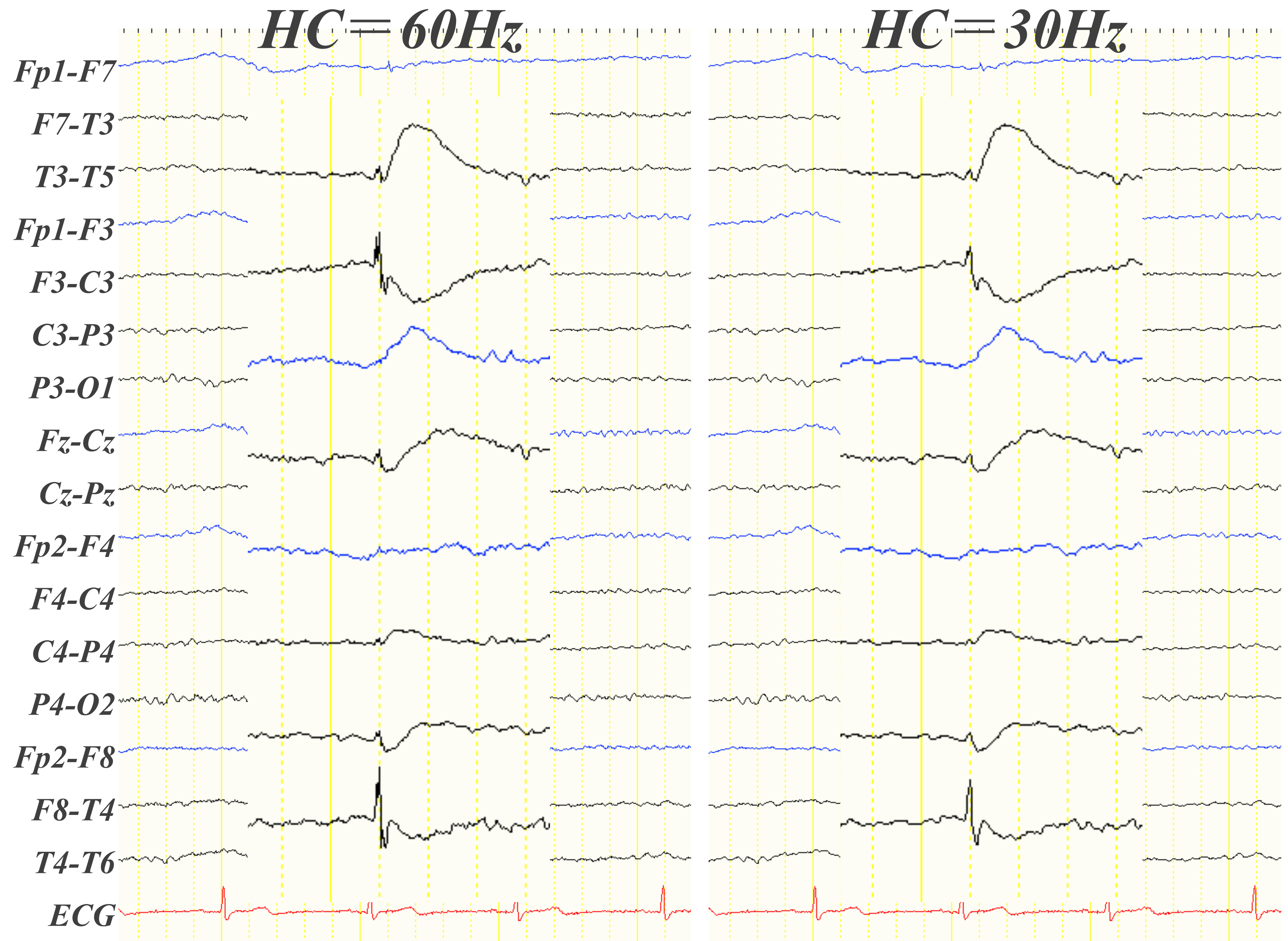


低域遮断フィルタ Low-cut filter / 高域通過フィルタ High-pass filter

高域遮断フィルタ High-cut filter / 低域通過フィルタ Low-pass filter



カットオフ周波数以上または以下の周波数がすべて消えるわけではない





# まとめ

- ・ 脳波は皮質ニューロンの同期活動を反映する微弱な電気信号であり、電極配置とモニタージュの理解が読影の基礎になる
- ・ 正常脳波・正常亜型のバリエーションを把握することが、真のてんかん性異常やアーチファクトとの鑑別につながる
- ・ 系統立てた判読手順と、デジタル脳波計特有の落とし穴への理解が、質の高い検査の提供を支える