

01 ▶ 基礎知識 a. 脳波の発生機序

Points

- ✓ 脳波の発生には電位発生源 (generator) とリズム発生源 (pace-maker) に分けて考える必要がある。
- ✓ 脳波の発生源は、大脳皮質 V 層にある大錐体細胞である。
- ✓ 正常脳波のリズム発現には、上部脳幹網様体、視床、大脳皮質ニューロンが重要である。
- ✓ 脳波のリズムは視床で形成され、視床の抑制性介在ニューロンの反回抑制が興奮・抑制リズムを形成する。

A 脳電位の発生機序

1. 上行性網様体賦活系の意義

意識の維持には、中脳にある上部脳幹網様体、視床非特殊核、広汎視床投射系からなる上行性網様体賦活系が重要である。実験的に中脳の部分で脳幹を切断したネコは昏睡状態となり、脳波は高振幅の徐波となる。逆に中脳網様体に反復電気刺激を加えると睡眠中または浅い麻酔中の動物は、その行動面からも覚醒し、脳波も低振幅の速波となる。

2. 大脳皮質大錐体細胞とシナプス後電位

脳波は脳の電位変動（交流成分）を表しており、この電位変動に大きな役割を果たしているのはニューロン活動である **図 1**。直径 1 cm の皿電極から記録される脳波は、数百万個（約 6 cm^2 ）の神経細胞の集合電位である。

脳波の発生源は、視床非特殊核のインパルスにより大脳皮質 V 層にある大錐体細胞に生じるシナプス後電位であり、電位的には深部の細胞体と表層の先端樹状突起とで電流双極子を形成している。多数の錐体細胞が同期して生じる電場変化〔興奮性シナプス後電位 (EPSP) と抑制性シナプス後電位〕の総和が脳波の主成分であるが、EPSP の関与が大きい **図 1**。

B 正常脳波リズムの発生機序

1. 律動性振動

脳波は 10 Hz 前後の α リズムを代表とする律動性を呈するのが特徴である。脳波のリズムは視床で形成され、視床は脳幹網様体賦活系の影響を受けるため、脳波は覚醒・睡眠状態や意識レベルにより変化する。

脳波律動の周波数は視床ニューロンの膜電位水準に依存しており、脱分極状態では速波 (β) 帯域、中等度の過分極状態では睡眠紡錘波、深い過分極では δ 波帯域の周波数を示す。この視床ニューロンの膜電位水準は、覚醒レベルを調節する脳幹網様体ニューロンの活動性によって

制御される。病的状態においても大脳皮質や視床、その他の脳構造のニューロン機能障害によって変化する。

2. リズム発生に關与する脳構造とニューロン回路

大脳皮質大錐体細胞と視床ニューロン間には相互の線維連絡がある。皮質大錐体細胞に投射する視床皮質ニューロンには視床網様核ニューロンから GABA を伝達物質とする抑制性入力を送られる。皮質大錐体細胞からは軸索側枝が視床皮質ニューロンおよび視床網様核ニューロンへ伸びてグルタミン酸を伝達物質とする興奮性投射がある。また、視床皮質ニューロンは視床網様核ニューロンへ軸索側枝を出して興奮性入力を送っている。この回路には脳幹（中脳・橋）網様体によってアセチルコリンを伝達物質とする活動性制御が行われている。すなわち脳幹網様体ニューロンから視床皮質ニューロンへは興奮性、視床網様核ニューロンへは抑制性の制御が行われている **図 1**。

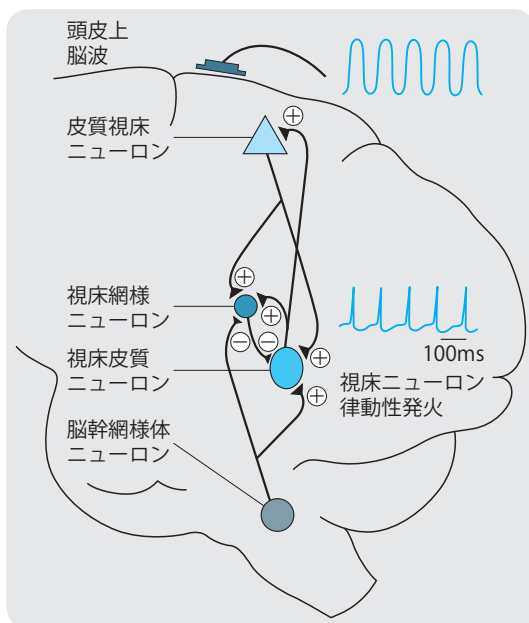


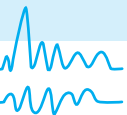
図 1 脳波律動の発生機序

上行性網様体賦活系、視床および大脳皮質ニューロンの機能が統合されて正常脳波が発生する。（飛松省三. In: 平山恵造, 監修. 臨床神経内科学. 改訂 6 版. 東京: 南山堂; 2016. p.771-82.）³⁾

【文献】

- 1) 加藤元博. 脳波の発生機序: 解剖と生理. 臨床神経生理学. 2005; 33: 221-30.
- 2) 飛松省三. 脳波リズムの発現機序. 臨床神経生理学. 2014; 42: 358-63.
- 3) 飛松省三. 4. 電気生理学的検査 1. 脳波と脳磁図. In: 平山恵造, 監修. 臨床神経内科学. 改訂 6 版. 東京: 南山堂; 2016. p.771-82.

〈飛松省三〉



01 ▶ 基礎知識 b. 脳波の構成成分

Points

- ✓ 臨床脳波で重要な構成成分は、 α 波（8～13 Hz）、 β 波（14～30 Hz）、 θ 波（4～7 Hz）、 δ 波（0.5～3 Hz）である。
- ✓ 健常人の α 波は安静・覚醒・閉眼時で後頭部優位に出現し、優位律動を成す。開眼により抑制される。
- ✓ θ ・ δ 波は、覚醒状態にある健常人の安静閉眼時には、ほとんど出現しない。周波数が遅いほど、振幅が高いほど病的意義が強くなる。
- ✓ β 波は正常成人の覚醒時にみられるほか入眠時、薬物使用時にもみられる。

A 脳波の分類 図1

1. α 波

脳波は各種の周波数成分から構成されている。通常の脳波測定で観察される波形は、これらの構成要素のうち特に目立つ優勢な成分が記録されたものである。 α 波は、8～13 Hzの周波数で安静・覚醒・閉眼状態で健常人の後頭部優位に出現する。振幅は個人差もあるがおよそ50 μ V前後である。 α 波は1929年にドイツのHans Bergerによって β 波とともに命名され、脳波の中で最も知られた成分である。

2. 徐波と速波

徐波は α 波より周波数が低いという意味で、 δ 波（0.5～3 Hz）と θ 波（4～7 Hz）に分けられる。両者とも覚醒状態にある正常成人の安静閉眼時には、ほとんど出現しない。徐波は生理的には、幼小児の脳波、睡眠時の脳波にみられ、病的状態としては、てんかん、脳腫瘍、脳血管障害などの器質脳疾患、意識障害、低酸素状態、低血糖状態など種々の脳機能障害の際に出現する。

速波は α 波よりも周波数が速い波を総括したものである。 β 波（14～30 Hz）と γ 波（30 Hz以上）があるが、 γ 波は通常の脳波判読では解析の対象になっていない。 β 波の振幅はおよそ20 μ V位であり、振幅が50 μ V以上大きい場合には異常とみなされる。速波は正常成人の覚醒時にみられるほか入眠時、薬物使用時にもみられ、病的な場合としては、精神遅滞、頭部外傷、脳手術後などにみられる。

B 脳波の記載

1. 背景活動

脳波は覚醒度により時々刻々と変化し、正常または異常な波形（全汎性ないし局在性）がそのなかに現れ、そのような波形が背景から浮き立つことにより視察的に判読される。このよう

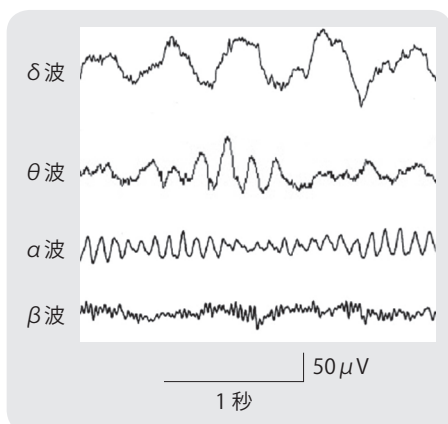


図1 脳波の分類

周波数により $\alpha \sim \delta$ 波の4つの成分に分けられる。よくみると δ 波には θ 波も重畳している。

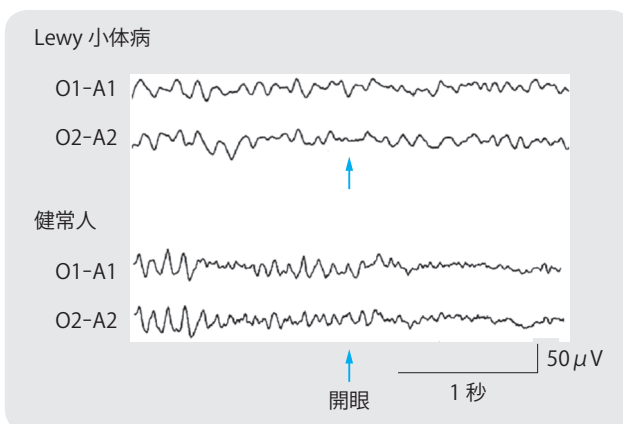


図2 α 波の反応性

両側後頭部の脳波のみを呈示。健常人では開眼により抑制されるが、Lewy 小体病では抑制が不良である。また、 α 波も徐波化し、組織化も不良である。

な脳波活動を背景活動 (background activity) という。後頭部に出現する優位律動 (基礎律動ともよばれる) とそれ以外の周波数成分である非突発性異常 (非生理的徐波) から成る。一過性現象である突発性異常 (てんかん原性) は、背景活動から分けて記載される。安静・覚醒・閉眼時での正常脳波は、後頭部優位の α 波を主体として前頭部に低振幅 β 波の混入を認める。正常ではうとうと状態にならない限り、徐波もほとんど出現しない。ただし、加齢の影響で側頭部に θ 波が10%程度出現することはある。

2. 優位律動

優位律動とは脳波のすべての背景活動を構成する各種の周波数成分のうち、いちばん時間的に多く出現している周波数成分のことである。通常、後頭部優位に出現する α 波が優位律動となる。その周波数 (Hz), 振幅 (μ V), 頭皮上分布, 左右差の有無, 出現量, 刺激 (開閉眼) や各種賦活法による変動性を注意深く観察する。正常成人 (25~65 歳) では、9~11 Hz の α 波が後頭部優位に左右対称性に出現し、漸増・漸減 (modulation) がみられる。周波数の変動は1 Hz 以内で、それを超すと不規則で非律動的にみえる。このとき、組織化 (organization) が不良という。開眼、光・音刺激などで抑制され、 α 抑制とよぶ [図2](#)。これは、大脳皮質の活動が高まると、シナプス後電位の分散性が高くなり、同期性が低下するためである (脱同期)。この抑制は優位律動の特徴であり、逆に抑制が不十分であることは、脳機能障害が予想され、脳波診断上重要である [図2](#)。

【文献】

- 1) 大熊輝雄. 臨床脳波学. 第5版. 東京: 医学書院; 1999.
- 2) Schaul N. The fundamental neural mechanisms of electroencephalography. *Electroenceph Clin Neurophysiol.* 1998; 106: 101-7.
- 3) Marknad ON. Alpha rhythms. *J Clin Neurophysiol.* 1990; 7: 163-89.
- 4) 飛松省三. 認知症. *Clin Neurosci.* 2014; 32: 814-7.

〈飛松省三〉