

誘発電位マニュアル

(改訂第4版, 2006年4月5日)

九州大学大学院医学研究院

脳神経病研究施設 臨床神経生理

飛松省三

このマニュアルは誘発電位を始める初心者用に作成したもので、詳細は以下の文献を参照すること。なお、図の一部は文献より借用したが、大半は当科で得られたものである。

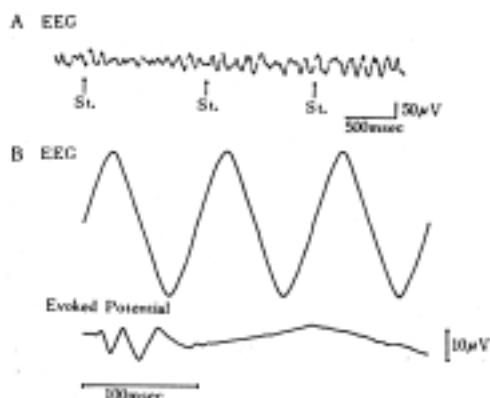
1. 飛松省三: 早わかり誘発電位(1) —誘発電位の基礎— 臨床脳波, 47: 573-583, 2005.
2. 飛松省三: 早わかり誘発電位(2) —視覚誘発電位と聴覚脳幹誘発電位— 臨床脳波, 47:638-648, 2005.
3. 飛松省三: 早わかり誘発電位(3) —体性感覚誘発電位と運動誘発電位— 臨床脳波, 47:717-726, 2005.
4. 前川敏彦, 飛松省三: 早わかり誘発電位(4) —事象関連電位とミスマッチ陰性電位— 臨床脳波, 47:775-787, 2005.
5. American Electroencephalographic Society. Guideline Nine: Guidelines on Evoked Potentials. J. Clin. Neurophysiol., 11(1):40-73, 1994.

大脳誘発電位検査について

大脳誘発電位は感覚神経を適当に刺激することにより、頭皮上に置いた電極より記録するものである。脳波に比べて電位が小さいため、コンピューターで加算平均して記録する(図 1)。

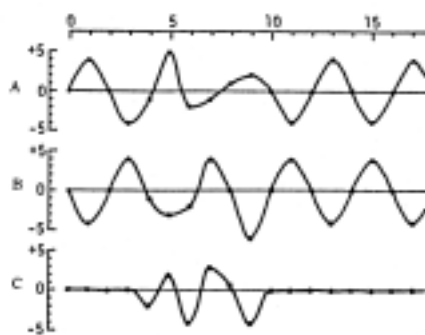
名称は波形の極性と潜時で表す。例えば、極性が陰性で潜時が 30 msec なら N30 と呼ぶ。

図 1



脳波と誘発電位

A: 通常の記録法でみた脳波と誘発電位。誘発電位は脳波にかくされて明確でない。St.: 体性感覚刺激。
 B: 脳波と加算誘発電位の模式図。振幅と時間的経過の相違に注意。



加算平均法の原理を示す模式図

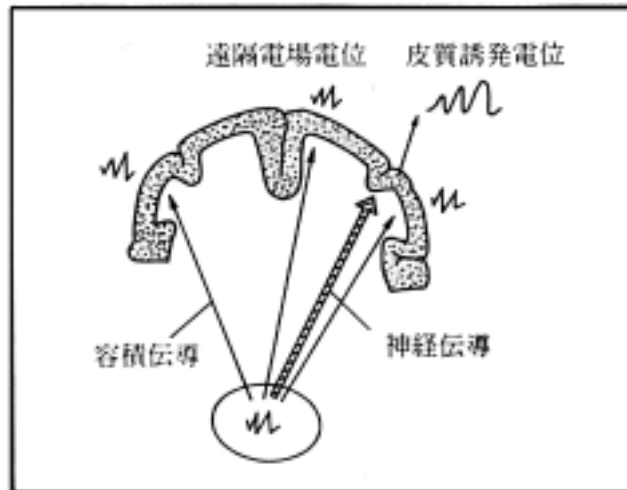
A, B: 脳波に隠された誘発電位
 C: 加算平均された誘発電位 (A+B)。
 下記の数字は図の各曲線を時間経過にしたがって振幅を数値化したもの。
 図の縦軸: 振幅。横軸: 刺激からの時間経過。

Near-field potentials と far-field potentials

Near-field potentials(近位電場電位)は神経伝導 (neural conduction)により far-field potentials(遠隔電場電位)は容積伝導 (volume conduction)により記録される電位である(図 2)。

Far-field potentials を記録するためには頭部外に基準電極を置かなければならない(図 3, 図 6 参照)。

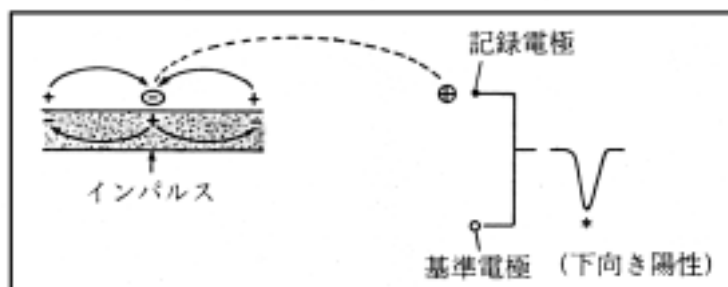
図 2



誘発電位の発生源を示す模式図 (飛松原図)

皮質誘発電位は神経伝導を介して生ずる電位である。
遠隔電場電位は皮質下深部構造で生じた電位であり、
容積伝導により広く頭皮上に分布する。

図 3



遠隔電場電位の原理 (飛松原図)

容積電導体中のインパルスの電位変化を、導体中の離れた不興奮性部位にある記録電極から記録すると、遠隔電場電位*は陽性波として記録される。

神経内科病棟脳波室における記録法

1) システムの構成

刺激装置、誘発脳波計 ニューロパック 8

2) 電極の装着法

- 脱脂綿をアセトンで湿らせ、電極位置の頭皮を拭いて皮脂を落とす。
- コロジオンにより電極を頭皮に固定する。
- 電極にジェリーをつめて抵抗を $5K\Omega$ 以下にする。

体性感覚誘発電位(Somatosensory evoked potentials, SEP)

A. 長潜時 SEP (Long-latency SEP)

皮質機能をみるもので、通常正中神経を電気刺激して記録する。臨床的には短潜時 SEP の方が有用である。Myoclonus を呈する患者では giant SEP がしばしば記録される。

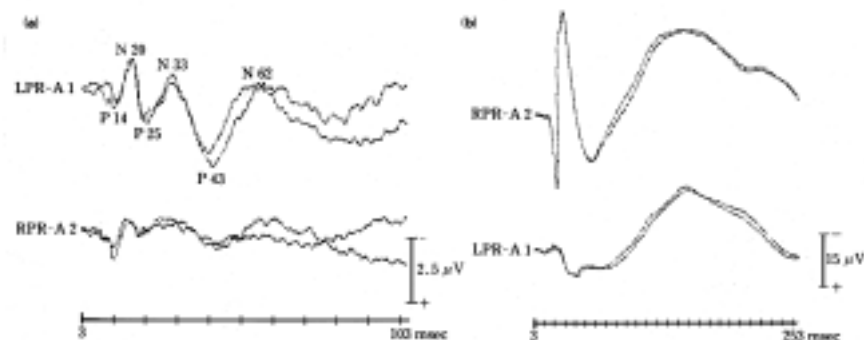
方法: 一側の正中神経刺激(手関節部)、刺激頻度 1 Hz、100 回加算平均、分析時間 100-200 msec、周波数帯域 0.5 - 200 Hz

モニタージュ:

- 1 ch 頭皮上の刺激と反対側の手の感覚野(Cz(10-20 法)より 2cm 後方の点から耳朶に向かって 7cm の点)- A1A2
- 2 ch 頭皮上の刺激と同側の手の感覚野- A1A2
アース電極を刺激側の腕に巻く

正常波形: N20, N33, N62 (図 4)

図 4



皮質 SEP (正中神経刺激) (飛松原図, 右: 未発表データ)

(a) 正常対照者 (右正中神経刺激)

(b) ミトコンドリア脳筋症 (左正中神経刺激)

LPR, RPR: 左および右の頭皮上の手の感覚野

A1, A2: 耳朶

B. 短潜時 SEP(short-latency SEP)

1) 上肢 SEP

方法: 一側の正中神経刺激(手関節部)、刺激頻度 5 Hz、500 回加算平均、
分析時間 50 msec、周波数帯域 1, 3, 4 ch; 5 - 2000 Hz, 2 ch; 50 - 2000Hz

モニタージュ:

1 ch 頭皮上の刺激と反対側の手の感覚野(Cz(10-20 法)より 2cm 後方の点から耳朶に向かって 7cm の点)- Fz(10-20 法)

2 ch 頭皮上の刺激と反対側の手の感覚野- 刺激と反対側の Erb 点

3 ch 第 7 頸椎(C7) - Fz(10-20 法)

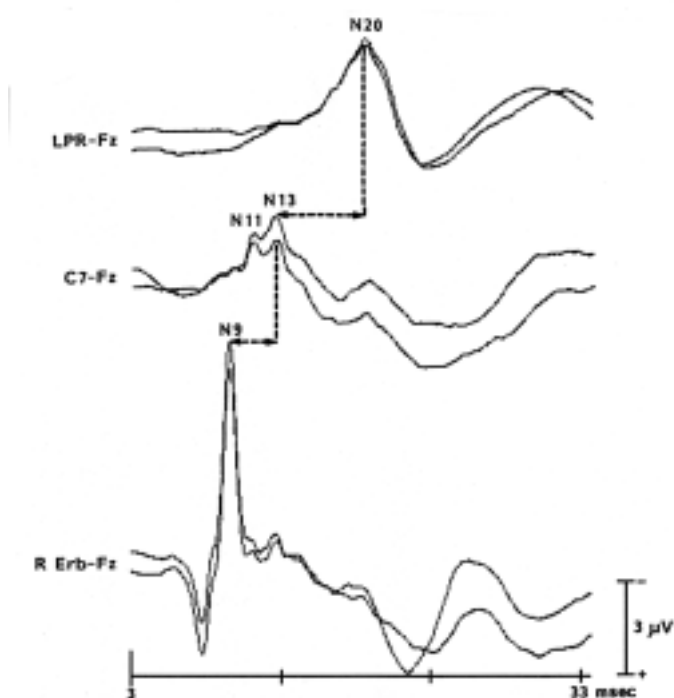
4 ch 刺激と同側の Erb 点 - Fz(10-20 法)

アース電極を刺激側の腕に巻く

正常波形: N9, N13, N20 (図 5)

解釈: Large fiber を刺激するため、後索-内側毛帯系の機能を検査できるが、表在知覚の異常の検出はむづかしい。N9 は Erb、N13 は脊髄後索、N20 は体性感覚野とされ、N13-N20 は中枢感覚伝導時間 (central sensory conduction time) として使われている。

図 5



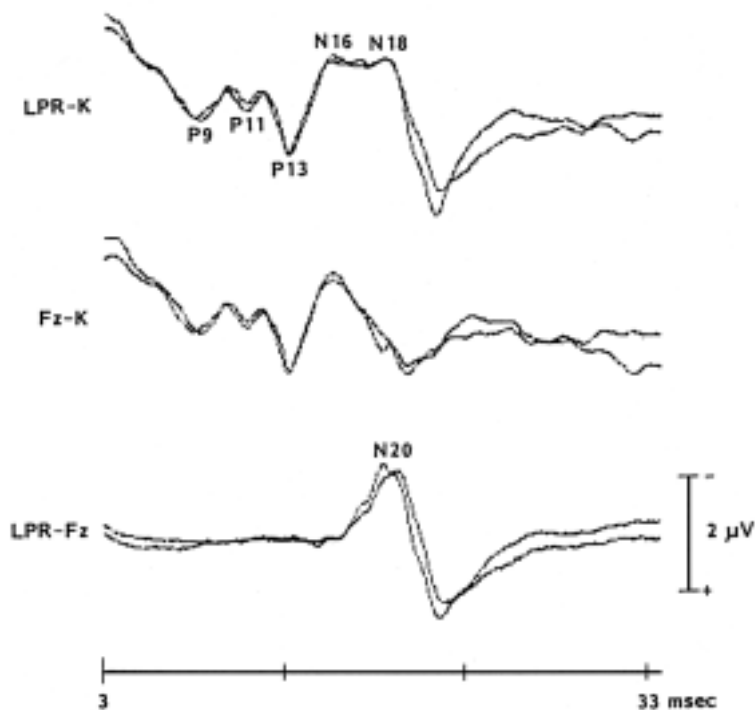
Fz 基準による正常短潜時 SEP (右正中神経刺激) (飛松原図)

N9 は刺激側 Erb 点, N11 と N13 は第 7 頸椎表面, N20 は刺激と反対側の頭皮上から記録される

LPR: 頭皮上の手の感覚野 (左), C7: 第 7 頸椎棘突起, R Erb: 右 Erb 点

注) 2 ch のモニターユでは P9, P11, P13-14, N16 が far-field potentials として記録できる(図 6)。

図 6



遠隔電場 SEP の正常波形 (右正中神経刺激) (飛松原図)

膝 (K) に基準電極をおくと、頭皮上から P9, P11, P13, N16 が記録される (上段, 中段) が, Fz を基準にするとこれらは記録されない (下段)

2) 下肢 SEP

方法: 一側の後脛骨神経電気刺激(足関節部) or 腓骨神経(膝部)、

刺激頻度 2 Hz、500 回加算、分析時間 100 msec

周波数帯域 1 ch 5 - 2000 Hz, 2, 3, 4 ch 50 - 2000 Hz

モニターユ:

1 ch 頭皮上の足の感覚野(Cz(10-20 法)より 2cm 後方の点)-Fz(10-20 法)

2 ch 頭皮上の足の感覚野(Cz(10-20 法)より 2cm 後方の点)-刺激と反対側の Iliac crest

3 ch Th12 - 刺激と反対側の Iliac crest

4 ch L4 - 刺激と反対側の Iliac crest

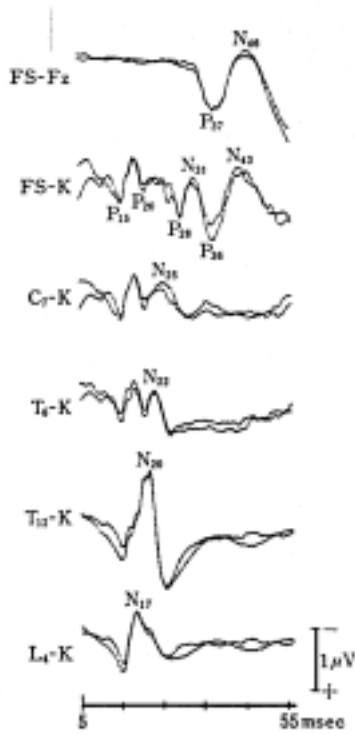
アース電極を刺激側の足に巻く

正常波形: 後脛骨神経刺激では N20, P37(図 7)、腓骨神経の場合 N13, P27 が安定して記録される。

解釈: 上肢 SEP と同様。N20-P37(N13-P27)は central sensory conduction time として使われている。

注) P37 の頭皮上分布は paradoxical lateralization をとる(図 8)。

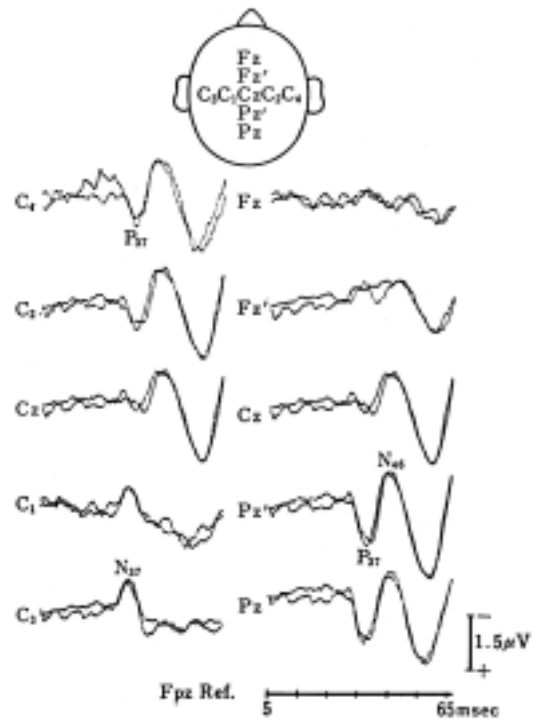
図 7



右後脛骨神経刺激による脊髄および
大脳誘発電位の正常波形 (飛松原図)

K: Knee, Fz: 国際 10-20 法

図 8



右後脛骨神経刺激による大脳誘発電位の頭皮上分布
(Fpz 基準) (飛松原図)

P37, P46 は刺激と同側の頭皮上から頭頂部正中線
上にかけて分布している (near-field potentials) .
刺激と反対側の頭皮上からは P37 に対応する N37
が記録される。

C1, C2, C3, C4, Fz, Pz: 国際 10-20 法,

Fz': Fz と Cz の中間点, Pz': Cz と Pz の中間点

聴覚脳幹誘発電位(Auditory brainstem responses, ABR)

方法: クリック音刺激(閾値より+50 dB)、刺激頻度 8 Hz、1000 回

加算平均、分析時間 10 msec、周波数帯域 5 - 2000Hz

モニタージュ:

1 ch 左乳様突起 - Cz

2 ch 右乳様突起 - Cz

アース電極を Fz に置く

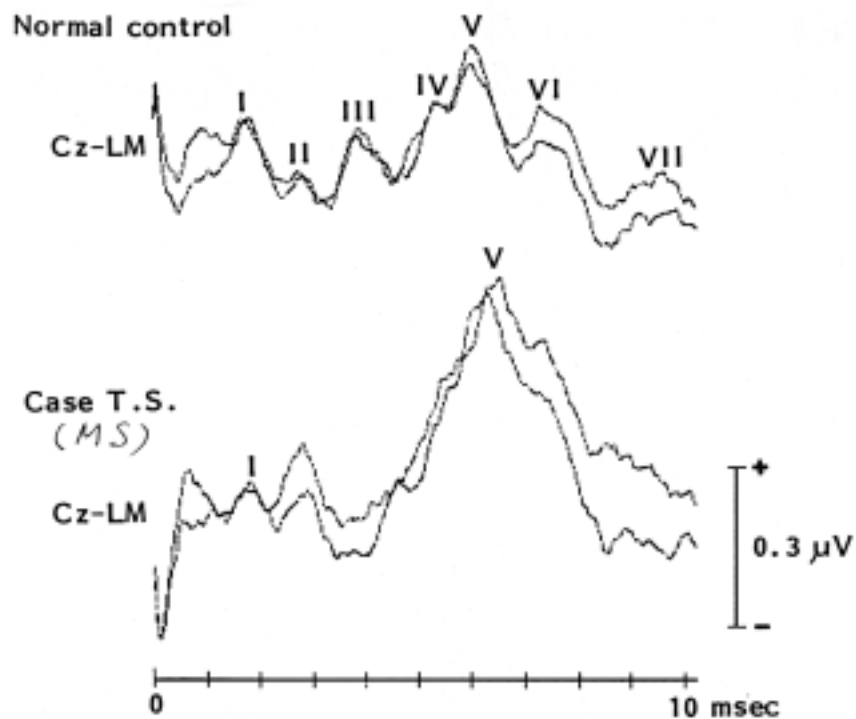
正常波形: 7 個の陽性波が記録されるが(図 9)、I, III, V が安定している。

解釈: I 波-聴神経、III 波-上オリブ核、V 波-下丘とされ脳幹障害を検査できる。

Blink reflex と併用すると良い。

注) クリック音は 500-4000 Hz の周波数よりなるため、1000-2000 Hz の高周波数域の蝸牛の機能しかみれない。聴力検査とは関連しない。

図 9



ABR の正常波形 (上段) と異常例 (下段)

視覚誘発電位(Visual evoked potentials, VEP)

1) VEP

方法: パターン反転刺激(視角 15、30 分)、刺激頻度 1 Hz、
刺激視野 16 度、100 回加算平均、分析時間 300 msec、
周波数帯域 0.5 - 200Hz

モンタージュ

1 ch Oz (inion より 5 cm 上) - Fz (nasion より 12 cm 上)

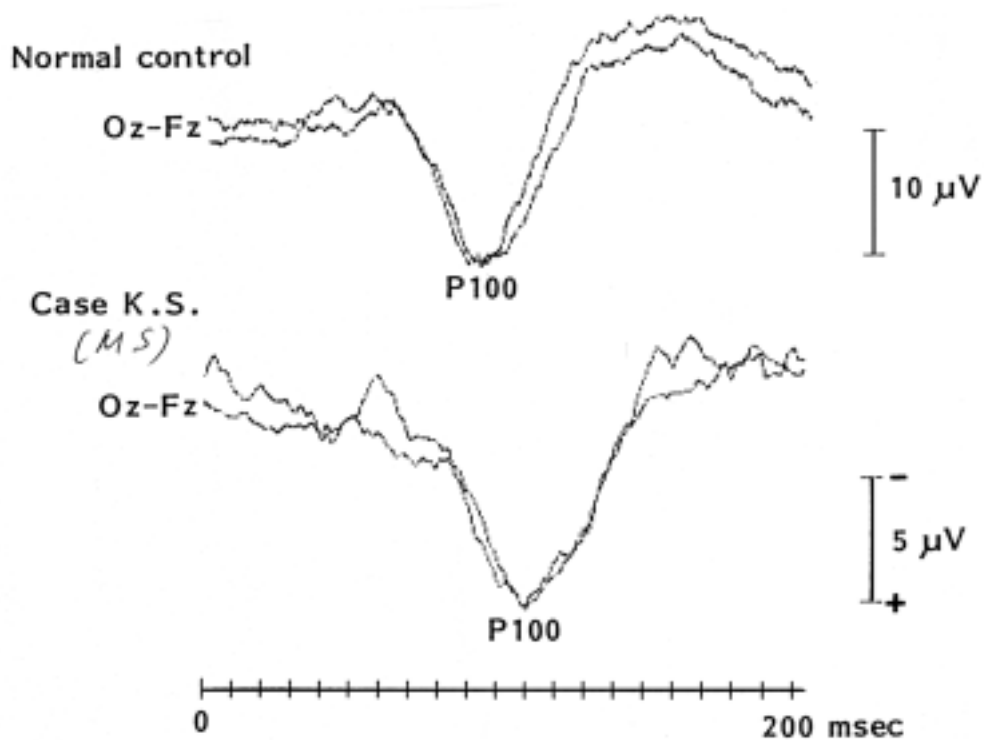
2 ch Oz (inion より 2.5 cm 上) - Fz (nasion より 12 cm 上)

アース電極を Cz に置く

正常波形: P100 が記録される(図 10)。

解釈: 全視野刺激で単眼性に P100 の異常があれば、視神経病変が示唆される。
半側視野刺激をおこなうと視交叉後病変が評価できる。

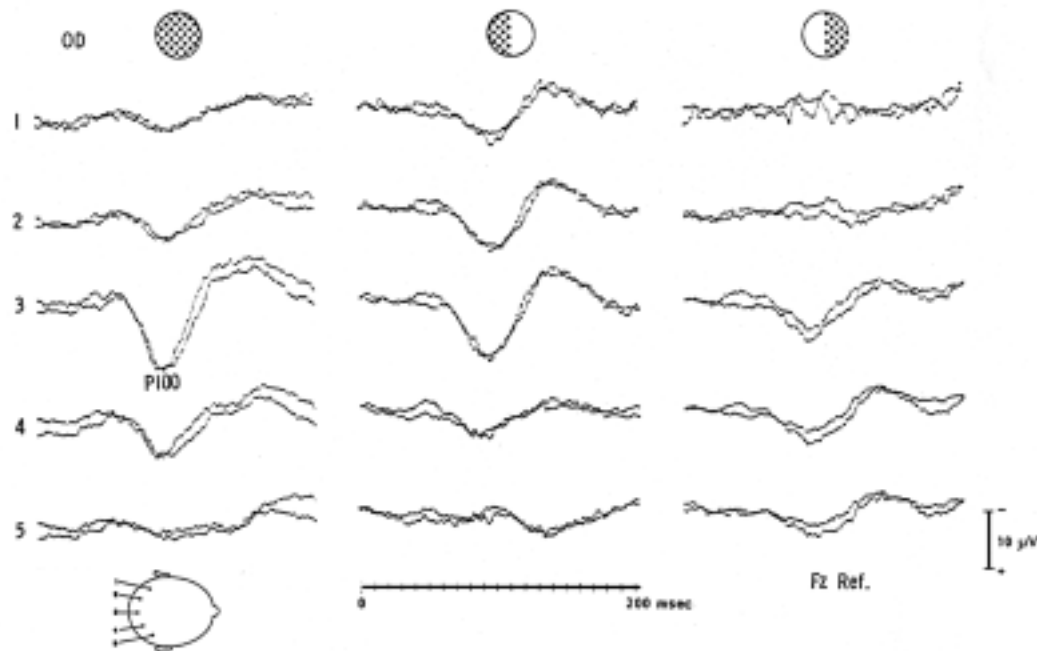
図 1 0



VEP の正常波形 (上段) と異常例 (下段)

注) 半側視野刺激を行うと P100 の頭皮上分布は paradoxical lateralization をとる(図 11)。

図 1 1



図形反転刺激 VEP の正常波形 (福井原図)

全視野刺激 (左図) では主陽性頂点 (P100) は正中線上で最大であるが、左半側視野刺激 (中図) では左後頭部に、右半側視野刺激 (右図) では右後頭部に P100 が記録される。全視野刺激による VEP は左右の半側視野刺激による VEP の和である。

2) Pattern ERG、VEP の同時記録

方法: パターン反転刺激(視角 15、30 分)、刺激頻度 1 Hz、64 回加算平均、
分析時間 300 msec、周波数帯域 0.5 - 200Hz

モニタージュ:

1 ch A1A2 -contact lens(角膜上)

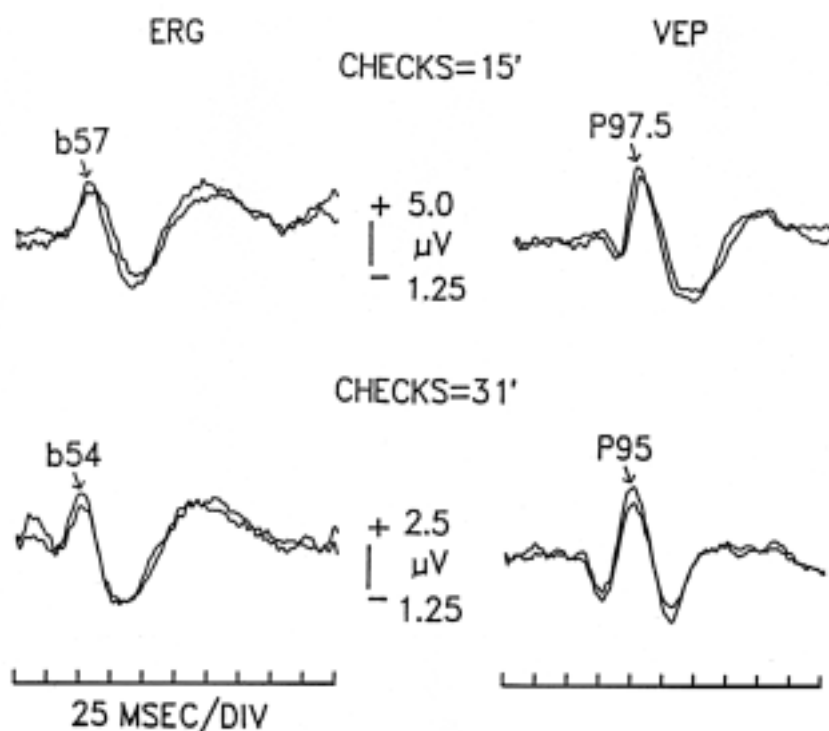
2 ch Fz (nasion より 12 cm 上) - Oz (inion より 5 cm 上)

アース電極を Cz に置く

正常波形: ERG; b-wave, VEP; P100(図 12)。

解釈: b-wave は視神経の機能を反映しているとされ、retinocortical time (b-P100) により視覚路の機能をより詳細に評価できる。

図 1 2



パターン ERG, VEP の同時記録

Long-loop reflex と Jerk-locked back-averaging

1) long-loop reflex(図 13)

Long-loop reflex は皮質 SEP と筋電図を同時に記録し、giant SEP や C-response の有無により myoclonus を電気生理学的に分析できる。

方法: 一側の正中神経刺激(手関節部)、刺激頻度 1 Hz、100 回加算平均、

分析時間 150-200msec、周波数帯域 1, 2 ch; 0.5 - 200 Hz,

3, 4 ch; 50 - 3000 Hz

モニタージュ:

1 ch 頭皮上の刺激と反対側の手の感覚野(Cz(10-20 法)より

2cm 後方の点から耳朶に向かって 7cm の点)- A1A2

2 ch 頭皮上の刺激と同側の手の感覚野- A1A2

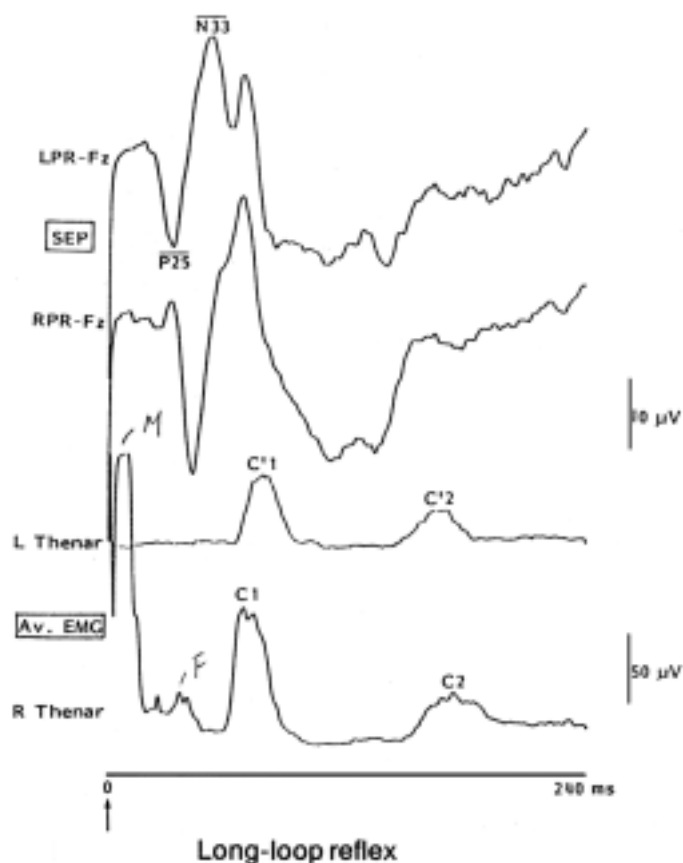
3 ch 右母指球筋電図

4 ch 左母指球筋電図

アース電極を刺激側の腕に巻く

解釈: Cortical reflex type では giant SEP と C-response の亢進、Reticular type では SEP は正常だが C-response が亢進することがある。Spinal type では SEP は正常で C-response も出現しない。

図 13



右正中神経を電気刺激すると頭皮上からは giant SEP, 母指球筋より M 波, F 波に続いて C-response が記録される。刺激と反対側の母指球筋からも C-response が記録され, 本例では皮質の Hyperexcitability が存在する。

2) Jerk-locked back-averaging(図 14)

EEG と EMG の polygraphic recording(図 15)では myoclonus と spike との関係がわからない。Jerk-locked averaging は myoclonic discharge をトリガーとして脳波を逆行性に加算平均するもので、myoclonus に先行する spike があるかどうかを検査できる。

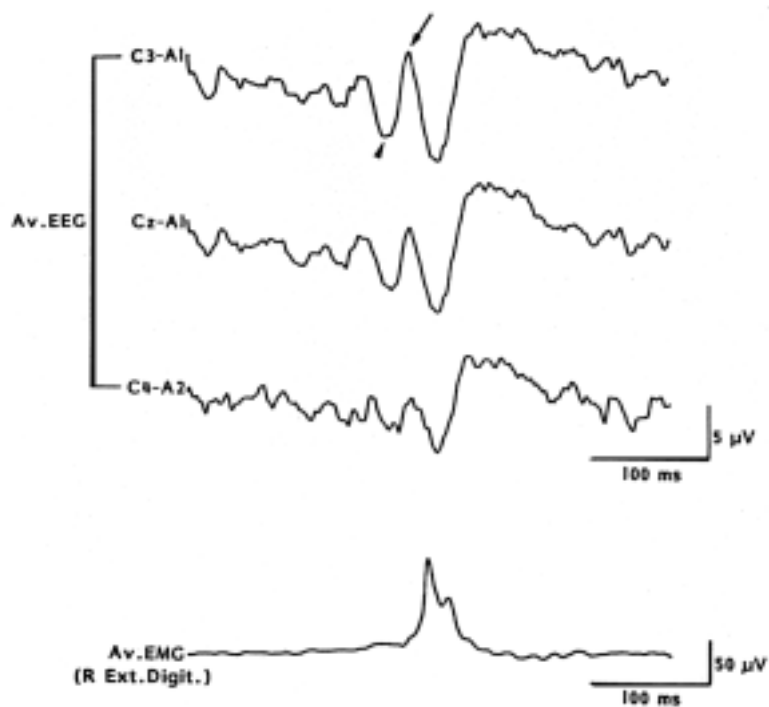
方法: 周波数帯域 1, 2, 3 ch; 0.5 - 200 Hz, 4 ch; 50 -3000 Hz

モニタージュ:

- 1 ch C3 (10-20 法)-A1A2
- 2 ch Cz (10-20 法)-A1A2
- 3 ch C4 (10-20 法)-A1A2
- 4 ch EMG(myoclonus のみられる筋肉)

解釈: Cortical reflex type では myoclonus に先行する spike を認める。Reticular type ではその分布が広い。Spinal type では先行する spike はない。

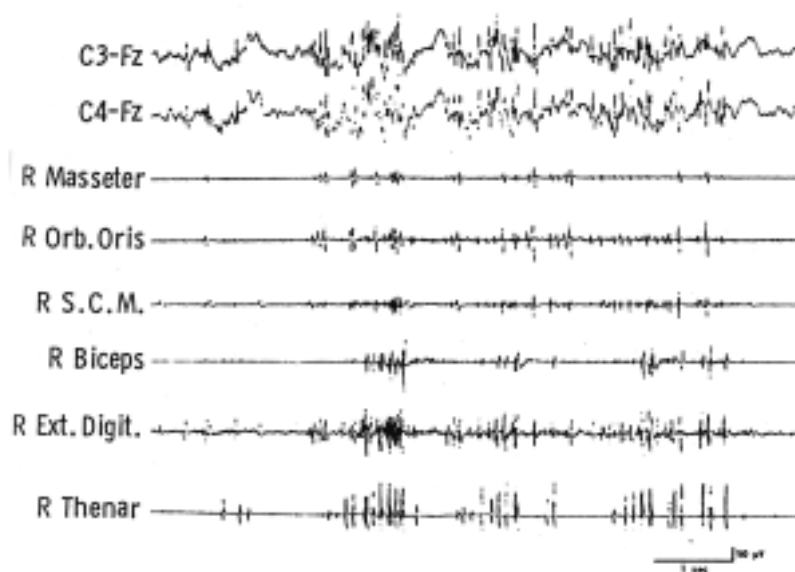
図 1 4



Jerk-locked averaging

右母指球筋のミオクローヌスの筋放電に先行する spike を C3 に認めるが C4 には認められない。

図 1 5



脳波と筋電図のポリグラフ記録

ミオクローヌスの筋放電と脳波上の Polyspike との時間的關係は明らかでない。

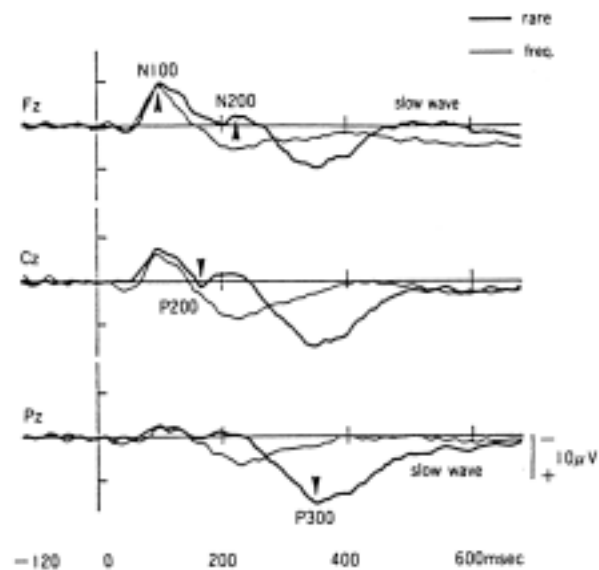
事象関連電位(Event-related potentials, ERPs)

認知に関連した電位と考えられている。

方法: 二つの異なった音あるいは視覚刺激を用いて、被験者に出現頻度の少ない刺激を数えさせたり、ボタン押しさせることにより、P300 が記録できる(図 16)。

解釈: 痴呆患者では P300 が遅延するので、痴呆の他覚的検査として有用である。

図 1 6



2種類の純音を用いた oddball 課題に対する反応

太線が標的刺激に対する反応。細線は標準刺激に対する反応。

標準刺激に対する反応では、N100, P200 が認められる。

標準刺激に対する波形には、N100, P200 に加えて、N200, P300 (ERP),

slow wave が認められる。P300 の振幅は Pz で最大である。

Motor evoked potentials(MEP)

原理: パルス変動磁場により生体内にコイルとは逆向きの誘起電流が生じ、運動神経が興奮する。無痛性であり、非侵襲的に錐体路の機能が検査できる。

1) 上肢 MEP

方法: 8 の字型コイルを肘部、Erb 点、第 7 頸椎、頭皮上の運動野(C3 or C4 より 2cm 前)において下行性運動路を刺激して誘発筋電図(M 波)を記録する。
刺激強度 850V、周波数帯域 50-3000 Hz

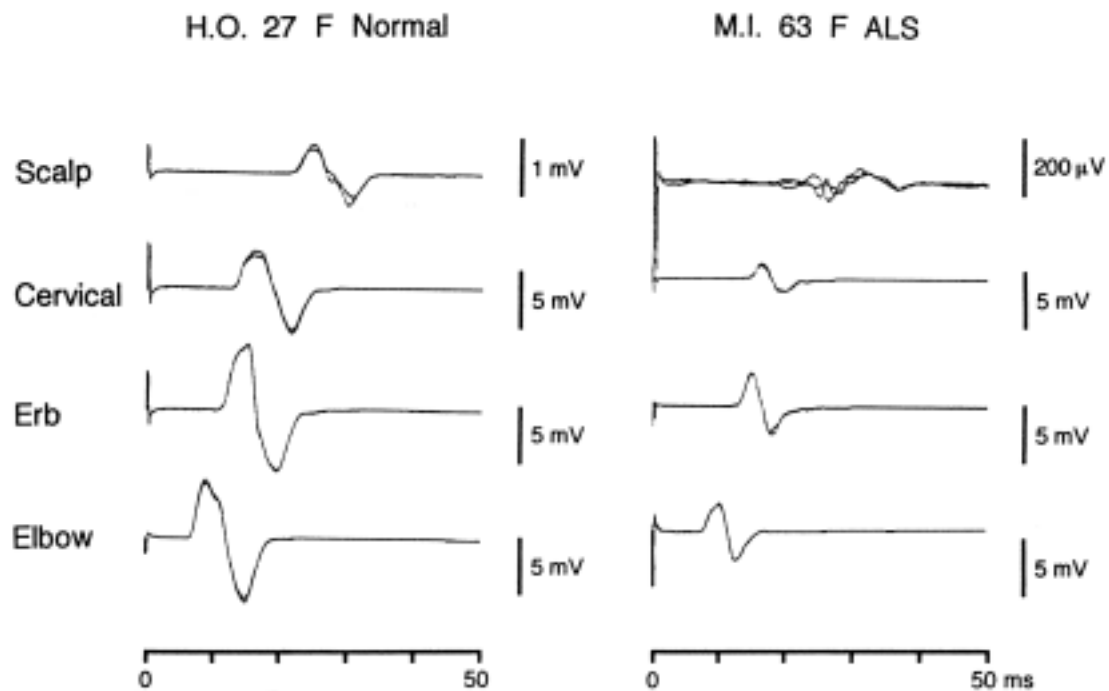
モニタージュ:

1 ch 右(左)の短母指外転筋の筋電図

正常波形: 図 17

解釈: 第 7 頸椎と頭皮上の運動野刺激で得られる MEP 波の潜時差は中枢運動伝導時間 central motor conduction time として使われる。

図 17



1) 下肢 MEP

方法: ダブルコーンコイルで下肢の運動野を、8の字型コイルで腰部(L4)を刺激して MEP 波を記録する。刺激強度は 90%と 850V、周波数帯域 50 - 3000 Hz

モニタージュ:

1 ch 右の短母指外転筋の筋電図

2 ch 左の短母指外転筋の筋電図

正常波形: 図 18

解釈: 上肢 MEP と同様。

図 18

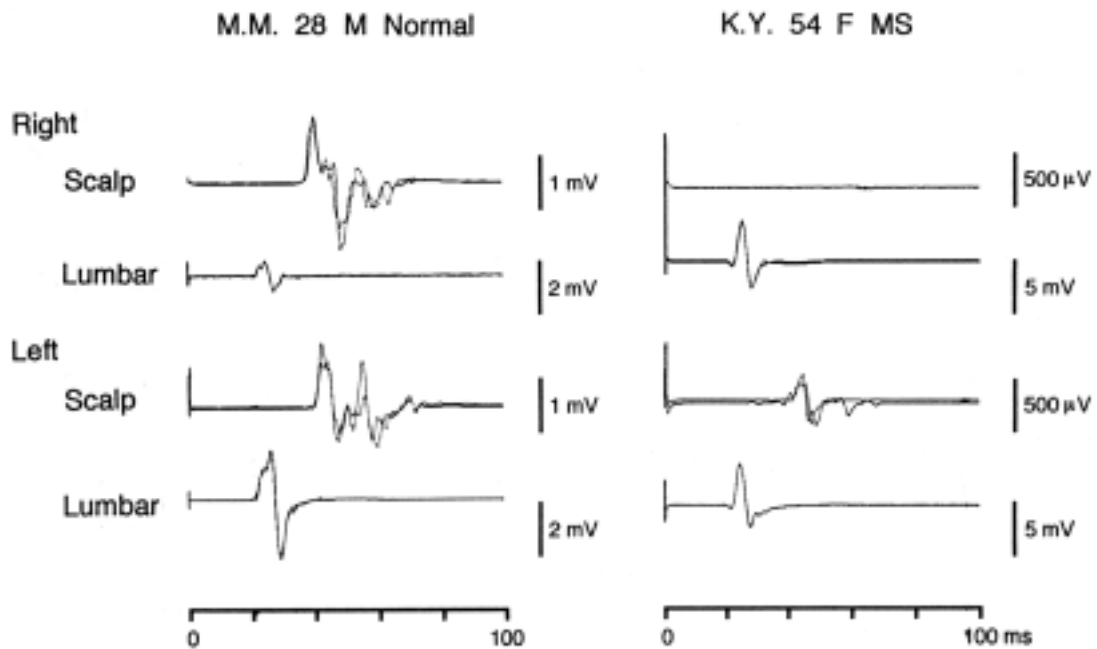
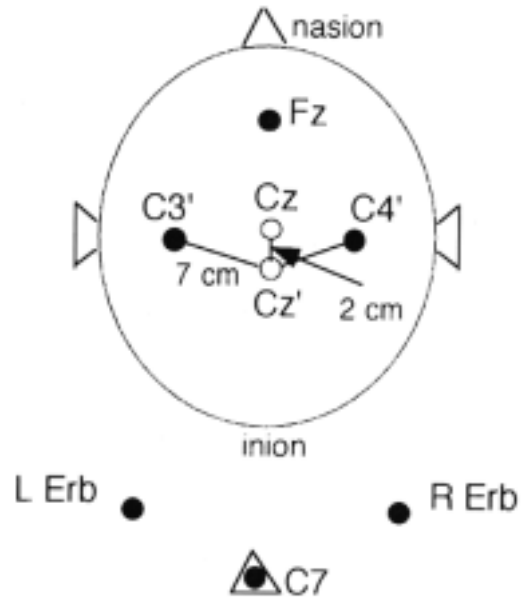


図19 上下肢 SEP のモニタージュ

上肢SEP

- | | | |
|-------|---|-----|
| Fz | → | Fz |
| C3' | → | C3 |
| C4' | → | C4 |
| C7 | → | C5S |
| L Erb | → | A1 |
| R Erb | → | A2 |



下肢SEP

- | | | |
|---------|---|----|
| Fz | → | Fz |
| Cz' | → | Cz |
| Th12 | → | Pz |
| L4 | → | Oz |
| L Iliac | → | A1 |
| R Iliac | → | A2 |

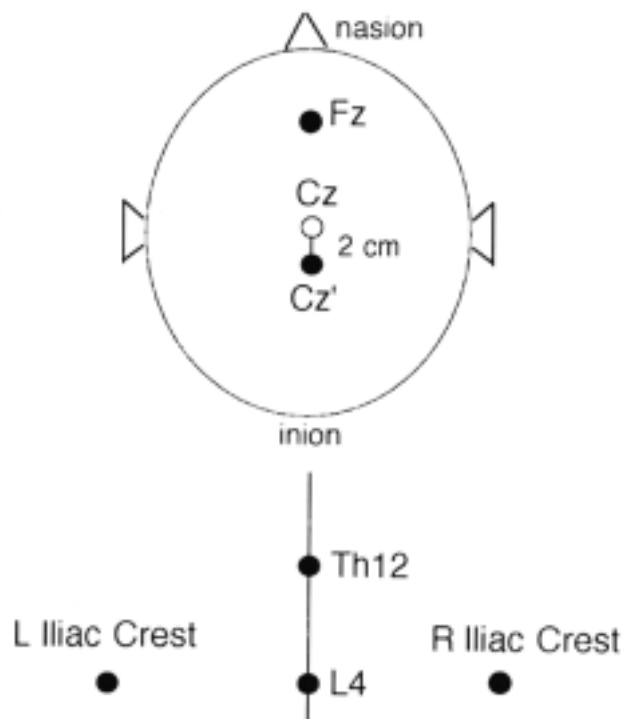
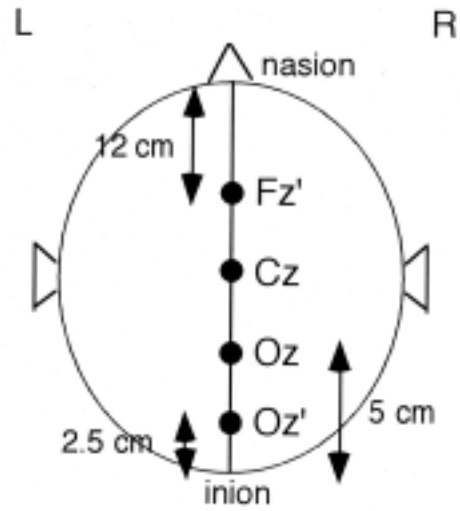
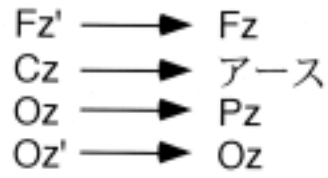


図 2 0 VEP, ABR のモンタージュ

VEP



ABR

