

基調講演

筋電図からわかること

—臨床で筋電図をどう生かすか—

関西医療大学大学院 保健医療学研究科

鈴木 俊明

筋電図について

筋電図・・・筋線維が興奮する際に発生する活動電位を記録するもの

- 普通筋電図
- 動作学的筋電図
- 誘発筋電図
- 単一筋線維筋電図

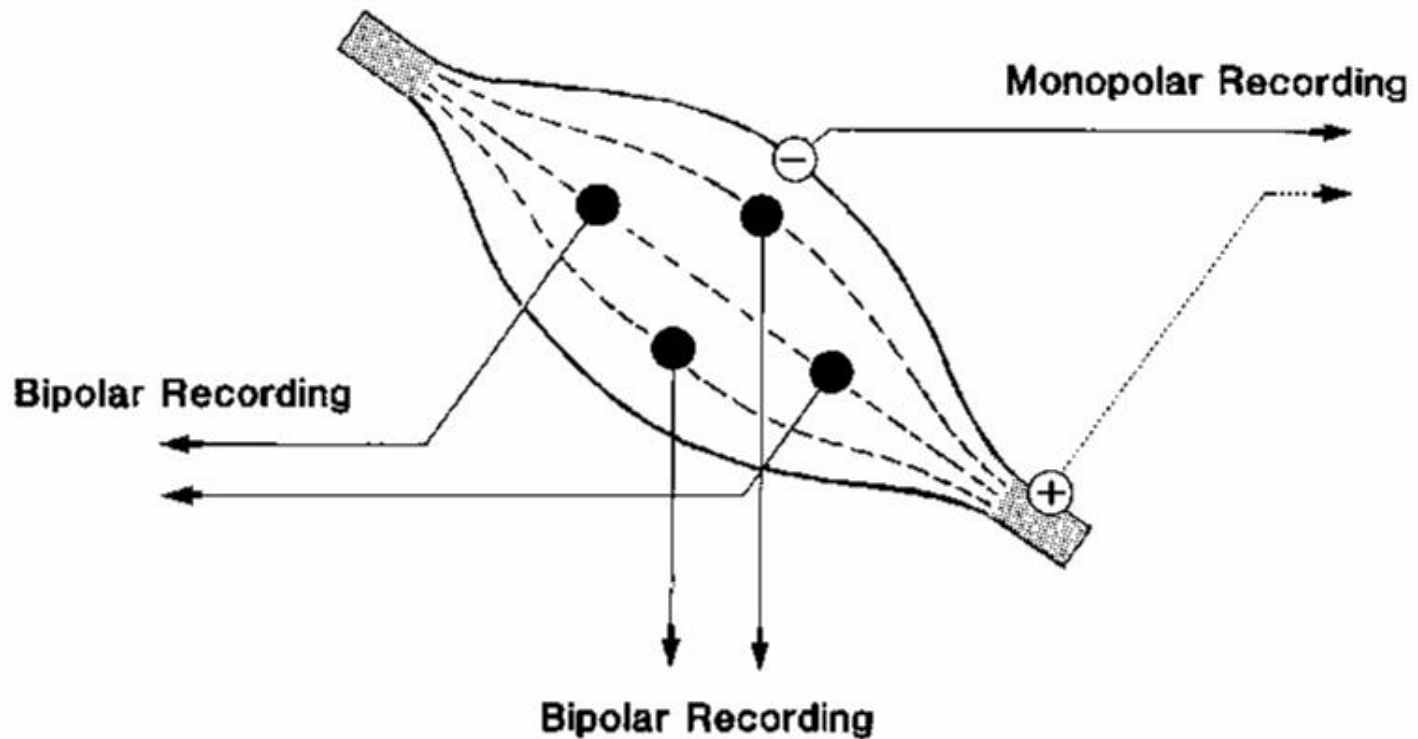
動作学的筋電図

異なる筋の活動電位を同時記録し、そのあり方から正常あるいは異常運動のパターンを分析するもの

誘発筋電図

末梢神経あるいは運動点に電気刺激を加え、それに対応する反応をみるもの

Monopolar(Referential) and Bipolar Recordings



動作学的筋電図でわかること

- 1)筋活動パターン, 筋活動の開始・終了のタイミング
- 2)筋電図積分値
- 3)中間周波数と平均周波数
- 4)運動前反応時間

筋活動パターン

筋収縮の順序や活動の程度，収縮弛緩の変化を捉える。
動作時における筋活動の有無や拮抗筋の状態などを
ディスプレイ上でリアルタイムに観察する。
これらは筋電図記録の後に特有の演算処理を行わなく
てもその概要を理解することができる。

筋活動パターン

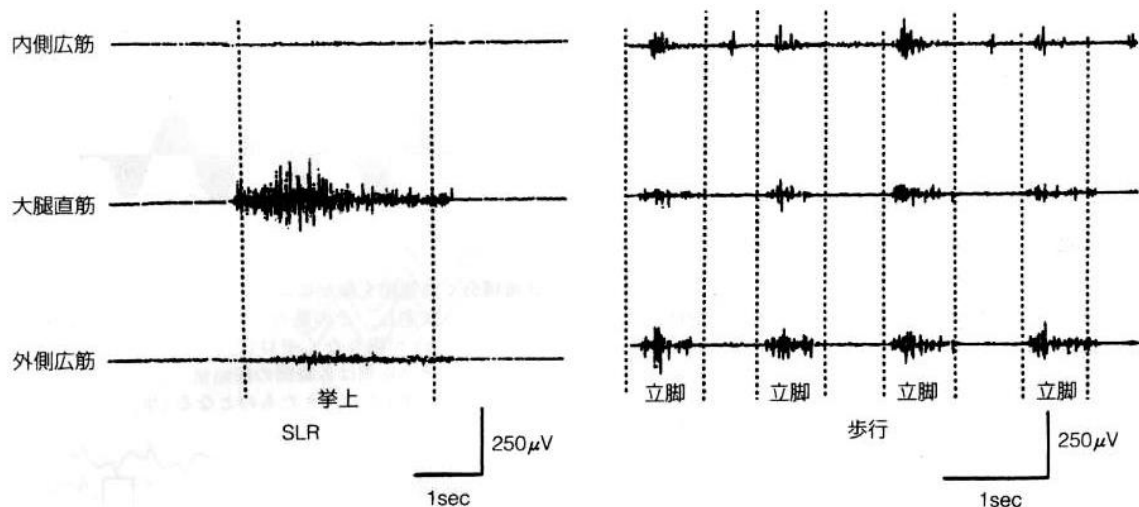


図 3 SLR および歩行時における動作学的筋電図(健常者)

健常者における筋活動は、SLR や立脚の開始直後から始まり、すぐにピークをむかえてその後減少するパターンを呈している。

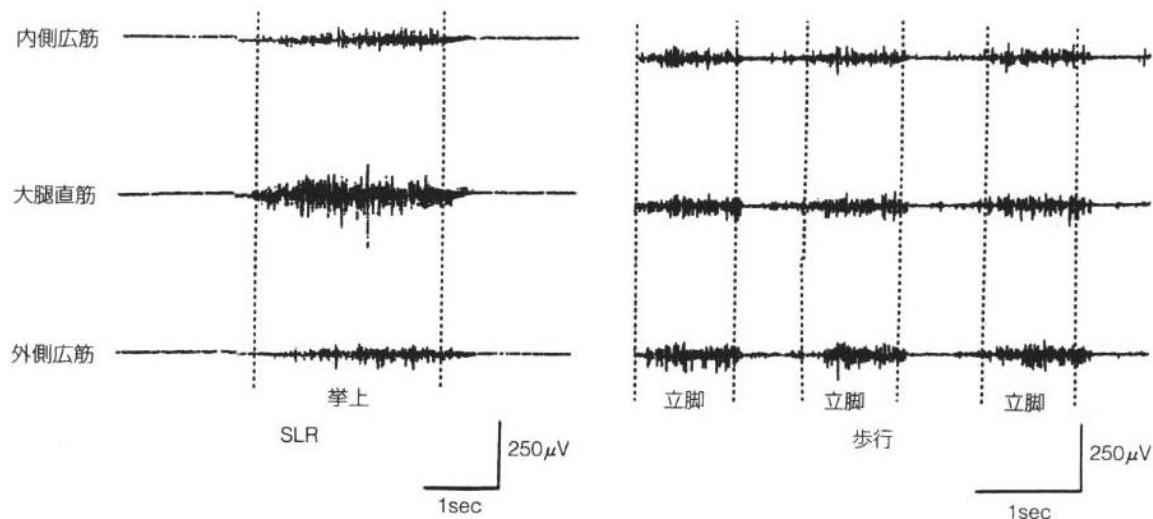


図 4 SLR および歩行時における動作学的筋電図(症例)

症例における筋活動は、SLR 歩行とともに筋放電開始後も顕著なピークを認めず、動作終了前の減少もみられないパターンを呈し、運動中常に持続した筋活動が必要であると考えられる。

筋電図積分値

筋活動の程度を量的に示す。
運動単位の動員数に左右される。

たとえば、筋疲労により筋電図積分値が減少すること
ともあれば増大することもある。

筋電図積分値の減少：運動単位の動員数減少
増大：同期化現象

中間周波数と平均周波数

筋電図波形を正弦波，余弦波の集まりと考え，高速フーリエ変換などの演算を用いて各波の振幅からパワースペクトルを算出する。

中央値・・・中間周波数

平均値・・・平均周波数

臨床的には筋疲労により筋電図が低周波化（徐波化）し，筋出力の増大により高周波化する。

運動前反応時間

安静時や予備的緊張を維持している状態で、光や音などの刺激による合図に合わせて運動を行わせると、合図からある時間的遅延の後に筋放電が記録される。これを運動前反応時間という。

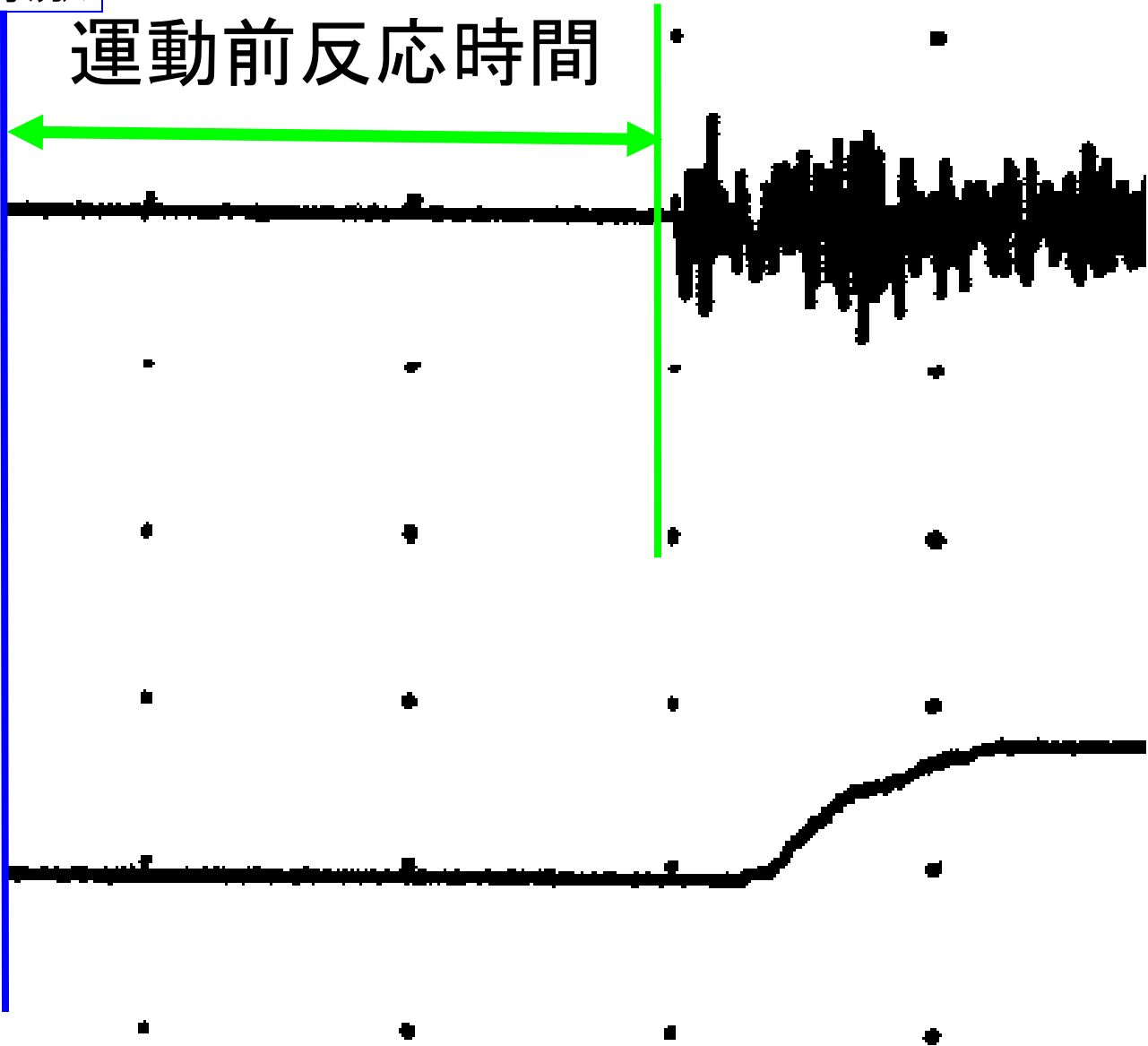
運動前反応時間には、合図に対して安静から筋収縮の開始もしくは予備緊張状態から主動作という一連の活動に対応する中枢神経系の切り換え機構が関与する。

音刺激

運動前反応時間

筋電図

動作



動作学的筋電図でわかること

- 1)筋活動パターン, 筋活動の開始・終了のタイミング
- 2)筋電図積分値
- 3)中間周波数と平均周波数
- 4)運動前反応時間

各々の因果関係に注意！

- ・動作様式の変化による筋活動様式の変化？
- ・筋活動様式の変化による動作様式の変化？
- ・特有のアライメントによる筋活動様式変化？
- ・筋活動の変化によるアライメント変化？

各々の因果関係に注意！

動作中の筋活動

主動作筋としての活動(主動作)？

制動筋としての活動(ブレーキ)？

同時収縮活動(肢位保持)？

収縮様式・・・求心性？，遠心性？，等尺性？

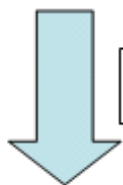
動作学的筋電図研究では，筋活動と現象の因果関係が理解しづらく，結果の解釈は検査者の主観による。



仮説の無いままに筋電図を記録しても，得られた結果を検査者にとって都合よく解釈してしまう。

動作学的筋電図でわかること

- ・動作遂行過程における下肢筋活動様式
（活動の順序性とその大小）
- ・動作中のアライメント変化と筋活動の関係
- ・動作方略の違いと筋活動の関係



因果関係に注意

- 特徴的な動作だから特有の筋活動様式？
- 筋活動様式の違いに動作が影響されている？
- 特徴的なアライメントだからその筋活動様式？
- 筋活動が変化してから特有のアライメント？

記録条件

データ処理の方法

適切なパラメータ

正規化・標準化

誘発筋電図でわかること

神経伝導速度

H反射(H波)

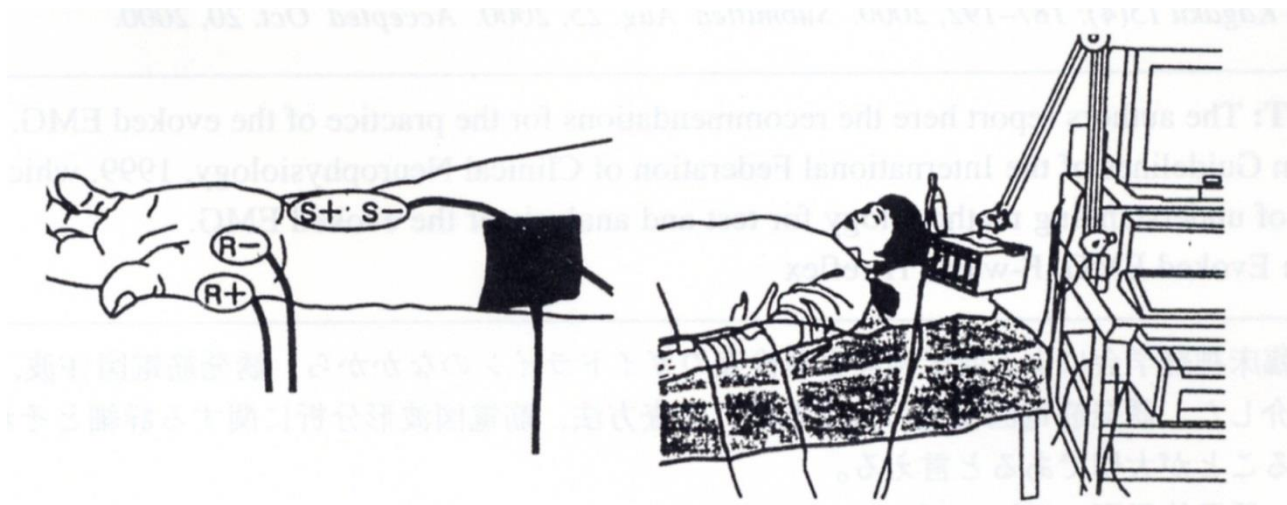
F波

T波

長ループ反射(長潜時反射:LLR)

静止期(SP: silent period)

など



F波・H波検査方法

右図は全体的な検査の様子を示す。左図は電極の配置を示している。

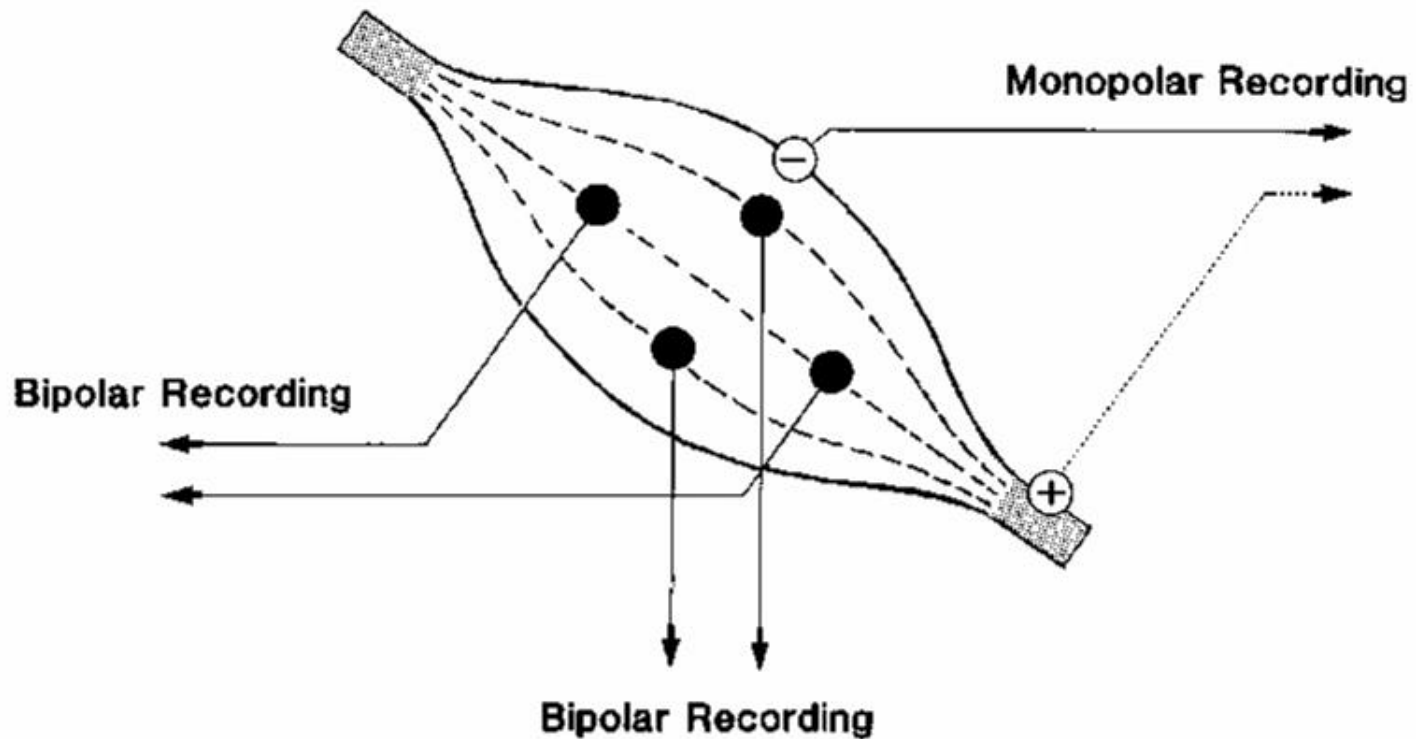
R-: 探査電極

R+: 基準電極

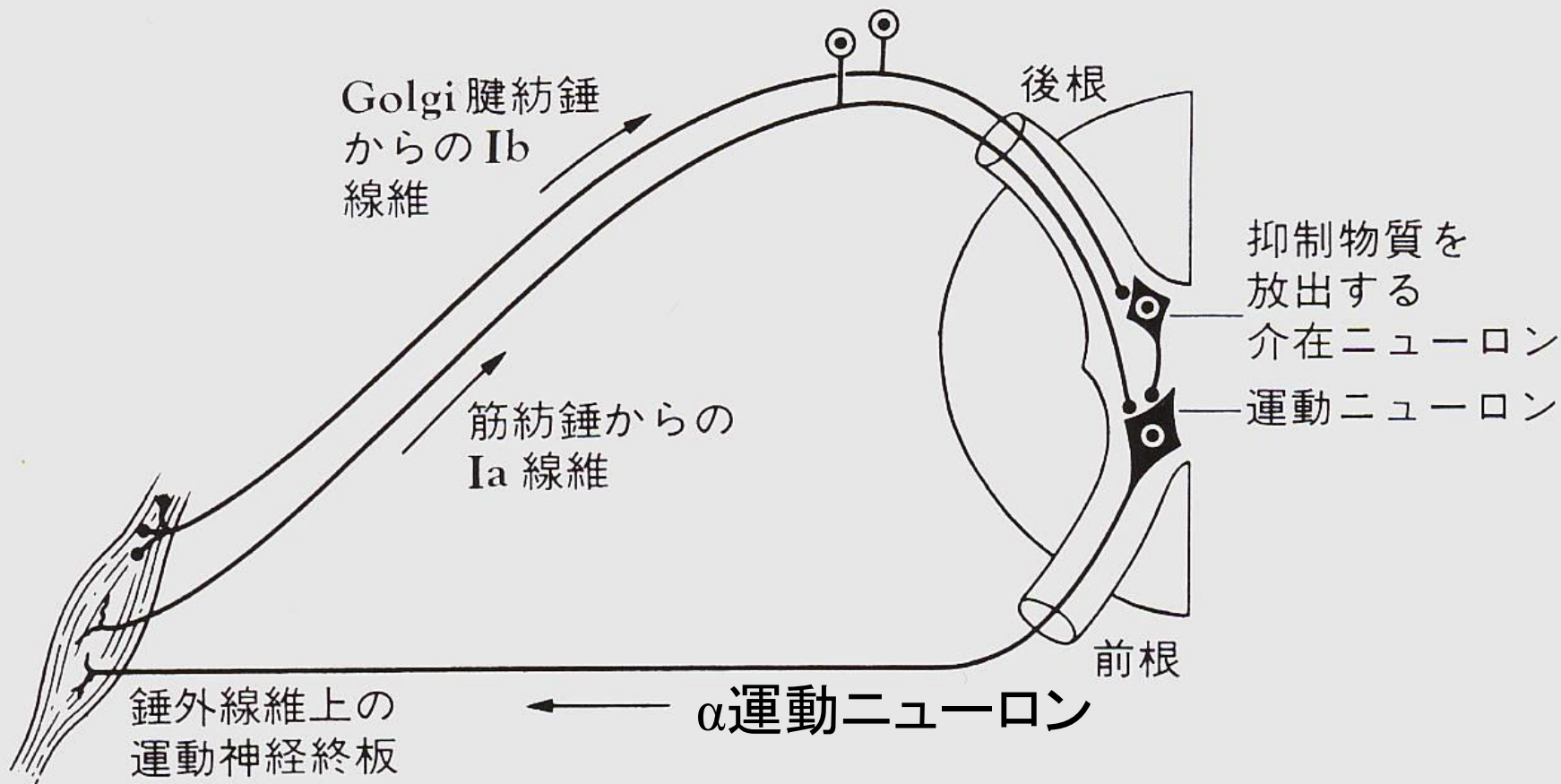
S-: 刺激電極(陰性)

S+: 刺激電極(陽性)

Monopolar(Referential) and Bipolar Recordings



H波、F波の出現経路



H波: Ia線維 \rightarrow α 運動ニューロン

F波: α 運動ニューロンを逆行し、脊髓前角細胞で再発火し、筋へ到達

New Developments in Electromyography and Chemical Neurophysiology,
edited by J. E. Desmedt, vol. 3, pp. 277-293 (Karger, Basel 1973)

Methodology of the Hoffmann Reflex in Man

M. HUGON

Department of Neurophysiology, University of Provence, Saint-Jérôme, Marseilles

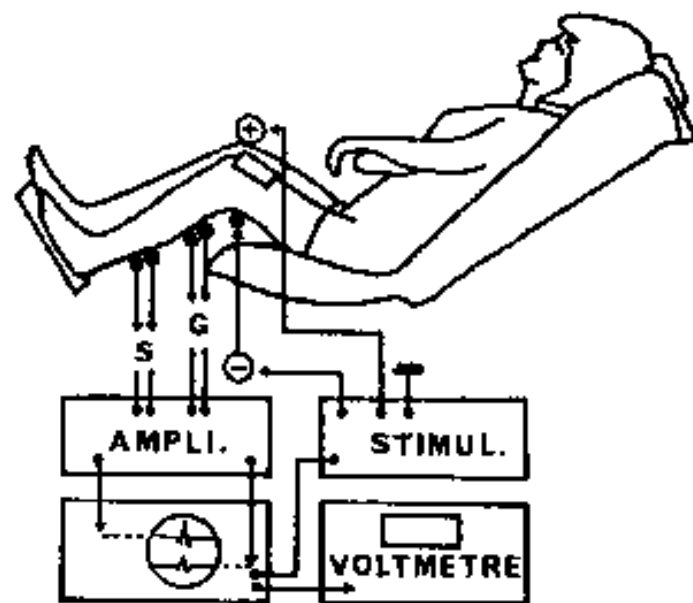
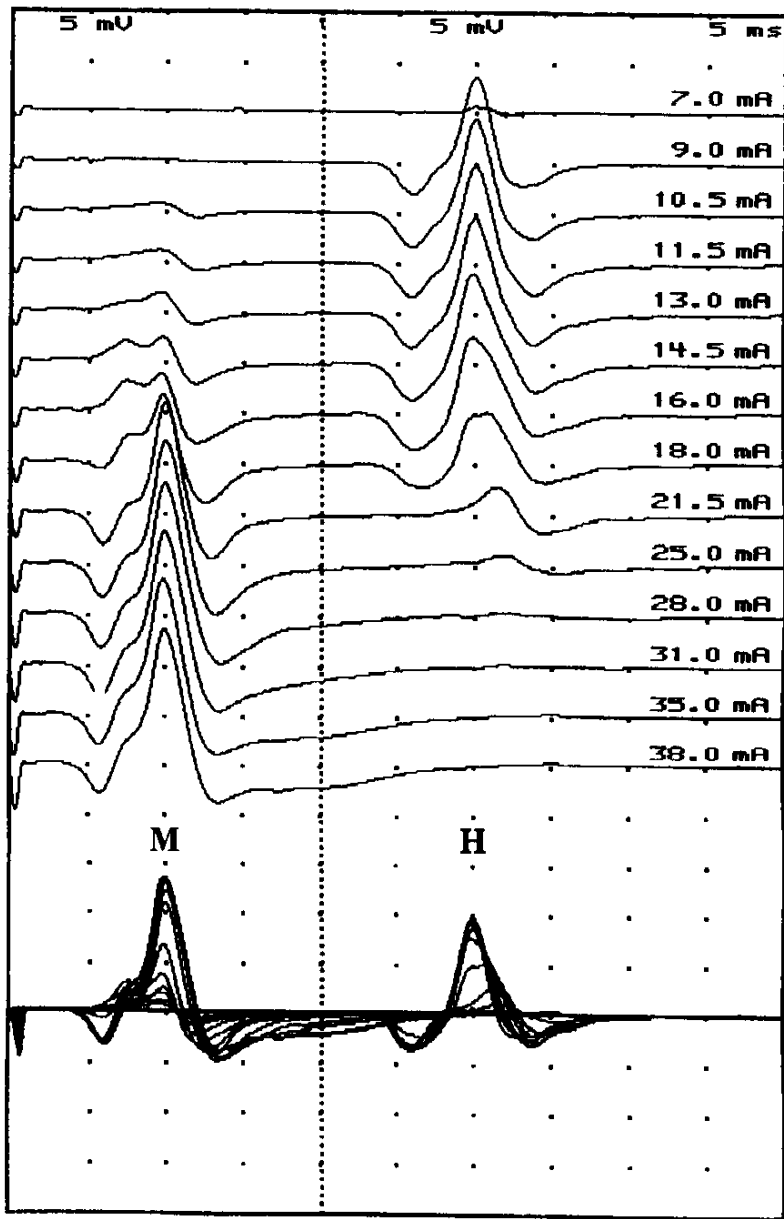
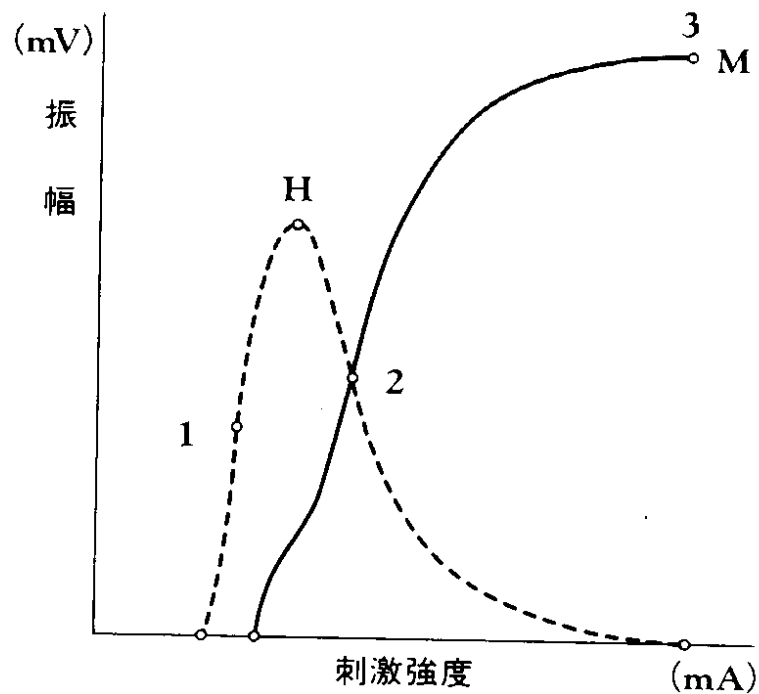


Fig. 1. Experimental set up for studying the H-reflex. Recording sites in the soleus muscle (S) and in the gastrocnemius (G). The supports immobilizing the knee are not illustrated.

A. H波の出現様式



H波・F波・LLR と問題点



誘発筋電図でわかること

誘発筋電図で得られる代表的な情報

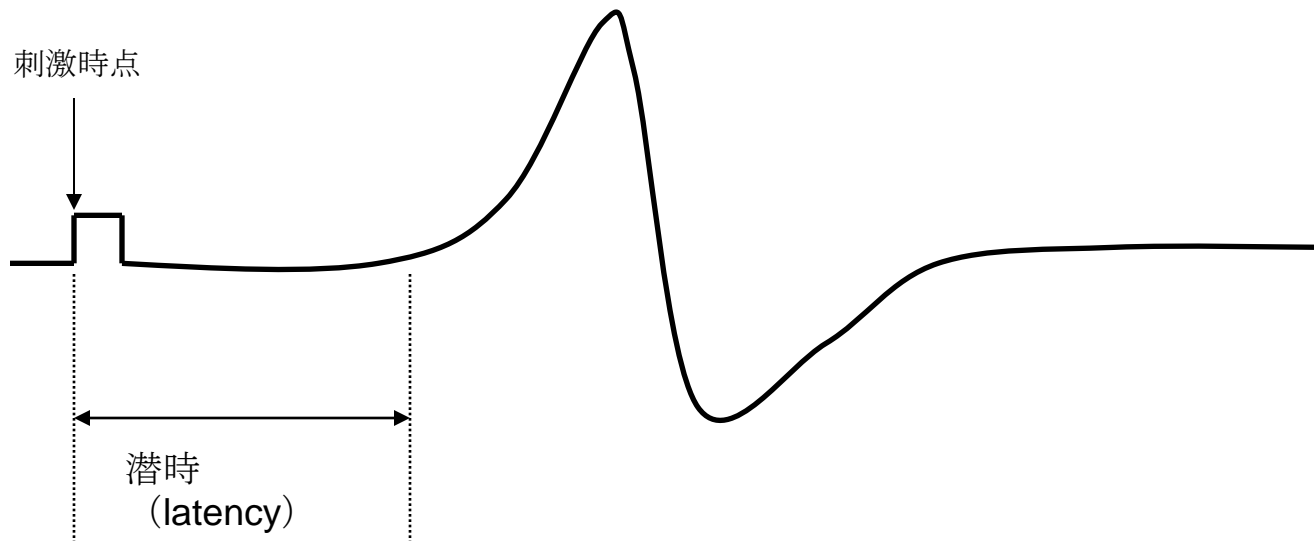
- 1) 潜時
- 2) 振幅
- 3) 出現頻度
- 4) 持続時間
- 5) 位相数

これらの指標の変化を知ることによって記録筋に係る部位や支配神経の興奮性や反応性を知ることができる。

潜時

潜時とは時間間隔のことで、頂点間潜時など特別な記載がない限り、刺激の始めから応答の始めまでの時間間隔のことをいう。

筋電図の場合、応答の始めは原則的に最初の陰性（上向き）へのフレである。潜時は伝導性を反映し、身長や温度に影響を受ける。

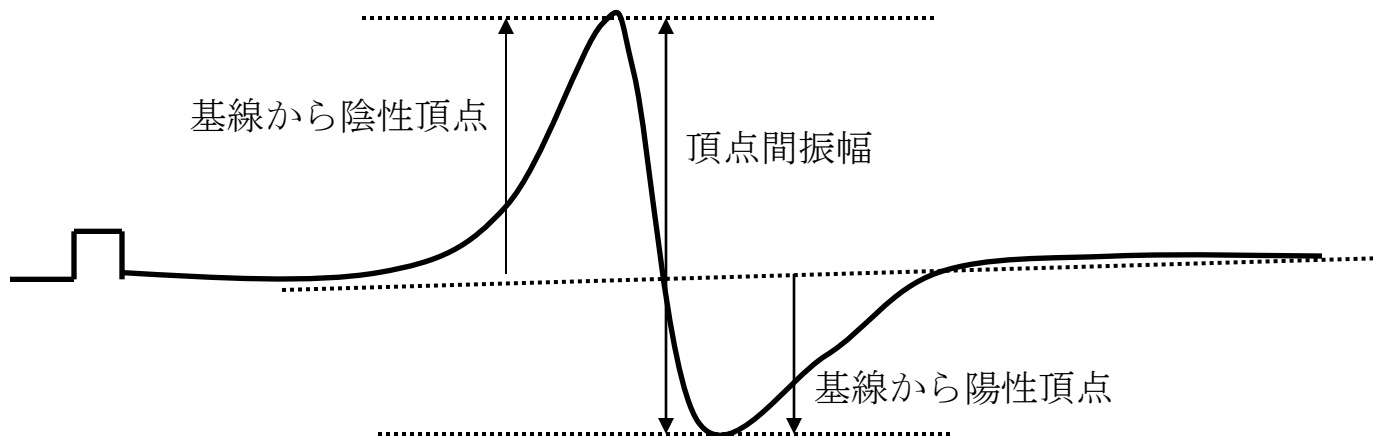


振幅

振幅は生体電気活動の記述に最もよく用いられる指標で、電位のフレの大きさのことを指す。

振幅の測定には種々の方法があるが、通常ある活動の基線から頂点までの大きさか、山から谷、または谷から山までの大きさを計測する。

振幅は興奮性や反応性といわれるものに影響を受ける。



出現頻度

電気刺激に応じて安定して出現するH波などと異なり、F波やLLRの出現は不安定である。

不安定な波形を扱うときには、刺激数に対してどのくらいの割合で波形が出現したかを一つの指標にすることがある。これを出現頻度（出現率）という。

出現頻度は、振幅と同様に興奮性や反応性といわれるものに影響を受ける。

持続時間

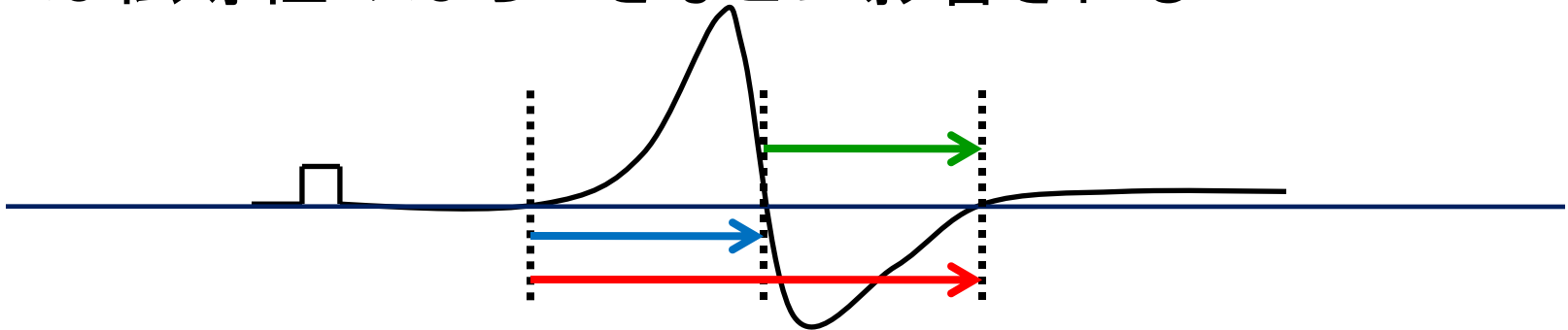
持続時間は波形の立ち上がりから波形のフレが基線に戻るまでの時間である(記録された波形の幅)。

持続時間には、

- ①立ち上がりから基線を一回通過するまで、
- ②基線を一度越えてから再度越えるまで、
- ③波形が出現してから終わるまで、

など様々な計測方法がある。

持続時間は、興奮性や反応性といわれるもの、あるいは伝導性のばらつきなどに影響される。



F波—安静時と随意収縮時の出現率の相違

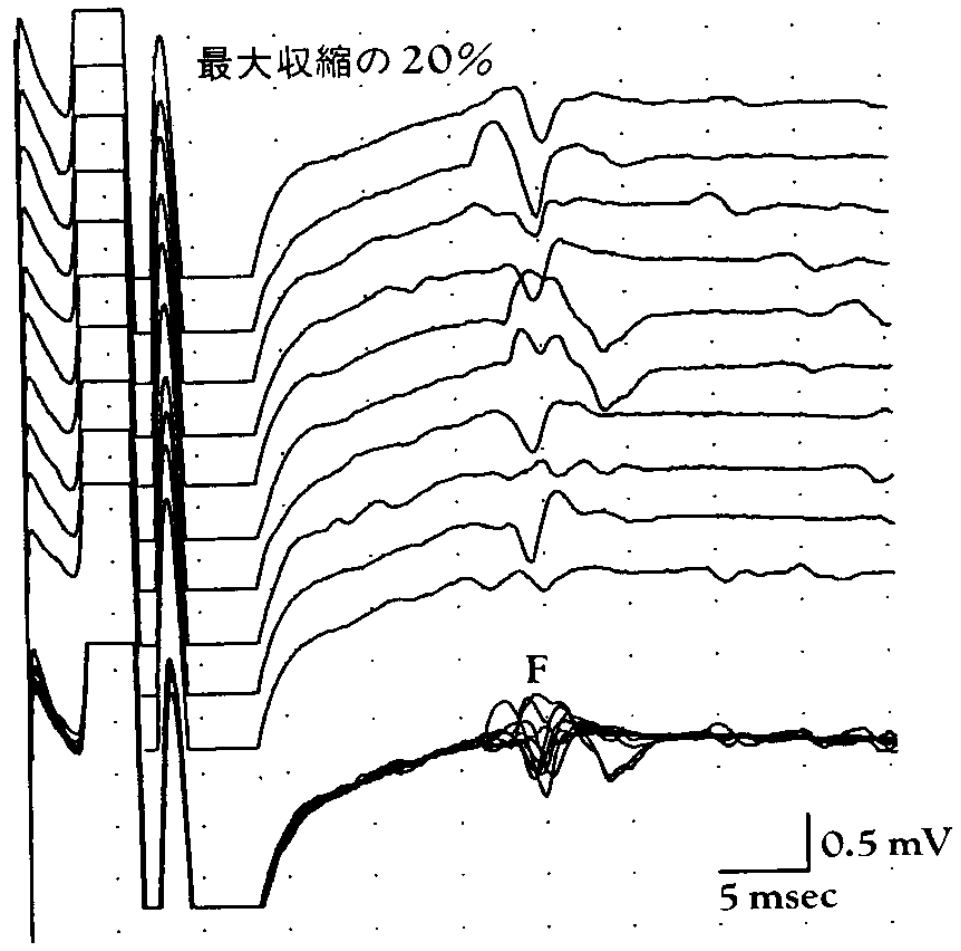
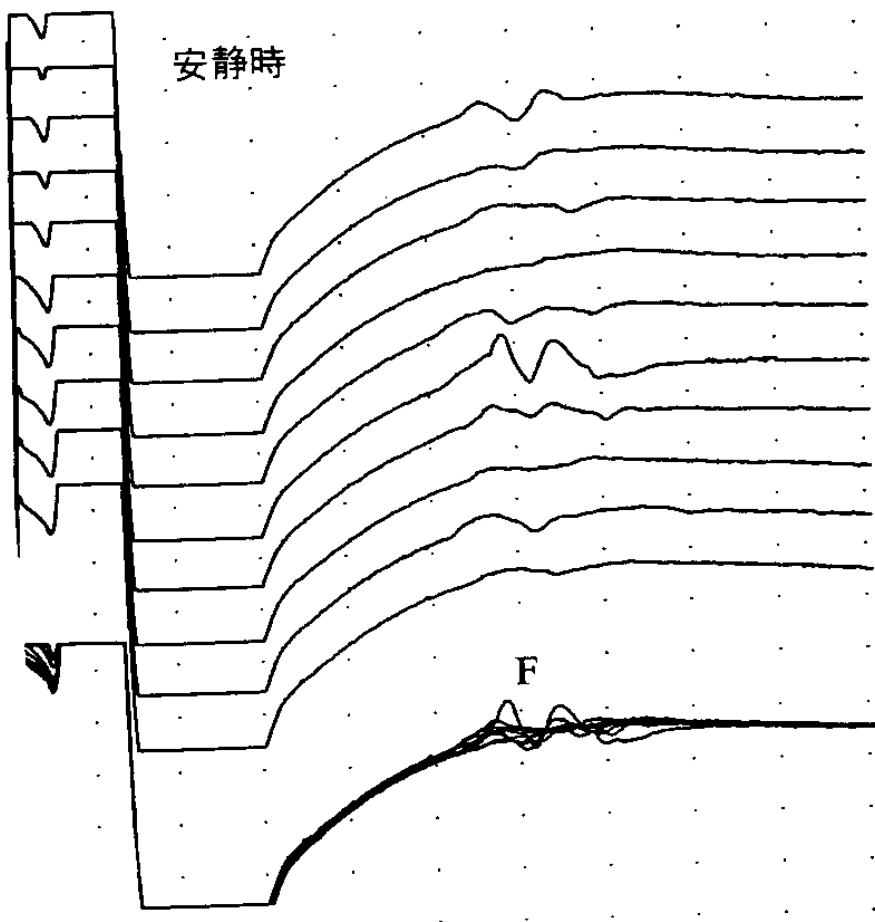


表 14 H 反射と F 波を区別する特徴

H 反 射	F 波
1. 単シナプス反射. 求心路は筋紡錘からの Gr. Ia 求心線維, 遠心路は α 運動線維	反射ではない. 軸索の逆行性伝導に起因する少数の運動神経の遠心性発射. 求心性, 遠心性経路はともに α 運動線維軸索
2. 刺激閾値は直接 M 波を誘発するのに必要な閾値より低い	刺激閾値は H 波や M 波の閾値よりも通常は高い
3. 平均振幅 (5 ~ 10 反応) は最大 M 波の 50 ~ 100% まで	平均振幅は小さく, 通常は最大 M 波の 5% 以下
4. 波形は低頻度刺激 (10 ~ 30 秒に 1 回) では常に一定して出現する	波形の出現のしかたは低頻度刺激でも不安定である
5. 成人のヒラメ筋やいくつかの近位 “姿勢保持” 筋から容易に導出できる. 新生児の手足の内在筋にも存在する	ほとんどすべての骨格筋から容易に導出できる
6. H 反射で賦活される個々の運動単位は先行する M 波のそれとは異なる	F 波において賦活される個々の運動単位は M 波のそれと同一である
7. H 反射で賦活される個々の運動単位の潜時の変動は F 波や M 波のそれより大きい	F 波における個々の運動単位の潜時の変動は H 反射のそれより小さいが, M 波のそれより大きい

表 15 F 波に影響をおよぼす因子

生理的状态の変化による因子

筋の等尺性収縮による運動ニューロンの興奮性の増加による F 波出現頻度・振幅の増大
疾患時における F 波潜時・出現率・振幅・波形の変化

F 波潜時の遅延

運動神経軸索の伝導速度の遅延

F 波における MUPs の終末伝導時間の増加

運動神経軸索の逆行伝導インパルスの伝導ブロック

中枢の興奮性変化による運動ニューロンにおける折り返し時間 turnaround time の変化の可能性

運動ニューロンにおける中枢性興奮の変化によるインパルスの折り返し reflection の頻度の変動*

F 波出現率・振幅・波形の変化

上位運動ニューロン障害に伴う脊髄運動ニューロン・プールの興奮性の増加による出現率・振幅の増加

脊髄運動ニューロンの脱落に平行する波形の同一化

* 健常者では任意の一運動ニューロンは逆行性インパルスに対して F 波の反応が 1 : 10 以下の割合にしか起こらないのに対し、ある種のニューロパチーではその比が著しく増大し、同一の運動ニューロンが 1 : 2 またはそれ以上の頻度で反応する。

長ループ反射 long-loop reflex (LLR)

—上肢の場合—

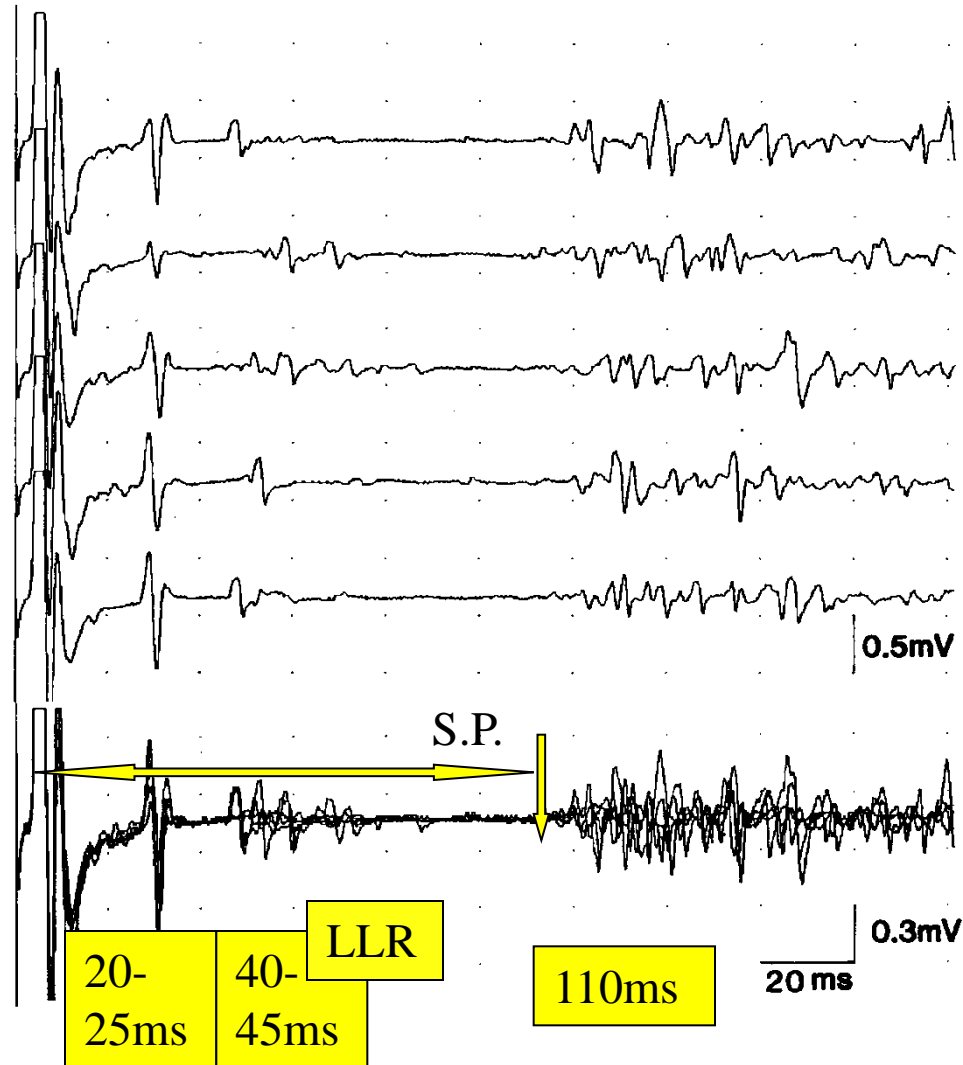
- 正中神経手関節部を刺激、母指球筋から導出
- 筋は軽度随意収縮(または等尺性収縮)、軽度刺激(弱収縮がみられる程度)
- 被検者の姿位は一定にすること
- 数十回の反応を記録。
- 波形の潜時の変動、振幅、出現頻度などを観察
- 波形には以下の3波形が出現する:
 - V1 (S—spinal, M1)
 - V2 (C—cortical, M2)
 - V3 (後期反応)

LLR と Silent Period

Median N. Stimulation at Wrist

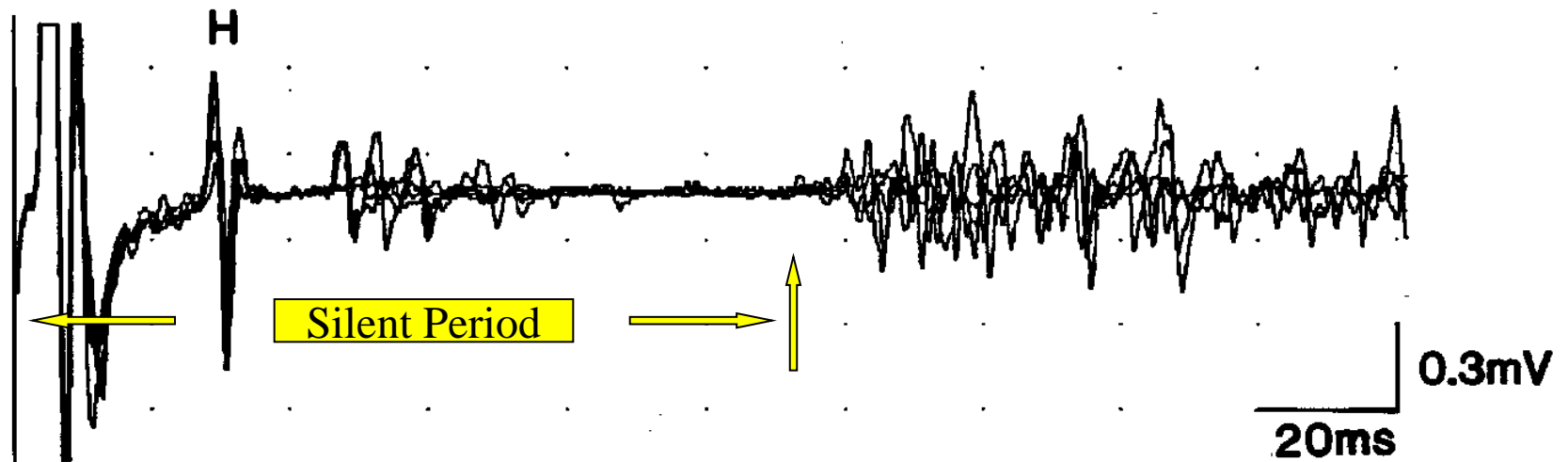
Weak stimulation during mild contraction
- Opponens pollicis -

上肢の場合



Weak stimulation during mild contraction

Median N. – Opponens pollicis –



V1

V2

(Upton 1971)

S (spinal) C (cortical)

(Conrad 1977)

M1

M2

M3

(Tatton 1978)

Long loop reflex

110 ms

長ループ反射LLRと静止期 Silent period

被検筋に最大等収縮をさせ、最大刺激を与え、記録。

刺激開始より110msでM3（随意筋放電）が出現

痙性麻痺の強い67歳のスモン患者で記録

