

# 小動物（ラット、マウス）の脊髄波導出

新潟大学医学部麻酔学教室

佐藤由紀夫

手および足の末梢神経を電氣的刺激をすると脊髄表面においた電極より電気現象が記録できます。それを脊髄誘発電位（脊髄波）といいます。心電図や脳波などは、一般的で皆さんも良くご存知だと思いますが、脊髄波は聞き慣れない言葉だと思います。

脊髄波については、1930年代頃より動物（猫、うさぎ）などの脊髄で、導出が行われてきました。1971年に当教室の下地教授らによりカテーテル電極の作製や電極の挿入法が工夫され、コンピュータを使った加算平均などの開発研究によって臨床的にも、平易に硬膜外腔から導出できるようになりました。現在では、整形外科など脊髄を扱う医師らにより臨床検査法として広く行われています。

さて、臨床での応用とともに脊髄波を基礎的にも研究するため、動物での導出が必要です。我々は猫を使用して脊髄波を導出し実験を進めたかったのですが、入手状況が悪いことにより猫より小さいラットを使用することにしました。麻酔の導入や取り扱いも簡単である反面、血管や脊髄が小さい為、顕微鏡下での操作がやや面倒なところがあります。また、マウスからの導出も現在進行中です。それでは現在、教室で行われているラットでの脊髄波の導出について電極作製、手術手技、電極の挿入、波形の解析など、順を追って紹介しましょう。

## 1、実験室

生体から微弱な電気現象を記録するには、ハム、交流障害や高周波の混入を防がねばなりません。そのため室内は銅の金網で囲んだシールドルームになっています。（写真1）

コンピュータやプリンター、実験用機器などをシールドルーム内部に持ち込むと、ハムや高周波のノイズが多くなり、時として全然記録できない場合があります。このような実験に不可欠な機器を内部に入れ電気現象を記録するには、機器の配置や

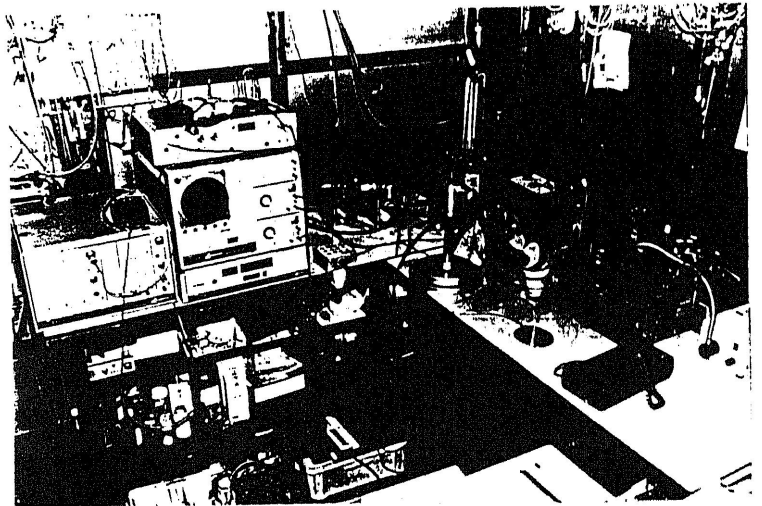


写真1 実験室内

コード類のシールド、配線、器械のアースをしっかりとります。特にモーターや電熱線を使ったヒーター等はハムの発生源になるので、生体からできる限り離し、全体を金属の金網などで被うようにします。また、室内の照明の蛍光灯もノイズを発生するので注意が必要です。

## 2、電極

脊髄波及び脳波の導出用の電極は、自作し使用しています。脳波用の銀ボール電極は、0.2mmの銀線をガスバーナーの炎の先端で焼き、丸くします。これを

食塩水の中に入れ1.5Vの乾電池に電極をつなぐと陽極側にAgClがコーティングされ、銀・塩化銀電極ができます。また、臨床用に使用している、あんま針・脳波用の針電極をカシューコートし脊髄波を導出しています。このカシューは、漆剤であり現在は化学合成樹脂でできています。絶縁は非常に良く、堅く丈夫である反面、曲げには弱く折れや、はがれを生じることがあります。コーティングは、600番程度の紙やすりで磨きアルコールで拭いた電極を、溶剤に溶いた薄いカシューをむらなく塗り、130度位の熱で焼きながら乾燥させて行います。この操作を5～6回繰り返して薄く滑らかに塗り、電極を作製します。

(写真2)

他に、エナメルコーティング、塩化ビニールコーティングの電極を作製し、用途に応じて使い分けます。

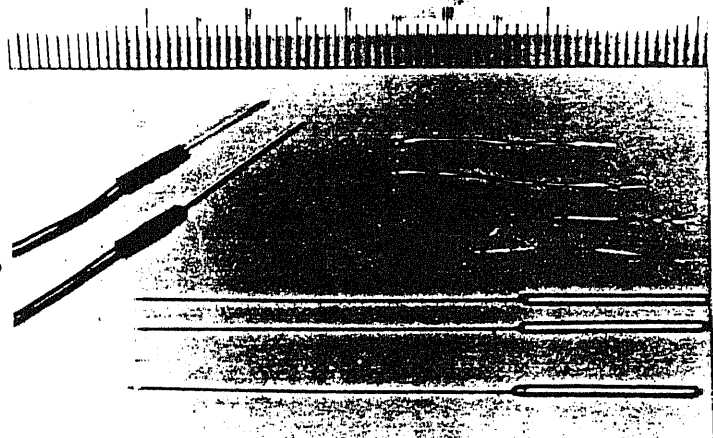


写真2、針電極(左上)、銀ボール電極(右上)  
あんま針(下) 黒い電極はカシューコーティングを施したもの。

### 3、手術手技

ラットの麻酔はペントバルビタール(60～80mg/kg)に、硫酸アトロピン(0.5mg/kg)を加え、生理食塩水で1/2に希釈し、腹腔内投与で麻酔導入します。約1時間30分～2時間程度の安定した麻酔が得られます。ペントバルビタールは、教科書では30～40mg/kgになっていますが、この量では手術の痛みにあたえきれず体動します。量を多くしないと手術操作を行うのに十分な麻酔効果が得られないように思われます。また、アトロピンは唾液など分泌物を抑制し、血圧も安定に保つので、長時間の実験には、有効と考えられます。

280g前後のラットにペントバルビタール投与後、約5分で麻酔状態になります。ペントバルビタール麻酔下では外気温に左右されやすく、体温が下がりますのでブランケットないしは使い捨てカイロを敷いて保温します。麻酔が効いたら、直ちに気管切開し気道を確保します。気管内チューブには、14Gのエラストマー針の外とうを使います。チューブ内はテッシュペーパーで、こよりを作り掃除します。血液や分泌液などが付着、硬化し気道閉塞を起こし死亡したケースもありますので、入念に掃除します。

(写真3)

左大腿動脈と静脈を露出し、外径0.97mm、内径0.58mmのポリエチレンチューブをカニューレーションします。こ

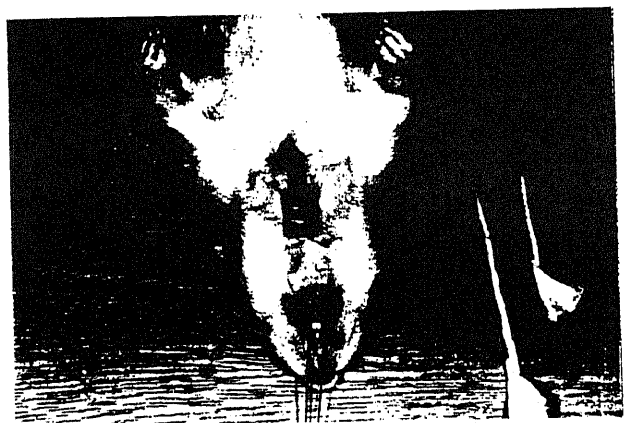


写真3、気管切開と掃除用のこより

これは動脈圧の連続モニターと血液ガス分析に、静脈へのカニューレーションは輸液と薬物投与に使用します。血圧をモニターし、筋弛緩剤を静脈より投与、非動化して人工呼吸器に接続します。1回換気量5~6ml、回数70~80回、動脈血の炭酸ガス濃度を35~40mmHgになるように人工呼吸器を調整します。尿検査と排尿障害を予防のため、膀胱内にカニューレーションし採尿します。

ラットを脳脊髄固定台に固定し、頭部は脳波導出用、頸部と腰部は脊髄波導出用の手術をします。

頭部は脳波用の電極を装着します。皮膚を取り除き、薄い骨膜を剥離し、頭蓋骨を露出します。歯科用ドリルで銀ボール電極より小さめの穴をあけ、接触抵抗を下げるため、その穴に生理食塩水を含ませてから電極をはめ込みます。表面を乾かし歯科用セメントで固定します。

(写真4)

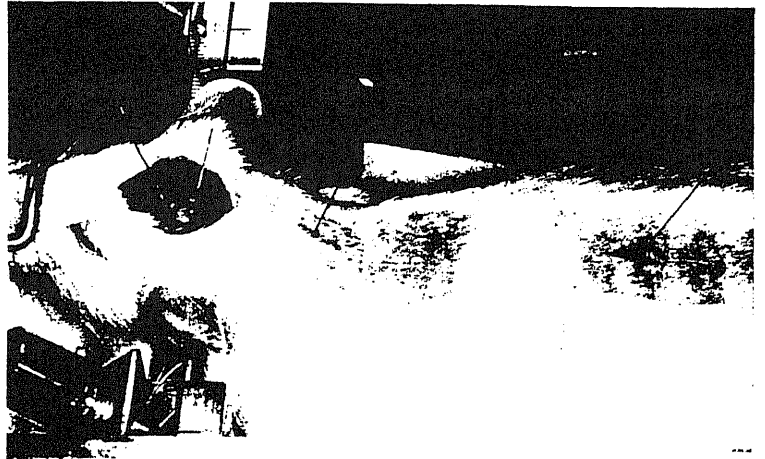


写真4、各部に電極装着

以前は脊髄電位導出の為、頸部および腰部の骨を歯科用ドリルで脊椎切除し、脊髄を痛めないように注意深く骨を削り脊髄を露出し、そこに、銀ボール電極を置き導出していましたが。

現在は、皮膚の切開のみの手術で、ラットへのダメージを考慮し、脊椎切除をせず、カシューコーティングした針電極を椎体の間から進入させて導出しています。出血、髄液の漏れ、脊髄表面の乾燥や感染など防止ができ、手術時間の短縮にもなります。しかし、針電極先端による脊髄や血管の損傷が分からないことが欠点にあげられます。実験後、脊髄を取り出し損傷、出血の有無を調べ、ホルマリン固定し標本として保存しています。

電位の導出部位は頸膨大部C2-C3、腰膨大部L1-L3より導出します。頸部はC2の頸椎が大きく棘突起が長くてわかりやすいので、そのC2に針先を当てC2とC3の間の隙間を探します。腰部は、蝶骨から数えます。腰椎のL1番の棘突起(少し短い)をピンセットではさみ、頭側へ軽く持ち上げます。針電極を30度ないし45度の角度でL1番の椎体を刺しながら、隙間を探します。進入部が確認出来たなら、そこで止めます。これで硬膜上に針電極が置かれています。ここからは、電気刺激をして波形をモニターしながら電極を進めていきます。(図1)

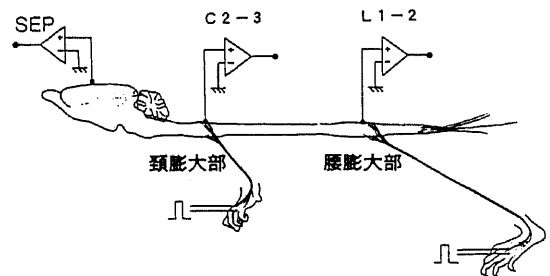


図1、頭部、頸部、腰部の導出部位

電気刺激は1Hz(1秒に1回)、刺激の持続(Duration)0.2msの短波形パルスで1V~100Vの刺激をします。刺激電極は、左肢は動静脈を使用していますので対側の前肢、後肢の中指の間に針電極を2本刺し末梢神経を刺激します。(図2)

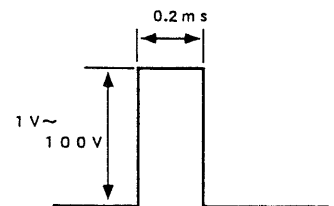


図2、刺激波

増幅器は、脳波や心電図の記録できる生体アンプを使用します。ハムフィルターは観測波形を著しく変形させることがあるので使用しません。(図3)

ローカットフィルターは2秒、ハイカットフィルターはオフにします。電極の接触抵抗を低くおさえる工夫が必要です。また、生体から発生するアーチファクト、心電図や筋電図などは不関電極の位置を混入の少ないところに定め、生体の下に鉄板やアルミホイルを敷きアースに落とすなどの工夫が必要です。

オシロスコープ加算装置は、電気刺激装置からのトリガーパルスで掃引し、掃引幅は10.0msないし200ms、加算回数は20回としています。器械のセットが出来たところで電極を進入させていきます。モニターは1回の刺激で波形が見えるようにします。硬膜の上でも記録出来ますが波形は小さく、ゆっくり進めていくと波形の振幅が突然大きくなり脊髄に直接電極が触れたことが解ります。そこで電極を固定し各パラメーターを接続後記録を開始します。

(図4) (図5)

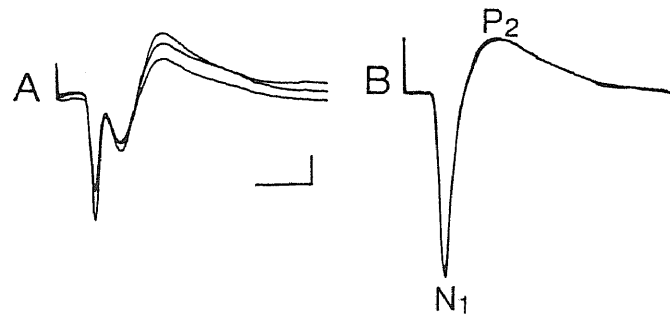


図3、A: ハムフィルター使用時  
B: 未使用時の波形  
ハムフィルターを使用することより著しく変形している。

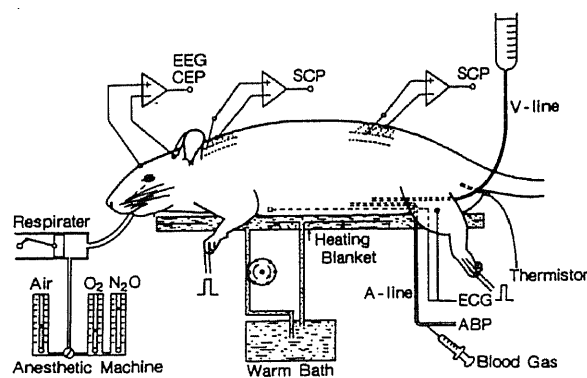


図4、各パラメーター接続の模式図

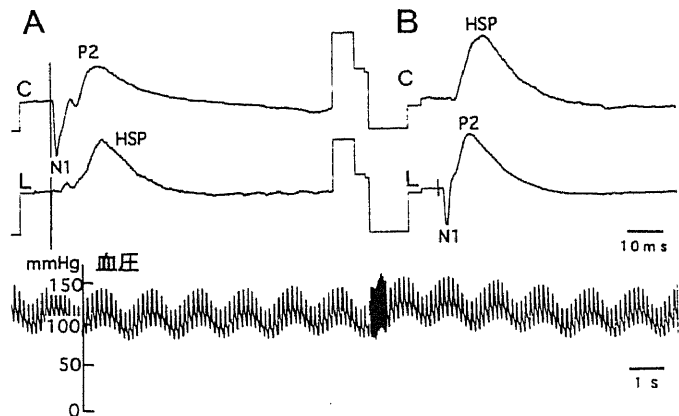


図5、ラットの脊髄誘発電位と血圧  
A: 前肢刺激、B: 後肢刺激  
C: 頸部 L: 腰部 (導出部位)

#### 4、基本波形

脊髄誘発電位は、スパイク状の陽性電位、P1 (図6、A)、それに続くシャープな陰性電位、N1 (図6、C)、緩徐な、P2 (図6、D) から構成されています。このP1波は、末梢神経から後根を経て脊髄に流入するインパルスであり、N1波は、脊髄後角介在ニューロンで、特に長い樹状突起や軸索を有するニューロンの電氣的活動を反映する電位、P2波は、後根電位と同一起源と考えられ、一次求心性線維末端の脱分極と考えられています。

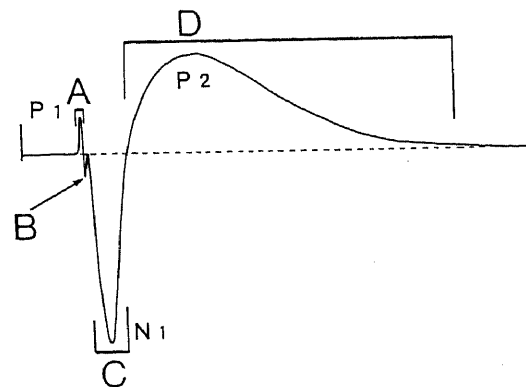


図6、基本波形

## 5、実験

図7は、吸入麻酔剤、イソフルレンを吸入し影響をみたものです。上が酸素100%、下が笑気70%酸素30%に、それぞれイソフルレンの濃度を吸入させたときの記録です。上から、脳波 (EEG)、体性感覚誘発電位 (前肢、後肢の刺激で脳波の電極より同時に導出できる電位; SEP)、脊髄誘発電位 (前肢刺激-C3導出; SCP)、異分節性背面陽性電位 (前肢刺激-L3導出; HSP)です。このHSPの波形は、上位、中枢を介してフィードバックした下行性電位で、麻酔剤などに極めて感受性が高く、現在も中枢のどの部位を介するのか、また電位の経路などについての研究が行われています。

N1波は各濃度において変化は認められませんがP2波は著明に小さくなり、イソフルレンによるP2波の抑制が観察されます。また、HSPもいち早く消失しています。このように脊髄誘発電位は麻酔剤や薬剤注入により影響を受け、その変化の観察からいろいろな実験が行われています。

さて、ラットから脊髄誘発電位を導出できますが、試みとしましてマウスから導出してみようと挑戦しました。

ペイントバルビタールで麻酔し気管切開後、大腿動、静脈にカニューレションします。頭部、頸部、腰部それぞれ切開し頭部には脳波用電極を装着し、頸部、腰部には150 $\mu$ mのステンレス針にカニューレコートした電極を挿入します。図8はマウスの前肢、後肢をそれぞれ刺激し得られた波形です。上より、脳波、頸部、腰部の脊髄誘発電位、血圧です。刺激の位置より脊髄までが短いため、P1波と刺激のアーチファクトが重なり合っています。N1波、P2波ともにラットで観察された基本波形と同じで、HSPの電位も確認できます。このマウスのモデルを使った実験が現在おこなわれています。

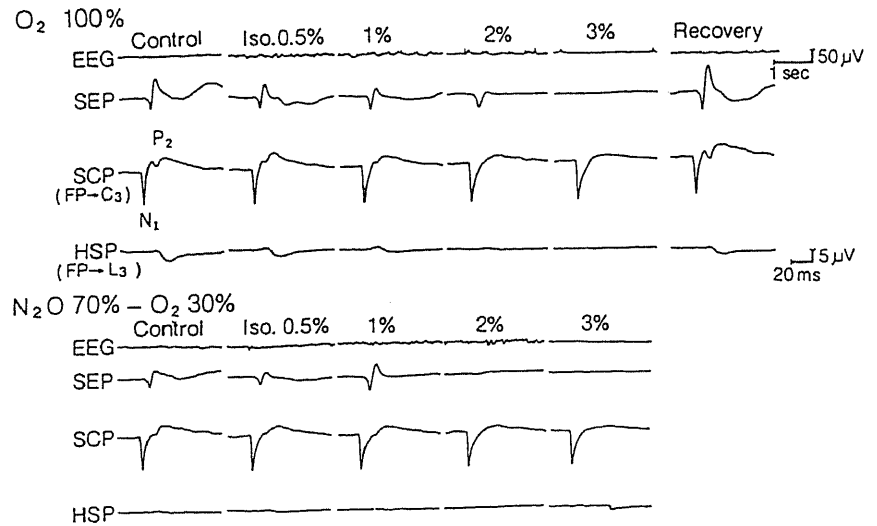


図7、吸入麻酔剤 (イソフルレン) の及ぼす影響

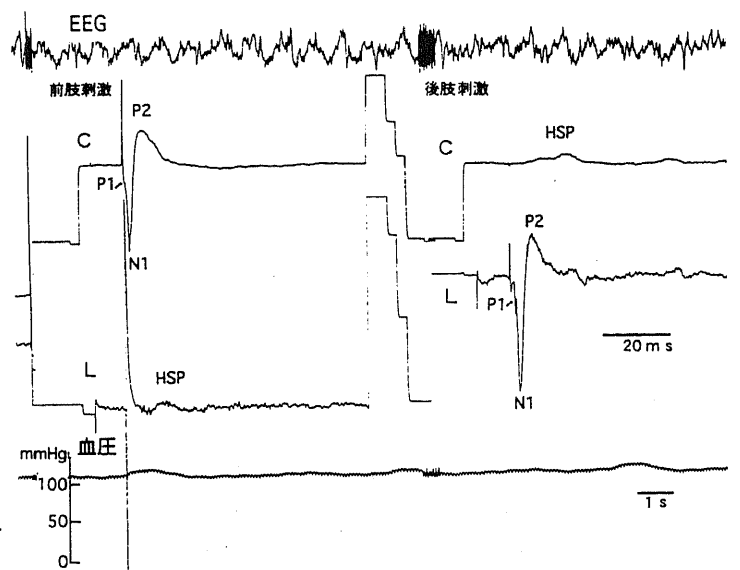


図8、マウスより導出できる脊髄誘発電位

稿を終えるにあたり御指導頂いた麻酔学教室下地恒毅教授ならびに藤原直士講師にお礼申し上げます。