

ネコの手術・実験法

内野 善生¹⁾ 佐々木成人²⁾ 中階 克己³⁾ 板東 武彦⁴⁾
本郷 利憲²⁾ 森 茂美³⁾ 森 大志³⁾

¹⁾ 東京医科大学 生理学第二講座 ²⁾ 東京都神経科学総合研究所

³⁾ 生理学研究所 生体システム研究部門 ⁴⁾ 新潟大学大学院医歯総合研究科 統合生理学分野

目 次

はじめに

I. ネコ総論 (内野)

1. ネコの身体・生理的特徴
2. 入手・飼育
3. ネコの取り扱い

II. 麻酔・全身管理・痛みのモニター (内野)

1. 導入と麻酔
 - (1) 導入
 - (2) 麻酔
 - 1) 笑気N₂Oとハロセン (halothane) 混合
 - 2) ペントバルビタール (pentobarbital sodium, Nembutal)
 - 3) ウレタン (urethane) とクロラロース (chloralose)

2. 全身管理
3. 痛みのモニター

III. 一般的手術・処置 (内野)

1. 毛の刈り取り
2. 気管カテーテルの装着・人工呼吸
3. 人工気胸
4. 不動化
5. 動・静脈カテーテル
6. 実験後の処理とネコの灌流固定

IV. 肢の神経の手術 (佐々木, 本郷)

1. 基本事項
 - (1) 局所解剖
 - (2) 手術器具, 拡大鏡
 - (3) 神経枝の解剖 dissection

- (4) 混合神経における筋神経束と皮膚神経束の区別

- (5) 電極

2. 後肢の神経の手術

- (1) 後肢の神経
- (2) 手術の要点
- (3) パラフィンプールと神経枝の電極へのマウント

3. 前肢の神経の手術

- (1) 前肢の神経
- (2) 手術の要点
- (3) 流動パラフィンプールの作成

V. ラミネクトミー (laminectomy, 椎弓切除) (佐々木, 本郷)

1. 腰椎のラミネクトミー
 - (1) 皮膚の切開
 - (2) 椎骨背面の露出
 - (3) 椎弓の切除
 - (4) 手術野の掃除・止血
2. 頸椎 (および第1胸椎) のラミネクトミー
3. 胸椎のラミネクトミー

VI. 脊髄の手術 (本郷)

1. 硬膜の切開
2. 脊髄根 spinal root の手術
 - (1) 根の分離
 - (2) 脊髄節レベルの同定
 - (3) 分節のばらつき
 - (4) 後根から記録するための処置
 - 1) 後根電位の記録
 - 2) 求心性インパルスの記録

- (5) 前根の記録・刺激のための処置
 - 1) 前根の活動電位の記録
 - 2) 運動ニューロンのシナプス電位の記録
 - 3) 前根の刺激
3. 脊髄索 spinal funiculus の手術
 - (1) 後索の切断
 - (2) 脊髄の半側切断, 側索・前索の切断
 - (3) 除脳標本における tonic inhibition とその経路
 - (4) 後索記録のための手術 (後索標本の作成)
 - (5) 側索, 前索記録のための手術 (側索, 前索標本の作成)
4. 脊髄の固定・流動パラフィンプール
 - (1) 固定
 - 1) 腰椎・骨盤の固定
 - 2) 頸椎・頭部の固定
 - (2) 流動パラフィンプール
5. 微小電極刺入のための処置
 - (1) 軟膜 Pia mater の処置
 - (2) 電極刺入部位
 - (3) 運動核の位置
- VII. 前庭-頸・眼球系の手術 (内野)
 1. 頭部・体幹の固定
 2. 延髄表面の露出
 3. 半規管及び耳石器神経の手術と選択的刺激
 4. 動眼・滑車・外転神経の手術と選択的刺激
 5. 頸筋支配神経の手術と刺激
- VIII. 除脳ネコ標本の作製 (中隋, 森 大志, 森 茂美)
 1. 麻酔と呼吸
 - (1) 気管切開まで
 - (2) 気管切開と呼吸中 CO₂ 濃度測定
 2. 総頸動脈結紮, 動脈圧測定, 全身管理
 - (1) 総頸動脈結紮と動脈圧測定
 - (2) 全身管理
 3. 頭蓋骨の露出, 除去
 - (1) 頭蓋骨の露出
 - (2) 頭蓋骨の除去
 4. 除脳
 - (1) 四丘体の露出
 - (2) 上位脳からの脳幹の離断

5. 脳定位固定装置への固定, 小脳テントの除去
- IX. 大脳の手術 (板東)
 1. 準備と麻酔
 2. 消毒
 3. 皮膚・筋
 4. 開頭術
 - (1) 脳定位固定装置への固定
 - (2) 開頭手術時の注意
 - (3) 記録・刺激部位の決定
 5. 硬膜の扱い
 6. 局所破壊
 7. チェンバー等の取り付け
 - (1) 密閉式チェンバー
 - (2) 開放式チェンバー
 8. 埋め込み刺激電極等
 9. 頭部固定装置アダプタ
 10. 手術後の処置

はじめに

本稿は「Freshman 技術講座：動物実験法」の 1 編として、生理学の研究に必要なネコの実験法を手術を中心に記したものである。全体は I-IX 章より成る。飼育や取り扱いなどネコの一般的事項については I 章で要点のみ述べ、詳細は他書 (Scott 1972 ; 中野・前島 1981 ; 中野 1991 ; 日本実験動物協会 1988 など) に譲ることとした。II-III 章では麻酔その他の一般的な処置について記述し、IV ~ IX 章では主に神経生理学の研究のための、肢と体幹の神経 (IV, VII 章), 脊髄 (V, VI 章), 脳幹-除脳 (VII, VIII 章), 大脳 (IX 章) の手術について説明した。執筆は、I ~ III, VII 章を内野善生, IV ~ VI 章を佐々木成人, 本郷利憲, VIII 章を中隋克己, 森 大志, 森 茂美, IX 章を板東武彦が担当した。植物機能や自律神経系の研究のための手術・実験法は、分量が多くなり過ぎるので今回は割愛した。近く専門の方が書いて下さることを期待する。

麻酔, 手術, 動物の固定などの一般的な処置・

操作は体のどの部分の手術に際しても必要であり、そのため異なる章で記述が多少重複している。しかし実験の対象部位や各研究者の経験と工夫による違いも大切なので、記述を一カ所にまとめることはせず、それぞれの章に元の原稿のまま載せてある。

哺乳動物の実験法を手術を含めて記述した書物に時実利彦・大熊輝雄編「中枢神経実験法—生理学編」(1967)がある。これにはネコの手術法や実験法も記されており、有用な図や説明が掲載されているので併せて参照されたい。

Freshman 技術講座の趣旨に沿うには、説明が初心者にとって分かりやすく、具体的かつ丁寧に、実際に役に立たねばならない。その意味では、70年も前に実習書として書かれた Liddell & Sherrington (1929) の “Mammalian Physiology. A Course of Practical Exercises” の記述が大いに参考になった。本稿が分かりやすく書けたかどうかは読者に判断していただき、批判と助言を得て改善したい。

1. ネコ総論

1. ネコの身体・生理的特徴

生物分類学的には哺乳綱、食肉目、ネコ科の動物で、全身柔らかい毛で被われている。体重は3～4kg、体温は38～39.5度C、呼吸数は20～40回/分、心拍数は100～120回/分である。食餌量は固形飼料の場合70～100gで、飲水量は固形飼料の場合約200ml、水分の多い缶詰飼料の場合約30mlである。寿命は家庭の飼いネコとしては10～17年である。性成熟年齢は雄で210日齢、雌で180～569日齢(平均329日齢)、繁殖寿命は約7年、平均妊娠期間は65日である。染色体数は $2n=38$ で、三毛猫(茶、黒、白)の発現は性染色体に関係がある(牧野佐二郎1972)。

ネコは手術などの侵襲に強く、運動機能、平衡機能、各種の反射機能が発達していて、実験動物として適している。脳の部分破壊術や、除脳に耐える。大きさも実験に適して扱いやすい。ネコを使用する実験は多岐にわたるが、中でも神経系や

循環系の実験に多用される。頭の形と脳の位置関係がネコの大小、雌雄、品種を問わずほぼ一定していて脳定位法に適し、そのための脳のアトラスも揃っている(Snider and Niemer 1961, Berman 1968)。ネコはペットとして飼われることが多く、研究者はこの視点からの動物愛護について十分に理解し留意しなければならない。

2. 入手・飼育

ペットとしての感覚の優先や地方自治体からの供給中止などのため、ネコが実験動物として使われる頻度は激減しているが、各動物実験施設での自家繁殖や動物業者からの購入によってある程度の供給はなされている。入手時の検疫は、我々の大学では、体重、性別、推定年齢、皮毛(皮毛汚染、脱毛、粗毛、光沢、立毛、発疹、外部寄生虫)、目(目やに、流涙、眼球外傷、眼球異常)、鼻口(鼻汁、乾燥、異常呼吸音、クシャミ、よだれ)、行動(歩行異常、斜頸、うずくまり、脱力、痙攣)、状態(体温低下、外傷、麻痺、異常な痩せかた、肥満)、性格(慣れている、凶暴、おとなしい)、その他食欲、下痢、軟便、刺激臭、内部寄生虫などを観察している。飼育期間中、毎日室温を記録し、ネコの状態、摂餌量及び糞の目視確認を行っている。

飼育には個別飼育と集団飼育がある。個別飼育

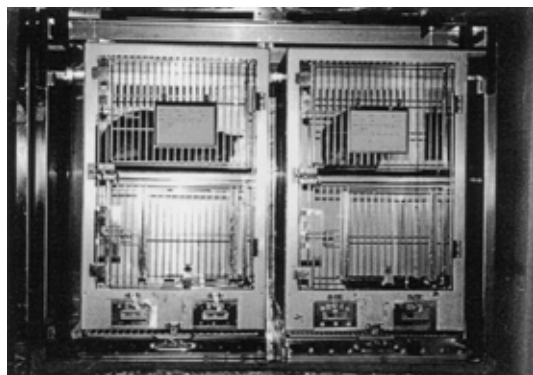


図1. ネコ飼育箱

前方から見た写真。2つの各ケージの上段にネコがいる。飼育室の微風は飼育箱の前方から後方へ流れ、空気感染の機会を最小にしている。

では、ケージの大きさは450W, 760H, 600Dmmで、これを木製の板で上下段に分けている(図1)。下段にはおがくずを敷いた大きなトレイをおいている。ネコは多くの場合上段に居り、金網の床を好まない。汚物を自動水洗する方式も考案されているが、ネコは水を好まないで、ネコを飼育する環境として自動水洗式は良くない。給餌器と給水器はウサギ用のものを用いている。給餌は固形飼料と缶詰を適宜与えている。飼育室の換気の方向を一定にすることにより、空気感染疾患を予防できる。

外国の大学で、飼育室の直ぐ外に庭を設け、行き来できる屋内外の広い空間を用いて集団飼育しているのを見たことがある。ネコの状態はきわめて良好に見えた。参考にすべき飼育方法である。

3. ネコの取り扱い

当然のことだが、人道的、科学的に取り扱うよう十分に注意しなければならない。当大学でも研究等実験動物の取り扱いに関する委員会(基礎医学並びに社会医学系教授3名、一般教育系教授1名、動物実験センター長、助教授及び講師からなる基礎一般教育協議会から3名、大学院生1名、総務課長)に動物実験計画書を提出し、委員会の承認を得た後に実験を開始している。動物実験計画書には実験申請者、共同実験者、実験課題と目的、実験動物の飼育場所と実験施行場所、動物種と系統及び匹数、動物種の選択理由、実験期間並びに方法、実験中の動物の苦痛排除の方法、実験終了時の処置方法、動物実験指針に基づいていることおよびそれを示す根拠、等を記載する。この計画書は2年毎に更新しなければならないとしている。

動物飼育施設と実験室は多くの場合異なるので、移送用ケージを用いて動物を運ぶ。移送に際しては、予めネンブタール35mg/kgの腹腔内注射或いはケタミンの筋肉内注射によって鎮静させ、恐怖を与え鳴かせてはならない。ケタミンの注射は飼育ケージに挟体があれば行い易いが、無い場合はネコの上下段の移動を大きな板で妨げ、捕獲網で拘束して行う。網の使用は極力ゆっくり

行い、恐怖感を与えないようにする。拘束後、臀部に素早くケタラール(ketamine hydrochloride, Parke-Davis) 50mg/kgを筋肉内注射する。ケタラールの注射は疼痛を伴うので、20G或いは21Gの太い注射針を用いて素早く終了する必要がある。凶暴なネコでは細い注射針を使うと十分な量を与える前に暴れ興奮し、交感神経優位な標本を作成してしまうことになり、血圧が不安定になってその後の実験に支障を来す。ケタラールを十分な量与え外科手術に耐える状態になっても、ケタラール単独麻酔下では手術や実験は行わず、ただちに気管切開して気管カニューレを挿入し、ハロセン(Fluothane—武田)笑気(N₂O)麻酔に移行すべきである。ケタラール単独麻酔は眼振、上下肢の運動が残り、動物福祉の観点からも避けるべきだからである。

II. 麻酔・全身管理・痛みのモニター

1. 導入と麻酔

(1) 導入

前述した通り導入薬としてケタラール(ketamine hydrochloride, Parke-Davis) 50mg/kgを筋肉内注射する。ケタラールを単独で使った場合には骨格筋の弛緩が得られない。トランキライザーのジアゼパム(ホリゾン、山之内) 1～5mg/kgの筋肉内注射との併用が良い。導入に伴う唾液分泌や気管内の分泌を抑制するため、アトロピン(atropine sulfate injection タナベ, 0.05～0.1mg/kg)を筋肉内注射する。またハロセン(halothane)も導入薬的に用いることができる。麻酔箱或いは厚手の透明ビニールバッグにネコを入れ、酸素とハロセンを比較的高濃度に流し、自発呼吸が停止する直前に容器よりネコを出し、気管切開して気管カテーテルを挿入し、人工呼吸器に接続する。

(2) 麻酔

1) 笑気N₂Oとハロセン(halothane)混合

上記の方法で導入後、麻酔の維持は笑気・ハロセンの混合ガスで行う。閉鎖性人工呼吸器(シナノ製作所製, Model SN480-5)を用い、ハロセン

1.5～0.8%，酸素は0.8～1.5 l/min，笑気は酸素の約半量を目安にし，呼吸回数は1分に30～35回としている．笑気はボンベ内では液体なので，使用にあたってはボンベは立てておく．ハロセンは麻酔深度の調節が容易で，気道刺激性もほとんどなく優れた麻酔薬である．しかしハロセンを用いた実験を繰り返行うと，極少量ではあるがハロセンを研究者が吸うことになり，ハロセンの持つ肝毒性を無視できない場合も考えられる．そこで実験室の換気に十分注意を払うことが重要である．当研究室では人工呼吸器の排気口にホースをつなぎ，ドラフトにより室外に排気している．

近年臨床でよく使われているイソフルレン（Forane 一大日本）は麻酔深度の調節が容易で，心収縮力への影響や脳血流への影響が少なく，肝毒性がごく少ない，など多くの点で優れている．イソフルレンは筋弛緩作用が強いので筋弛緩薬の量を減らすことが出来るが，呼吸抑制作用も強い．今後ハロセンからイソフルレンへの変更も考慮に入れる必要がある．

2) ペントバルビタール（pentobarbital sodium, Nembutal 大日本・アボット ラボラトリーズ）

ペントバルビタール 35～40mg/kg を腹腔内に注射すると，通常6時間以内の外科手術が可能である．長時間にわたる実験の場合には，持続的に静脈内に維持量を微量注入する．維持量は瞳孔径，血圧などを指標に決めているが，ペントバルビタールは心循環系に対する抑制が強く，かつ麻酔深度を調節しにくいので，現在我々の研究室では実験終了後の脳脊髄標本摘出時の深麻酔用（50～70mg/kg）としてのみ使用している．

3) ウレタン（urethane）とクロラロース（chloralose）

ウレタン 100mg/kg と α （アルファ）クロラロース 50mg/kg を基本にし，約70度Cの静脈用精製水に溶かし静脈内に注射する．この麻酔は自律神経系の研究者が好んで使用している．温度が低下するとクロラロースが析出するため，恒温槽で60度C以上に保つ必要がある．これらは発ガン性があると言われている．

2. 全身管理

手術と実験を通して体温を正常に保つ．このためには肛門に刺入したサーミスタ温度計で保温マット（または電気あんか）やランプ（電気遮蔽する）のスイッチを制御し，体温を設定した値に自動的に保つようにする方法が便利である．除脳動物や不動化した動物では体温が下がりやすいので，体温の管理はとくに大切である．

アシドーシスなどを予防する全身管理のため，手術中並びに記録中ラクテック注（大塚）を静脈内点滴注射している．点滴量は1～2ml/hr/kg（Edgley & Jankowska 1987）を基準とし，出血の程度，脳脊髄液の排出程度などにより適宜決めている．血圧維持のために大量の液を点滴注射することは心拍動を大きくし，神経細胞内外の安定した記録を阻害するのであまり得策でない．出血量が多いために血圧が低下した場合は，低分子デキストラン L（大塚）なども有効である．一過性に血圧が低下した場合は，20% グルコース溶液を与えると良い．持続的に低い場合はエホチール（田辺）などの昇圧剤を10～20倍に希釈して慎重に投与する．実験中呼吸性及び代謝性アシドーシスなどを予防する全身管理は重要であり，そのために呼気ガスをモニタ（後述）することもあるが，経験をつめば省略しても実験遂行上問題になることは稀である．

我々は各種ショックや脳浮腫を予防するため，短時間作用型ステロイド（ソル・メドロール，ファルマシア・アップジョン）或いは中間型ステロイド（水溶性プレドニン，塩野義）をヒトに使用する1/5から1/10量を静脈内点滴注射している．これらステロイドはヒトの血管性浮腫に対して効果が認められている．マンニトール（20%，フソー）及びグリセオール（10%，中外）などの浸透圧利尿薬は，血管内と脳組織との間に浸透圧勾配を形成し，水分を血管内へ移行させることにより脳容積を縮小させる．脳には血液脳関門が存在するため，浸透圧勾配が良好に保たれ，脱水作用が強く現れる．しかし浸透圧勾配を維持するためには血液脳関門が正常に機能していることが重要で，除脳或いは脳の部分破壊に伴う脳浮腫に対

しては著明な効果は望めない。過呼吸が脳浮腫に対して有効な場合がある。

長時間にわたる急性実験並びに慢性実験の時、感染予防のためにセファロスポリン系の抗生物質（セファメジン0.1g/kg、藤沢）を筋肉内注射している。切開部位にフランセチンTパウダー（持田）を塗布することも有効である。

3. 痛みのモニター

実験の遂行にあたって、動物に痛みなどの苦痛を与えてはならない。血圧を常時モニターし、痛みの指標である血圧上昇が見られないところまで麻酔を深くし、その麻酔深度を保つ。出血や動物の体位などで血圧が下がり、適切な血圧を保てないことがある。この時、安易にハロセン濃度を下げて麻酔を浅くすることは、動物に苦痛を与えるので行ってはならない。血圧が適当な値を示す場合でも、血圧が安定せず大きく変動したり、体動が起こる時は、麻酔が浅い。また耳介反射、足引っ込み反射を時折チェックし、それが起こるときも麻酔深度を深めるように注意する。

記録時などに筋弛緩剤を用いて不動化するとき、体性反射は観察できないので、血圧および瞳孔のモニターを怠らないようにすることがとくに大切である。できれば血圧をチャートレコーダなどで記録しておくとし、麻酔剤を途中で他のものに切り替える場合は、その麻酔剤に固有の瞳孔チェックの判断が必要である。ハロセン麻酔下では瞳孔がある程度散瞳している。アトロピンを使用すると散瞳し、瞳孔チェックは麻酔のモニターの意味をもたない。なお、記録を数十分以上中断するときは、筋弛緩剤の投与を中止しておくとし、記録再開直前に体性反射をチェックできる。

Ⅲ. 一般的手術・処置

1. 毛の刈り取り

皮膚を切開するときは、事前にその部位の毛をバリカンで刈り取る。バリカンはTHRIVE Animal Clipper model 900（大東電機工業株式会社）製を使用し、刃の種類は薄刈り用 #15（1.5mm）

を用いている。毛を刈るとき、掃除機のホースの吸い口を近づけて毛を吸い取りながら刈るとよい。刈った皮膚には切られた毛が付いているので、柔らかい紙で拭き取る。毛を刈る部位は、気管切開のために頸部腹側、動静脈カテーテル挿入のために大腿鼠径部、というように目的に応じて選ぶ。

2. 気管カテーテルの装着・人工呼吸

人工呼吸を行うため、気管を露出、切開し、気管カテーテルを挿入、装着する。気管は頸部腹側から皮膚、続いて筋層を切開して露出する。筋層からの出血を最小にするため正中を切開する。気管を露出する時しばしばくしゃみ反射が起こる。この反射を防ぐため噴霧式局所麻酔薬（キシロカインスプレー、藤澤）を使用することがあるが、気管の近くを迷走神経及び頸部交感神経が走行しているので、それらを麻酔しないよう注意する。気管カテーテルは小児用6.0mmを切断して用いている。カテーテルを挿入したら気管の外から糸で縛って固定し、カテーテルの吻側端も組織に縛りつけて動かないようにし、断面が気管内壁に接合して気道が塞がれないようにする。長時間にわたる実験では気管内の分泌物をときどき吸引除去することを忘れてはならない。

気管切開を行わずに気管カテーテルを気管に挿入することもできる。ネコを背臥位とし、新生児に用いる喉頭鏡で舌根を押し広げ、咽頭反射を防ぐため咽頭ならびに喉頭に局所麻酔薬を噴霧後、声帯を視野に入れカフ付き小児用（6.0mm）気管カテーテルを挿入する。気管カテーテルの先端を門歯より約10cm挿入後、カフ内を空気で陽圧にして固定する。この方法は慢性実験動物作成時の麻酔に有用である。

人工呼吸の状態が続くと肺萎縮（アテレクターゼ）が起こる。1時間に1～2度数回の過呼吸（気管カテーテルの排出口を閉じる）をさせるとこれを防ぐことが出来、動物の状態を改善することが出来る。

呼気ガスモニタ（Respina IH 26、NEC三栄）で呼気ガス中の二酸化炭素濃度を随時チェックし、それが4%前後になるよう呼吸量を調節する

とよい（上述のように、慣れれば呼気ガスのモニターは省略できる）。また気管カテーテルの内圧を観察することで、気道の閉塞を察知することが出来る。

呼吸による動きで記録が妨げられるときは、一回の換気量を少なくし、呼吸頻度を多くすることを薦める。

3. 人工気胸

中枢神経内の単一ニューロン活動を記録する際、人工呼吸による胸郭や腹部の動きが障害となる。この動きを抑える目的で人工気胸を施す。第9と第10肋骨間に穴をあけ、開口した小孔に外形8mm程度のゴム或いはポリエチレンチューブを尾側方向に挿入する。チューブに手術用手袋やゴム風船を取り付けると、肺の乾燥を防ぐとともに肺の拡張—縮小の程度をある程度知ることができる。

4. 不動化

刺激実験を行う場合、反射による体動が起こって記録の妨げとなる場合がある。また、人工呼吸をする場合、自発呼吸運動があると換気が円滑に行われない。これらの問題を解消するために動物を不動化する。人工呼吸開始あるいは記録開始の直前にミオブロック注射液（臭化パンクロニウム注射液、オルガノン・三共0.2mg/kg）をゆっくり静脈内注射する。不動化の維持には、補液のためのラクテック注250mL（大塚）に8～12mgの臭化パンクロニウムを注入し、持続点滴を行っている。麻酔下の動物を不動化したときは、動脈圧、瞳孔などをよく観察し、十分に麻酔されているか注意を怠らないことが重要である。

5. 動・静脈カテーテル

動脈圧を計測するため動脈に、薬剤投与や補液のため静脈に、カテーテルを挿入する。用いる動・静脈には、カテーテルで血流が遮断されても支障のない、ある程度太い血管を選ぶ。大腿動脈或いは頸動脈にはサイズ5のポリエチレンチューブを用い、大腿静脈あるいは橈側皮静脈にはサイ

ズ4のポリエチレンチューブを使用している。大腿動静脈は大腿三角部に露出するのが最適である。カテーテル挿入後は血管の周りを強く糸で縛り、チューブが抜けないようにする。これらの手技の詳細は大塚・照井（日本生理誌62, 2000）を参照されたい。

6. 実験後の処理とネコの灌流固定

総理府告示「動物処分に関する指針」（法律第403号、平成7年7月4日）に従い、麻酔薬の過剰投与などを行って動物を処分する。実際にはネンブタール（200mg/kg）を静脈内注射し、灌流・脱血する。実験中の記録、刺激部位を組織学的に確認する必要がある場合は脳の組織標本を作らなければならない。HRP（horsradishperoxidase）を注入したり、プロシアンブルー反応を利用したマーキングをしたのでなければ、特に灌流により脱血する必要はなく、取り出した脳を固定液に浸けただけで、固定が十分完了次第、凍結切片を作製する。

灌流の必要がある場合は、以下の手順で行う。外径が、大動脈の内径にほぼ等しいステンレス管あるいは硬質プラスチックチューブ（長さは心臓の長径より少し長いもの）を用意し、ガラス容器の出口にゴム管を経由して接続する。このガラス容器にあらかじめネコの体温（38℃）に暖めておいたヘパリン入り生理食塩水（1～2リットル）を入れ、ゴム管をピンチコックで止めておく。動物をネンブタールで深麻酔する。心臓を露出し、心膜を切開する。左心室を切開し、ステンレス管あるいは硬質プラスチックチューブの先が大動脈に達するまで挿入し、切開部から血液や灌流液が漏れないように止血鉗子ではさむ。右心耳を切開した後、ピンチコックを開き、生理食塩水を流し込む。このときの流入圧は150～200mmHgとする。また気泡が流れ込まないように気を付ける。脱血が終了した後、引き続き固定液を灌流する。

IV. 肢の神経の手術

特定の神経を刺激しあるいはその活動を記録す

るためには、目的とする筋神経や皮膚神経を分離・解剖し、電極に載せてセットする必要がある。本章では肢の神経の手術について記し、電極についても述べる。

1. 基本事項

(1) 局所解剖

手術する神経の走行、分枝の様式および周囲の構造（筋、血管など）との位置関係を予め熟知する必要がある。これらは書物（説明はReighard

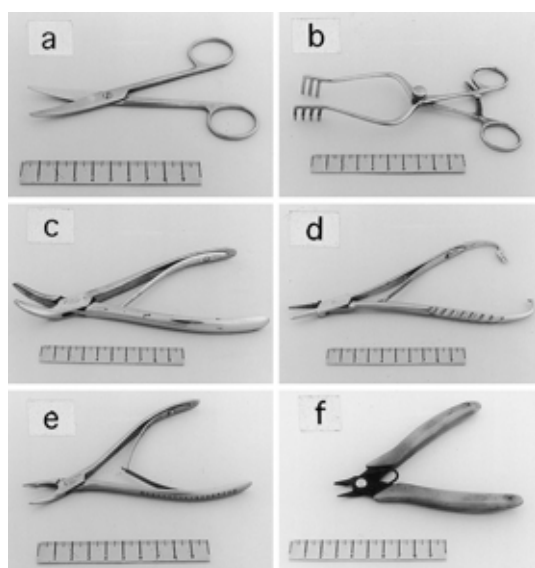


図2. 手術器具

a. ハサミ (Mayoの曲型). b. 開創器. c. 骨鉗子 (中型). d. 持針器. e. 骨鉗子 (小型). f. ニッパー
スケールは最大の目盛りが1cm.

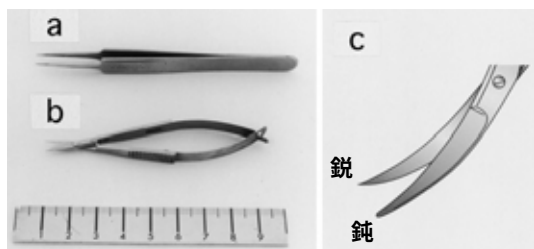


図3. 手術器具

a. 時計ピンセット. b. スプリング式微細ハサミ. c. 硬膜用ハサミ. a, bのスケールは最大の目盛りが1cm.

& Jennings 1935がよく、図はCrouch 1969がよい)で調べ、また他の実験で使ったネコの死体を解剖して実物で確認するとよい。

(2) 手術器具, 拡大鏡

眼科のハサミやスプリング式微細ハサミなど種々のハサミ (図2a, 3b), 小ピンセット (無鉤) や時計ピンセット (図3a) など種々の型のピンセット, 鉤形ガラス棒 (図4a), 中型・小型の開創器 (図2b, 4b, 既製品のほか、種々の大きさの安全ピンなどを利用して作る) およびクリップ・錘付き糸 (図4c, 開創用) などを用意する。手術の対象や状況に応じて適切な器具を使う。

手術中、術者は手術部位からその周辺、さらにはネコ全体まで注視する場所を頻繁に変える必要がある。肉眼視, 弱拡大視, 強拡大視が容易に切り替えられるよう工夫する。筆者はレンズの小さい読書めがね [+2.5~+3.0d くらいの老眼鏡 (その他カール・ツァイス社製の拡大めがねも有用)] をかけて肉眼視から弱拡大視までの手術を行い、強拡大視は実体顕微鏡を用いている。

(3) 神経枝の解剖 dissection

1) 表面の皮膚を切開したのち、表層の筋膜を切り開く、皮下脂肪を除く、筋と筋の間を鈍的に開く、筋を腱の部分で切断して横へ寄せる、血管を結紮し切断する、などの操作により、解剖する神経とその枝をなるべく広く露出し、必要に応じ開創器具を用いるなどして直視しやすくする。

2) 解剖する神経を周辺の組織から分離する。ネコでは結合組織が柔らかいので、鉤形ガラス棒 (図4a, 場所に応じて太さを変える) やピンセットを用いて鈍的に分離できる場合が多い。

3) 各筋の神経枝は、その筋を横に動かして神経幹との間を拡げるようにすると、長く幹から分かれて見えるようになる。この状態で、筋神経枝をできるだけ遠位で切断し、枝の末梢端を時計ピンセットで保持する (左手)。枝を幹から軽く引き離すようにし、幹との間に張った両側の結合組織の膜を微細ハサミで交互に切り上げていき (図5, 矢印), 25~30mm長の神経枝を分ける。各筋の

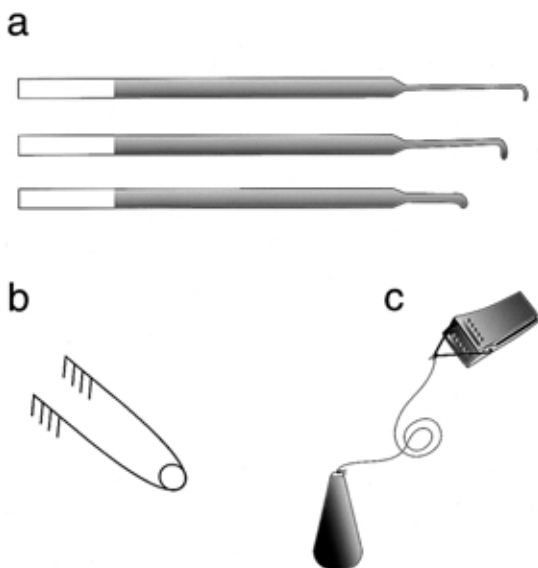


図4. 手術用具

- a. ガラス棒の鉤（眼科の硝子棒をバーナーで熱し細工して作る）。目的に応じて様々な太さのものを用意する。
b. 安全ピンなどを利用して作った開創器。c. ばねクリップ、糸、錘より成る開創具。

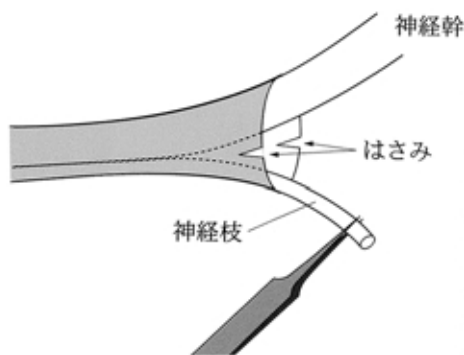


図5. 神経枝の分離・解剖法（本文参照）。

神経線維は幹の中でもかなりの長さにわたって独自の束をなしているの、この手術は難しくない。

4) 皮膚神経の多くは近位で本幹から分かれ、あるいは本幹中でも容易に分離できるので、それらの解剖は易しい。そうでない混合神経では、下記の(4)に従って皮膚神経と筋神経を区別する。

5) 解剖した神経枝の断端を細い糸で縛り、損傷させる。多数の神経枝を切り出すときは、縛る



図6. 通常の銀線電極と電極支持具（ボール・ジョイント式）。

糸の色を変えて識別に役立てる。

6) 以上の操作で、神経を引っ張ったり、遠位端以外を摘まむ、圧すなどして傷めないよう注意する。手術時に神経を傷めたり、あるいは実験が長時間に及んで神経の状態が悪化すると、閾値差による異種線維の刺激し分け、例えばIa群線維とIb群線維(Eccles, Eccles and Lundberg 1957a)やI群線維とII群線維の刺激し分けが難しくなる。

(4) 混合神経における筋神経束と皮膚神経束の区別

肢の遠位には筋神経と皮膚神経の両方を含む混合神経が多い。混合神経も多くの神経束より成り、一つの神経束は筋神経か皮膚神経のいずれかであることが多い。ある神経束が筋神経か皮膚神経かは、時計ピンセットで摘んだときや切断するときに筋のtwitchが起こる（筋神経）か否（皮膚神経）かで鑑別する。皮膚神経束は筋神経束に比べて白く見えるので、これも参考にする。

(5) 電極

動物を固定器に取り付けたときの各神経の位置や状況に応じて、適したタイプの電極を用いる。動物の背側にあって流動パラフィンプールの中で扱える場合は下記1)の銀線電極を用い、そう

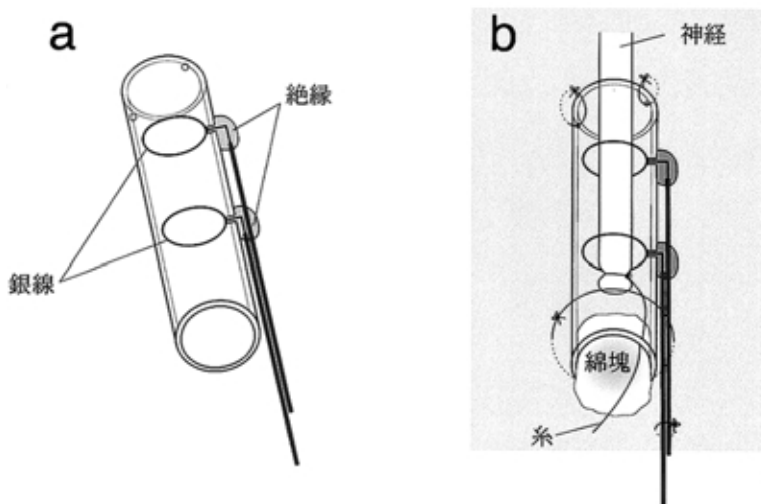


図7. トンネル電極
a. 構造. b. 神経への装着 (本文参照).

でない場合は2)のトンネル電極か3)のカフ電極を用いる。電極の条件は銀線電極が最良だが、トンネル電極やカフ電極も注意深く使えば支障ない。

1) 銀線電極：流動パラフィンプール中の神経枝に用いる。先を鉤形に曲げた2本の銀線よりなる双極電極 (図6)。損傷させた断端を1極 (+) に、約10mm近位部を他極 (-) にかける。

2) トンネル電極：流動パラフィンプールを作れない場所の神経枝に用いる。透明な材質 (ビニール管, アクリル管) でできた20~30mm長の管の中に2つのリング状の銀線を配した双極電極 (図7a)。管の太さは神経の太さに合わせる。

神経への装着は図7bのように行う。すなわち、神経の断端に結びつけた糸を電極の管に通し、神経が2つの銀線リングに接触する位置にして、管の遠位端に脱脂綿塊を詰めて糸を管に固定する。絶縁のため脱脂綿塊に流動パラフィンを含ませておく。管の近位端は半流動の絶縁物質 (流動パラフィンとワックスを混ぜて適当な固さにしたもの) で塞ぎ、組織液の浸入を防ぐ。また、電極の管全体を周辺の壊れにくい組織 (靱帯, 腱, 筋膜など) に糸で縛り付け、リード線も組織に縫いつけて電極全体が動かないようにする。太いトンネ

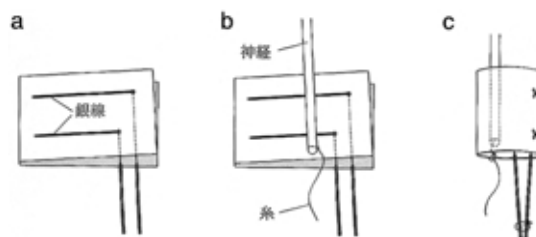


図8. カフ電極
a. 構造. b~c. 神経への装着 (本文参照).

ル電極では、管の近位端の近くに小孔をあけておき、ここに通した糸で近くの組織に縫い付ける (図7b)。電極をとりつけた後にネコを固定器に運ぶが、このとき神経と電極が動かないよう肢位を一定に保ちながら運ぶことが必要である。

3) カフ cuff 電極：流動パラフィンプールを作れない箇所の神経枝に用いる。ビニールテープのように折り畳めるシートに銀線を配した双極電極 (図8a)。

神経への装着は、神経が2本の銀線に接するようにカフ電極を位置させ (図8b)、神経を挟むようにシートを折り畳んで (図8c) 行う。神経が電極からはずれるのを防ぐため、神経断端に結びつけた糸をシートに通して (縫合針を使う) 縛り

表 1.

神 経	支配筋
Femoral N. (筋・皮膚神経) Saphenous N. (皮膚神経)	Quadriceps femoris, Sartorius
Obturator N. (筋神経)	Obturator externus, Adductor femoris and longus, Pectineus, Gracilis
Superior & Inferior gluteal Nn. (筋神経)	Tensor fasciae latae, Gluteus medius and minimus, Gemellus superior, Gluteus maximus, Caudofemoralis
Great sciatic N. (筋・皮膚神経) (腓骨神経と脛骨神経に分かれるまで)	Biceps femoris, Tenuissimus, Semitendinosus, Semimembranosus, Quadratus femoris
Sural N. (皮膚神経) Tibial N. (筋・皮膚神経)	Triceps surae, Plantaris, Popliteus, Tibialis posterior, Flexor digitorum longus, Flexor hallucis longus, Flexor digitorum brevis, Lumbricales や Interossei などの指, 足の筋
Common peroneal N. (筋・皮膚神経) Superficial peroneal N. (皮膚神経) Deep peroneal N. (筋・皮膚神経)	Tibialis anterior, Extensor digitorum longus-brevis, Peroneus brevis-longus-tertius

つけ、カフ電極のシートを接する組織に2箇所以上で縫いつける（縫合針を使う）。リード線も組織に縫いつけて動かないようにする。折り畳んだシートの上下の隙間を半流動の絶縁物質で塞ぎ、銀線の部分に組織液が入らないようにする。電極装着後にネコを移動するとき、肢位を一定に保って神経と電極が動かないように注意する。

2. 後肢の神経の手術

(1) 後肢の神経 (図9, 10, 11)

後肢は腰仙骨神経叢 Plexus lumbosacralis 由来の神経によって支配される。各神経とその支配筋は Crouch (1969), Reighard and Jennings (1935) に詳述, 表示されている。大略は表1の通りである。

表1の神経の他に膝関節の求心性線維を含む Posterior knee joint nerve がある (Skoglund 1956)。これは Tibial N. から分かれる細い枝として分離することができる。

(2) 手術の要点

Femoral N.

大腿の腹側から手術する。鼠径部から遠位方向

に縦に皮膚を切開する。先ず Femoral N., 大腿動脈, 大腿静脈が並んでいるのを確認する。Femoral N. の出口で神経を囲む Dorsal iliopectineal arch をハサミで切り開き, 5~10 mm くらい近位方向に神経を露出する。神経と交差する血管は糸で結紮して切断し, 解剖を進める。大腿四頭筋の各筋, 縫工筋の筋枝, saphenous N. の皮膚枝を分けることができる。電極はトンネル電極が適している (この項, 伊藤・大島 1967 p52 参照)。

Obturator N.

大腿の前側から手術する。Femoral N. より内側で, M. adductor femoris の筋腹を切り分けて神経を出す。神経を長く切り分けるには熟練が要る。トンネル電極が適している。

Great sciatic N. (図9)

大腿のうしろ側から手術する。大腿骨の大転子 Trochanter major と坐骨結節とを指で触れ, その中間から膝窩の中央, さらにアキレス腱に向かって縦に皮膚を切開する。切開した皮膚は後にプールを作るのに用いるので, 切開はそれに適するように行う。

膝窩の脂肪を除き, 外側 (M. biceps femoris)

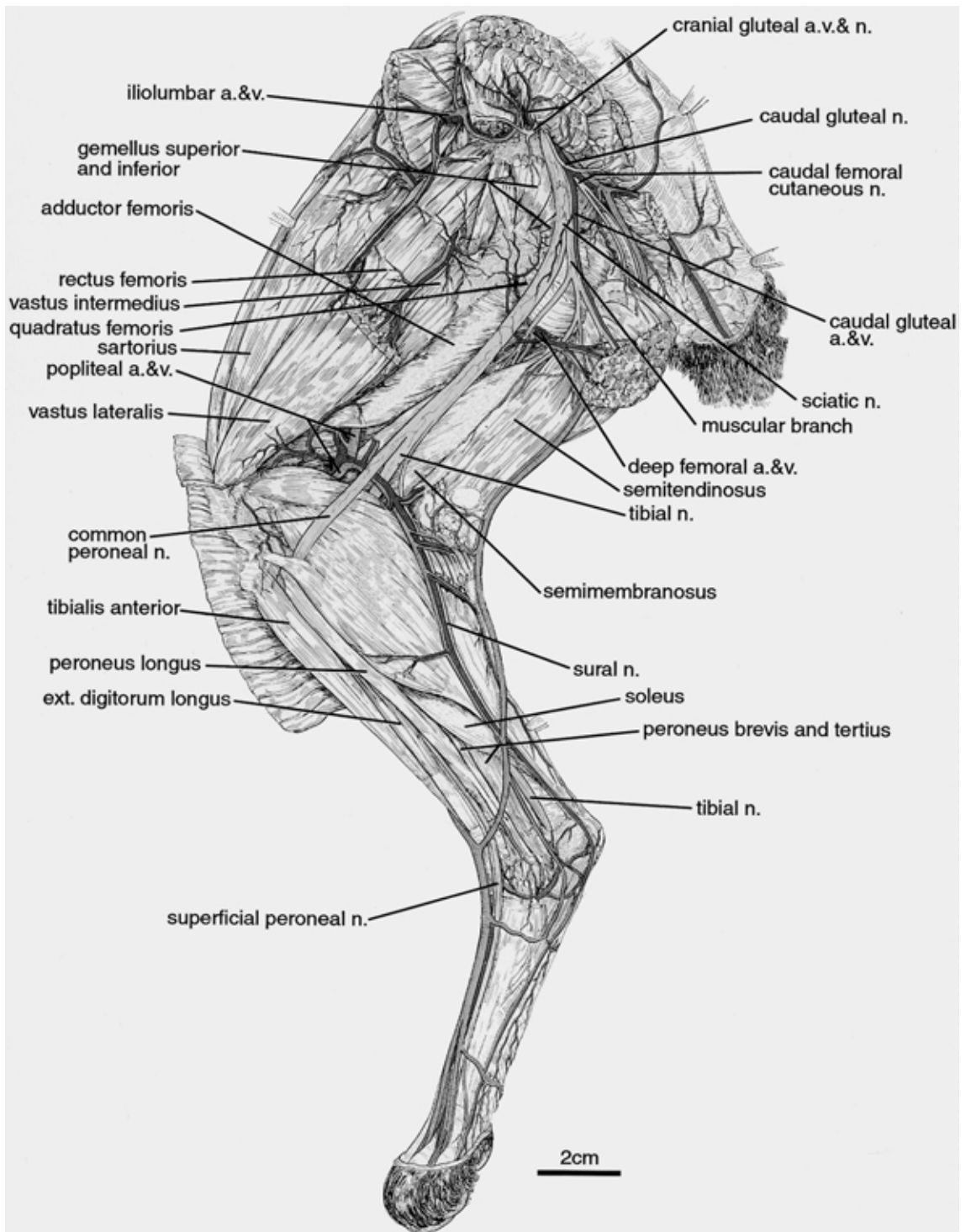


図9. 坐骨神経 (sciatic n.) の走行

左後肢を外方より見た図。神経 (末尾にn.)、動脈 (末尾にa.)、静脈 (末尾にv.)、筋の名前を示す。右上部の muscular branch は biceps femoris, semimembranosus, semitendinosus への筋枝。(Crouch, 1969 より)。

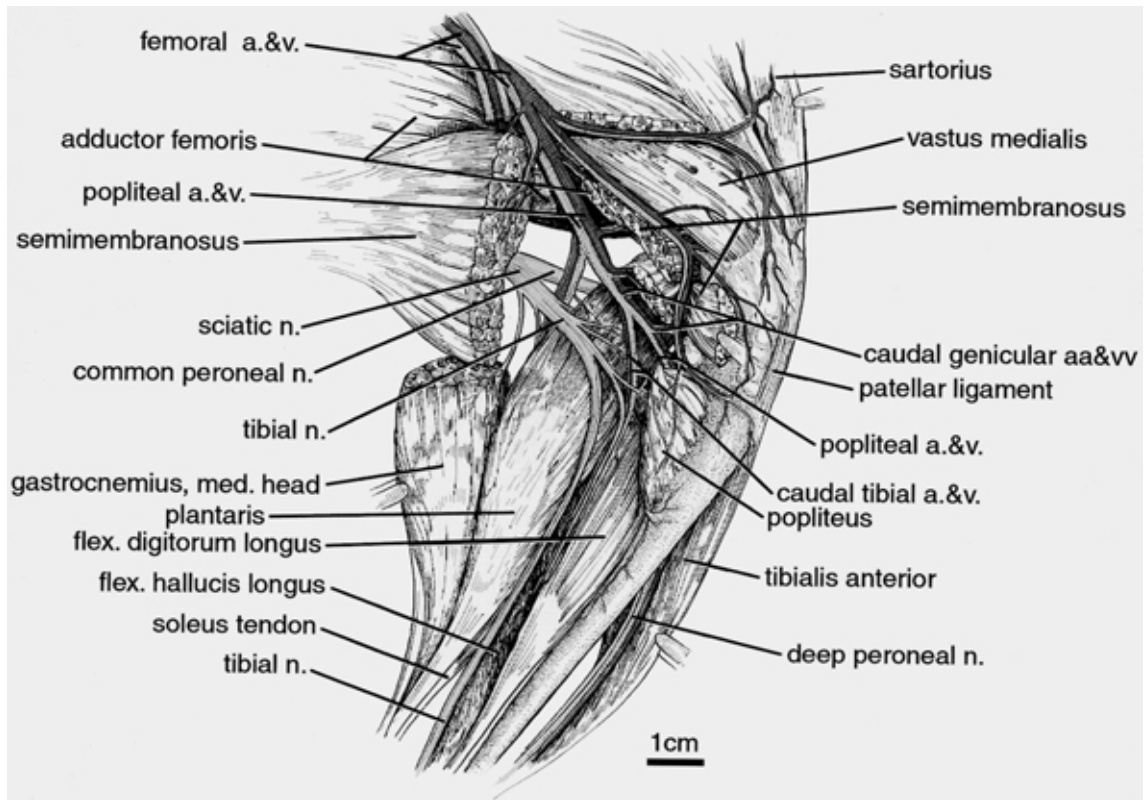


図10. 脛骨神経 (tibial n.) の走行

左後肢を内方より見た図. 神経 (末尾にn.), 動脈 (末尾にa. またはaa), 静脈 (末尾にv. またはvv), 筋の名前を示す. (Crouch, 1969 より)

と内側 (M. semitenndinosus と M. semimembranosus) の筋の間を横切る血管を結紮して切り (交差している神経を傷めないよう注意), 坐骨結節に付着する Biceps femoris 筋の起始部を切って同筋を外側に捻げる. この状態で Great sciatic N. の全貌が見え, 膝窩部で Common peroneal N. と Tibial N. に分かれるのが見える.

この状態で大腿後部の諸筋の筋神経を解剖する. Biceps femoris 筋は前部 anterior part と後部 posterior part で機能が異なるので, 通常それらの筋枝は分けて扱う. また, Anterior biceps と Semimembranosus, Posterior biceps と Semitenndinosus は機能が類似するので, それぞれまとめて同じ電極に載せることが多い. 電極は通常の銀線電極 (パラフィンプール中) を用いる. (この項, 伊藤・大島 1967 pp51～52 参照)

Tibial N. (図10)

内側腓腹筋と外側腓腹筋がつながる部分を縦に切り開くと, Tibial N. が現れる. 膝窩から下腿の上3分の1位にかけて多くの枝を出し, 残りの神経幹が踵の内側を通過して足底へと走る (Medial and Lateral plantar N. になる). Tibial N. の解剖は, 内側および外側腓腹筋を錘 (図4c) で開いた状態にして行うと手術しやすい.

まず内側, 外側腓腹筋, ヒラメ筋, Planntaris 筋の筋枝を分け, 次に Flexor digitorum-hallucis longus 筋, Tibialis posterior 筋, Popliteus 筋の筋枝, 関節神経 (Posterior knee joint nerve) を分ける.

Medial plantar N. は Flexor digitorum brevis 筋と内側の Lumbricalis 筋を支配し, 主に内側の足底皮膚に枝を出す. Lateral plantar N. は他の

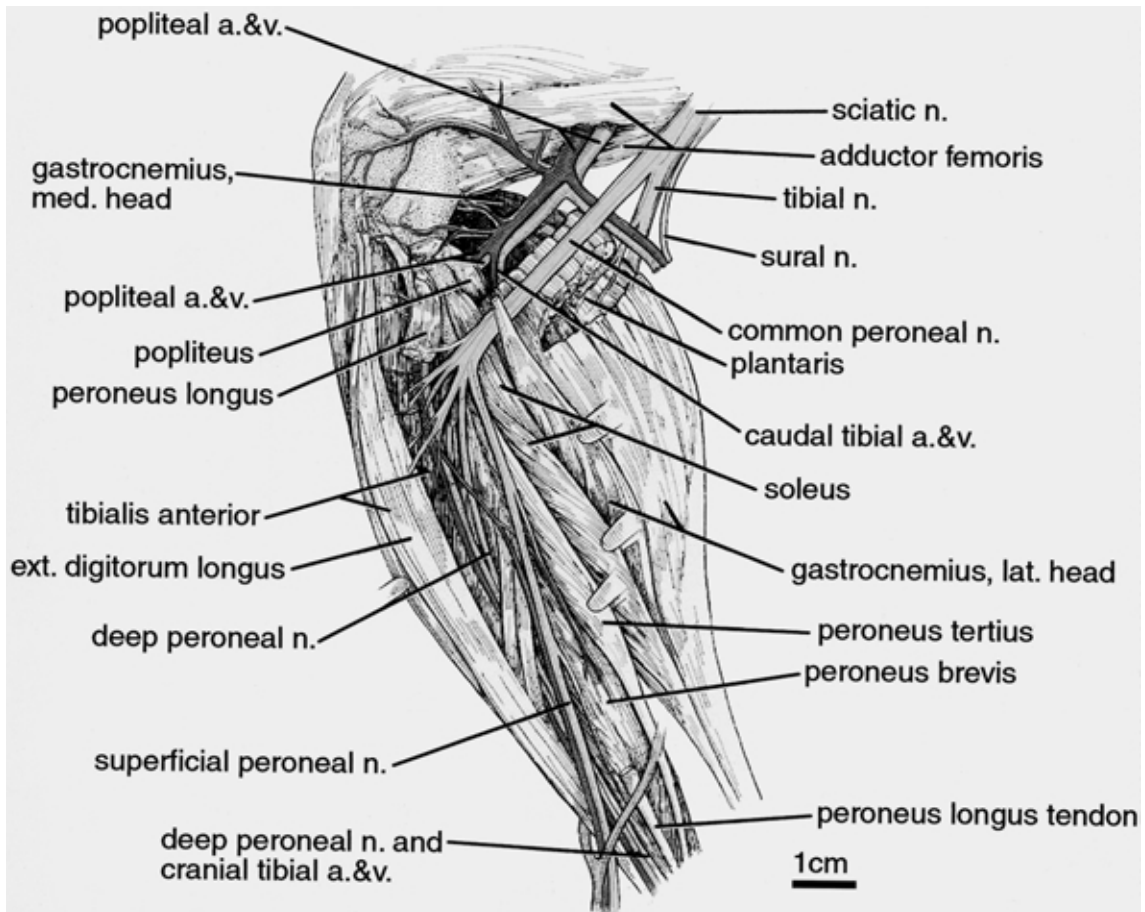


図11. 総腓骨神経 (common peroneal n.) の走行
左後肢を外方より見た図. 神経 (末尾にn.), 動脈 (末尾にa.), 静脈 (末尾にv.), 筋の名前を示す. (Crouch, 1969 より)

足, 指の小筋 (Interossei, Lumbricales, V 指筋, Quadratus plantae など) を支配し, 主に外側の足底皮膚に分枝を出す. これらの神経枝を切り分けるには熟練を要する. 電極は通常の銀線電極 (パラフィンプール中) を用いる. (この項, 伊藤・大島 1967 pp51~52 参照)

Common peroneal N. (図11)

膝窩の末梢側で, 後部を下行する Superficial peroneal N. と前部を走り多くの枝に分かれる Deep peroneal N. の2つの幹枝に分かれる. 前者は純粋な皮膚神経である. 後者は筋枝と皮枝より成るので, それらを分離する (筋枝と皮枝の鑑別法については前述). 電極は通常の銀線電極 (パラフィンプール中) を用いる.

(3) パラフィンプールと神経枝の電極へのマウント

Tibial N., Peroneal N., Hamstring 筋神経など後肢背側の神経枝を電極に載せるには, 後肢のうしろで切り開いた皮膚でプール槽を作り, 流動パラフィンを注いだ後, 各神経枝の近くに図6の銀線電極を持っていき神経枝を載せる. 各神経枝の求心性線維の反射作用を調べたり運動ニューロンの支配筋を逆行性興奮によって同定したりするために多数の神経枝を刺激する必要があるときは, 切開した皮膚を金属棒の枠に縫いつけ張ってプールを大きく作り, 多数の電極をセットできるようにする. 各後肢筋の運動ニューロンへの Ia 群線維の収束のパターン (Eccles, Eccles and Lund-

表 2.

神 経	支配筋
Anterior thoracic Nn. (筋神経)	Pectoralis, Latissimus dorsi
Posterior thoracic N. (筋神経)	Serratus anterior, Levator scapulae
Suprascapular N. (筋・皮膚神経)	Supraspinatus, Infraspinatus
Subscapular Nn. (筋神経)	Subscapularis, Teres major, Latissimus dorsi
Axillary N. (筋神経)	Spinodeltoid, Acromiodeltoid, Teres minor, Clavobrachial
Musculocutaneous N. (筋・皮膚神経)	Biceps brachii, Coracobrachialis, Brachialis
Medial cutaneous N. (皮膚神経)	
Radial N. (筋・皮膚神経)	Epitrochlearis, Anconeus, Triceps brachii
Superficial radial N. (皮膚神経)	
Dorsal interosseous N. (筋神経)	前腕の伸筋, 回外筋 (Brachioradialis, Supinator, Extensor carpi radialis longus, Extensor carpi radialis brevis, Extensor communis digitorum, Extensor digitorum lateralis, Extensor indicis, Extensor pollicis brevis)
Median N. (筋・皮膚神経)	前腕の屈筋, 回内筋の殆ど (Flexor carpi radialis, Palmaris longus, Flexor profundus digitorum, Pronator teres, Pronator quadratus), 橈側3指の Lumbricales, I 指およびII 指の筋
Ulnar N. (筋・皮膚神経)	Flexor carpi ulnaris, ulnar head of Flexor profundus digitorum
Dorsal cutaneous branch (皮膚神経)	
Superficial palmar branch (皮膚神経)	
Deep palmar branch (筋神経)	手掌の短筋 (尺側の Lumbricales, Interosseus)

berg 1957b, Eccles and Lundberg 1958) や Ib 群線維の反射のパターン (Eccles, Eccles and Lundberg 1957a) はこうして調べられた。多数の神経枝を電極に載せるとき、それぞれの神経枝の位置関係はほぼ一定しているので、実験で位置が定まった全部の電極をその配置で一体として保存しておけば、次の実験から各神経枝を電極に載せる操作が速くなり便利である。

3. 前肢の神経の手術

(1) 前肢の神経 (図 12, 13)

前肢は腕神経叢 Plexus brachialis に由来する神経によって支配される。各神経とその支配筋は Crouch (1969), Reighard and Jennings (1935) に詳述、表示されている。大略は表 2 の通りである。

(2) 手術の要点

Anterior thoracic Nn. と Posterior thoracic N.

腹方からアプローチして神経を出す。用いる電極はカフ電極 (図 8) が適している。

Suprascapular N.

肩甲骨 Scapula の外側で M. Supraspinatus および M. Infraspinatus を肩甲棘 Spina scapulae から剥離し、肩甲棘にほぼ平行してその近くを走るそれぞれの筋神経を出す。これらの筋神経を中枢に向かって肩甲骨の内側へと切り出して行く。次に背中側から M. rhomboideus などの筋を切断して肩甲骨と胸郭の間を開き、この空間で M. Supraspinatus および M. Infraspinatus の筋神経をさらに近位方向に解剖する。肩甲骨と胸郭の間に流動パラフィンプールを作り、そこで銀線電極 (図 6) に載せる。

Subscapular Nn.

この神経は 3 本あり、頭側の枝が M. Subscapu-

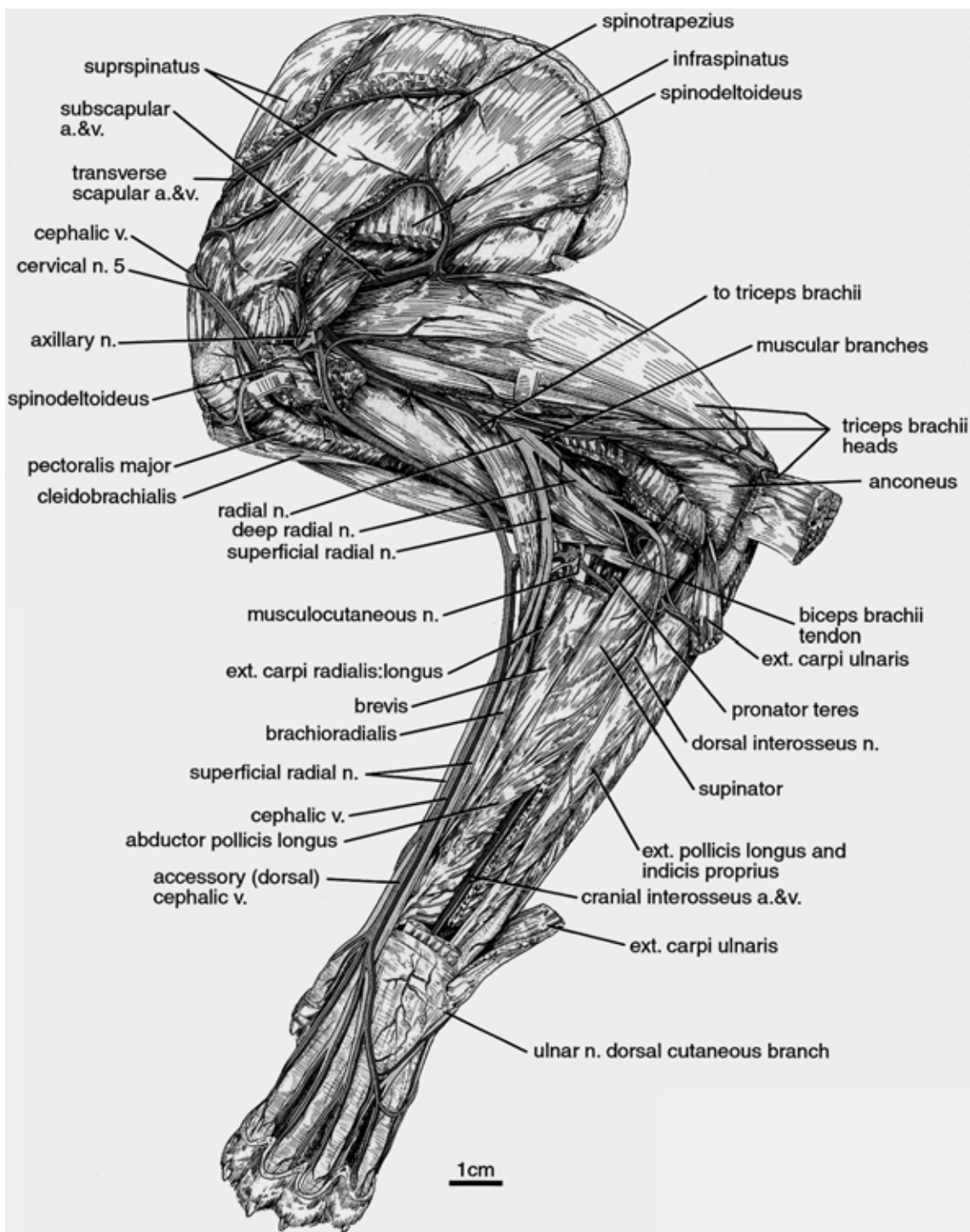


図12. 橈骨神経 (radial n.) の走行

左前肢を背外側より見た図。神経 (末尾にn.)、動脈 (末尾にa.)、静脈 (末尾にv.)、筋の名前を示す。(Crouch, 1969より)

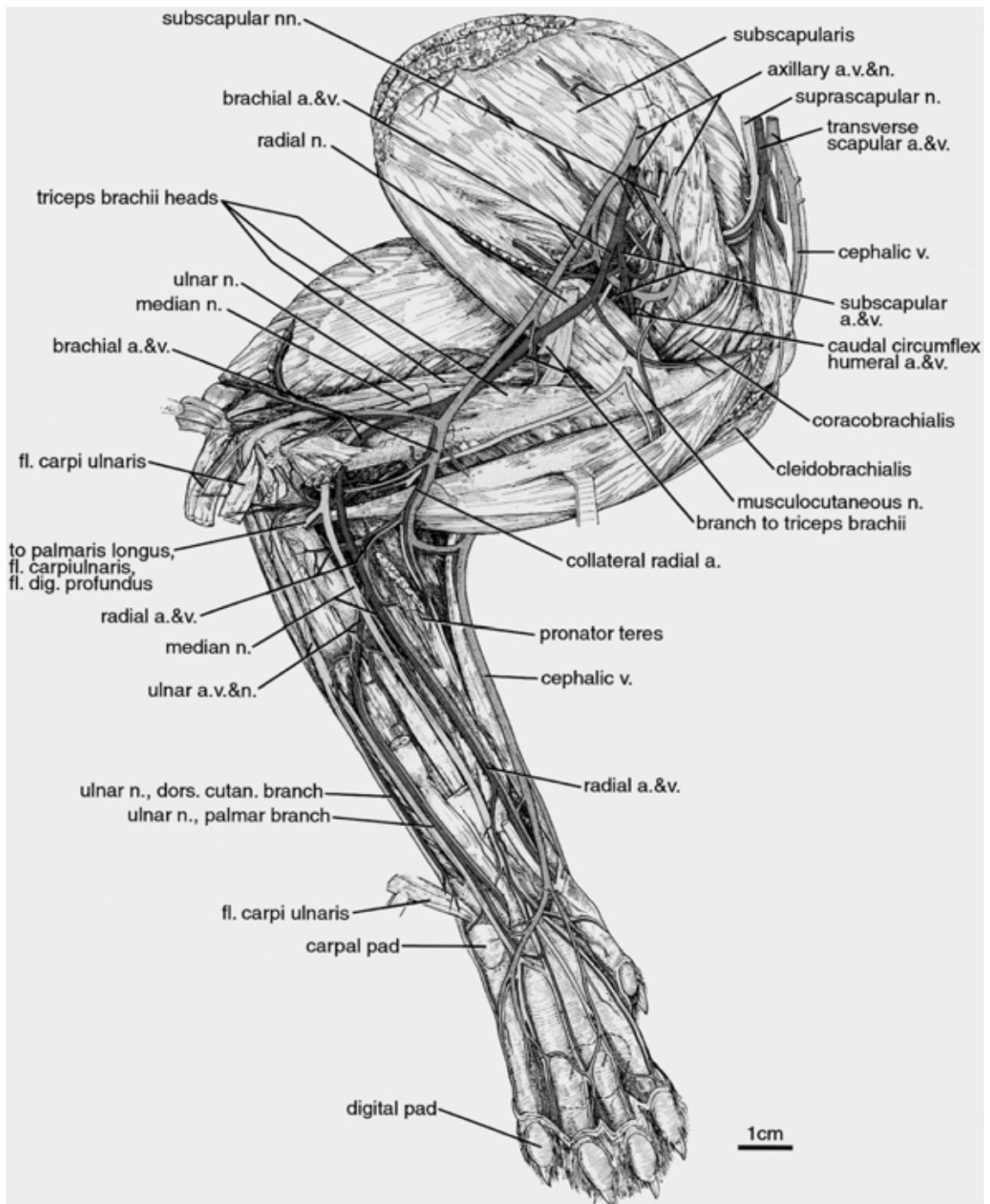


図13. 正中神経 (median n.) と尺骨神経 (ulnar n.) の走行

左前肢を腹 (掌) 側より見た図. 神経 (末尾にn.), 動脈 (末尾にa.), 静脈 (末尾にv.), 筋の名前を示す. (Crouch, 1969 より)

laris, 次の枝がM. Teres major, 尾側の枝がM. Latissimus dorsiを支配する. M. Subscapularisの枝は腕神経叢から出てすぐ筋に入る. これらの神経は, 肩甲骨Scapulaの背内側に付着するM. rhomboideusなどの筋を切断して(肩甲骨の椎骨側の縁に沿って筋の付着部を切れば出血しない)肩甲骨を外側に大きく開くと直視できる. 直視下でこれらの筋神経を末梢に向かって切り分ける. 肩甲骨を外側に引いて固定し, 流動パラフィンプールを作り, その中で銀線電極に載せるとよい.

Axillary N.

肩関節の外側でM. SpinodeltoidやM. Acromiodeltoidなどの支配筋を解剖し, その内側から筋に入る神経枝を見つける. 手術しやすいように開創器で手術野を拡げて神経を分離, 末梢側で切断し, 中枢に向かって切り分ける. これらの神経枝だけを刺激するときは局所でカフ電極を用いる. Subscapular Nn.なども刺激するときは, さらに中枢に向かって神経を切り分け, 肩甲骨の内側に流動パラフィンプールを作り, その中で他の神経と同様に銀線電極に載せるとよい.

Musculocutaneous N. (図13)

M. CoracobrachialisとM. Biceps brachiiに支配枝を出した後, M. Biceps Brachiiの内尾側を同筋に沿って走り, 肘関節の近くでM. Brachialisに支配枝を派生する. 残りは皮膚神経なので, 筋枝と皮膚枝を分けるには肘関節の部位まで辿って切り分けねばならない. カフ電極を用いるかまたは流動パラフィンプールを作って銀線電極に載せる.

Radial N. (図12)

M. Triceps brachiiの神経を長く出すには, Triceps brachii筋の起始部を骨の付着部位から切り離すとよい. この操作のとき血管を切って出血を起こし易いので, これを防ぐため, Triceps-brachii筋の起始部を鉗子で挟んで骨から切り離す. 前腕では多くの筋枝を派生するので, 各筋の支配神経を確認しながら切り分ける.

Median N. (図13)

Median nerveは上腕動脈A. Brachialisと共に上腕骨Humerusの末梢端近くにあるSupra-

condyloid foramenを通り, その後筋枝を派生しながら前腕を走る. 肘関節付近から多くの筋枝を出すので, 支配する前腕の筋を上腕骨の近くまで解剖し, それぞれの支配神経を確かめ切り分ける. 手掌の短筋の支配神経を解剖するのは容易でない.

Ulnar N. (図13)

支配する前腕筋の神経は確認しながら切り分ける. 手掌の短筋の支配神経を解剖するのは容易でない.

(3) 流動パラフィンプールの作成

前肢の多くの筋の支配神経を電極にセットするには, 後肢と同じように流動パラフィンのプールを作る必要がある. このため, 前腕を前方に伸ばし, その上部に皮膚を吊るためのコの字型の金属棒のホルダー(約20mm間隔で穴が開けてある)を取り付け, これに上腕の中程から手関節までの皮膚を糸で吊って流動パラフィンプールの壁を作る. しかし後肢と違って, 前肢では皮膚が少ないためこれを補ってプールの壁を高くする必要がある. よく用いられる方法は, ガーゼを50度C程度(これ以上にしないこと)のキャンテン溶液に浸し, 溶液を十分に染み込ませてから取り出し, 皮膚に密着させて壁を高く延ばし, 大きな容積のプールを作る方法である.

V. ラミネクトミー (laminectomy, 椎弓切除)

麻酔したネコを手術台上に腹臥位に置き, 下腹・股関節部の下には枕を置く. 一般に右利きの術者はネコの左側に位置して手術し, 補助者はネコの右側から術者と向かい合って補助する. ラミネクトミーの要点は, 1) 椎弓を覆う背筋を除去して脊椎の背面を露出する, このときできるだけ出血を少なくする, 2) 椎弓を切除する, このとき器具で脊髄を圧して傷つけないようにする, である.

椎骨とその隣接組織は脊椎のレベルによって構造が変わり, 手術操作もそれに応じて変わる. しかし基本は共通なので, 以下では腰椎のラミネク

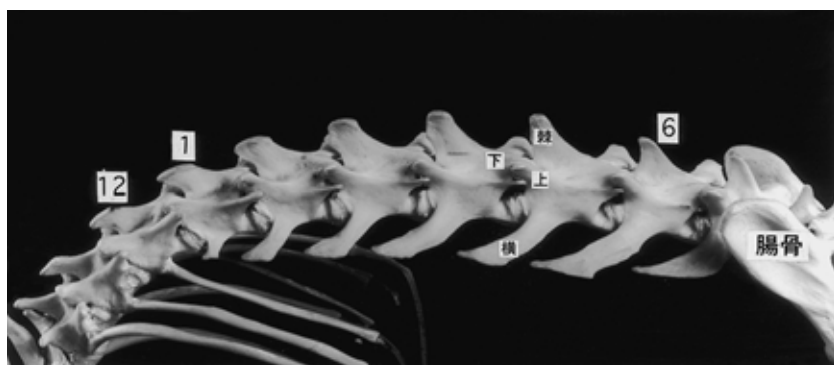


図14. 腰椎（L1-L7）とその前後

12；T12，1；L1，6；L6，棘；棘突起，上；上関節突起，下；下関節突起，横；横突起，腸骨；骨盤の腸骨

トミーについて詳述し，頸椎と胸椎については注意すべきことだけを記す．なお，腰椎のラミネクトミーと脊髄根の扱いについてはLiddell & Sherrington (1929 pp86～91) と伊藤・大島 (1967 pp46～51) で丁寧に説明されている．

1. 腰椎のラミネクトミー

下記により行う．

(1) 皮膚の切開

背の皮膚の正中（脊椎の棘突起を触診して判断する）をメスで縦に切開する．切開の範囲は，露出する脊髄の部分を中心に，後で皮膚を張ってパラフィンプールを作るのに適した範囲にする．皮膚を切り開くと背筋の白い筋膜が見える．ここまでの操作ではほとんど出血はない．

(2) 椎骨背面の露出

1) 筋膜の切開：メスとハサミ（図2a，Mayoの曲型が使いやすい）を使って正中で縦に筋膜を切る．

2) 背筋の処理：脊椎の背側部（椎弓，棘突起，関節突起）を覆う脊柱固有背筋を椎骨から剥がし，外方に開く．先ず棘突起の側面で剥がし，筋を外方（側方）に押し上げながら（左手の指でガーゼを介して），右手に持った器具（刃を鈍くしたメスが使い易い）で正中から外方に剥離を進めていく．関節突起に付着している腱は付着部でハサミ

で切る（このとき血管を切らぬよう注意）．以上の操作は1～2椎骨ずつ行い，必要な範囲全体に広げていく．剥がした筋を外方に押し上げて，切除する椎骨部分をきれいに露出する．必要に応じて開創器（図2b）を用いる．出血がないか確かめ，あれば止血鉗子で止め，糸で結紮して完全に止血する．時に椎骨の外側で筋との間の深部から出血し，止めにくいことがある．綿球を骨一筋間に押し込んで出血部を圧迫すれば止まるが，血管を圧して脊髄循環に影響しかねないので，この処置は最小限に止める．以上の操作で，出血があったら直ぐに止め，失血を最少にすることが良い標本を得るために重要である．

(3) 椎弓の切除

後肢支配領域である腰膨大を露出するには，通常第4または第3腰椎から第7腰椎まで（図14）椎弓切除する．椎弓切除は，一つの椎骨ずつ，尾側から頭側に向かって切除を進める．第7腰椎（L7）は周りが狭く手術しにくいので後に回し，第6腰椎（L6）から初めてもよい．椎弓を切るとき骨の切り口から空気が吸われて塞栓症を起こすのを防ぐため，手術する部位を低い位置に保つ．

一つの椎骨，例えばL5の椎弓切除は次のように行う．先ず，左手に持った（補助者が持ってもよい）持針器（図2d）でL5の棘突起を掴み，L5の尾側部が持ち上がるように左手を回外すると，

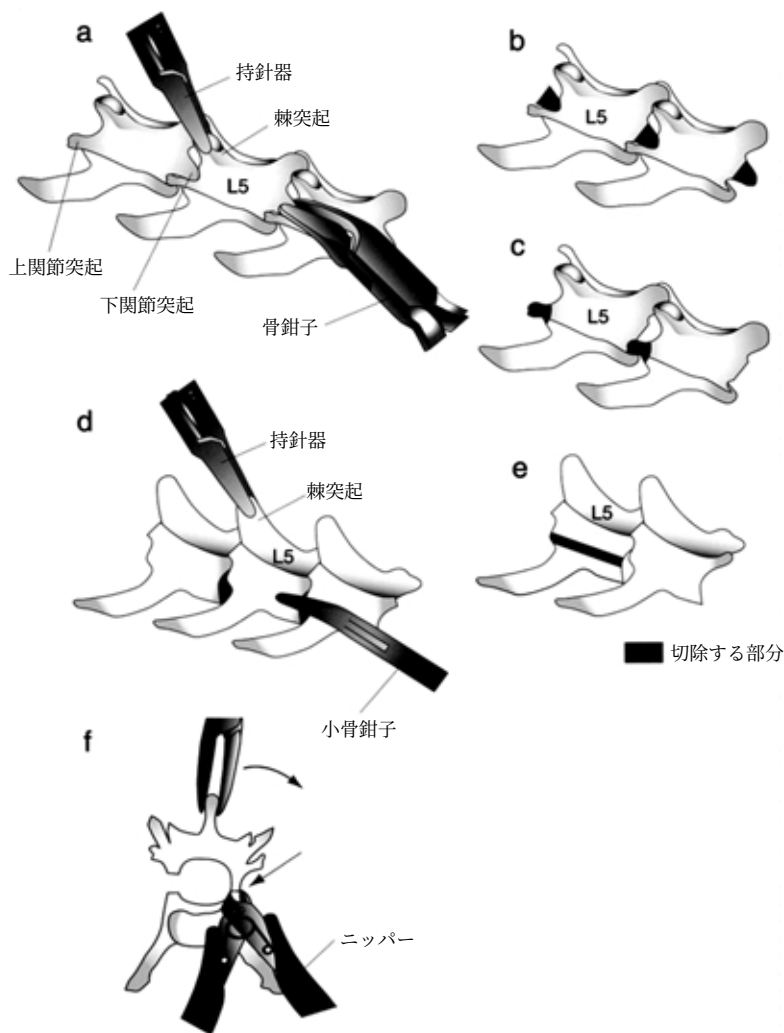


図15. 椎弓切除（腰椎）の手順

a～cは腰椎を背外方から、d～eは外方から見た図で、左が吻側、右が尾側。
fは腰椎の横断面の図。（本文参照）

L5の下関節突起の下に隙間が開く。その隙間に右手で持った骨鉗子（図2c）の片方の刃を入れ、下関節突起を切り取る（図15a, b）。こうして両側の下関節突起を切除する。その後の手術に下記の2つの方法がある。1）は基本の方法であり、2）は慣れると速い。

1）尾側から少しずつ骨鉗子で骨を切り除いていく。補助者がいるときは、補助者に持針器で棘突起を保持してもらい、術者は両手で骨鉗子を扱えば安定した操作ができる。

2）① L4の下関節突起と L5, L6の上関節突起（図15c）を両側切除する。

② 先が小さい骨鉗子（図2e）で椎弓の左側を少しずつ頭方に切除して行き（図15d）、椎骨の左側を全長にわたり切断する（約3mm幅、図15e）。

③ 棘突起を右に倒すように持針器を捻ると、左側の切り口が大きくなり、椎弓と脊髓の間が広がる（図15f）。先を細くしたニッパー（図2f）で椎弓の右側を頭方に切り進み（図16f）、椎弓全体を

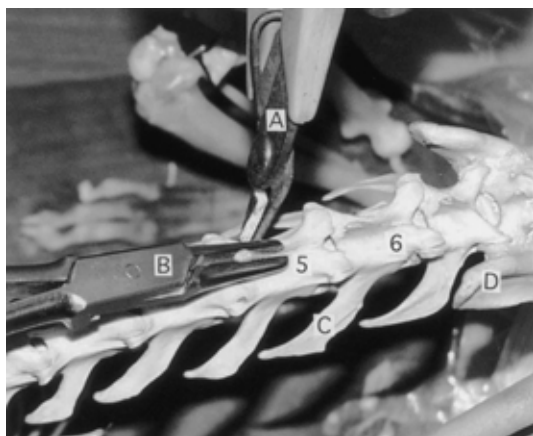


図16. 椎弓の割れを防ぐための切れ目入れ（右側）
A；ニッパー，B；持針器（棘突起を挟んでいる），
C；横突起，D；腸骨（骨盤），5；L5椎骨，6；L6椎骨
（本文参照）。

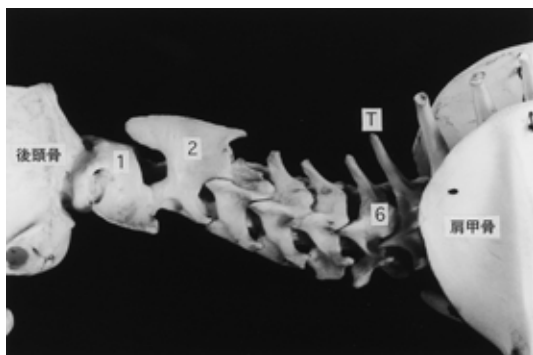


図17. 頸椎（C1～C7）とその前後
1；C1，2；C2，6；C6，T；T1，吻側に後頭骨，尾
側に肩甲骨が見える。

切り取る。ニッパーで切るとき椎弓の骨が腹方に向かって割れ，出血することが多い。この割れを防ぐため，予め右の上関節突起の基部で横断方向にニッパーで切り目（深さ2～3mm）を入れ（図16），その後に椎弓を縦に切る操作を行うとよい。

上記の手術で，骨を切ったときは骨の切断面に骨蠟 Bone waxを押し込み，空隙を骨蠟で完全に塞ぐ。この操作は，止血および塞栓症（空気や流動パラフィンの流入で起こる）防止のために重要

である。最後に大きめの骨鉗子で，骨の断端に凹凸がないよう真っ直ぐにそろえる。脊柱間内で脊髄を取り囲んでいる脂肪を注意深く取り除き，硬膜の表面を露出する。

注：上記はネコを手術台上にねかせて椎弓切除する方法であるが，ネコの脊椎を固定器に固定して椎弓切除する方法もある。この場合は棘突起を手で保持する必要がないので，骨鉗子などの器具を両手で安定して操作できる利点がある。しかし反面，周りの固定器が邪魔になって手術しにくい，脊髄根の処置がしにくい，などの難点があるので推奨できない。

(4) 手術野の掃除・止血手術野に残っている組織片（椎骨から剥離した背筋や骨片など）を除去し，出血があれば軟組織は電気凝固か結紮により止血し，骨は骨蠟で完全に止血する。

2. 頸椎（および第1胸椎）のラミネクトミー

下記の点に注意する。

- (1) 手術は，ネコを手術台上に腹臥位に置いて行っても，頭部を固定器に固定して行ってもよい。
- (2) 頸部では，尾側に行くに従って椎骨を覆う筋層が厚く，棘突起が長く，椎弓の位置が深くなる（図17）。そこで，正中で棘突起から筋を剥離した後，開創器を用いて剥離した筋を外方に払げると深部がよく見えて椎弓の手術がやりやすい。
- (3) 椎弓切除には骨鉗子を用い，尾側から頭側に向かって少しずつ椎弓を切り取っていく（上記の腰椎のラミネクトミーの（3）—1）の方法）。
- (4) 椎弓を切るとき，空気塞栓症を防ぐため，その部位の静脈圧が低くならぬよう後半身を適度に（枕を置くなどして）高くしておく。
- (5) 椎弓切断時に骨の断面から，時に椎弓内面の静脈叢から出血する。骨断面の出血は骨蠟 Bone waxで止め，静脈叢の出血はスポンゼルで圧迫して止める。これら静脈側の損傷は塞栓症の原因になるので，空気やパラフィンが入らぬよう Ringer 液で濡らしたスポンゼルや骨蠟で傷を塞ぐ。

(6) C3の棘突起の外側に筋 (M. complexus) の中を走る動脈がある。その処理に注意する。

(7) C2～C3椎間孔の外側に脊髄神経節があり、その近くを血管が走っている。この血管からの出血は止めにくいので傷つけぬよう注意する。

(8) C7～T1の椎弓を切断したとき、その機械的刺激でおそらく反射性に不整脈が起こり、死ぬこともある。この反応はアトロピンの事前投与で防止できる。

3. 胸椎のラミネクトミー

最も注意すべきことは空気塞栓症の防止である。特に心臓に近いレベルでは静脈圧が低いので、骨の切断にさいして静脈あるいは静脈叢の傷口から空気が吸い込まれやすい。筆者自身も、T5辺りのラミネクトミーを行っているとき短時間のうちにネコが死亡し、解剖したところ心臓内に相当量の空気が貯まっていた例を経験した。このような塞栓症を防ぐために、次のような措置を講じる。

(1) 頭部および後半身を高くし、それらに対し手術部位が低くなるような体位にして手術する。

(2) 最初に椎骨を骨鉗子で切断するときは、切断する部位に Ringer 液を注ぎながら、あるいは Ringer 液を溜めてその液中で切断し、Ringer 液が骨の断面から吸い込まれる程度を確かめる必要がある。吸い込みがほとんどないときは、骨を切断したら素早く骨蠟 Bone wax で断面を塞ぐというやり方で手術を進めることができる。吸い込みが強いときは Ringer 液のプールの中で骨を切断し、骨蠟の処置も液中で行わなければならない。Ringer 液が濁って見にくく、また骨切断時に液が跳ねて具合が悪いが、種々に工夫して手術するしかない。静脈叢から出血したときは Ringer 液で濡らした脱脂綿やスポンゼルで押さえて止血を待つ。止血後も濡らしたスポンゼルで覆っておく。

VI. 脊髄の手術

1. 硬膜の切開

脊髄や脊髄根を手術あるいは実験操作するため、硬膜を広く切開して脊髄を露出する必要がある。

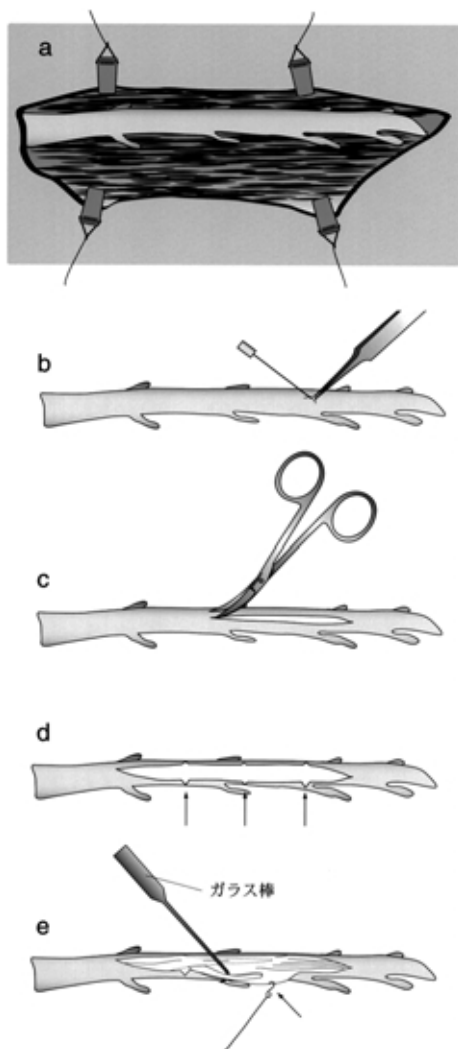


図 18. 腰髄の硬膜の切開と脊髄根の分離

a；硬膜に覆われている脊髄（ラミネクトミー後）。切開した皮膚を図 4c の開創具で摘んで開いている。b～e；硬膜切開から脊髄根分離までの操作（本文参照）。

ずる。硬膜の広範囲の切開は以下の手順（図 18, 腰髄の場合）で行う。

1) 実体顕微鏡下で行う。先端の鋭利な針（注射針の新品がよい）で正中部の硬膜を引っかけて軽く持ち上げ（図 18b）、その硬膜にバネ式微細ハサミ（図 3b）で 1mm 程度の孔を開ける。

2) 上記の小孔から吻尾方向に硬膜を小さいハサミで切開する（図 18c）。ハサミは、片刃の先端が鈍な円弧形のもの（図 3c、既製品を入手で

きないときは先端を砥石で研いで作る、鈍な刃を硬膜下に入れて切る)を使うと脊髄を傷つけにくい。硬膜を引き上げ過ぎぬよう注意する。

3) 硬膜の縦の切り口の2～3個所で、左右ほぼ対象に横方向に数mm硬膜を切る(図18d, 矢印)。このとき、脊髄表面の血流が影響されないように硬膜を切るのが理想なので、硬膜をピンセットで上下左右に動かして血流がどう変化するかを顕微鏡下で予め観察するとよい。通常、硬膜は切りを入れたらそのままにする。しかし血流が悪化したとき、硬膜を動かしてみても血流が改善されるときは、硬膜を虫ピンや釣り針一条(図18e, 矢印)などで至適な位置に固定する。

硬膜を切開すると、おそらく脊髄や脊髄根の血管に対する圧力分布が変化するため、循環が影響されて浮腫などの障害が起りやすい。浮腫を生じると安定した細胞内記録が難しくなり、甚だしいときは非切開部との境で伝導障害が起ることさえある。従って、硬膜の切開は実験の目的に応じて部位を決め、必要最小限の大きさに止めるのがよい。例えば、前根や後根を操作する必要があるときは広く切開しなければならないが、微小電極の刺入だけで済むときはそれに必要な1～2mmの円い孔を開けるだけにするとよい。

脊髄の循環障害や浮腫を防ぐには、全身の呼吸・循環状態を良好に保つことが大切である。経験的には、呼吸を過換気気味に保つと浮腫が起りにくい。

2. 脊髄根 spinal root の手術

脊髄根の刺激や記録には、根が長くて実験し易い腰膨大部(後肢支配)が最もよく用いられる。ここでは腰膨大部の根の手術について述べる。手術は硬膜を切開して行う。

(1) 根の分離

実体顕微鏡下で手術する。脊髄円錐のレベルで後根を覆うくも膜 Arachnoidea を時計ピンセット(図3a)で小さく破り、ガラスの鈎(図4a, 眼科のガラス棒をバーナーで熱して作る)を併用

して各根の間に張るくも膜を裂く(図18e)。Ringer液で濡らし先を細くした脱脂綿で後根を柔らかく背方に押し上げ、根が硬膜から出る部位(末梢端)を確認する。こうして各節の根を分離する。

(2) 脊髄節レベルの同定

各根がどの脊髄節レベルのものかを次の指標を参考にして決める。

1) L7の後根はCrista iliacaの前端を結ぶ線の約3mm尾側で硬膜を出る。

2) L7の後根は脊髄円錐のほぼ中央のレベルで脊髄に入る(脊髄円錐の形はネコによってかなり異なるので、この指標は役立たないこともある)

3) 最尾側のDenticulate ligament(Pia materが肥厚して靱帯に移行した構造で、脊髄外側表面から頭外方に延びて硬膜に付着する支持組織)はL5とL6の根の間を通る。

4) 一般にL7の後根が最も太い(L7>L6>S1)。

(3) 分節のばらつき

個体によって脊髄節 Segment の分かれ方がばらつく。分節様式が平均的な例では根の太さはL7>L6>L5≥S1であるが、postfixedの程度が強いとL7≥S1>L6>L5となり、prefixedの程度が強いとL7≥L6>L5>S1あるいはL6>L7>L5>S1となる(Romanes 1951)。節の区分けが変わると、末梢の各神経が起始ないし流入する随節が変わり、各筋の運動核の随節も変わる。したがって、例えばある筋の運動ニューロンから記録しようとするとき、平均的な分節のネコではRomanes(1951)の図(図19)をそのまま参考にすればよいが、postfixedあるいはprefixedの脊髄ではそれに応じた修正をして記録すべき随節を選ばねばならない。

(4) 後根から記録するための処置

1) 後根電位の記録：実体顕微鏡の下で、分け易い後根フィラメントを分離し、末梢端で切断する。末梢端から2mm位のところを細い糸で縛る(損傷させる)。後根電位の記録は、銀線電極の1

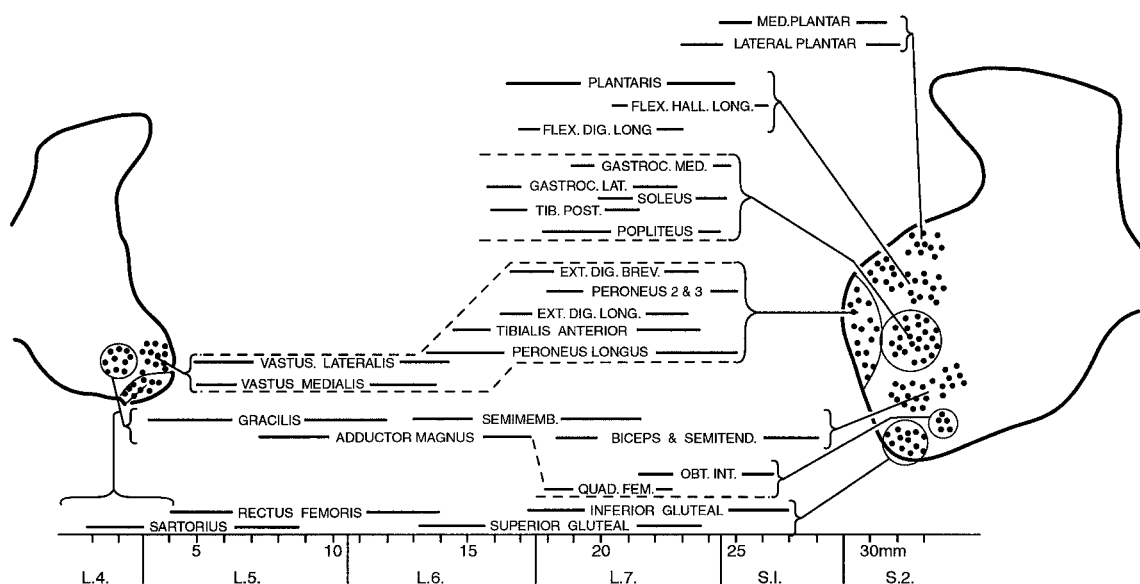


図19. 後肢各筋の運動細胞核の脊髄内位置

各筋の運動細胞核の横断面での位置を左右の図で示し、吻尾（上下）方向での位置を横線の範囲で示す。（Romanes, 1951）

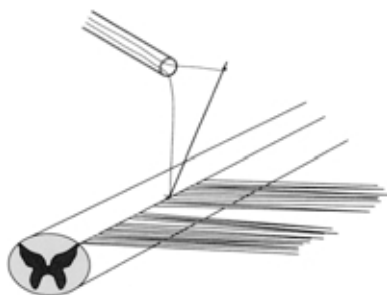


図20. 後根電位の記録法（本文参照）

極をフィラメントが脊髄に入る所に置き、他極に末梢端を懸けて行う（図20）。これは primary afferent depolarization を最も簡単に記録する方法である。後根反射もこの方法で記録できる。

2) 求心性インパルスの記録：1) と同様に分離した後根フィラメントを中枢端で切断し、銀線電極に懸けて記録する。先端を鋭利に研いだ時計ピンセットを用いてフィラメントを細くしていけば（実体顕微鏡下で行う）、単一求心性線維のインパルスを記録することができる。

（5）前根の記録・刺激のための処置

1) 前根の活動電位の記録：L7とS1は長くて記録しやすいのでよく用いられる。先を細くした脱脂綿塊で後根を背方に柔らかく押し上げると、前根の出口の部分が見える。実体顕微鏡で見ながら、左手に持った時計ピンセットで前根を数フィラメントずつつまみはさみで切っていく。一つの根を切り終わったら全部のフィラメントを摘え、末梢端から2mm位のところを細い糸で縛る（損傷させる）。目的に応じてL7とS1の両方、あるいはその1つを双極銀線電極に懸けて記録する。

2) 運動ニューロンのシナプス電位の記録：上と同様に末梢端でフィラメントを切断し、その脊髄侵入部までの周囲をよく絶縁すれば、フィラメント断端と脊髄との間の双極記録により、運動ニューロンのシナプス電位を電気緊張性に記録できる（Luscher et al 1979, Brink et al. 1983）。

3) 前根の刺激：1) のように前根を載せた電極を刺激に用いる。運動ニューロンの同定や Renshaw 抑制の誘発などに用いる。

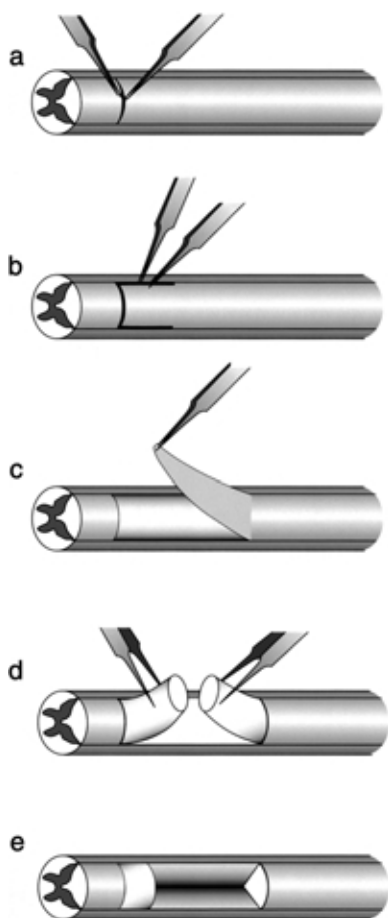


図21. 後索の分離，切断の手順（本文参照）

3. 脊髄索 spinal funiculus の手術

後肢領域の上行路や下行路を解析するために，下部胸髄－上部腰髄のレベルで脊髄索を切断し，またそれから記録することがある．以下では，このための脊髄索の手術について説明する．手術はネコを手術台上に置いて行っても，固定器に固定して行ってもよい．

(1) 後索の切断：次の手順で行う．2)～4) は実体顕微鏡下で行う．

1) キシロカインを含ませた脱脂綿の小塊を後索の表面に置き，麻酔が効くまで待つ．

2) 実体顕微鏡下で，両手に持った2つの時計ピンセットで軟膜 Pia mater をつまんで少しずつ

引き裂き，後索の幅全体にわたって軟膜を横切断する（図21a）．最初に軟膜を裂いた後，時計ピンセットと微細なハサミを併用してもよい．

3) 上記の2) で横切断した端（後索最外部で後根が入る所）から軟膜 Pia を縦に数 mm 切る（両側，図21b）．この部の軟膜 Pia を時計ピンセットでつまんで剥がし，剥がした軟膜 Pia 全体をつまみ直し，両外側を縦に切りながら尾方に引き剥がして後索表面を15～20mm 露出する（図21c）．このとき後索と側索の境で軟膜 Pia が完全に切れていることが重要である（軟膜 Pia の断端を時計ピンセットでつまみ確かめるとよい）．ここで再びキシロカイン脱脂綿を後索表面に置いて麻酔の完全を期する．

4) 両手の時計ピンセットで後索の8割位をつまみ，吻尾方向に引き切る（図21d）．同じ操作で後索の残部を少しずつ切り拡げて，後索全体を切断する．

(2) 脊髄の半側切断，側索・前索の切断：手術は実体顕微鏡下で次の手順で行う．操作はキシロカイン綿で脊髄を適切に麻酔（後索の切断の項を参照）しながら行う．

1) 前述した「後索の切断」の項1)～3) を行う．ただし，後索最外部の軟膜の縦切断を長くし（20～25mm，両側），この全範囲で軟膜 Pia を吻側から尾側に向けて引き剥がし後索表面を露出する．

2) 前述した「後索の切断」の項4) の操作（図21d）により，軟膜を剥がした後索の吻側部で後索を横切断する．

3) 横切断した後索の尾側の断端を時計ピンセットでつまみ，後上方に引き上げて後索を他の脊髄部から分離する．このとき細いガラス棒の先で後索の外側を剥がしながら後索を引き上げると分離が容易である．分離した後索を尾側で切断する．この操作で後角の背内面が露出される（図21e）．

4) 脊髄を半側切断するとき，切断する側（通常術者はその側に座る）の後角内側部を両手の時計ピンセットでつまみ引き分けて少しずつ切断して行き，中心管を見つける（または，後角背内面の正中の後交連と思われる部位に細いガラス

棒（図4a）の先を刺して中心管を探す）。

切断が中心管に達したことは随液（liquor）が流れ出ることから分かる。中心管の腹方に少し切断を拡げると、前索の内側面が見えてくる。これを確認して半側の残部を切断する。

5) 側索、前索の切断は、後索を切断してよいときは上記の手順1)～2)の後に、切断すべき側索、前索部を2つの時計ピンセットでつまみ引き分けて切断する。後索を切断しないときは、半側切断の手順1)～2)は行わず、見当をつけて同様に時計ピンセットで側索と前索を切断する。

切断部位は組織学的に確認する必要がある。

(3) 除脳標本における tonic inhibition とその経路

除脳標本ではFRA（frexor reflex afferents）の反射とIb反射が脳から下行する tonic inhibitionn によって強力に抑制されている（Eccles and Lundberg 1959）。この抑制は側索背側を下行し両側性に作用する（Holmqvist and Lundberg 1959）経路によって伝えられる。従って、除脳標本で両側の側索背側が切断されるとこれらの反射が脱抑制されて強力に生じるようになる。

(4) 後索記録のための手術（後索標本の作成）：記録すべき後索をある長さ分離し、記録電極に載せる。集合電位の記録に適している（Uddenberg 1968）。

上記の「(2) 脊髓の半側切断、…」の項1)～3)の操作を基本とし、次の点を変更する。

1) (2) の3) に記述の、分離した後索の尾側での切断は行わない。

2) 分離すべき後索の長さを長め（30～35mm）にする。

3) 軟膜Piaの両外側の縦の切断は完全に行い、後索表面の軟膜Piaは剥がさない。

4) (2) の3) の操作で、後索をなるべく真っ直ぐに保ち、軽く持ち上げて両外側を切りながら（安全剃刀の刃または細かいはさみで）分離していく。つまんだ後索を引っ張り上げるなどして曲げてはいけない（曲げると伝導ブロックが起こる）。こうして、尾側が脊髓につながり吻側が遊

離した約30mm長の後索標本を作る。

5) 分離した後索を双極銀線電極に載せて活動電位を記録する。このときも後索の曲がりを最小にするよう注意する。

(5) 側索、前索記録のための手術（側索、前索標本の作成）

上行路の活動を記録するとき：上記の「(2) 脊髓の半側切断、…」の項1)～3)の操作により後索を30～35mmにわたって除去した後、次の手術を行う。

1) 後索を除去した脊髓の吻側部で中心管を見つけ、次に左右の前索の間隙を確認（上記(2)の4)参照）した後、記録すべき側の脊髓を横切断する。

2) 脊髓を正中（交連の部分）で縦に切り分ける。側索と前索の活動をまとめて記録するときは、この半側脊髓を双極銀線電極に載せて記録する。

3) 側索、前索、またはその1部から記録するときは、その部分をハサミで縦に切り分け、双極銀線電極に載せて記録する（Holmqvist and Oscarsson 1963）。

下行路の活動を記録するとき：同様に後索を分離・切除した後、後索を除去した脊髓の尾側部で中心管を見つけ、左右の前索の間隙を確認（上記(2)の4)を参照）し、脊髓を横切断する。その

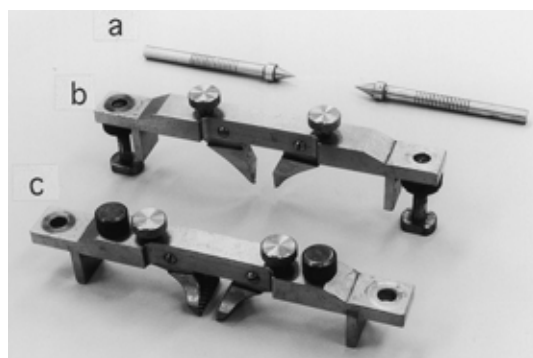


図22. 脊椎の固定具

a. 骨盤固定用のピン（腰ピン、骨盤を両側から圧して固定する）。b. 腰椎用の固定具（椎体を挟む）。c. 胸・頸椎用の固定具（棘突起を挟む）。

後は上記の(4)の2), 3)のように, しかし頭側に向かって縦に脊髓を切り分け, 電極に載せて記録する.

4. 脊髓の固定・流動パラフィンプール

(1) 固定

微小電極で単一細胞の記録を安定して行うには, 脊髓が動かぬようにする必要があり, そのため脊柱をしっかり固定する. 固定の方法は脊椎のレベルによって異なり, また同じレベルでも研究室によって様々の変法が取られている(伊藤・大島1967 pp31~33). 以下ではその一法を述べる.

1) 腰椎・骨盤の固定: 次の操作による.

①腰椎は椎体固定具(図22b)と骨盤固定用の

腰ピン(図22a)で固定器に固定する. ラミネクトミー部の1~2脊椎吻側(L2かL3, 図14)で, 椎体を両側から椎体固定具(図22b)の爪で挟み, しっかり締めて固定具を腰椎に取り付ける.

②ネコの頭, 腰, 尾, 椎体固定具を二人で持って全身を水平に保ちつつ固定器(図23a)に運ぶ. 椎体固定具の両端を固定器の左右のバー(脇棒)に載せ, そこに軽く固定する(図23a). 左右の腰ピン(図23a)は, ピンの先が腸骨外面の凹部に当たり, ストッパーが腸骨稜Crista iliacaを頭側から押さえる位置にして(図23b), 両側で皮膚の外側から骨盤を押し挟んで固定する(後に皮膚でプールを作り易いように, 腰ピンが押さえる皮膚の位置を適切にとる). この操作は2人で行い, ネコの左右から腰ピンで骨盤を内方に押しな

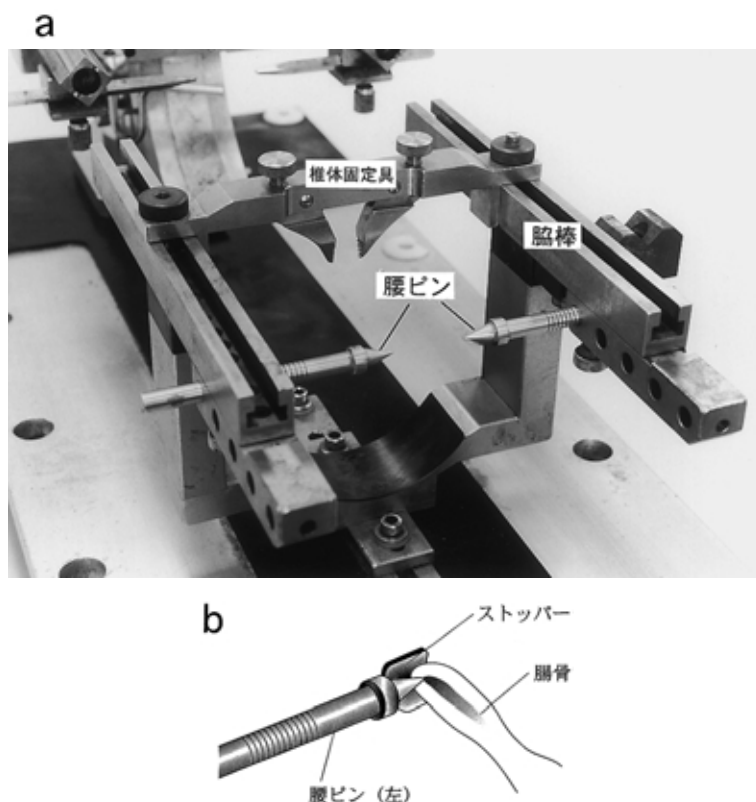


図 23

a. 固定器の腰椎固定部: 椎体固定具; 腰椎椎体を挟む固定具(図22b), 腰ピン; 骨盤固定用のピン(図22a), 脇棒; これに固定具を固定する.(本文参照) b. 骨盤固定用のピン: 図22a, 図23aの腰ピンと同じものだが, 骨盤がずれないようにするためのストッパーがついている.(本文参照)

がら、脊髓が固定器の正中に来る位置で腰ピンを固定する。

③椎体固定具の固定を緩め、それを頭方に強く引いて再度固定器に固定する。ラミネクトミー部の椎骨を指で押してみても、脊椎がよく固定されているかどうかを確かめる。

④大腿骨遠位端に通したピンを固定器に固定すると、腰椎の固定はさらに十分になる。

2) 頸椎・頭部の固定：次の操作による。

①頭部を脳定位固定装置に図24の耳棒（イヤバー ear bar）、眼窩押さえ、上顎押さえで固定する。

②棘突起固定具（図22C）で第1～3胸椎の棘突起（図17）を挟み、しっかり締め付ける。

③棘突起固定具の両端を固定器の左右のバーに載せ（図24）、尾方に強く引っ張ってバーに固定する。ラミネクトミー部の椎骨を指で押してみても、脊椎がよく固定されているかどうかを確かめる。

(2) 流動パラフィンプール

脊髓の乾燥を防ぐとともに、絶縁と保温のため、脊髓は実験中常に流動パラフィンで覆う。このた

め、正中で切開した背中の皮膚を外方に張り、固定器の左右のバーに糸で縛り付けてプールの側壁にする。皮下の結合組織は疎なので、皮膚は簡単に剥がれる。腰髄の場合、プールの流動パラフィンが皮下の結合組織を通して腹部の皮下に貯まることがあるので、それを防ぐため皮膚の剥離は最少限に止める。流動パラフィンを注いだ後、液面の上に出た生体組織はリング液に浸したガーゼで覆い保護する。軟膏様のもの（流動パラフィンとワックスを混ぜて適当な固さにしたもの）で覆ってもよい。頸髄の場合、皮膚が囲う槽の縁は低く、プールのパラフィンは脊髓を十分に覆わない。そこで、椎骨の両脇の筋（M. splenius, M. biventer-complexus など）を壁とし、あるいはその上に寒天溶液に浸したガーゼで壁を高くしてパラフィンプールを作り、脊髓を覆う。空気に接している組織はリング液に浸したガーゼまたは上記の軟膏様パラフィンワックスで覆い保護する。

5. 微小電極刺入のための処置

(1) 軟膜 Pia mater の処置

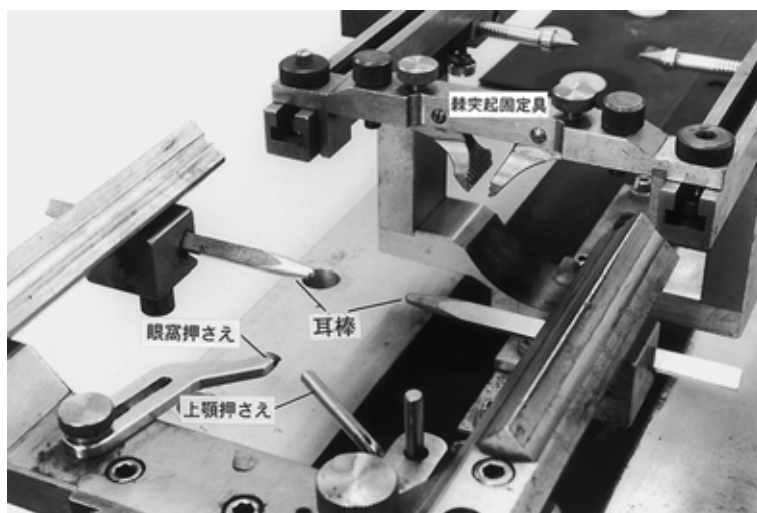


図24. 固定器の頭部・頸椎固定部

棘突起固定具；棘突起を挟む固定具（図22c）、耳棒；頭部固定用のイヤバー ear bar、眼窩押さえ；眼窩下縁を押さえる固定具、上顎押さえ；上顎を押さえる固定具。（本文参照）

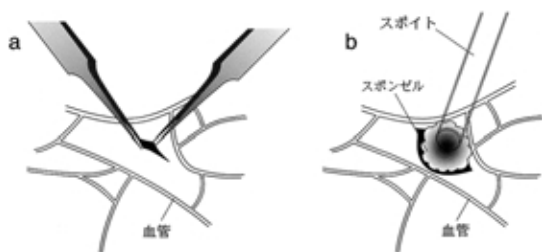


図25. Pia materの切開・除去（電極刺入用 patch の作成）（本文参照）

軟膜 Pia mater を裂いて小さな穴（パッチ）を作り、その穴から電極を刺入する。この軟膜の処置は、硬膜を広く切り開く場合も、電極刺入部のみ硬膜を除去する場合も必要である。軟膜に穴を作るには、実体顕微鏡下で血管のない場所を選び、先が鋭い時計ピンセット2本で軟膜をつまみ引き裂いて作る（図25a）。出血したときはスポンゼルの小片を用いて止血する。このとき、リンゲル液を含んだスポンゼル小片を出血部位に載せ、先の細いスポイトで吸いながらスポンゼルの押し続けると止血しやすい（図25b）。

電極を刺入するとき、電極が入りにくく脊髄表面に凹み dimple ができるのは、穴の縁近くで軟膜を押すためであることが多い。このようなときは、軟膜の除去を完全にし、あるいは穴を拡げる。ふつうは血管のない範囲で穴を拡げるが、血管（静脈）がある所に拡げなければならないときは、血管を2本の時計ピンセットでつまんで引き切り、しばらく保持していると出血しないで済み、穴を拡げ得ることがある。しかし出血すると止血しにくいので、血管を切るのはどうしても必要な時に限って行うのがよい。

(2) 電極刺入部位

後角と中間帯から記録するときは、電極は後索から刺入する。

運動ニューロンのように前角から記録するときは、電極を側索から刺入するのが好都合である。側索は後根で覆われているので、これを内背方に適度に押しやり、脊髄背面電位 cord dorsum potential 記録用の銀線電極で保持して、側索表面を

露出させる。

(3) 運動核の位置

特定の筋の運動核に電極を刺入するには、Romanes (1951) の運動核のマップ（図19）や Vanderhorst & Holstege (1997) を参考にし、運動核の逆行性フィールド電位を指標にして電極のトラックを決める。

VII. 前庭一類・眼球系の手術

1. 頭部・体幹の固定

前庭一類・眼球系の手術は、通常、頭部あるいは頭部と体幹を固定装置に固定して行う。頭部の固定には一般にイヤバーが使われるが、我々の研究のような前庭神経を扱う研究ではイヤバーは使用できない。そこで、図26bに示す固定具で頭部を保持し、それを図26aの実験台に取り付けることによって頭部を固定する。この固定具の利点は、頭部の外科手術に際し目的に応じて自由に頭部の角度を変えることが出来る点である。体幹の固定は頸椎部と胸・腰椎部で方法が異なる。頸椎の固定は図26cの固定具で第二頸椎或いは第一胸椎の棘突起を挟んで行う。胸・腰椎部の体幹は、図26cの固定具で第10胸椎棘突起を掴み、図26dの腰ピンで腸骨を両側から挟むことにより固定する。

2. 延髄表面の露出

延髄のニューロン活動を記録するために、小脳尾部と延髄を背側から露出する手術を次のように行う。外後頭隆起から第二頸椎にかけて、頸部背側の筋群をメスと双極電気コアグレータ（瑞穂医科電機、MICRO-3E）を用いて正中から左右に切開し、後頭骨、第一、第二頸椎の背側面及び後頭環椎間膜を露出する。骨膜をえいひ（鋭匙）で剝離し、後頭骨および第一、第二頸椎の椎弓を骨鉗子で切除する。頭部が心臓より高い位置にあると、静脈、静脈洞或いは板間層から空気が流入して空気栓塞を引き起こすので、骨断面にボーンワックス（Lukens, 東京エム・アイ商会）をこまめに

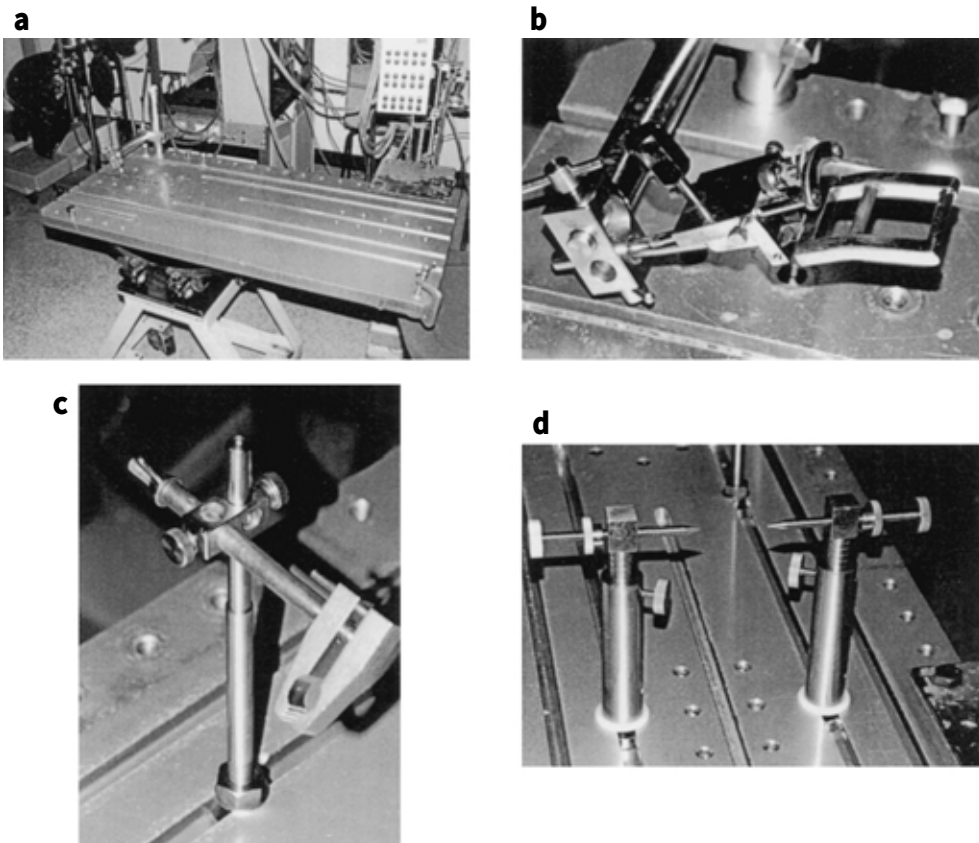


図26. 実験台と動物の固定

a. ウイルソン型実験台を改良した製品。頭尾方向の溝にボールを自由に立てることが出来る。b. イヤパー非使用時の頭部固定器。中間の横バーを下顎の犬歯の固定に用い、鼻稜を湾曲した金属で抑える。そのためには左のネジをしめる。c. 第二頸椎棘突起の固定に用いる。目的により第一或いは第二胸椎棘突起の固定にも用いることができる。d. 腰部及び下肢の固定に用いる（腰ピン）。左右の腸骨翼を上方のネジで締めつけ、下方のネジは高さの調節に用いる。a～dの製品は中島製作所製である。

塗りつけて塞がなければならない。硬膜及びくも膜を切開して、延髄並びに小脳の表面を露出し、さらに小脳虫部を吸引除去しての第4脳室底を露出する。この操作に際して後下小脳動脈は双極電気コアグレータを用いて止血することをすすめる。脈絡叢の処置は摘出が望ましい。

3. 半規管及び耳石器神経の手術と選択的刺激

頭皮を前額部から項稜まで正中切開する。その切開を左耳介後方へ拡大した後、左の側頭筋を側頭骨と項稜からえいひで剥がし、手術創を耳下腺上端まで広げる。この操作で外耳道が露出する。

外耳道を中枢端で切断し、耳介とともに吻側へ牽引する。鼓室胞に付着する頸筋をえいひで剥がし、鼓室胞を開放すると、中耳腔に耳小骨、正円窓、卵円窓を確認できる。正円窓と卵円窓の周囲の骨をドリルで削って薄くした後その骨を除去し内耳に到達する。左内耳を腹外側から実体顕微鏡で直視すると、受容器と末梢前庭神経の位置関係は図27Bのようになる。矢印の部位を注意深く剥離すると、前半規管神経（A）、水平半規管神経（H）及び卵形囊神経（UT）を分離出来る。この方向から卵形囊神経は直視出来るが、卵形囊斑は同神経に覆われて見ることは出来ない。一方、球形囊

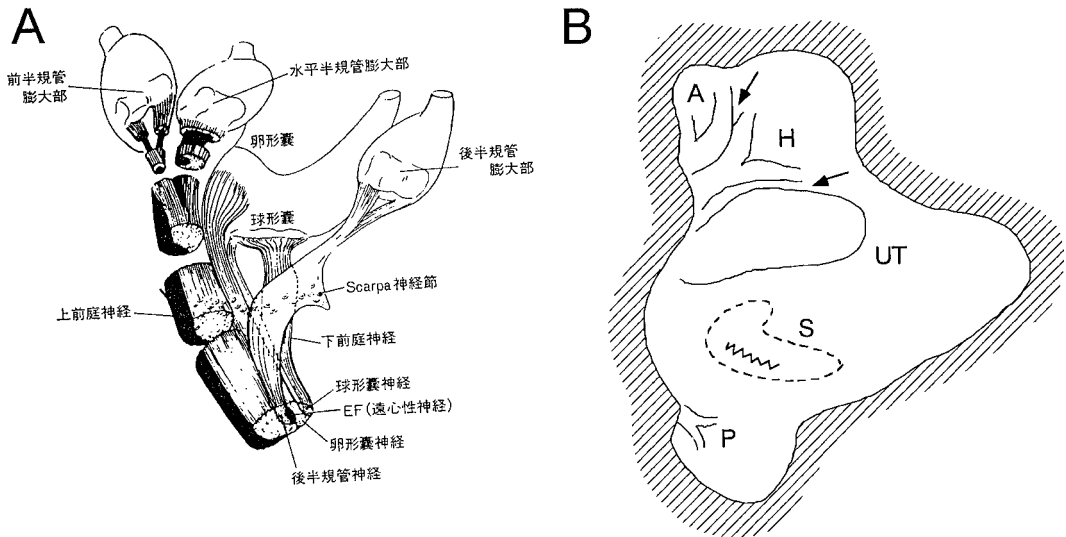


図 27

A：末梢前庭神経の走行と前庭受容器 (Gacek 1969)。B：左内耳を腹外側から見た前 (A)，水平 (H)，後 (P) 半規管神経と卵形嚢神経 (UT) 及び球形嚢斑 (S) を示す。

斑 (S) は良く確認出来るが，球形嚢神経は球形嚢斑に覆われてこの方向からは直視出来ない。球形嚢神経はジグザグで示した部位から骨を貫通して中枢へ向かう。図 27A は各種の前庭受容器とそれらを支配する前庭神経分枝の走行を示す (Gacek 1969)。

半規管神経を選択的に電気刺激する方法が Cohen et al. (1964) により開発され，それによって各半規管神経の外眼筋や頸筋に対する神経支配の様式などが調べられてきた (Uchino et al. 1982)。この電気刺激の方法は 1～3 シナプス性結合程度の比較的短い神経経路を調べるのに適している。最近我々はその方法を改良して各前庭神経を選択的に刺激する方法を確立し，とくに耳石器系の前庭動眼反射及び前庭頸反射の神経機構を明らかにした (Sasaki et al. 1991, Uchino et al. 1994, 1997a, 1997b, 内野善生 1998)。各半規管および各耳石器の神経を選択的に刺激するときの重要な問題は，刺激が他の前庭神経に及ぶ電流滑走のコントロールである。このためにわれわれが用いた方法は，1) 手術用実体顕微鏡直視下で内耳を露出し，各半規管・耳石器神経を確認する，2) 刺激に用いる以外の前庭神経を切断する，3) 先

端 50～500 ミクロンの絶縁を剥した直径 50 ミクロン以下の銀製鍼灸針を用い，電極間距離を受容器と神経の大きさに合わせ 800～1000 ミクロンにして双極性に刺激する，4) 内・外リンパ液のコントロールは脱脂綿を細くよじったもので持続吸引し，電極と神経をパラフィンワゼリン混合液で包埋する，という方法であった。この方法を用いると，電流滑走をコントロールして前庭器各神経を選択的に刺激することが比較的容易であった (Sasaki et al. 1991, Uchino et al. 1994, 1997a, 1997b)。しかし骨は良伝導体であることを念頭におき，刺激に用いる電流の量を最小にする必要がある。なお顔面神経を誤って引き抜くと脳脊髄液の噴出を見，選択的刺激が可能なよい標本を作成することは難しい。

半規管入力によって引き起こされる中枢ニューロン活動の機能的性質や動特性を調べるためには，実験動物の体全体を回転させて半規管に自然刺激を与える。回転刺激を用いる場合は，ほぼ平行する両側の半規管対 (左右の水平半規管，左の前半規管と右の後半規管，右の前半規管と左の後半規管) のいずれかを選択的に刺激する方向の回転を与える。その回転刺激に対する反応は一方の

半規管からの興奮または抑制作用，あるいは両半規管の作用の総合によると考える．ヒトやネコの場合，水平半規管を選択的に刺激するには，約28度前傾させた姿勢で水平回転（鉛直軸回りの回転）を与える．この姿勢のとき垂直半規管が最も鉛直に近く，水平回転が垂直半規管に及ぼす作用が最小になってほとんど無視できるからである．一方，垂直回転（水平軸回りの回転）を与えると垂直半規管とともに耳石器も同時に刺激されるので，半規管入力に対する応答と耳石器入力に対する応答を分離するように解析しなければならない．我々は自然刺激に関する諸問題を最近出版した著書で解説している（井須・内野1998）．

4. 動眼・滑車・外転神経の手術と選択的刺激

眼窩内で4動眼神経枝，滑車神経，外転神経をそれぞれの外眼筋から分離し，選択的に刺激することは必ずしも容易ではない．個々の神経を分離するには，まず頬骨を切除して眼窩内を出来るだけ解放し，眼窩内の脂肪も出来るだけ切除する．眼球の自由度が増したところで6つの外眼筋の末端を異なる色の糸で結紮後，それぞれを眼球から切り離す．次に視神経を結紮し眼球を摘出する．視神経の結紮はまず視神経を鉗子で挫滅させた後これを結紮し，中心動脈からの出血の危険を除く．外転神経は外直筋の近位端近くに分布し，神経が比較的短いことが特徴である．滑車神経は眼窩内を長く走行するが，太い静脈と併走しているので静脈を傷つけないようにして神経を分離する必要がある．下斜筋支配枝も眼窩内を長く走行し，比較的容易に双極電極を装着できる．下斜筋支配枝と下直筋支配枝は併走しているため分離はしばしば困難である．その場合，下斜筋支配枝と下直筋支配枝を同一の電極で刺激し，さらに下斜筋支配枝を別の電極に載せて単独に刺激することを勧める．前者と後者の刺激に逆行性応答する運動ニューロンは下斜筋運動ニューロンであり，前者の刺激にのみ逆行性応答する運動ニューロンは下直筋運動ニューロンである．内直筋支配枝と上直筋支配枝は短く選択的刺激は難しい．上直筋運動ニューロンは対側動眼神経核に存在しているので，

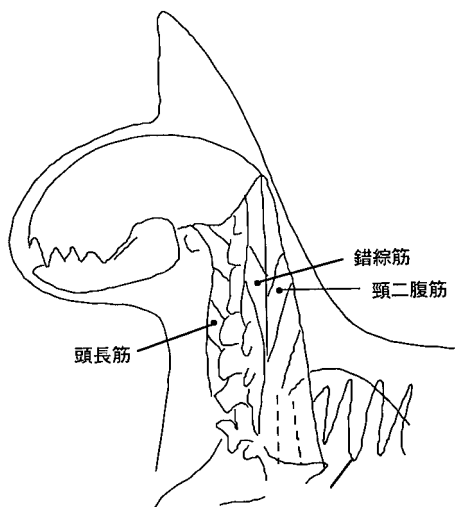


図 28

ネコ左側面から見た頸椎，胸椎及び頭蓋骨に付着する頸二腹筋，錯綜筋及び頭長筋を示す．板状筋と胸骨乳突筋並びに鼓室胞後端は図から省く（Richmond and Vidal, 1988 一部改変）．

その存在部位からの同定も可能である．ニューロンからの細胞内外記録方法の解説は船橋新太郎（1998），佐藤 斎・内野善生（1998）を参照されたい．

5. 頸筋支配神経の手術と刺激

頸の代表的伸筋は板状筋 *M. splenius*，頸二腹筋 *M. biventer cervicis* 及び錯綜筋 *M. complexus*（図28）である（Crouch 1984, Peterson and Richmond 1988）．板状筋は第一胸椎棘突起に起始し，薄い腱により項稜に終止する．頸二腹筋は第7頸椎及び第1～3胸椎棘突起先端，第2～5胸椎の前関節突起及び最後頸椎と第1胸椎の間の頸靱帯に起始し，項稜内側部に終止する．錯綜筋は第5頸椎から第3胸椎前関節突起に起始し，項稜に終わる．これらの筋を支配する脊髄神経背枝の内，C2，C3背枝は長くかつ頸二腹筋及び錯綜筋から分離しやすいので好んで刺激に用いられ，伸筋群運動ニューロンの同定に役立っている．それぞれの筋の頭頸部作動面が異なることを考えると，背枝をさらに分離して各筋の支配神経枝を刺激する実験が必要な場合もあるが，それは可能で

ある。

頸部屈筋の代表例として頭長筋 *M. longus capitis* (図28) をあげることが出来る。頭長筋は5つまたは6つの筋頭により第2から第6頸椎横突起の腹側縁に起始し、両鼓室胞の間の後頭骨体に終止する。支配神経は頸神経腹枝から分枝する。頭長筋の支配神経を刺激するにはネコを背臥位とし、気管及び食道を処理しなければならない。食道は切除し気管は側方への移動で十分である。頭長筋支配神経は細く、筋腹内で神経束となっていることは少ない。注意深く数本の神経枝を分離し、それらを束ねて刺激する必要がある。頭頸部の回旋に関与する胸骨乳突筋 *M. sternomastoideus* は胸骨柄と正中縫線に起始し、項稜外側1/2から乳様突起までの側頭骨乳突部に終止するが、ネコではあまり良く発達していない。同筋の支配神経は筋腹を分けて行くことで分離し、刺激することが可能である。以上の筋の支配神経を刺激する電極としては神経の直径に合ったサイズのトンネル電極(図7)が最適である。

VIII. 除脳ネコ標本の作製

除脳は脳幹を上位脳から離断する手術操作である。手術は術者および補助者の2名で行う。両者は予め手術の手順についてよく打ち合わせ、共通した理解をもつことが必要である。手術は全身麻酔下で行うため、麻酔深度・血圧・呼吸などの全身状態をモニターする第3者のいることが望ましい。術前・術中および術後を通して、研究者は動物に対して可能な限り苦痛を与えないように細心の注意を払う必要がある。

1. 麻酔と呼吸

(1) 気管切開まで

ネコの麻酔には吸入全身麻酔法を用いる。あらかじめ麻酔箱(30×30×25cm)を用意しておく。ネコの出し入れができるように麻酔箱の前側は上方へスライドして取り外せるようにする。また透明なアクリル板を用いるとネコの観察が容易にできる。ネコを静かに麻酔箱の中に入れてから、麻

酔箱内に循環式麻酔器に接続した吸気チューブ(silicone tube; 外径10mm)を挿入する。チューブを通して麻酔ガス(halothane; 2.5~3.0%, O₂: N₂O; 3: 3L/min)を麻酔箱内に送る。ネコは2~5分の興奮期を経て静かになり、頸部および四肢の筋トーンスを減弱する。ネコの瞬膜が眼球を覆い始めるなど、麻酔深度が深くなった時点で術者はネコを注意深く麻酔箱から取り出す。そしてネコを手術台の上で仰臥位にし、紐などを用いて四肢を固定する。この時、体温を維持するため手術台の上に保温マットをあらかじめのせておくことが望ましい。補助者は2本の管をつけたフェイスマスクを用いてネコの鼻と口を覆い、麻酔器の吸気および送気チューブをフェイスマスクの管に接続する。

ネコを仰臥位にした状態でバリカンを用いて前頸部の毛を広く刈る。手術台とネコの後頸部の間に注射筒などを枕のようにして置く。このようにすると頸部は受動的に伸展され手術野を確保しやすい。深い麻酔深度になっていることを確認してから、メスを用いて前頸部正中の皮膚を頭側から尾側方向に6cmほど切開する。皮膚を左右の外側方向へ鈍的に剥離して頸部浅層の筋群を露出する。輪状軟骨の下方にある胸骨乳頭筋 *M. sternomastoideus* と胸骨舌骨筋 *M. sternohyoideus* (Crouch 1969, 1984)を確認する。気管の前面を露出するために正中縫線 median raphe を吻側から尾側方向へ鈍的に切離し、胸骨乳頭筋の筋片を外側方向に翻転する(図29A)。露出した気管を周囲の結合組織から十分に剥離する。この際に気管前面を走る比較的大い後甲状腺静脈 thyroidea ima vein を傷つけないように注意する。

(2) 気管切開と呼気中CO₂濃度測定

周囲の結合組織から剥離した気管の下に2本の絹糸を通す。術者はメスまたはハサミを用いて気管の輪状靱帯に約半周にわたる横切開を加える。Y字型気道チューブ(外径10mm)を切開口より気管内に3cmほど挿入する(図29B)。補助者は気道チューブと気管を絹糸で結紮し、Y字型気道チューブの2つの遠位端に麻酔器からの吸気およ

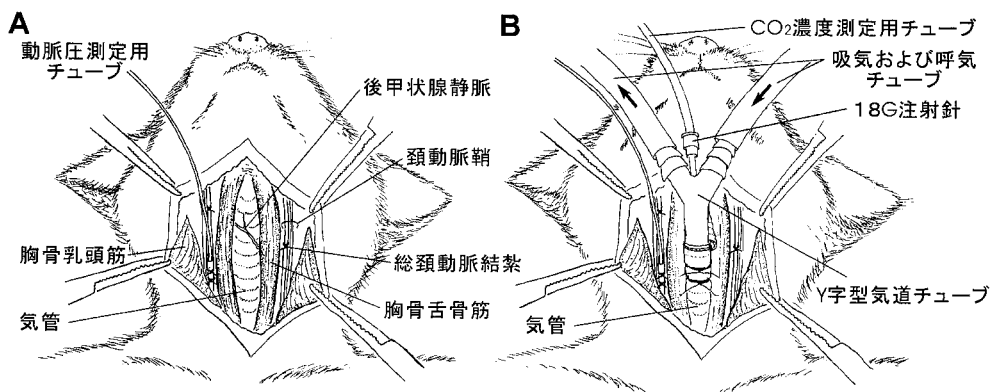


図 29

総頸動脈の結紮と気管切開。A および B のスケッチは仰臥位にしたネコ前頸部の気管とその周辺組織、気道チューブの挿入固定部位を示す。

び呼気チューブを接続する。マスク麻酔から気管麻酔への移行に伴い、麻酔ガスの流量を調節する (halothane ; 1.0 ~ 2.5 % , O_2 : N_2O ; 1.5 : 1.5L/min)。筋および皮膚を層縫合し閉創する。動脈圧測定用チューブと Y 字型気道チューブは抜管しないように下顎または上頸部の皮膚に固定する。以上の操作を終了してから、Y 字型気道チューブの分歧部に予め装着しておいた 18G 注射針に CO_2 濃度測定用チューブを接続し、呼気中の CO_2 濃度を測定する (図 29B)。

2. 総頸動脈結紮，動脈圧測定，全身管理

気管の外側に沿って走る左右の総頸動脈 common carotid artery を露出する。総頸動脈は内頸静脈 internal jugular vein, 迷走神経 vagus nerve とともに頸動脈鞘 carotid sheath に包まれている (図 29A)。そのため脈管・神経の走行に注意を払いながら止血鉗子の先端を広げて頸動脈鞘を切り開き、総頸動脈を内頸静脈、迷走神経、周囲の結合組織から 15mm ほど完全に剥離する。この操作を行う際には迷走神経を傷つけないように注意する。

(1) 総頸動脈結紮と動脈圧測定

総頸動脈から動脈圧を測定するため、動脈圧測定用チューブ (polyethylene tube ; 外径 1.3mm) を一側の総頸動脈に挿入する。血液凝固を防ぐ目

的でチューブにはヘパリンを含有した生理的食塩水を充填しておく。周囲の結合組織から剥離した総頸動脈の下に 3 本の絹糸を通す。まず 1 本の絹糸を用いて総頸動脈をできるだけ頭側部で結紮する。残り 2 本の絹糸はチューブと総頸動脈の結紮固定に用いる。補助者は 1 本の糸で総頸動脈を軽く挙上し、動脈内の血流を一時的に遮断する。術者はその遠位部で動脈壁の一部を眼科用ハサミで斜めに切開し、動脈圧測定用チューブを切開口より心臓の方向へ 4cm ほど挿入する。チューブ内へ血液が逆流するのを確認してから、補助者は挿入したチューブの遠位と近位の 2 カ所で総頸動脈をチューブに絹糸で確実に結紮する。次にチューブを血圧測定装置の圧トランスデューサーに接続し、動脈圧が正しく測定されていることを確認する。この時の収縮期血圧は 120 ~ 160mmHg である。これらの操作を終えた後に反対側の総頸動脈を結紮する。左右の総頸動脈を結紮することにより脳幹を離断する操作 (後述) に伴う出血を最小限に抑えることができる。

(2) 全身管理

麻酔ネコを全身管理するため、上記のように呼気中 CO_2 濃度と動脈圧を測定し、血圧は 120 ~ 160mmHg, 呼気中 CO_2 濃度は 3.5 ~ 4.5 % の範囲に維持する。これに加えて、以下の 3 つの操作を行う。1) 体温測定用プローブを直腸内に留置す

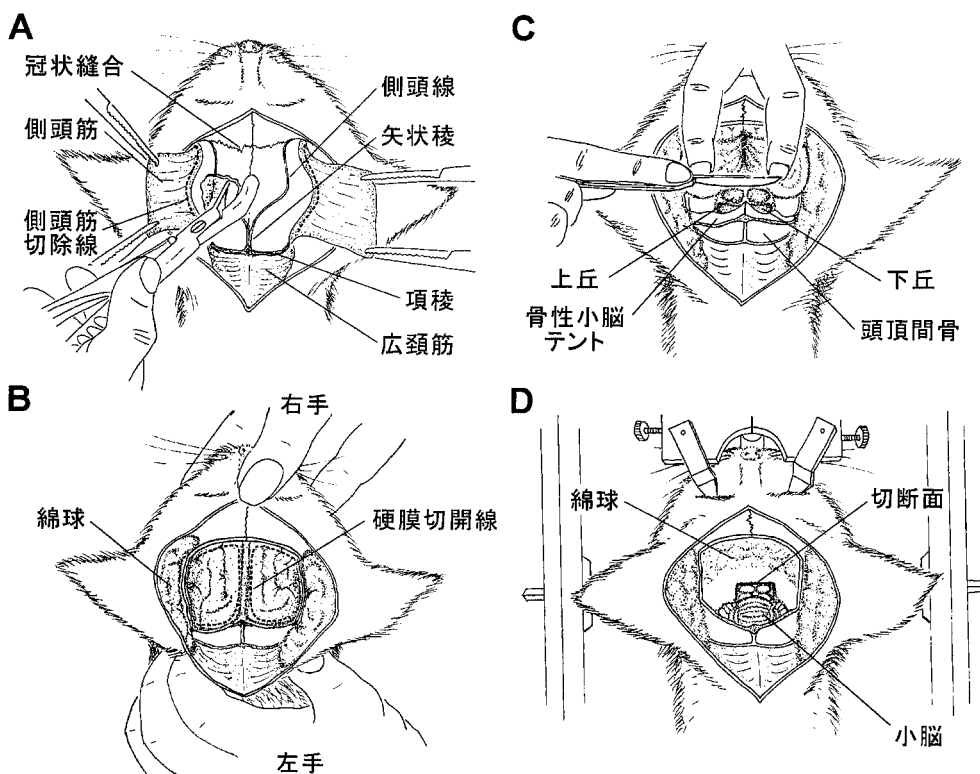


図 30

大脳半球の露出，除脳操作と頭部固定。AおよびBのスケッチは腹臥位にしたネコの頭蓋骨除去の方式を示す。Cのスケッチは四丘体の前縁に沿って置くメスの刃の位置を示す（左右大脳半球の後縁を軽く前上方に挙上している指の位置に注意）。Dのスケッチは頭蓋腔に充填した綿球，脳幹の離断面，露出した小脳の相対的位置を示す。

る。体温は38℃に維持する。2) 尿カテーテル (polyethylene tube；外径1.3mm) を膀胱内に留置して尿量を測定する。3) バリカンを用いて一側の前腕の毛を刈り，皮膚を切開して橈側皮静脈 cephalic vein を露出する。静脈内留置針（サーフロ；22G）を露出された静脈に刺入，装着する。この静脈ルートから炭酸水素ナトリウム (0.84g/100ml) を含む5%糖液などを持続的に点滴 (1～3ml/kg/hr) する。点滴速度は血圧と尿量の測定値により随時調節する。

3. 頭蓋骨の露出，除去

(1) 頭蓋骨の露出

ネコの体位を仰臥位から腹臥位へ注意深く変換する。バリカンを用いて広く後頸部および頭部の

毛を刈る。術者はメスを用いて前頭部から後頸部までの頭皮を正中で吻側から尾側方向に8cmほどの皮膚切開を設ける。ハサミなどを用いて前方は顔面頂部，外側は耳介基部，後方は後頸部まで頭皮を広く結合組織から剥離する。そして矢状稜 sagittal crest に起始する頸楯状筋 M. cervicocuticularis，浅頸耳筋 M. cervicoauricularis superficialis などの筋群を露出する。これらの筋群の起始部を矢状稜および項稜 nuchal crest に沿ってハサミで切断し外側に寄せる。この操作によりその下層にある左右の側頭筋 M. temporalis を露出する。メスを用いて両側の側頭筋腱をその起始部（側頭線 temporal line，矢状稜および項稜）に沿って切断し，骨鋭匙を用いて左右の側頭筋を外側に向かって頭頂骨から剥離する（図30A）。剥離

した筋の基部を一部ずつ止血鉗子で挫滅し切断する。この操作を繰り返して剥離した側頭筋を完全に切除する（図30A；破線）。筋の切断端から出血した場合には電気メスなどを用いて凝固止血する。さらに冠状縫合 coronal suture より尾側の骨膜と矢状稜に付く筋および腱を除去する。矢状縫合の両側にある頭頂孔 Foramen parietale へは、空気塞栓（後述）を防止する目的と、止血の目的で骨蠟（ボーンワックス）を注意深く擦り込む。

（2）頭蓋骨の除去

頭部の静脈圧は頭位に強く影響される。静脈圧が陰性になると、切断された軟部組織の静脈や開放された骨髄腔の断端などから空気が静脈系に吸入され、右心房内へ流入する危険がある（空気塞栓）。逆に頭位が低すぎると不必要な出血を促してしまう。補助者はこれらの点を考慮し、手術中ネコの頭部を図30Bに示すように左右の手で持ち、手術台から5～10cmの高さに保持する。切断時の骨断端からの出血を少なくするため、麻酔深度を調節し、収縮期血圧を100mmHg前後に維持する。図30Bに示すように綿球を側頭筋の切断断端上に置いておくと、骨断端からの出血を吸収するため手術野の確保に役立つ。

術者は大小の骨鉗子（長さ18cm, 15cm）を準備する。大きな骨鉗子の先端を研磨してその厚みを減らしておくと、先端を頭蓋内に挿入する際に脳を強く圧迫する危険が少ない。まず小さい骨鉗子を用いて、その先端を錐の先の様に回転させながら、頭蓋骨に小孔を設ける。小孔周囲の頭蓋骨を注意深く除去して、その小孔を適当な大きさになるまで広げる（図30A）。小孔が十分に広がったところで、吻側は冠状縫合から尾側は骨性小脳テント cerebellar tentorium と頭頂骨の縫合部まで、外側は頭蓋底部（側頭筋の切断端）近くまで、大きな骨鉗子を用いて頭蓋骨を広く摘除する（図30B）。このような手術操作を行い、硬膜に覆われた左右大脳半球を露出する。頭蓋骨を除去する際に、骨断端にもボーンワックスを注意深く擦り込む。小脳テントと頭頂骨が縫合する頭蓋の正中部位では空気流入が起こりやすいので、とく

に注意を払う。

4. 除脳

除脳に用いるメスの刃をあらかじめ砥石などで鈍磨しておく。鋭いメスの刃を用いると脳幹を上位脳から離断する際に、脳底動脈系および頭蓋底の硬膜を傷つけてしまう危険がある。脳幹の離断に先立ち頭蓋腔を充填する目的で大小の綿球を用意しておく。補助者はネコの頭部を脳定位固定装置に固定した頭位とほぼ等しい位置（方向および傾き）に保持する。脳幹を上位脳から離断するまでの操作（除脳操作）は、四丘体 quadrigeminal body の露出と、上位脳からの脳幹の離断という2つの段階に分けることができる。以下の操作手順の記述は、術者がネコの左側に立ち、補助者が右側に立って手術操作するときのものである。

（1）四丘体の露出

四丘体を露出する操作は以下の3つの手順で進める。1) 術者は左右の大脳半球を覆う硬膜を眼科用ハサミを用いてそれぞれコの字形に切開し（図30B；破線）、大脳半球を露出する。切開した硬膜片は外側方向に翻転して側頭骨の骨断端を覆うようにする。この操作により骨断端からの空気流入を防止することができる。2) 術者は右手にメスを持ち、メスの柄の後端を左側の後頭葉と骨性小脳テントとの間に挿入する。次に左後頭葉の後縁を前上方へ軽く持ち上げて、メスの柄と小脳テントの間にできた間隙に左手の示指を入れる。右後頭葉に対しても同様の操作を行い、右後頭葉と小脳テントの間には左手の中指を入れる。これらの2本の指を用いて左右の後頭葉を軽く上前方へ持ち上げると四丘体が露出できる（図30C）。四丘体を直視下に確認した後、正中部の大脳・小脳テント間をつなぐ大脳鎌 Falx cerebri を右手のハサミで切断する。綿球などを用いて四丘体上の血液を除去する。3) 補助者は右手の母指と示指を用いて左右椎骨動脈を環椎および軸椎の横突起間で圧迫する準備をする。この圧迫操作により脳幹切断に伴う頭蓋腔内での出血を最小限にすることができる。

(2) 上位脳からの脳幹の離断

補助者の準備ができたところで除脳操作に移る。この操作は以下の4つの手順で進める。1) 補助者は術者の指示に従って左右の椎骨動脈を圧迫する。術者は右手のメスの刃を四丘体の吻側部に沿って置き(図30C), そのまま刃をほぼ垂直に頭蓋底まで軽く押し進める。この操作によって脳幹が上位脳から離断される。さらに脳幹の左右外側部をそれぞれ切断する。これらの離断が不完全な場合には、切断した大脳および間脳を頭蓋腔から円滑に取り出すこと(後述)ができない。吻・尾側方向の脳幹切断レベルは実験の目的によって変える(Wang et al. 1956)(例; 上丘 superior colliculusの前縁切断, 下丘 inferior colliculusの後縁切断, 上丘~下丘間切断)。2) 次に術者はメスの柄の後端を左頭蓋底に当たるまで挿入する。挿入したメスの柄を左から右へ頭蓋底に沿って滑らせ、視交叉を鈍的に切断する。メスの柄が右頭蓋底に到達したところで、左右後頭葉を保持している左手の2本の指とメスの柄とを上前方に持ち上げ、切断した大脳および間脳を一塊にして頭蓋腔から取り出す。3) 頭蓋腔には大小の綿球を充填し、頭蓋底の硬膜などを圧迫する。そして補助者は椎骨動脈の圧迫を解除する。これら一連の操作に習熟すると、1) から3) までの操作を約15秒程度で完了することができる。この時間を短縮することが脳幹切断後に起こる血圧低下を最小限にするために必要である。綿球の充填に際しては脳幹の切断端を圧迫しないようにすることが重要である。また充填した脱脂綿に生理的食塩水を湿らせると圧迫・止血効果が増す。4) 摘出した左右脳半球の腹側面を注意深く観察し、とくに乳頭体と切断面の位置関係を確認する。

四丘体(上丘)の前縁で脳幹を切断した場合には、取り出した間脳の腹側に乳頭体が付着している。このようなレベルで脳幹を切断した除脳ネコを上丘前縁・乳頭体後縁切断ネコ precollicular-postmammillary decerebrate cat と呼ぶ。上丘前縁・乳頭体後縁切断ネコにおいて脳内の特定部位、たとえば小脳歩行誘発野 cerebellar locomotor region (CLR) や中脳歩行誘発野 mesen-

cephalic locomotor region (MLR) などを連続的に微小電気刺激すると、流れベルト上で歩行運動を誘発することができる(Mori 1987, 1989, 1999, Shick & Orlovsky 1976)。なお上丘前縁・乳頭体前縁除脳ネコ precollicular-premammillary decerebrate cat では流れベルト上での自発的な四足歩行運動がしばしば観察される。このように歩行運動の発現様式は脳幹の切断レベルで変わることに注意を払う必要がある。

5. 脳定位固定装置への固定、小脳テントの除去

除脳後はガス麻酔を中止する。除脳直後では、多くの場合血圧は一過性に低下するがその後次第に回復する。ネコの血圧が100mmHg以上まで回復したところでネコの頭部を脳定位固定装置に固定する(図30D)。さらに下部頸椎から上部胸椎まで(C8~Th3)の棘突起、下部胸椎から上部腰椎まで(Th13~L2)の椎体および下部腰椎(L6, 7)の棘突起を脳定位固定装置に固定する。頭部および脊柱をともに固定してから、骨性小脳テントを除去する。まず頭頂間骨と小脳テントが縫合する頭蓋の正中部(図30C)において、小さな骨鉗子を用いて骨を除去し、小孔を設ける。この小孔を手がかりに、小脳テントをその前縁から頭頂間骨との縫合部まで広く除去し、硬膜に覆われた小脳を露出する(Mori et al. 1999)。小脳を覆う硬膜は正中で吻側から尾側方向に切開し、続けて正中から骨性小脳テントの断端に沿って外側へ切開する。硬膜片は左右外側方向に翻転して小脳テント外側部の骨断端を覆うようにする。これらの操作により吻側3分の2の小脳皮質が直視できる(図30D)。頭頂間骨と小脳テントが縫合する頭蓋の正中部では頭部静脈系への空气の吸入がおこりやすいので、ボーンワックスを骨断端へ頻回に擦り込むことが重要である。また左右の項稜に沿った骨断端は生理的食塩水を含んだ脱脂綿で覆うとよい。

上丘前縁・乳頭体後縁切断ネコで制御歩行運動を誘発する場合には、頸部および上位頸椎の棘突起を固定装置に固定し、腹部はゴムベルトで支持する(Mori 1987, 1989, Shick & Orlovsky 1976)。

前および後肢は流れベルト上に置く。運動細胞や
 介在細胞から細胞内外の記録を行う場合は、しば
 しば筋弛緩剤を静注し除脳ネコを無動化する
 (Sakamoto et al. 1986, Takakusaki et al. 1989)。
 この際にネコの呼吸は人工呼吸器を用いて管理す
 る。血圧は120～160mmHg, 呼気中CO₂濃度は
 3.5～4.5%の範囲に維持する。なお除脳標本は体
 温を自律的に維持できないため、赤外線ランプや
 保温マットなどを用いて保温する。露出された小
 脳および四丘体の表面が乾燥しないように、それ
 らの表面に恒温槽で38℃に温めた生理的食塩水
 を頻回に注ぐようにする。

本章で記した手術に必要な機器、器具、材料な
 どは下記のとおりである。

手術用機器

循環式麻酔器	体温制御装置 (保温マット, 赤外線ラ ンプ)
血圧測定装置	CO ₂ 濃度測定装置
バリカン	電気メス
脳定位固定装置	恒温槽

手術器具

メス	眼科用ハサミ
(先端鋭, 先端鈍)	
ハサミ	頭蓋骨膜剥離子
丸のみ鉗子	止血鉗子
(大・小)	
持針器	骨鋭匙
ピンセット	マイクロピンセット

その他

手術台	麻酔箱
注射筒	5%ブドウ糖溶液
7%重炭酸水素	ヘパリン
ナトリウム溶液	
生理的食塩水	小児用点滴セット
静脈用留置針(22G)	動脈圧測定用チューブ
Y字型気道チューブ	フェイスマスク

尿カテーテル	絹糸
縫合針	ガーゼ
脱脂綿	骨蠟(ボーンワックス)

IX. 大脳の手術

1. 準備と麻酔

手術の前々日までに十分に飼料と水を与える。
 麻酔・手術中の嘔吐による窒息などの事故防止の
 ため、手術前日は絶食させる。麻酔のかかった時
 点で腹腔内に5%グルコース液(大塚)や生理食
 塩水を輸液(20mL程度)する。術前に抗生物質
 の筋注(セファメジンα注射用, 藤沢)をする。

ネコはネンブタールにより安定した麻酔が可能
 である(但し、ケタミン導入後に使うと高頻度に
 呼吸抑制が起こる)。呼吸抑制時は気管挿管(カ
 ニューレを気管に挿入)して呼吸器につなぎ人工
 呼吸する(図31左)。自発呼吸が回復したら抜管
 し、呼吸器をはずす。急性標本では筋弛緩剤を用
 い人工呼吸を続けた方が安全である。麻酔薬は必
 要量を一度に与え(ネンブタール; 35mg/kg,
 投与総量50mg/kg以下)、効かない場合は半量ず
 つ追加する(少量ずつ頻回に追加すると危険)。
 必要に応じて局所麻酔剤としてキシロカインゼリ
 ー(塩酸リドカイン, 藤沢/アストラゼネカ)を
 用いる。医用ネンブタールは習慣性のため生産中
 止されたが、獣医用は入手できる。

麻酔時は体温保持に十分に注意する(図31右,
 37度程度)。手術台は保温装置付が望ましいが、
 なければ足温器等のヒーターをビニールで包み、
 動物との間に新聞紙等をはさみ感電・低温火傷に
 注意して用いる。上から赤外線ランプ(又はZラ
 ンプ)で保温する。体温が35度以下に下がると
 予後が悪い。また、ネンブタール麻酔の場合は、
 翌日までその影響が残るので、慢性実験では1日
 以上経ってから実験を行うように注意する。急性
 実験では全身管理が重要で、心電図・脳波・血
 圧・体温をモニタ・記録する。人工呼吸を行う場
 合には、炭酸ガスモニター(日本光電など)を用
 い、適正な呼吸を維持する。血中酸素濃度が下が
 ると、ニューロン活動は選択性が減少し、バース

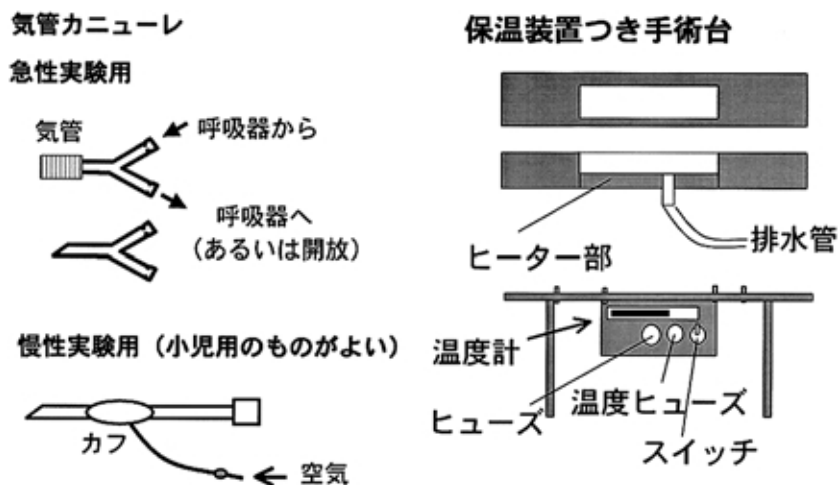


図31. 気管カニューレと手術台

ト放電が多発するようになる。

2. 消毒

消毒は重要である。感染が起こると以後の実験が困難となる。器具や糸などは乾熱滅菌する。リンゲル液は市販の消毒済みのものを使うか、ビーカーに入れ、アルミ фольで蓋をして滅菌する（蓋つき容器は乾熱滅菌中に破裂する）。脱脂綿などはアルミ фольで包むと湿らない。乾熱滅菌できない機器等は5%ヒビテン液（アイ・シー・ファーマ／住友製薬）やイソジン液（明治製菓）につけておく。手術野の消毒はリパノール、術者の消毒は稀釈オスバン液（日本製薬／武田薬品）を用いる。手袋（手術用手袋、又は東レなどのプラスチック手袋をオスバン液で消毒）とマスク（活性炭マスク、日本メディコ）を用い、人とネコの間での感染（猫では少ない）を防ぐ。手袋等はこまめに消毒し、消毒した布やアルミ фольで手術部以外を覆う（図32）。アルコール等で電極の先を消毒、アルコールを揮発させてから刺入する。消毒が不完全な場合に脳に膿胞が生ずることがある。

3. 皮膚・筋

毛は感染源になるので剃る。できるだけ出血させないことが手術の基本である。皮膚は正中部を

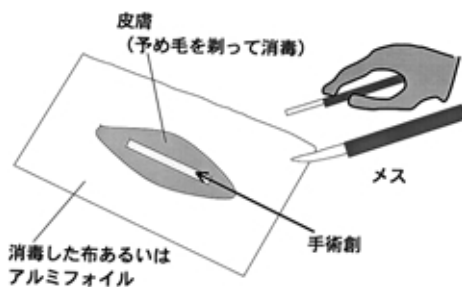


図32. 皮膚の切開

切ると出血が少ない。筋はできるだけ切らないで分ける（鋏を開くように使う）。必要に応じ鋭匙を用い、骨との付着部で筋を剥がす（図33右上）（腱で付いているので、出血が少ない）。骨からの出血はボーンワックス（LUKENS、輸入元は東京エム・アイ商会）をすり込んで止める。太い筋を切るときは止血鉗子2本で筋腹を挟み、その間を切る（図33左上）。鉗子は5-10分留置し、はずす（覚醒後に再出血する場合があるので注意）。間違って血管を切った場合には止血鉗子で出血部をつまみ、糸で結んで止める（図33下）。なお、露出部の乾燥を防ぐため温かいリンゲル液で濡らしたガーゼで筋などを覆う。

慢性実験の場合には、側頭筋をできるだけ無傷で温存する。この筋は咀嚼に重要な働きをするので、傷むと回復後の摂食に差し支えるからである。

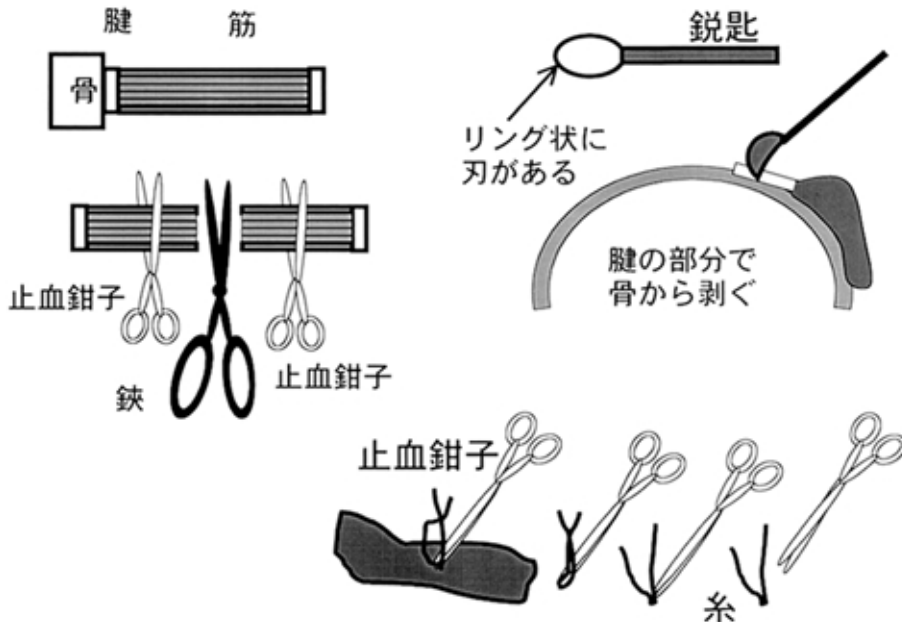


図33. 筋の処理

4. 開頭術

(1) 脳定位固定装置への固定

ネコの頭部を脳定位固定装置（例えば成茂科学のSN-2；視覚実験には前方の開いたSN-3が良い）に固定する。この装置では、両耳（イヤバー）、眼窩下縁（アイバー）および上顎（顎バー）で頭を固定する（図34）。脳定位座標の原点は両方のイヤバーが正中で合する点から10mm上である。

イヤバーを挿入する時には、外耳道の曲がり方を考慮して、最初は真っ直ぐに、次いで下・前方へ向けて挿入する。イヤバーには目盛りがあるので、左右の目盛りの読みが等しくなるように止める。前方からネコの顔をみて傾いていないことを確かめる。傾いているときはイヤバーが正しく装着されていないことが多いので、再度試みる。

眼窩下縁の止め方は重要で、できるだけ下眼瞼の軟部組織のたるみを避け、アイバーを眼窩下縁の骨の上に接触させ、その上で顎バーをできるだけ上方に持ち上げる。アイバーが正確に止まないと頭が垂直正中面内で回転することになり、脳定位座標系から大きくずれてしまう。なお、眼球は眼軟膏などを用いて、乾かないように保護

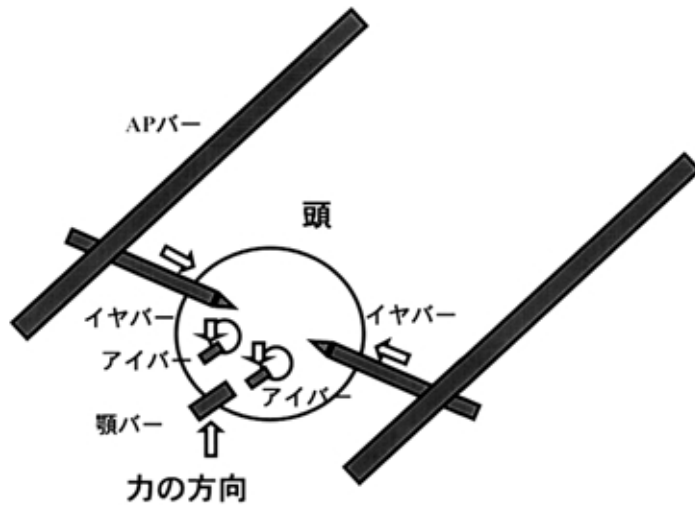
する。頭を手で動かしてみて、ぐらぐらせず、しっかりと固定されていることを確かめる。

アイバー、イヤバー、顎バーはいずれも固定装置に固定される（図34）。APバー（図34）には目盛りがふつてある。APバーには刺激電極や記録電極を取りつけることができ、附属装置を用いて電極の先端を脳定位座標の任意の位置に持っていくことができる。これらの操作は当然、麻酔下で行うが、接触部にはキシロカインゼリーなどの局所麻酔剤を用いることが望ましい。

(2) 開頭手術時の注意

開頭すべき目標部位を脳定位固定装置で定め、頭蓋骨に鉛筆で印をつけて開頭術を行う。頭蓋骨正中部には硬膜静脈洞があるので、中央部数ミリは開頭を避ける。頭蓋骨の切断や穴開けには小型デンタルドリル（木工用でよい）を用いると便利である（図35）。先端部の歯は歯科用のスチールバー（7番・8番、DENPLY）を用いる。手がすべっても事故が起きないようにドリルを両手で扱い、片手でドリルを押さえるようにする（図35）。

頭蓋骨を削る時に骨の板間層から出血する。放



顎バー、アイバーはともに、APバーに固定されている。

図34. 脳定位固定装置

イヤバーで左右の位置を合わせ、アイバーと顎バーで前後面内での回転を止める。APバーに刻まれた目盛りで脳定位固定座標を合わせる。上下方向の座標は附属装置を用いて、合わせることができる。

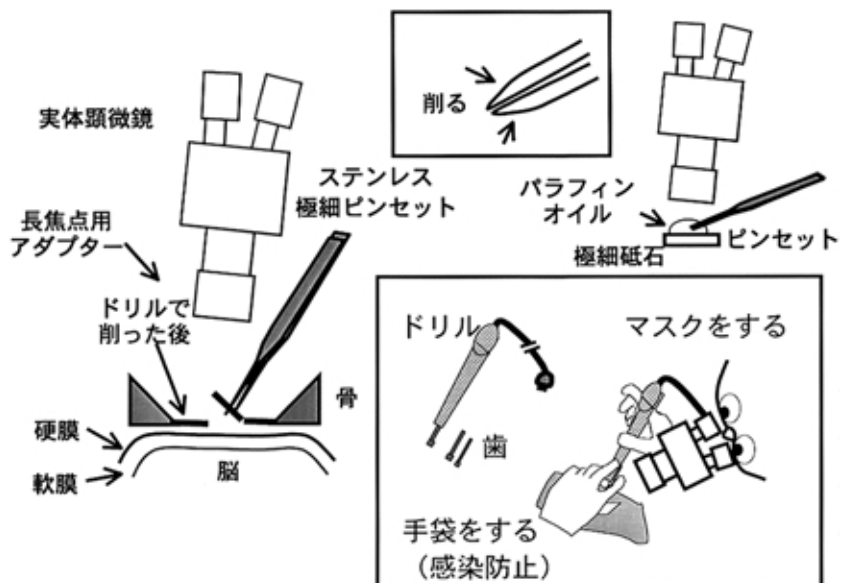


図35. 頭蓋骨と硬膜の手術

顕微鏡下で時間をかけてでも丁寧に行うことが脳への損傷を防ぎ、ニューロンの生理的活動の記録を行うための基礎となる。極細（5番）のステンレスピンセットの先（外側）を細かい砥石で尖らせて使う。硬膜の手術はできる限り注意深く行い、出血をできるだけ避ける。

置すると空気が吸込まれ、脳や臓器の血管に気泡による塞栓が生じるので、ボーンワックスで止血する。

ニューロン活動記録や微小刺激を行う実験の場合は、生物用実体顕微鏡を用いて特に丁寧に手術する（対物レンズ側に長焦点アダプタをつけ作業スペースを確保）。顕微鏡下で頭蓋骨を薄くなるまで削り、最後に血管に注意しながら骨片をピンセットで慎重に剥がす（図35左）。出血すると視野が悪くなり、また止血操作で脳表面に触れると局所脳血流が悪化するので、出血を起こさぬよう注意する。

(3) 記録・刺激部位の決定

脳幹ではネコの脳定位固定アトラス（Snider and Niemer, 1961）に従って正確に座標を決めることができる。しかし大脳は個体差が大きいので、脳定位座標はあくまでも目安であり、脳溝の走行を観察して電極刺入部位を決定する。脳表面の血管は脳溝に沿って走ることが普通であるが、そうでないこともあるので注意を要する。

なお、部位によって脳領域と脳固定座標系との関係を示した論文がある（たとえば、V1についてはTusa et al. 1978; lateral suprasylvian cortexについてはPalmer, et al. 1978）ので、当該論文を参照することを推奨する。

5. 硬膜の扱い

ガラス管微小電極、あるいはtungsten-in-glass電極（Stony, et al. 1968）の刺入などのために硬膜を切る時には、電極の太さにもよるが、1箇所の切開部分の直径を2～3mm以下に押さえる。なお、tungsten-in-glass電極のガラス管は2mmで中芯のないものが良い。

硬膜を切るには、市販の角膜剪刀（使い捨てのものが比較的安価、Ophthalmic Knife, 15°, Alcon）、顕微鏡下で研いで先を尖らしたピンセット（図35右）、またはガラス棒を細く引き伸ばして鋭利にしたものなどを用い、顕微鏡下で操作して硬膜に裂け目を作る。硬膜を5mm以上切ると脳圧で脳が次第に切開部から突出し、変形・圧

迫の危険性が高いので、電極を刺す都度、硬膜に小さな穴を開けるようにする。脳表面にピンセット等で触れると脳実質障害や局所血流障害を起こし、表面近くのニューロン記録はできなくなる。万一、硬膜や脳表の血管から出血した場合には脱脂綿を細かく丸め（米粒状）暖かいリンゲル液に浸し絞ったものを出血部の上におき、しばらく待つ。硬膜も脳表面も乾燥は厳禁である。体温程度に保温したリンゲル液を用意し、脱脂綿を薄く剥いだものを浸し、軽く絞って覆う。

6. 局所破壊

電気凝固では、破壊すべき脳部位に刺入した電極よりミリアンペアのオーダーの直流電流を通電して（脳内電極が負）局所破壊を行う。破壊前にニューロン電場電位の記録や微小電気刺激等により電極の部位を確認する。電流をモニタし、必要に応じて極性を逆転する等により通電と共に生じる電極先端の逆荷電膜を壊す。1mAを5分程度通電すると直径1mm程度の破壊巣ができる。吸引など機械的方法で脳の局所破壊を行う時は、先を細くしたガラス管等を吸引装置の先につけ、血管を避けながら吸引する。必要に応じ、予め血管を結紮する。

7. チェンバー等の取り付け

(1) 密閉式チェンバー

慢性実験で安定にニューロン活動を記録するには、密閉式チェンバー（成茂科学、中沢製作所など）を角度を確かめて頭蓋骨に固定する（図36）。密閉式チェンバーは、特定のマニプレータと組み合わせで用いる。もともとNIHのエパーツが開発したものであり（Evarts, 1968）、成茂科学の場合は元来のエパーツ型（MO-9）のものもあるが、その改良型（MO-95）の方が使いやすい。なお、小型化したもの（MO-99）は壊れやすいのでネコには向かない。

チェンバーが骨と密着しない場合は、濡らした脱脂綿等（デンタルセメントは水気があると固まらない）で脳表面を厳重にカバーし、固めに練ったデンタルセメントで土台を作り、セメントが固

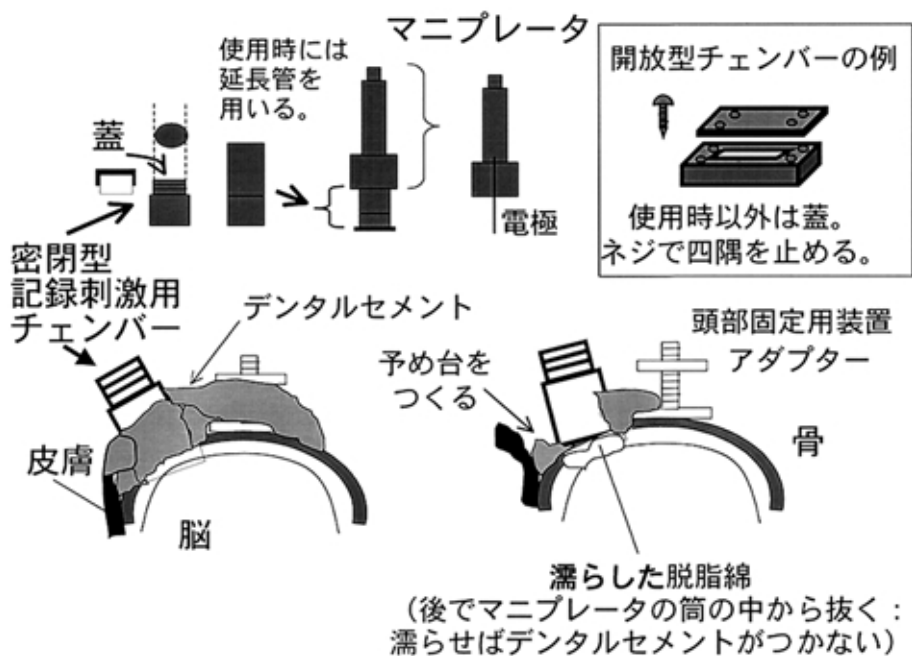


図36. 慢性実験用チェンバーとマニプレータ

ニューロン活動を安定に記録するためには閉鎖式のチェンバーが必要である。右上の囲み：刺激実験などで広い範囲を迅速にマッピングしたい場合には、開放型のものをプラスチックで自作すると便利である。

まる前にチェンバーを押し付けて固定し、最後にチェンバーの内外両側から筆や刷毛を使ってデンタルセメントを少量ずつ隙間に充填する。密閉は安定な記録、感染防止に不可欠である。慢性実験では、チェンバー内を流動パラフィン等の、生体反応が少なく且つ比較的的非圧縮性の液体を満たすことにより、脳の乾燥と変形を防ぐ。脳表面には温リング液等を軽く含ませた脱脂綿の薄い小片をのせ、脳の表面が流動パラフィンに直接触れないようにした方がよい。2日に1回程度、この脱脂綿を取りかえるとともに、チェンバー中の清掃、液の交換を行うと、出血や脳脊髄液等の脳表面への堆積、繊維化を防ぐことができる。

(2) 開放式チェンバー

微小刺激のマッピングを行う実験には、実験時に蓋をはずして開放的に使える長方形の蓋付きチェンバー（図36右上、プラスチック板の蓋は四隅のネジで着脱できる）を作って用いると便利

である。視野が広く、迅速に電極を移動できる。ただし、手術時にチェンバーに脳定位座標に基づいたマークをつけておき、使用時に電極ごとにそのマークに合わせて位置のキャリブレーションをする必要がある。

8. 埋め込み刺激電極等

脳に刺激用電極を埋め込むには、脳定位固定装置付属のマニプレータを用いて刺激電極の刺入個所を決め、開頭術を施す。予めリード線をつけた電極を目的の部位に刺入した後、電極を頭蓋骨にセメントで固定し、リード線を頭蓋骨に固定したコネクタ（電子機器部品用の小コネクタ、秋葉原の電気部品店等で入手）に半田づけする。刺激装置とは実験時にコネクタを介して結合する。

埋め込み電極としては、絶縁材でコーティングした白金やタングステンを用いる。少量の場合は市販品を用いた方が効率が良い。刺激電極としては、分極が少ない白金が推奨される。記録電極は

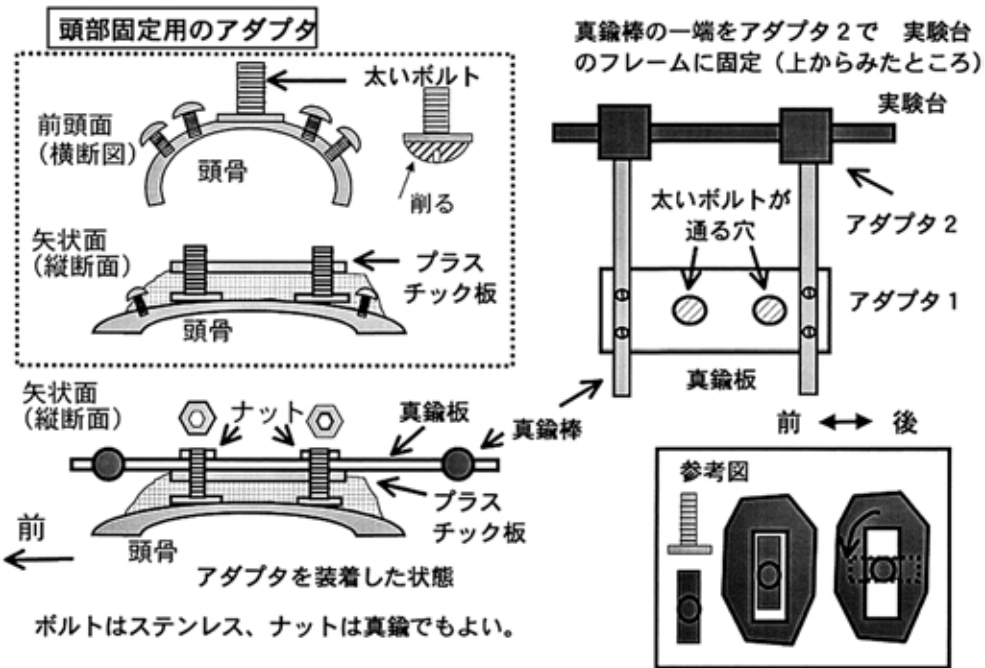


図37. 慢性実験頭部固定用アダプタ

真鍮棒を実験台のフレームにクランプなど（図中のアダプタ2）を用いてとりつけることにより、無痛的に頭部を固定できる。最低2～3日に一度、清掃・消毒を行うことにより、感染を防げば1～3ヶ月程度、維持することができる。

必要に応じて種々のものを用いる。マイクロマニプレータつきの埋め込み電極もある（Tamai et al. 1991）。

眼球運動を記録するためには、角膜・結膜境界部を剥がし、ここに磁気サーチコイル式眼球運動計（Robinson, 1963）のアイコイルを縫い付ける（縫合には形成外科用のヘルプ糸付縫合針，C9-70N3，秋山製作所，を使用）。アイコイルのリード線は皮下を通して頭蓋骨上に導き，コネクタに半田づけする。

これらのコネクタは次に述べる頭部固定装置アダプタとともにデンタルセメントで頭蓋骨に固定する。デンタルセメント（口腔内用レジン）は多くの種類があるので，10分程度で乾き，且つ組織刺激性の少ないものを選択する（例：タフローンリベース，三木化学，粉末と液を使用前に混ぜて用いる）。溶剤はトルエンなので，換気に注意する。

9. 頭部固定装置アダプタ

慢性実験の場合には無痛的に頭の動きを止める頭部固定装置のアダプタを骨に固定する。サルの場合と同様（Evarts, 1968）にボルトの頭を平たく且つ長方形に削り，これを長方形の穴から頭蓋骨下へ挿入，90度回転してデンタルセメントで固める方法（図37右下の参考図）もあるが，サルより骨が薄いので，長期間維持しにくい。

そこで，太いボルト（数ミリ）はねじ頭を薄く削り，骨に密着させるだけにして，他に8本の細いボルト（2mm，又は3mm）を前後左右に分け直接骨の厚い部分にねじ込み，全体を一緒にデンタルセメントで固定する（図37）と，比較的長期に維持できる。2～3日に一度消毒等のケアが必要である。ボルトはステンレス製（秋葉原のねじ専門店）を用いる。実験時には，実験台のフレームにアダプタを固定する。

10. 手術後の処置

術後は皮膚を縫合，出血量プラス20mL程度の輸液と抗生物質の筋注を行う。アイコイルを使う時は点眼薬（タリビット眼軟膏，参天製薬）により角膜乾燥と感染を防ぐ。麻酔が覚めるまで保温に注意し，また低温火傷が起きないように新聞紙等を保温器とネコとの間に挟む。

覚醒後に抗生物質投与が必要な場合は，粉末状製剤（シロップ状セファレキシン，ドライシロップ200，旭化成）を経口的に餌とともに与える。

文 献

- Berman A. L. (1968). The brain stem of the cat. "A cytoarchitectonic atlas with stereotaxic coordinates." pp1-175, The University of Wisconsin Press.
- Brink E, Harrison P. J., Jankowska E. and McCrea D. A. (1983). Post-synaptic potentials in a population of motoneurons following activity of single interneurons in the cat. *J. Physiol.* 343, 341-359.
- Cohen B, Suzuki J-I. and Bender M. B. (1964). Eye movements from semicircular canal nerve stimulation in the cat. *Ann Otol (St. Louis)* 73, 153-169.
- Crouch J. E. (1969). Text-Atlas of Cat Anatomy, Lea & Febiger, Philadelphia.
- Eccles J. C, Eccles R. M. and Lundberg A. (1957a). Synaptic action on motoneurons in relation to the two components of the group I muscle afferent volley. *J. Physiol.* 136, 527-546.
- Eccles J. C, Eccles R. M. and Lundberg A. (1957b). The convergence of monosynaptic excitatory afferents on to many different species of alpha motoneurons. *J. Physiol.* 137, 22-50.
- Eccles R. M. and Lundberg A. (1958). Integrative pattern of Ia synaptic action on motoneurons of hip and knee muscles. *J. Physiol.* 144, 271-298.
- Eccles R. M. and Lundberg A. (1959). Supraspinal control of interneurons mediating spinal reflexes. *J. Physiol.* 147, 565-584.
- Edgley S. and Jankowska E. (1987). Field potentials generated by group II muscle afferents in the middle lumbar segments of the cat spinal cord. *J. Physiol. (Lond)* 385, 393-413.
- Evarts E. V. (1968). Relation of pyramidal tract activity to force exerted during voluntary movement. *J. Neurophysiol.* 31, 14-27.
- Holmqvist B. and Lundberg A. (1959). On the organization of the supraspinal inhibitory control of interneurons of various reflex arcs. *Arch. Ital. Biol.* 97, 340-356.
- Holmqvist B. and Oscarsson O. (1963). Location, course, and characteristics of uncrossed and crossed ascending spinal tract in the cat. *Acta physiol. scand.* 58, 57-67.
- Liddell E. G.T. & Sherrington C. S.S. (1929). Mammalian Physiology. A Course of Practical Exercises., Clarendon Press (Oxford) & Humphrey Milford (London).
- Luscher H.-R, Ruenzel P., Fetzel E. and Henneman E. (1979). Postsynaptic population potentials recorded from ventral roots perfused with isotonic sucrose: connections of groups Ia and II spindle afferent fibers with large populations of motoneurons. *J. Neurophysiol.* 42, 1146-1164.
- Mori S. (1987). Integration of posture and locomotion in acute decerebrate cats and in awake, freely moving cats. *Prog. Neurobiol.* 28, 161-195.
- Mori S. (1989). Contribution of postural muscle tone to full expression of posture and locomotor movements: multi-faceted analyses of its setting brainstem-spinal cord mechanisms in the cat. *Jpn. J. Physiol.* 39, 785-809.
- Mori S, Matsui T, Kuze B, Asanome M, Nakajima K. and Matsuyama K. (1999). Stimulation of a restricted region in the midline cerebellar white matter evokes co-ordinated quadrupedal locomotion in the decerebrate cat. *J. Neurophysiol.* 82, 290-300.
- Palmer L. A., Rosenquist A. C. and Tusa R. J. (1978). The retinotopic organization of the lateral suprasylvian visual areas in the cat. *J. Comp. Neurol.* 177, 237-256.
- Peterson B. P. and Richmond F. J. (1988). Control of head movement, Oxford university Press, New York Oxford.
- Reighard J. and Jennings H. S. (1935). Anatomy of the Cat, Holt, Rinehart & Winston, New York.
- Robinson D. A. (1963). A method of measuring eye movement using a scleral search coil in magnetic field, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, BME-10, 137-145.
- Romanes G. J. (1951). The motor cell columns of the lumbo-sacral spinal cord of the cat. *J. Comp. Neurol.* 94, 313-363.
- Sakamoto T, Atsuta Y. and Mori S. (1986). Long-lasting excitability changes of soleus α -motoneuron induced by midpontine stimulation in decerebrate, standing cat. *J. Neurophysiol.* 55, 449-468.
- Sasaki M, Hiranuma K, Isu N. and Uchino Y. (1991). Is there a three neuron arc in the cat utriculo-trochlear pathway? *Exp Brain Res* 86, 421-425.
- Scott P. P. (1972). Chapter 28. The Cat. In : The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory Animals. Ed. UFAW, Churchill Livingstone, Edinburgh & London.
- Shick M. L. and Orlovsky G. N. (1976). Neurophysiology of locomotor automatism. *Physiol. Rev.* 56, 465-501.

- Skoglund S. (1956). Anatomical and physiological studies of knee joint innervation in the cat. *Acta Physiol. Scand.* 36, Suppl. 124, 1-101.
- Snider R. S. and Niemer W. T. (1961). A stereotaxic atlas of the cat brain. The university of Chicago press.
- Stony S. D. Jr., Thompson W. D. and Asanuma H. (1968). Excitation of pyramidal tract cells by intracortical microstimulation : effective extent of stimulating current. *J. Neurophysiol.*, 31, 659-669.
- Takakusaki K, Ohta Y. and Mori S. (1989). Single medullary reticulospinal neurons exert postsynaptic inhibitory effects via inhibitory interneurons upon alpha-motoneurons innervating cat hindlimb muscles. *Exp. Brain Res.* 74, 11-23.
- Tamai Y. and Asanuma H. (1991). Miniature manipulator with microelectrode for chronic recording of single units from freely-moving animals. *Neurosci. Res.*, 10, 78-81.
- Tusa R. J, Palmer L. A. and Rosenquist A. C. (1978). The retinotopic organization of area 17 (striate cortex) in the cat. *J. Comp. Neurol.* 177, 213-235.
- Uchino Y, Hirai N and Suzuki S (1982). Branching pattern and properties of vertical-and horizontal-related excitatory vestibuloocular neurons in the cat. *J. Neurophysiol.* 48, 891-903.
- Uchino Y, Sato H, Sasaki M, Imagawa M, Ikegami H, Isu N. and Graf W. (1997a). Sacculocollic reflex arcs in cats. *J. Neurophysiol.* 77, 3003-3012.
- Uchino Y, Sato H. and Suwa H. (1997b). Excitatory and inhibitory inputs from saccular afferents to single vestibular neurons in the cat. *J. Neurophysiol.* 78, 2186-2192.
- Uddenberg N. (1968). Differential localization in dorsal funiculus of fibres originating from different receptors. *Exp. Brain Res.* 4, 367-376.
- Vanderhorst V. G. and Holstege G. (1997). Organization of lumbosacral motoneuronal cell groups innervating hindlimb, pelvic floor, and axial muscles in the cat. *J. Comp. Neurol.* 382, 46-76.
- Wang G. W, Stein P. and Brown V. W. (1956). Effects of transections of central neuraxis on galvanic skin reflex in anesthetized cats. *J. Neurophysiol.* 19, 340-349.
- 井須尚紀・内野善生 (1998) : 半規管のニューロン活動の測定法 pp258-265 最新運動生理学実験法, 今泉和彦・石原昭彦編, 大修館
- 伊藤正男・大島知一 (1967) : III. 動物の固定 A 脊髓 pp31-34, V. 実験動物の作り方, A. 脊髓動物 pp46-52, 中枢神経実験法—生理学編, 時実利彦, 大熊輝雄編, 医学書院
- 内野善生 (1998) : 耳石器 (卵形囊と球形囊) のニューロン活動の測定法 pp254-257, 最新運動生理学実験法, 今泉和彦・石原昭彦編, 大修館
- 大塚曜一郎, 照井直人 (2000) : ウサギの手術, 日本生理学雑誌 62, 33-44.
- Crouch J. E. (1984) : 猫の解剖学, 岡野真臣, 牧田登之, 見上晋一, 和栗秀一共訳, 学窓社
- 佐藤 斎・内野善生 (1998) : 前庭一次求心性線維の同定と形態解析 pp266-268 最新運動生理学実験法, 今泉和彦・石原昭彦編, 大修館.
- 時実利彦, 大熊輝雄編 (1967) : 中枢神経実験法—生理学編, 医学書院.
- 中野健司 (1991) : ネコ pp239-252 実験動物学, 田嶋嘉雄 (監修), 朝倉書店.
- 中野健司, 前島一淑編 (1981) : 医学・生物学研究のためのネコ, ソフトサイエンス社 (東京).
- 日本実験動物協会編 (1988) : 実験動物の基礎と技術 II 各論 pp135-151, 丸善.
- 船橋新太郎 (1998) : 脳内ニューロン活動の測定法 pp248-253 最新運動生理学実験法, 今泉和彦・石原昭彦編, 大修館.
- 牧野佐二郎 (1972) : ネコの染色体研究, 生物の科学遺伝, 26 (10) : 10-17.