3V-3

脳の任意切断構造の統合的可視化処理

佐分利眞久
(電子技術総合研究所)

はじめに 脳電気生理学実験に際しては、脳図譜と呼ばれる多数の平行多平面である冠状断層地図を参照しながら電極を刺入する。この時、電極刺入経路を含む任意角度の脳切断面組織構造を可視化する事が出来ると非常に有効である。即ち、或る角度で脳を切断した時には判別困難な溝構造も、別の切断面では明白に識別できる事がある。又、皮質領域が広い領野では複数の溝が合流している可能性が有るが、そこで記録されたニューロンが何れの機能領野に属するのかを判定する際にも助けとなる。所で、可視化処理では、元来、欠落している脳図譜間の組織構造の補間処理が重要な課題となるが、これを計算機で自動化出来れば望ましい。更に、電極の刺入経路や刺入標的近傍の組織構造を、種々の切断面間で同時に対比しながら統合的に把握出来ると一層有益となる。

以上の観点から、本論文では脳の構造的な特徴を考慮に入れた、ユーザーフレンドリーな脳内電極刺入最適計画シミュレーションの為の、統合的な切断面可視化技術を開発したので報告する。

処理プロセス カニクイザルの冠状断層連続切片組織をディジタイザーで入力し、組織構造の標準データベースとした。電極の刺入角度は、右手座標系で、前頭方向をZ軸、頭頂方向をX軸、側頭方向をY軸とした時に、電極経路のX－Y平面上への投影がX－Z平面となす角ωと、X－Z平面上への投影がX－Y平面となす角ψとで規定した。所で、脳表面近傍の電極刺入開始点P(Xp,Yp,Zp)と指定点S(Xs,Ys,Zs)を通り、且つ、電極の刺入経路をも含む平面πの方程式は、その平面の法線ベクトルをh(A,B,C)とした時、

$$AX+BY+CZ+D=0 \quad \cdots\cdots(1)$$

但し、

$$A=(Ys-Yp)\tan\psi+(Zp-Zs)\tan\omega \quad \cdots\cdots(2)$$

$$B=(Xp-Xs)\tan\psi+(Zs-Zp) \quad \cdots\cdots(3)$$

$$C=(Xs-Xp)\tan\omega+(Yp-Ys) \quad \cdots\cdots(4)$$

$$D=-(AXp+BYp+CZp) \quad \cdots\cdots(5)$$

で与えられる。尚、指定点Sは、例へば、脳を解剖学的に切断する方向上の位置、或いは、ニューロンの活動電位を記録した位置に選ぶ。

今、切断面が規定されると各冠状断層の関心対象領野(皮質)との交叉境界端点を、脳組織地図を自動的にトレースして探索処理している。次に、求められた各境界端点を断層間で補間連結して再構成するに当っては、以下の考え方に沿った。

1)最短関係点は必ずしも最優先とせず、異なった確定名の領野間の連結は基本的に避ける。但し、最内側端点や、異なった溝の間に挟まった領野では別とする。

2)領野名が異なる場合には、同一冠状断層内での隣接点間の連結可能性を調べる。

3)選択された連結候補が既連結関係と交叉しないかを調べる。

4)領野名が同じで最短関係の点同士でも、近傍の同種領野に属する点との連結の方が構造的により自然な場合は(隣接点内挿結合)それを優先する。

一方、脳内部の溝の脳表面への連結に際しては、

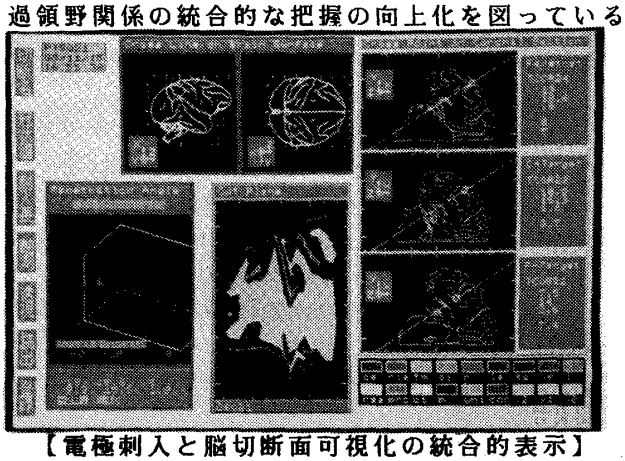
1)脳表面での局所的な陥没領野との連結可能性を調べる。

2)脳表面での領野境界領域を調べる。

3)溝の連結走行形状が、近傍の脳表面や白質部の連結形状と類似性を保つ様にする。特に、白質部の連結が切断している方向への連結は避ける。

4)孤立的な溝の連結には、溝の幅の変化状態を目安に考える。

描画結果 任意切断面の3次元構造のスクリーン上への表示に際しては、脳正中線から切断面の法線方向に見た状態で描画した。特に、掲載した写真は下頭頂小葉皮質近傍領野で、電極刺入開始点P(12,18,0.6)、脳表面上端点S(19,15,10.8)、電極刺入角度ψ=－20°、ω=40°、冠状断層範囲を －6.6mmから7.6mmとした時の可視化の例である。この時の切断面式πの係数はA=－7.5,B=12.7,C=8.9,D=－145.2となる。特に、写真中の上部は、脳表面と切断面との交叉線を脳側面図と脳背側面図上に描画したものである。又、写真の左部は電極刺入方向の3次元描画(軸測投影、又は透視投影)である。ここでは更にその角度成分(ψ,ω)を、矢状断層X－Z面と冠状断層X－Y面上に分解して表示している。又、写真下部の真ん中には、この時の可視化された脳組織構造を示している。特に、皮質部は黒地に紫色の縦線領域で、白質部は黄地領域で表示している。又、脳の皺溝の種類は写真の右下部の色で区別表示している。本例では、前頭側から、外側裂溝 la、上側頭溝 ts、月状溝lの3種類の溝が現れている。又、白色直線は全長5mmの電極経路を示したもので、上側頭溝に沿っているのが判る。又、写真の右部では、最上段に電極刺入開始位置に最も近い冠状断層図譜との電極刺入交叉点を示し、次に刺入全長5mm後に最も近い冠状断層図譜との交叉点を示し、更に、それに続いて近接する冠状断層図譜との刺入交叉点を各冠状断層図譜上に表示して、電極経路と通過領野関係の統合的な把握の向上化を図っている。



【電極刺入と脳切断面可視化の統合的表示】

Integrated Visualization for Any Angle Section of a Brain Structure
Masahisa SABURI
Electrotecnical Laboratory