

Fig. 7 記憶機能関連 ECoG

A: 左内側側頭葉に対するガンマナイフによる放射線治療後の症例において、両側側頭葉底部から計測された図形名称課題 (黒線)、記銘課題 (ピンク線) ECoG の加算波形。上 2 列は左半球の活動であり、比較的反応は小さい。下 2 列は右半球の反応であり、記銘課題 (ピンク線) で 600 msec 付近に明らかな陽性波を認めた。B: 右海馬傍回の電極チャンネル 27 を選択。時間-周波数解析では記銘課題 (Memory) で明らかな γ 帯域成分の上昇を認めた。

された。

5. ECoG 標準化

電極位置の標準化は全 20 症例を用いて行った。標準脳の前頭葉底面、優位半球外側面を 1,323 極の電極で覆うことができた。電極密度は下前頭回、上側頭回近傍に高い傾向があった (Fig. 4) が、密度補正を行うことで均一な電極分布状態にすることができた (Fig. 4 C)。

標準化した結果の視覚刺激別 γ 帯域成分の分布状態を示す (Fig. 8)。AC 課題ではやや左優位に両側側頭葉底部が活動しはじめ、400 msec 以降で左側頭葉上外側後部 (古典的ウェルニッケ野) に強い活動を認める。

500 msec ほどから一次運動野、中前頭回、下前頭回 (古典的ブローカ野) に活動が現れる。運動野と下前頭回は刺激提示後 1,000 msec ほど経過しても γ 帯域成分が上昇していた。PN では右優位に両側側頭葉底部が活動し、側頭葉後外側部が AC よりもやや弱い活動していた。しかし、前頭葉、特に中・前頭回には活動は現れないのが特徴的であった。VG は刺激が聴覚刺激であるため上側頭回の活動が強いのが特徴的であった。他の課題と同様に一次反応の後に側頭葉上外側部の活動が認められた。PN と異なり特に下前頭回の活動が強いのが特徴的であった。

Fig. 9 は視覚刺激に対する側頭葉底部の反応の違いに

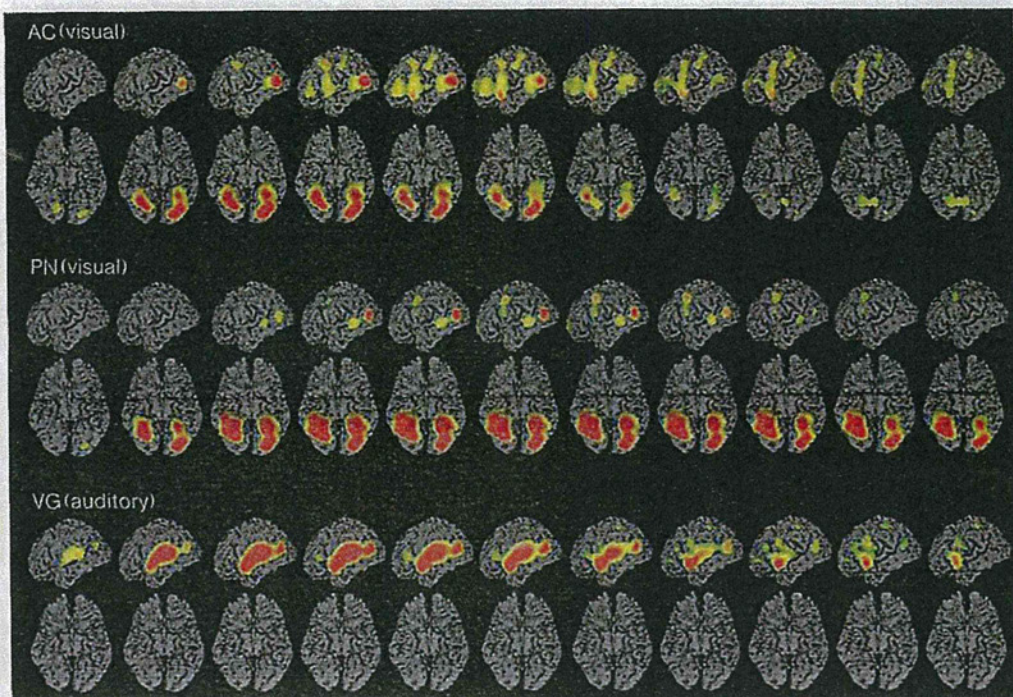
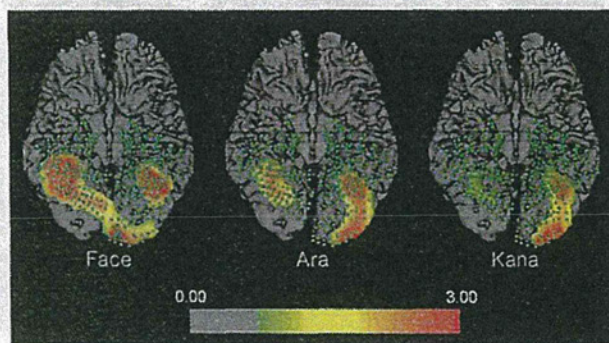


Fig. 8 標準化した視覚刺激別 γ 帯域成分ダイナミクス

ACではやや左優位に両側側頭葉底部が活動しはじめ、400 msec以降で左側頭葉上外側後部に活動を認める。500 msecほどから一次運動野、中前頭回、下前頭回に活動が現れる。PNは右優位に両側側頭葉底部が活動し、側頭葉後外側部がACよりもやや弱い活動していた。しかし、前頭葉、特に中・前頭回には活動は現れない。VGは側頭葉上外側部の活動が認められた。PNと異なり特に下前頭回の活動が強いのが特徴的であった。scale: 0~0.7 (lateral), 0~1.5 (base)。0~1,000 msec (/100 msec)。

Fig. 9 標準化した側頭葉底部の視覚刺激別 γ 帯域成分ダイナミクス

顔認知 (Face) では両側の紡錘状回の前、外側に強い活動を認めた。特に右側への強い側方性があった。単語読み (Kana) では顔認知に比してやや内側の紡錘状回-海馬傍回後部に活動が限局し、右側にはほとんど活動を認めなかった。



ついて検討した結果である。顔認知 (Face) では両側の紡錘状回の前、外側の強い活動を認めた。特に右側への強い側方性があった。一方、単語読み (Kana) では顔認知に比してやや内側の紡錘状回-海馬傍回後部に活動が限局し、右側にはほとんど活動を認めなかった。アラビア語認知 (Ara) は右側側頭葉底部内側、広範に左側側頭葉底部の活動を認めたが、明らかに顔認知、または単

語読み課題による反応とは異なっていた。

III. 考 察

本稿では、臨床に応用されている言語関連 fMRI 局在の信頼性に関して、留置した硬膜下電極による ECS を用いて検討した。その結果、fMRI の感度は 90%程

度であるにもかかわらず、特異度は50%程度であった。現段階では臨床に用いている単純な言語課題 fMRI では、厳密な脳機能局在が必要な臨床において独立して用いるには至っていない。

さらにもう1つの検討は、異なる視覚刺激を提示しながら広範に脳表を覆った頭蓋内電極から ECoG を計測して脳機能局在法を確立することであった。そのために ECoG の加算平均、時間-周波数解析結果を患者ごとに脳表に投射するソフトウェアを作成した。AC では左側側頭葉底部から側頭葉外側、下前頭回に至る機能ダイナミクスを可視化することができた。一方で、PN では側頭葉底部の強い活動に比して、前頭葉が活動が弱いことが明らかになった。また側頭葉底部では視覚刺激が単純であればあるほど、後頭極側に γ 帯域成分が局在する傾向があった。

一方、複雑な刺激になると反応する領域が広がっていた。顔刺激では右優位であり、かつ両側側頭葉底部の前外側に活動が強くなっていた。物品名称・記憶課題関連 ECoG の加算平均では、記憶課題のときに 600 msec ほどの潜時に陽性-陰性波を認めた。さらに時間-周波数解析では、記憶課題時に内側側頭葉に刺激提示後 500~600 msec に 80~120 Hz の γ 帯域成分が有意に上昇していた。この γ 帯域成分の上昇のある内側側頭葉に手術を行った4例全例で記憶力障害が出現し、上昇のない側の手術をした4例では記憶力を含む高次脳機能障害の出現はなかった。記憶課題により誘発された内側側頭葉の γ 帯域成分は記憶機能と密接に関連しているものと考えられた。電極位置の標準化は視覚刺激による側頭葉底部の典型的な反応パターンを可視化することを可能とした。文字認知では左紡錘状回-海馬傍回、顔認知では右紡錘状回から下側頭回に γ 帯域成分が出現していた。

言語関連 fMRI と ECS との比較検討はすべて覚醒下手術において腫瘍切除時に行われていた¹⁰⁻¹²。覚醒下手術中のマッピングは時間的、空間的制限があるため、厳密な比較は困難である。このため報告ごとに fMRI、術中マッピングに用いる課題やその組み合わせが異なっていた。Rutten ら¹³ は4つの fMRI 課題を組み合わせ、92%の感度と61%の特異度を得ていた。FitzGerald ら¹⁴ は単一の課題で100%の感度と56%の特異度を得ている。これらの結果は今回の筆者らの結果と大きな違いはなかった。したがって fMRI は感度が高く特異度が低いのは事実であり、今後は特異度を改善することが重要であろう。

近年頭蓋内電極による γ 帯域成分の変化に着目した

報告が散見される。これらの検討では主に運動、単語読みなどに関連した γ 帯域成分のダイナミクスに着目している。特に単語読み課題では単語提示後約 500 msec に左下前頭回、運動野近傍に γ 帯域成分の増加を認めるとされている。Sinai ら¹⁵ は脳皮質電気刺激マッピングで抑制される言語関連機能と γ 帯域成分局在を検討し、その局在感度は84%と高いことを初めて報告した。その後 Wu ら¹⁶ は7例のてんかん患者において、ECS と視覚・聴覚刺激により発語課題による認知 ECoG の詳細な比較を行っている。高周波 ECoG 成分に着目してマッピングを行うと感度は83.9%、特異度40.4%であった。特に側頭葉言語野では感度が100%と、前頭葉のそれ(72.2%)に比して高いことを報告している。筆者らの報告を含め、過去の検討では fMRI による機能マッピングが前頭葉言語野への感度が高いのに比して、ECoG マッピングが側頭葉言語野への感度が高い点が興味深い。

fMRI と ECoG 周波数成分との比較は、患者選択と方法論の困難さのため、臨床論文の報告は極めて少ない。Hermes ら¹⁷ は難治性てんかん8症例の一次運動野の機能マッピングについて fMRI と ECoG により比較検討を行った。その結果、65~95 Hz の高周波成分と fMRI には 0.36 (R²) というやや弱い相関関係を認めていた。その考察には 30 Hz 以下の低周波成分の時間的変動も考慮すべきであるとし、複雑な周波数変化の組み合わせにより fMRI 信号が成り立っていることを示唆していた。

一方、側頭葉底面、および内側側頭葉領域の γ 帯域成分ダイナミクスに関する検討はほとんど行われていない。海馬を中心とした内側側頭葉の活動に関しては、Halgren ら¹⁸ が P300 由来の電位変化を頭蓋内電極を用いて海馬から検出した。しかし、海馬周辺から得られた電位変化と脳機能との関連に関しては言及していない。その後の誘発電位の研究では、内側側頭葉前部での N400、海馬での P600 が認識記憶に関連しているとの報告もある¹⁹。

本検討では記憶課題に伴い誘発された γ 帯域成分の局在と手術による機能変化を比較することで、記憶機能を正確に電位変化として捉えることができた。記憶機能の側方性は極めて重要であるにもかかわらず、和田試験による記憶機能検査を参考としているのが現状であった。本検査法およびその結果は記憶機能の局在、ダイナミクスを解明するうえでも極めて重要である。また、これらのヒト高次脳機能解析が support vector machine のようなコンピュータ学習を応用することで、より客観

的に行われることも期待できる。

頭蓋内電極は画像診断、臨床症候に基づいて、その留置位置と範囲が決定される。診断的目的で電極が留置されるために、患者ごとにその留置範囲が異なることが脳機能解析面における課題であった。本報告ではSPM8を用いて頭蓋内電極位置を標準脳上に変換することで、高密度の電極分布による解像度の高いECoG解析を可能とした。本方法により、異なる視覚刺激による側頭葉底面の誘発電位パターンを明らかにすることができた。SPM8による“標準化”はfMRIをはじめ、拡散テンソル画像、脳血流シンテグラムなどに応用され、アルツハイマー病、脳虚血疾患診断に用いられてきた^{16,17)}。しかし、ECoGを標準化し、高い空間解像度、および時間分解能で典型的な電気的活動の表示を可能としたのは本報告が初めてである。特に顔認知では右側優位、かつ紡錘状回外側、および下側頭回における γ 帯域成分の広がり特徴的であった。

側頭葉底部の機能分布に関する検討はfMRIで行われている。Puriら¹⁸⁾は、側頭葉底部外側は顔認知で強く活動する紡錘状顔領域 (fusiform face area: FFA)、さらに内側部は物品認知などに関連する傍海馬場所領域 (parahippocampal place area: PPA) と分類している。筆者らの検討ではFFAとPPAの局在を電気生理学的に検証することができた。今後本方法を用いることにより電気的活動の空間的広がりに加え、周波数帯域別の変化およびそれぞれの時間的ダイナミクスをより詳細に解明することができる。

頭蓋内電極を用いた脳機能マッピングは現在のところ脳皮質電気刺激法がゴールドスタンダードである。しかし、この電気刺激法では刺激強度、時間の制限、痙攣発作誘発のリスクを伴うため、できる限り刺激頻度を減らし、検査時間を短時間にすることが最も患者の負担軽減につながる。本研究で施行した認知課題誘発ECoGの計測、データ処理、画像化は今後、脳皮質電気刺激法の代替法となり得る。また、内側側頭葉活動を捉えることで記憶機能の評価に応用できる可能性もある。さらに標準化ECoG法により、ヒト脳機能ダイナミクスを詳細に検討することができ神経科学への貢献も期待できる。

文 献

- 1) Crone NE, Miglioretti DL, Gordon B, Sieracki JM, Wilson MT, et al: Functional mapping of human sensorimotor cortex with electrocorticographic spectral analysis. I. Alpha and beta event-related desynchron- ization. *Brain* 121(Pt 12): 2271-2299, 1998
- 2) Leuthardt EC, Miller KJ, Schalk G, Rao RP, Ojemann JG: Electrocorticography-based brain computer interface: the Seattle experience. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 14: 194-198, 2006
- 3) Leuthardt EC, Schalk G, Moran D, Ojemann JG: The emerging world of motor neuroprosthetics: a neurosurgical perspective. *Neurosurgery* 59: 1-14; discussion 1, 2006
- 4) Sinai A, Bowers CW, Crainiceanu CM, Boatman D, Gordon B, et al: Electrocorticographic high gamma activity versus electrical cortical stimulation mapping of naming. *Brain* 128(Pt 7): 1556-1570, 2005
- 5) Cervenka MC, Boatman-Reich DF, Ward J, Franaszczuk PJ, Crone NE: Language mapping in multilingual patients: electrocorticography and cortical stimulation during naming. *Front Hum Neurosci* 5: 13, 2011
- 6) Wu M, Wisneski K, Schalk G, Sharma M, Roland J, et al: Electrocorticographic frequency alteration mapping for extraoperative localization of speech cortex. *Neurosurgery* 66: E407-409, 2010
- 7) Feindel W, Penfield W, Jasper H: Localization of epileptic discharge in temporal lobe automatism. *Trans Am Neurol Assoc* 56(77th Meeting): 14-17, 1952
- 8) Towle VL, Yoon HA, Castelle M, Edgar JC, Biassou NM, et al: ECoG gamma activity during a language task: differentiating expressive and receptive speech areas. *Brain* 131(Pt 8): 2013-2027, 2008
- 9) Kamada K, Sawamura Y, Takeuchi F, Kuriki S, Kawai K, et al: Expressive and receptive language areas determined by a non-invasive reliable method using functional magnetic resonance imaging and magnetoencephalography. *Neurosurgery* 60: 296-305; discussion -6, 2007
- 10) FitzGerald DB, Cosgrove GR, Ronner S, Jiang H, Buchbinder BR, et al: Location of language in the cortex: a comparison between functional MR imaging and electrocortical stimulation. *AJNR Am J Neuroradiol* 18: 1529-1539, 1997
- 11) Roux FE, Boulanouar K, Lotterie JA, Mejdoubi M, LeSage JP, et al: Language functional magnetic resonance imaging in preoperative assessment of language areas: correlation with direct cortical stimulation. *Neurosurgery* 52: 1335-1345; discussion 45-47, 2003
- 12) Rutten GJ, Ramsey NF, van Rijen PC, Noordmans HJ, van Veelen CW: Development of a functional magnetic resonance imaging protocol for intraoperative localization of critical temporoparietal language areas. *Ann Neurol* 51: 350-360, 2002
- 13) Hermes D, Miller KJ, Vansteensel MJ, Aarnoutse EJ, Leijten FS, et al: Neurophysiologic correlates of fMRI in human motor cortex. *Hum Brain Mapp*. 2011 Jun 20

[Epub ahead of print]

- 14) Halgren E, Squires NK, Wilson CL, Rohrbaugh JW, Babb TL, et al: Endogenous potentials generated in the human hippocampal formation and amygdala by infrequent events. *Science* 210: 803-805, 1980
- 15) Klaver P, Fell J, Dietl T, Schur S, Schaller C, et al: Word imageability affects the hippocampus in recognition memory. *Hippocampus* 15: 704-712, 2005
- 16) Kunimatsu A, Aoki S, Masutani Y, Abe O, Mori H, et al: Three-dimensional white matter tractography by diffusion tensor imaging in ischaemic stroke involving the corticospinal tract. *Neuroradiology* 45: 532-535, 2003
- 17) Schuitemaker A, van Berckel BN, Kropholler MA, Veltman DJ, Scheltens P, et al: SPM analysis of parametric (R)-[11C] PK11195 binding images: plasma input versus reference tissue parametric methods. *Neuroimage* 35: 1473-1479, 2007
- 18) Puri AM, Wojciulik E, Ranganath C: Category expectation modulates baseline and stimulus-evoked activity in human inferotemporal cortex. *Brain Res* 1301: 89-99, 2009

NIRS —基礎と臨床—

NIRS
テキストの
ゴールド
スタンダード!

監修/酒谷 薫

編集/岡田英史・星 詳子・宮井一郎・渡辺英寿

定価 9,450円(本体9,000円+税5%)

B5判/278頁/ISBN978-4-88002-714-2

NIRSの基礎研究から臨床応用までカバーするスタンダードな教科書を目指して編集

- NIRSの優れた点だけでなく問題点も明らかに
- データ解析や解釈に関してさまざまな立場に基づいた方法や考え方を紹介
- 脳機能イメージングだけでなく、脳循環モニタリングについても解説

おもな内容

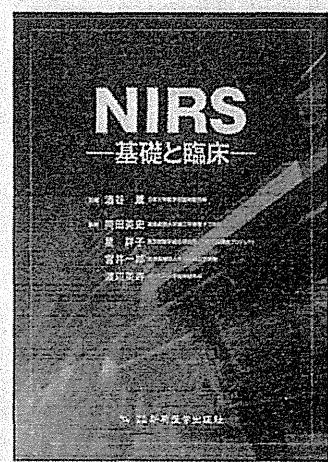
第I章 基礎編

測定理論/NIRS計測の基礎生理/
NIRSの測定方法/NIRSのデータ解析/
マルチモダリティ計測/NIRSのピットフォール

第II章 臨床編

脳神経外科/精神科, 神経内科/リハビリテーション/
小児科/麻酔科/スポーツ医学/その他(耳鼻科, 眼科, 歯科)

第III章 トピックス編



株式会社 新興医学出版社
〒113-0033 東京都文京区本郷6-26-8

TEL. 03-3816-2853 FAX. 03-3816-2895
http://www.shinkoh-igaku.jp
e-mail: info@shinkoh-igaku.jp

てんかんの外科適応

宇佐美憲一 (東京大学大学院医学系研究科脳神経外科学)
川合謙介 (東京大学大学院医学系研究科脳神経外科学准教授)
斉藤延人 (東京大学大学院医学系研究科脳神経外科学教授)

Point

- 適切な抗てんかん薬治療を2年以上継続しても発作がコントロールできない難治性のてんかんに対しては、外科手術を考慮する。小児例では発達や全身状態を考慮して、早期に手術を考慮する。
- てんかん外科手術の適応を決定するにあたって、正しいてんかん診断、発作型分類、焦点診断がなされていることが重要である。
- てんかん外科手術の目的は発作を抑制することだけでなく、QOLを改善させることにある。患者ごとの現状を踏まえたうえで、発作消失によって得られるQOLの改善と、手術によって起こりうる機能障害のバランスを十分検討したうえで手術適応を判断すべきである。

抗てんかん薬などの内科的治療ではてんかん発作の抑制が十分に得られないために日常生活に支障をきたしているてんかん患者には手術治療を行うことを考慮する。近年の良好なてんかん手術成績の報告によって、一部のてんかんに対して手術治療が奏効することが明らかになってきており、てんかん治療において外科手術が担う役割の重要性が認識されてきている。しかし、外科手術による脳への侵襲は不可逆的であるため、発作抑制効果だけでなく、術後の神経機能障害を含め、十分に検討する必要がある。本稿では開頭手術によるてんかん外科手術を中心に、てんかん外科の手術適応決定のプロセス、手術方法と、外科治療が可能なたんかんについて述べる。

● てんかん外科手術の対象患者

てんかん外科手術を考慮する対象は原則的に、難治(薬剤抵抗性)てんかん^{*1}である¹⁾。成人では難治と判断されたら速やかに手術治療を考慮する。しかし小児例においては、発達障害の進行や全身状態の悪化を避けるために、2年経過していなくとも手術を考慮する²⁾。発作はまれであっても、腫瘍などの局所病変を有する場合、発作による転倒により日常生活に支障をきたす場合、仕事などの社会的な不利を有する場合なども考慮の対象となる。

● 術前精査

詳細な病歴と現在の発作症状および頻度の聴取、発作間欠期脳波、CT、MRI、FDG-PET、Iomazenil-SPECT^{*2}、間欠期および発作時の脳血流SPECT、ビデオ同時記録脳波モニタリングなどの検査を行う。以上のような非侵襲的検査においても発作焦点が同定できない、あるいは各種検査の結果に矛盾があり、切除範囲を決定できない場合は、慢性頭蓋内電極留置を行う。慢性頭蓋内電極はビデオ同時記録脳波モニタリングにより正確な焦点範囲の決定を可能にするだけでなく、皮質刺激マッピングを行うことで切除範囲周辺の脳機能を安全かつ正確に把握することができる。これらの検査を駆使して正しいてんかん診断、発作型分類、焦点診断を行い、手術適応および術式の選択、切除範囲の決定を行う。

術後に高次脳機能障害が予想される場合には、成人ではウェクスラー成人知能評価尺度第3版(WAIS-III)、ウェクスラー記憶評価尺度改訂版(WMS-R)、小児ではウェクスラー小児知能評

価尺度第3版(WISC-III)、田中ビネー式知能検査などの神経心理検査を術前に行っておく。術後の脳機能障害の推定や言語および記憶の優位半球の決定には、functional MRI、脳磁図、和田テスト^{*3}などを行う。

● てんかん外科手術の種類

てんかん外科手術は切除手術と緩和手術の2つに大別される。切除手術とは、てんかんの原因となる病変あるいは脳組織を完全に切除することで発作の根治を目指すものであり、内側側頭葉切除術、扁桃体海馬切除術、皮質切除術、大脳半球離断術などが含まれる。一方、緩和手術とは、てんかんの原因となる病変あるいは脳組織が広範囲な場合や、機能領域であるために切除が不能な場合、てんかん異常波が周囲の脳へ波及するのを遮断するために脳組織を裁断する手術のことであり、脳梁離断術、軟膜下多切術^{*4}などが含まれる。また、開頭手術ではないが、後述する迷走神経刺激療法も緩和手術に含まれる。

*1…難治(薬剤抵抗性)てんかん

てんかん症候群または発作型に対し適切とされている抗てんかん薬2〜3種類以上を単剤あるいは他剤併用で、十分な血中濃度で、2年以上治療しても、発作が1年以上抑制されていないてんかん³⁾。

*2…Iomazenil SPECT

¹²³I-Iomazenilをトレーサーとして行う核医学検査で、中枢性ベンゾジアゼピン受容体の脳内分布を反映しており、てんかん焦点では低集積となる⁴⁾。

*3…和田テスト

大腿動脈からセルジンガー法にてカテーテルを頸動脈付近にまで進めて短時間作用型の静脈性麻酔薬を投与し、一時的に一侧の脳機能を抑制させることで言語や記憶の優位側を調べる検査⁵⁾。

*4…軟膜下多切術

脳表に対して垂直に(5mm間隔、4mmの深さで)大脳皮質を切断することにより、水平方向の連絡を遮断する手術⁶⁾。垂直方向の神経線維は温存されるため、皮質の機能を保つことができる。

*5…海馬硬化症

組織学的には海馬の神経細胞の脱落とグリア細胞の増殖を特徴とするが、海馬硬化がなぜてんかんをもたらすかは解明されていない。海馬硬化を伴う側頭葉てんかん患者は乳幼児期に熱性痙攣の既往があることが多い。

● 外科治療が可能なたんかん

日本てんかん学会による外科治療のガイドライン¹⁾では、開頭手術による外科治療が可能なたんかんを5つのグループに分類している。いずれも症候性であり、ほとんどが局在関連性(焦点性)である。

内側側頭葉てんかん

側頭葉の内側構造(海馬、海馬傍回、扁桃体など)を発作起始とするてんかんであり、病態基盤としては海馬硬化症^{*5}が最も多いが、限局性の良性腫瘍、皮質形成異常によるものや、器質的病変を認めないこともある⁷⁾。発作型は複雑部分発作であり、典型的には意識が減損し一点を

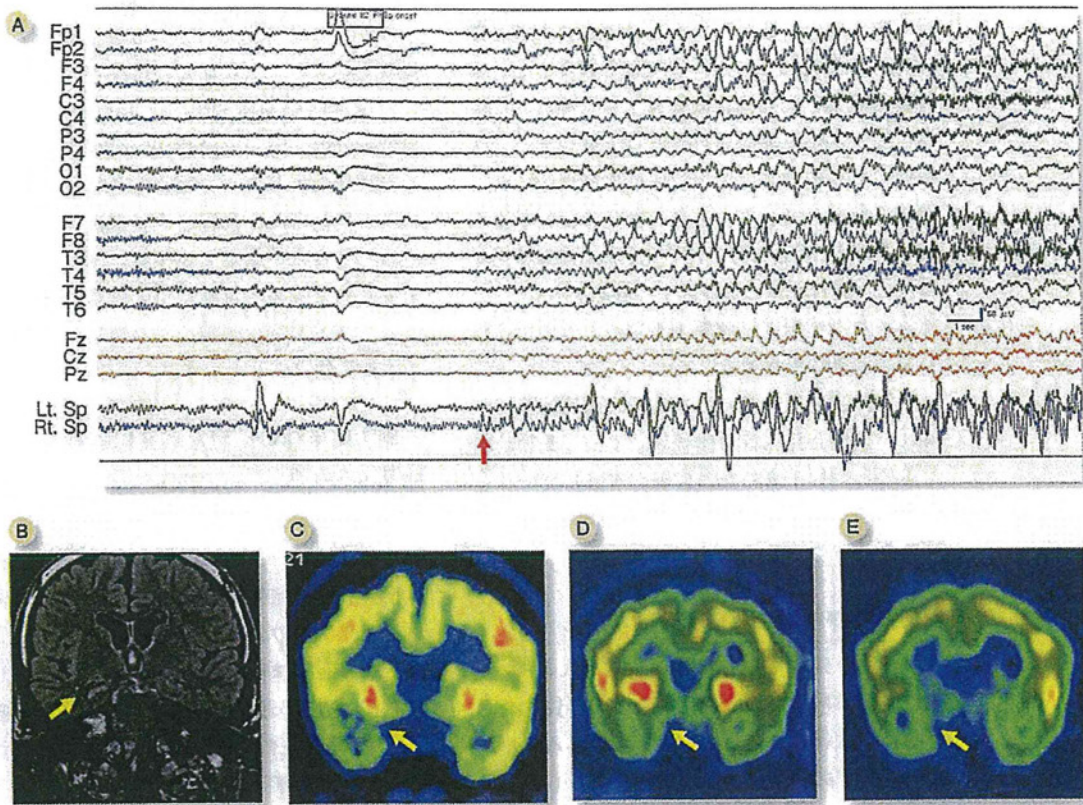


図1 海馬硬化を伴う内側側頭葉てんかんの症例(21歳、男性)

生後9カ月時に熱性痙攣重積の既往あり。

A: 発作時頭皮および蝶形骨電極(Sp)脳波所見: 発作は動作停止後に約20秒の口部および手の自動症の発作。発作起始は右蝶形骨誘導(→)。

B: MRI FLAIR冠状断: 右海馬が高信号で萎縮あり、海馬硬化の所見(→)。

C: FDG-PET: 右側頭葉内側の代謝低下の所見(→)。

D: ECD-SPECT(発作間欠期): 右側頭葉内側の血流低下の所見(→)。

E: Iomazenil-SPECT: 右側頭葉内側のベンゾジアゼピン受容体分布の低下の所見(→)。

本症例は右海馬硬化の所見があり、発作起始、各種神経機能画像の結果が海馬硬化側に一致していたため、一期的に右前内側側頭葉切除術を施行した。術後、発作は消失した。

凝視して動作が停止した後に口や手などの自動症や、発作起始と対側上肢のジストニア肢位などを呈し、ときに二次性全般化する。発作終了後はしばらくもうろう状態が続く。発作開始の意識減損前に上腹部不快感、既知感・未知感などの前兆を感じる事が多い。診断は発作症候、

画像所見、脳波所見などから比較的容易である(図1)。ビデオ脳波モニタリングにおいて発作起始が一側性であり、発作症候、MRIの海馬硬化所見、各種核医学検査の焦点診断のすべてが一致していれば頭蓋内電極留置を省略して一期的に焦点切除術を計画することが可能だが、いず

れかに矛盾がある場合は頭蓋内電極留置による焦点側の同定が必要である⁸⁾。手術は内側側頭葉(海馬・海馬傍回・扁桃体)の切除を目的とし、前外側側頭葉を切除後に側脳室下角を開放して海馬に達する側頭葉前部切除術⁹⁾と、経シルビウス裂的に海馬に達する選択的扁桃体海馬切除術¹⁰⁾が広く行われている。術前に言語性記憶が低下しておらず、言語有意側に焦点がある場合は切除術後に言語性記憶の機能低下の懸念があるが¹¹⁾、そのような症例では軟膜下多切術を海馬に応用した海馬多切術を考慮する¹²⁾。

内側側頭葉てんかんに対する内側側頭葉切除術は、無作為化比較対照試験によって薬物治療と比較し外科手術の発作抑制が有意に高いことが証明されており¹³⁾、てんかん外科手術の60～70%を占めている¹⁾。

器質病変が検出された部分てんかん

限局性の良性腫瘍、血管腫、皮質形成異常、外傷や血管障害による脳軟化巣などの器質病変が新皮質^{*6)}に存在することによって生じるてんかんのことである。皮質形成異常によるものが最も多い。多くは病変がある部位に関連した発作症候を呈するが、てんかん焦点が病変周囲の皮質にある程度広がりをもっていたり、てんかん異常波が離れた部位へ伝播した先でてんかんを生じたりすることがある。従って、切除範囲を決定するためには原則的に頭蓋内電極留置が必要となる¹⁴⁾(図2)。

器質病変を認めない部分てんかん

発作症候や脳波所見では部分てんかんと診断

されるが、MRIにて器質病変が検出できないてんかんのことである。発作症候や発作時ビデオ脳波モニタリングに加え、FDG-PET、間欠期および発作時脳血流SPECT、Iomazenil-SPECT、MEG(magnetoencephalography)といった神経機能画像の所見などを統合した結果、てんかん焦点が同定され、切除または裁断が可能と判断された場合は手術を考慮する。切除範囲を決定するために頭蓋内電極による焦点診断は必須である¹⁴⁾。器質病変が検出されたてんかんに比べて手術成績はよくない¹⁵⁾。

一側大脳半球の広範な病変による部分てんかん

片側巨脳症、周産期の血管障害や外傷などによる孔脳症、一側性の広範な皮質形成異常、Sturge-Weber症候群、Rasmussen症候群などの、一側大脳半球の広範な病変を原因とするてんかんには大脳半球離断術あるいは多葉離断術を考慮する。大脳半球の離断によって対側の片麻痺、半盲、言語優位側であれば失語が出現するため、これらの機能障害がすでに出現している、あるいは今後症状の進行が不可避な症例に行う。しかし、小児期では対側脳が一部の機能を代償することが期待できるため¹⁶⁾、発達障害の進行を避ける目的で神経症状の完成や難治てんかんの指標である2年を待たずに早期手術を考慮する¹⁷⁾(図3)。原因となる疾患にもよるが、6～8割の患者で発作消失が期待できる^{18,19)}。

失立発作をもつ難治てんかん

Lennox-Gastaut症候群に代表される、急激に転倒することで外傷を繰り返すような失立発作を呈するてんかんには脳梁離断術を考慮する。脳梁を離断すると、てんかん異常波の両側同期化が抑制され、失立発作は約8割の患者で消失する²⁰⁾。部分離断よりも全離断のほうが発作抑制の効果が大きい²¹⁾、乳幼児では一期的に全

*6…新皮質

側頭葉の外側皮質と、前頭葉、頭頂葉、後頭葉の皮質のことを指し、これらにてんかん焦点をもつてんかんを新皮質てんかんという。治療方針を考慮するうえで、辺縁系てんかんである内側側頭葉てんかんとは区別される。

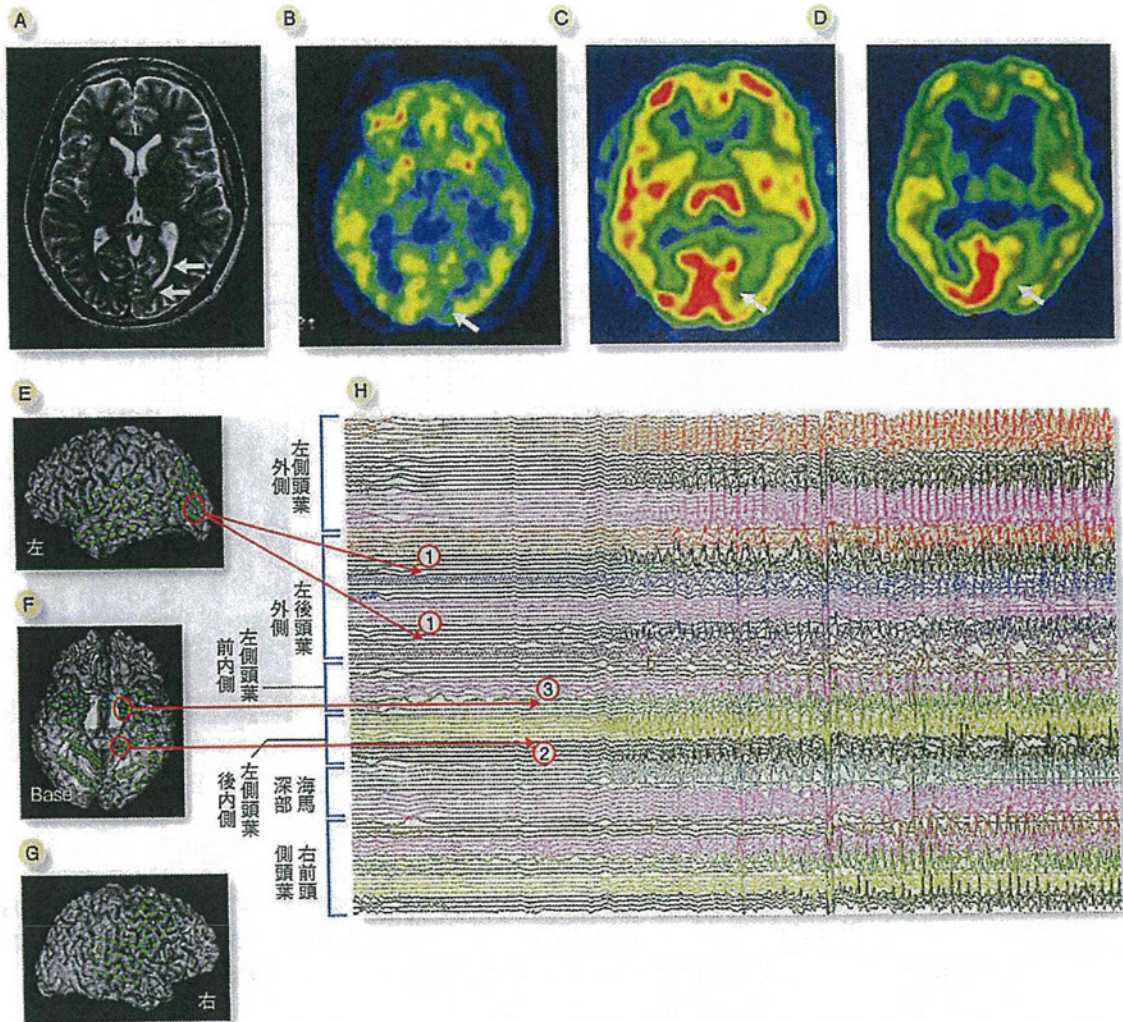


図2 器質病変を伴う部分てんかんの症例(24歳男性)

発作は複雑部分発作。

A: MRI T2水平断: 左後頭葉内側に皮質形成異常の所見(⇔)

B: FDG-PET: 左後頭葉内側の代謝低下の所見(⇔)

C: ECD-SPECT: 左後頭葉内側の血流低下の所見(⇔)

D: Iomazenil-SPECT: 左後頭葉内側のベンゾジアゼピン受容体分布の低下の所見(⇔)

E~G: 頭蓋内電極分布

E: 左半球表面

F: 頭蓋底

G: 右半球表面

H: 頭蓋内電極による発作時皮質脳波: ①左後頭葉外側後部の電極にて数十秒間律動波が持続し、

②左側頭葉後内側から発作が起始した。③その後内側側頭葉へ伝播していた。

本症例では左後頭葉の皮質形成異常の切除に加え、左側頭葉へ軟膜下多切術を施行した。術後発作は消失した。

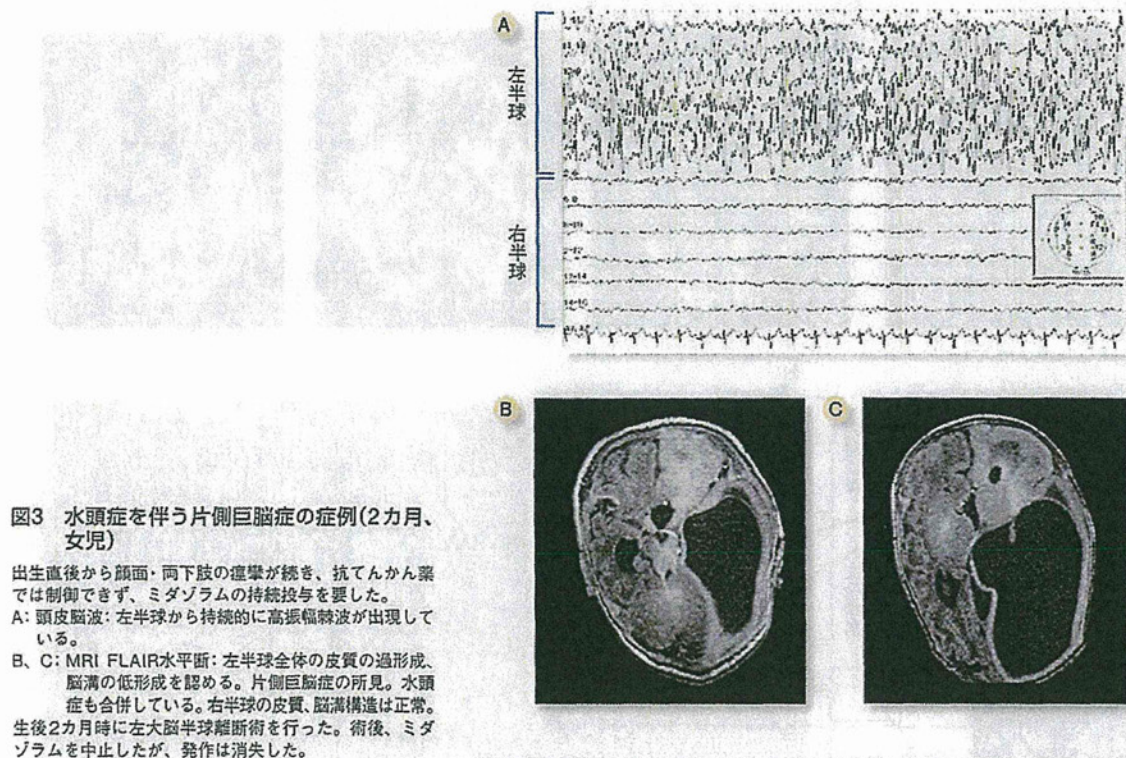


図3 水頭症を伴う片側巨脳症の症例(2カ月、女児)

出生直後から顔面・両下肢の痙攣が続き、抗てんかん薬では制御できず、ミダゾラムの持続投与を要した。

A: 頭皮脳波: 左半球から持続的に高振幅棘波が出現している。

B, C: MRI FLAIR水平断: 左半球全体の皮質の過形成、脳溝の低形成を認める。片側巨脳症の所見。水頭症も合併している。右半球の皮質、脳溝構造は正常。

生後2カ月時に左大脳半球離断術を行った。術後、ミダゾラムを中止したが、発作は消失した。

離断を行うが、成人では全離断後に脳梁離断症候群^{*7}を呈する可能性があるため、部分離断にとどめるか、全離断を行う際は術後のADLについて十分に検討したうえで施行すべきである。

また、脳梁離断後にてんかん異常波が側方化することで焦点の局在が明らかとなり、新皮質てんかんとして治療が可能になる場合がある。

●その他の外科治療

開頭手術の適応とならない、あるいは開頭手術を施行しても効果が不十分な場合には迷走神経刺激療法^{*8}を考慮する。開頭手術と比較して合併症が少ない、抗てんかん薬と比較して治療継続率が高いといった特徴がある²³⁾。発作の緩和に関しては高いエビデンスを有するが、発作根治率はきわめて低い^{24, 25)}。迷走神経刺激療法の手術適応は、開頭手術と同様の術前検査を

*7…脳梁離断症候群

脳梁を離断することで生じる神経症状で、一過性のものと永続的なものがある。一過性の症状としては術直後より自発言語の減少、失禁、非優位側下肢の麻痺があるが、通常は数日から数週間以内に全回復する。永続的なものとしては失行、失書、失読、半側空間無視、構音障害などの多彩な症状がいくつか組み合わさって現れる²²⁾。

*8…迷走神経刺激療法

左迷走神経に刺激電極を留置し、前胸部に埋設した電源内蔵の刺激装置から発生する電気刺激によって迷走神経を慢性的に刺激することでてんかん発作を緩和させる治療法。

行ったうえで、開頭手術が適応とならない症例となる。その他、疾患特異的な外科治療として視床下部過誤腫に対する定位温熱凝固療法があり、成績が良好でかつ合併症も少ない²⁶⁾。

おわりに

てんかん外科手術は発作を減少・消失させることだけではなく、最終的にはQOLを改善させることが目的であるため、手術適応を考慮する

にあたって、現時点でてんかん発作によってQOLが障害されているということを最重要視すべきである¹⁾。実際、内側側頭葉てんかんに対する手術に関しては術後のQOLを有意に改善させたとの報告がある¹³⁾。個々の症例ごとに、患者の生活状況、心理状態、知的レベル、合併疾患を踏まえたうえで、手術によって達成される発作抑制の程度と、手術によって生じる機能障害がQOLに及ぼす影響を十分に検討したうえで手術適応を検討することが重要である。

文献

- 1) 三原忠紘, 藤原建樹, 池田昭夫, ほか. てんかん外科の適応に関するガイドライン. てんかん研 2008; 26(1): 114-8.
- 2) Binnie CD, Polkey CE. Commission on Neurosurgery of the International League Against Epilepsy (ILAE) 1993-1997: recommended standards. *Epilepsia* 2000; 41(10): 1346-9.
- 3) 井上有史. 日本てんかん学会ガイドライン作成委員会. 成人てんかんにおける薬物治療ガイドライン. てんかん研 2005; 23(3): 249-53.
- 4) Morimoto K, Tamagami H, Matsuda K. Central-type benzodiazepine receptors and epileptogenesis: basic mechanisms and clinical validity. *Epilepsia* 2005; 46 Suppl 5: 184-8.
- 5) Sharan A, Ooi YC, Langfitt J, et al. Intracarotid amobarbital procedure for epilepsy surgery. *Epilepsy Behav* 2011; 20(2): 209-13.
- 6) Morrell F, Whisler WW, Bleck TP. Multiple subpial transection: a new approach to the surgical treatment of focal epilepsy. *J Neurosurg* 1989; 70(2): 231-9.
- 7) Clusmann H, Kral T, Fackeldey E, et al. Lesional mesial temporal lobe epilepsy and limited resections: prognostic factors and outcome. *J Neurology Psychiatry* 2004; 75(11): 1589-96.
- 8) 渡辺英寿, 藤原建樹, 池田昭夫, ほか. 内側側頭葉てんかんの診断と手術適応に関するガイドライン. てんかん研 2010; 27(3): 412-6.
- 9) Spencer DD, Spencer SS, Mattson RH, et al. Access to the posterior medial temporal lobe structures in the surgical treatment of temporal lobe epilepsy. *Neurosurgery* 1984; 15(5): 667-71.
- 10) Wieser HG, Yasargil MG. Selective amygdalohippocampectomy as a surgical treatment of mesiobasal limbic epilepsy. *Surg Neurol* 1982; 17(6): 445-57.
- 11) Hamberger MJ, Drake EB. Cognitive functioning following epilepsy surgery. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2006; 6(4): 319-26.
- 12) Shimizu H, Kawai K, Sunaga S, et al. Hippocampal transection for treatment of left temporal lobe epilepsy with preservation of verbal memory. *J Clin Neurosci* 2006; 13(3): 322-8.
- 13) Wiebe S, Blume WT, Girvin JP, et al. A randomized, controlled trial of surgery for temporal-lobe epilepsy. *N Engl J Med* 2001; 345(5): 311-8.
- 14) 龜山茂樹, 日本てんかん学会ガイドライン作成委員会. 新皮質てんかんの外科治療ガイドライン. てんかん研 2005; 23(2): 167-70.
- 15) Téllez-Zenteno JF, Hernández Ronquillo L, Moien-Afshari F, et al. Surgical outcomes in lesional and non-lesional epilepsy: a systematic review and meta-analysis. *Epilepsy Res* 2010; 89(2-3): 310-8.
- 16) Devlin AM, Cross JH, Harkness W, et al. Clinical outcomes of hemispherectomy for epilepsy in childhood and adolescence. *Brain* 2003; 126(Pt 3): 556-66.
- 17) González-Martínez JA, Gupta A, Kotagal P, et al. Hemispherectomy for catastrophic epilepsy in infants. *Epilepsia* 2005; 46(9): 1518-25.
- 18) Kossoff EH, Vining EP, Pillas DJ, et al. Hemispherectomy for intractable unihemispheric epilepsy etiology vs outcome. *Neurology* 2003; 61(7): 887-90.
- 19) Cook SW, Nguyen ST, Hu B, et al. Cerebral

- hemispherectomy in pediatric patients with epilepsy: comparison of three techniques by pathological substrate in 115 patients. *J Neurosurg* 2004; 100(2 Suppl Pediatrics): 125-41.
- 20) Asadi-Pooya AA, Sharan A, Nei M, et al. Corpus callosotomy. *Epilepsy Behav* 2008; 13(2): 271-8.
- 21) Maehara T, Shimizu H. Surgical outcome of corpus callosotomy in patients with drop attacks. *Epilepsia* 2001; 42(1): 67-71.
- 22) Spencer SS. Corpus callosum section and other disconnection procedures for medically intractable epilepsy. *Epilepsia* 1988; 29 Suppl 2: S85-99.
- 23) Ben-Menachem E. Vagus-nerve stimulation for the treatment of epilepsy. *Lancet Neurol* 2002; 1(8): 477-82.
- 24) The Vagus Nerve Stimulation Study Group. A randomized controlled trial of chronic vagus nerve stimulation for treatment of medically intractable seizures. *Neurology* 1995; 45(2): 224-30.
- 25) Handforth A, DeGiorgio CM, Schachter SC, et al. Vagus nerve stimulation therapy for partial-onset seizures: a randomized active-control trial. *Neurology* 1998; 51(1): 48-55.
- 26) Kameyama S, Murakami H, Masuda H, et al. Minimally invasive magnetic resonance imaging-guided stereotactic radiofrequency thermocoagulation for epileptogenic hypothalamic hamartomas. *Neurosurgery* 2009; 65(3): 438-49; discussion 49.

側頭葉内側の動脈と手術における留意点

川合 謙介¹⁾, 齊藤 延人¹⁾

1) 東京大学大学院医学系研究科脳神経外科

Medial Temporal Vasculature and Surgical Tips for Medial Temporal Microsurgery

Kensuke Kawai, M.D.¹⁾, and Nobuhito Saito, M.D.¹⁾

1) Department of Neurosurgery, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo

It is essential to understand the microanatomy of the medial temporal structure and its vasculature to safely perform microsurgical procedures for temporal lobe epilepsy and medial temporal tumors. We review the medial temporal vasculature and provide surgical tips for medial temporal microsurgery focusing on how the uncus is associated with the anterior choroidal artery and the hippocampal sulcus is associated with the hippocampal arteries.

The anterior choroidal artery runs posteriorly along the superior aspect of the uncus entering the choroid plexus. The uncal artery branches from the cisternal segment of the anterior choroidal artery, runs downward, enters the uncal sulcus and then forms anastomoses with branches of the hippocampal artery. The important perforators, particularly the capsulothalamic artery, branch from the most distal aspect of cisternal segment or sometimes from the choroidal segment. Uncal resection can be safely performed avoiding injury to the anterior choroidal artery by subpial resection; however, care must be taken not to injure its perforators running medial to the choroid plexus when resection proceeds posteriorly. Care must also be taken not to injure the lenticulostriate arteries since their proximal portions run considerably close when uncal resection proceeds upward.

The medial temporal branches from the posterior cerebral artery are the hippocampal arteries, lateral posterior choroidal arteries and inferior temporal artery, entering the hippocampal sulcus and fimbriodentate sulcus, the choroid plexus via the choroidal fissure, and the collateral sulcus via parahippocampal gyrus, respectively. During the final stage of en bloc hippocampus resection, we open the hippocampal sulcus and sever the hippocampal branches deep in the sulcus with the pia mater covering the subiculum to avoid injury to the posterior cerebral artery.

(Received March 2, 2012; accepted March 22, 2012)

Key words : anterior choroidal artery, hippocampal artery, uncus, hippocampus, microsurgery
Jpn J Neurosurg (Tokyo) 21 : 594-603, 2012

はじめに

てんかんや脳腫瘍など側頭葉内側病変に対する手術では、側頭葉内側血管系の把握が必要なのは言うまでもないが、側頭葉外側血管系に比して、その解剖は複雑で3

次元的な把握が難しい。本稿では、文献や成書をもとに側頭葉内側の動脈系や手術解剖を概説し、自験臨床例も提示して手術における留意点に検討を加える。特に、外科的視点から重要と思われる、鉤(uncus)と前脈絡叢動脈(anterior choroidal artery)、そして海馬溝(hippocampal

連絡先: 川合謙介, 〒113-8655 文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院医学系研究科脳神経外科

Address reprint requests to: Kensuke Kawai, M.D., Department of Neurosurgery, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8655, Japan

sulcus) と海馬動脈 (hippocampal artery) に焦点をあてて、稿を進める。

鉤と前脈絡叢動脈

① 鉤とは (Fig. 1~3)

側頭葉内側は鉤状に突出しており、この突出を鉤と呼ぶ。扁桃体や海馬と混同して用いられることがあるが、鉤はあくまでもこの突出構造そのものに対する名称である。鉤の内部の前上部には扁桃体が位置しており、鉤の内部の後半部には海馬頭部が位置している。鉤が内側に最も突出する部分を頂部 (apex) と呼ぶことがあるが (Fig. 1), これは後述する鉤尖* (uncal apex) とは異なるものである。

鉤の表面には、上方に半輪状溝* (semianular sulcus) というくぼみがあり、これは MRI の冠状断でも判別することができる (Fig. 1~3)。この溝は、鉤溝* (uncal sulcus) や海馬溝のように深く脳内に入り込まない浅いものである。前脈絡叢動脈はこの半輪状溝に沿って走行することが多い²⁾⁴⁾¹⁶⁾。半輪状溝より上の脳回が半月状回* (semilunar gyrus), 下の大きな脳回が迂回回* (ambient gyrus) である。鉤の後半部には前から順に、鉤状回* (uncinate gyrus), ジャコミニ帯* (band of Giacomini), 辺縁内回 (intralimbic gyrus) が位置する (Fig. 1, 3)。各々の直下には海馬 CA1, 齒状回, CA3 が存在する。鉤状回とジャコミニ帯は、鉤表面を垂直に走る表在海馬溝* (superficial hippocampal sulcus) で境界される。鉤尖は、鉤状に弯曲した鉤の後向きの先端部の名称である。鉤尖は CA3 上を覆う白板の連続に相当する²⁾。側頭葉内側を内側から見ると、辺縁内回は鉤尖の奥 (外側) に隠れる⁴⁾ (Fig. 1, 3)。

② 鉤と前脈絡叢動脈の走行 (Fig. 1, 3, 4)

前脈絡叢動脈は、内頸動脈から分岐した後、鉤上部表面に沿って後走し、脈絡裂の前部で、脈絡叢内に入る (Fig. 1, 3)。脈絡叢内に入る点は必ずしも脈絡裂の最前部、すなわち inferior choroidal point とは限らず、その数 mm 後方のこともある⁴⁾。Marinkovic ら¹³⁾によれば、脈絡裂に沿って後走してから脈絡叢に入るパターンを取るものは 10% である。脈絡裂に入るまでを脳槽部 (cisternal segment), 入ってからを脈絡叢部 (plexal segment) と呼ぶが、脳槽部で前脈絡叢動脈は複数の軟膜枝と穿通枝を

*脚注: これらの日本語訳は関連学会用語集には見当たらず、直訳したものである。

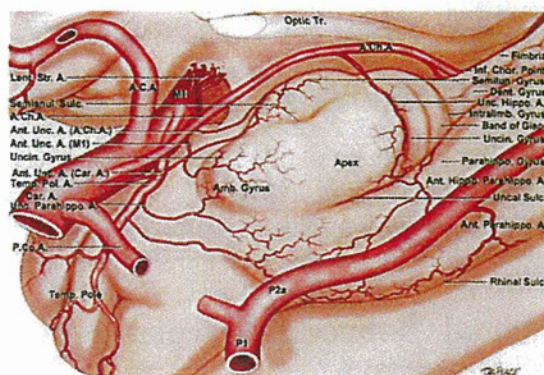


Fig. 1 An illustration showing the right medial temporal structures and related arteries⁴⁾

See text for the details. In this illustration, the hippocampal sulcus is not indicated, which is the line between the dentate gyrus and the parahippocampal gyrus.

A. C. A. : anterior cerebral artery, A. Ch. A. : anterior choroidal artery, Amb. : ambient, Ant. Hippo. Parahippo. A. : anterior hippocampal-parahippocampal artery, Ant. Parahippo. A. : anterior parahippocampal artery, Ant. Unc. A. : anterior uncinate artery, Band of Giac. : band of Giacomini, Car. : carotid, Dent. : dentate, Inf. Chor. Point : inferior choroidal point, Intralimb. : intralimbic, Lent. Str. A. : lenticulo-striate artery, P. Co. A. : posterior communicating artery, Semilun. Sulc. : semilunar sulcus, Semilun. : semilunar, Temp. Pol. A. : temporal polar artery, Tr. : tract, Unc. Hippo. A. : uncal hippocampal artery, Unc. Parahippo. A. : uncal parahippocampal artery, Uncin. : uncinate

出す。

軟膜枝としては、約 90% で鉤枝が、約 50% で海馬傍回枝がみられる¹⁰⁾。鉤枝は鉤表面を垂直に下行し鉤溝に入る (Fig. 1, 3)。鉤溝の中で、前脈絡叢動脈から出た鉤枝と後大脳動脈から出た海馬動脈との間に吻合がある²⁾³⁾¹⁰⁾ (Fig. 3)。海馬傍回枝は前脈絡叢動脈の起始部近くから出て、梨状葉皮質 (piriform cortex; 海馬傍回の最前部) と中大脳動脈 M1 部の間を外側下方に走行し海馬傍回上を後走する。鉤は、前脈絡叢動脈のみならず、内頸動脈, 中大脳動脈, 後大脳動脈からの前海馬動脈によっても灌流される。その灌流パターンは個人差が大きい²⁾⁴⁾。

穿通枝については、Marinkovic ら¹²⁾の屍体脳を用いた詳細な検討がある。前脈絡叢動脈の最初の穿通枝は、内頸動脈から分岐して平均 3 mm と、前脈絡叢動脈のかなり近位から出る。これらの近位穿通枝群は、内頸動脈や後大脳動脈からの穿通枝と一緒に前角質に入り、淡蒼

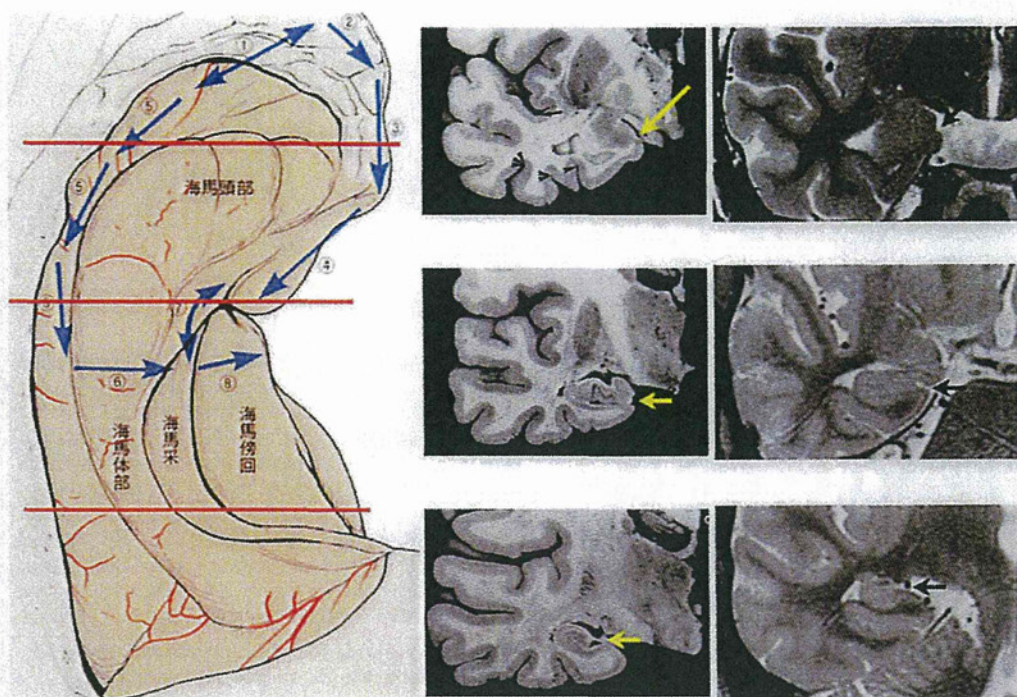


Fig. 2 Medial temporal structure and its coronal sections in a cadaveric brain and MRI

Left: An illustration of the left medial temporal structure⁶⁾. The roof of the inferior horn of the lateral ventricle is removed to show the hippocampus. The red horizontal lines indicate the position of the coronal section in the middle and right pictures.

Middle and right columns are the pictures of the coronal section of a cadaveric brain¹⁴⁾ and coronal MRIs of a patient, respectively. The pictures and MRIs are aligned corresponding to the red lines in the left illustration from anterior to posterior.

Arrows in the middle and right indicate the hippocampal sulcus. Longer arrows indicate the semianular sulcus.

球内節、内包膝部を灌流する。一方、前脈絡叢動脈の最も遠位から分岐する穿通枝は、外側膝状体の近く、脈絡叢に入る直前で分岐するもので、他の穿通枝よりも太く、内包視床動脈* (capsulothalamic artery) と呼ばれ、内包後脚、尾状核の尾部、視床外側核群を灌流する (Fig. 4)。これらの穿通枝は視索を外側・尾側方向に斜めに横切って脳実質内に入る。一方、視索に直接入る穿通枝、視索の内側で大脳脚吻側に入る穿通枝もある。前脈絡叢動脈の穿通枝は前脈絡叢動脈から直接分岐するものだけではなく、前述の軟膜枝から出るものもある。

脈絡叢部で前脈絡叢動脈は 85% で 2 本に分岐する¹³⁾。内側枝は脈絡裂に沿って走行し、外側後脈絡叢動脈と吻合する。外側枝は脈絡叢の外側を走行して糸球体 (glomus) に至る。脈絡叢部から穿通枝が出るかどうかは臨床的に重要な問題で、Erdem ら³⁾ が最初にその可能性を指摘している。Marinkvic らは 1999 年にそのような

穿通枝は認められなかったと報告しているが¹²⁾、その後 2005 年には、20 検体中 15% で脈絡叢部から内包視床動脈の分岐を認めている¹³⁾。さらに最近の Fernandez-Miranda ら⁴⁾ の 47 検体での報告では、内包視床動脈は 62% で脳槽部の最後部、脈絡裂に入る直前で分岐していたが、38% では脈絡裂に入った直後に分岐していた。さらに、7 検体では脈絡叢部のより後方で視床枕へ入る穿通枝を、2 検体で外側後脈絡叢動脈のように視床に入る穿通枝を認めている。

③ 臨床的意義

鉤の限局性損傷による特定の神経症状の報告は著者が渉猟する限り見当たらない。たとえば、脳底動脈先端部動脈瘤に対する経シルビウス裂アプローチで、鉤表面を切除しても、手術側にかかわらず術後に記憶障害や性格変化は出現しない¹⁵⁾。ただし、このアプローチで切除さ

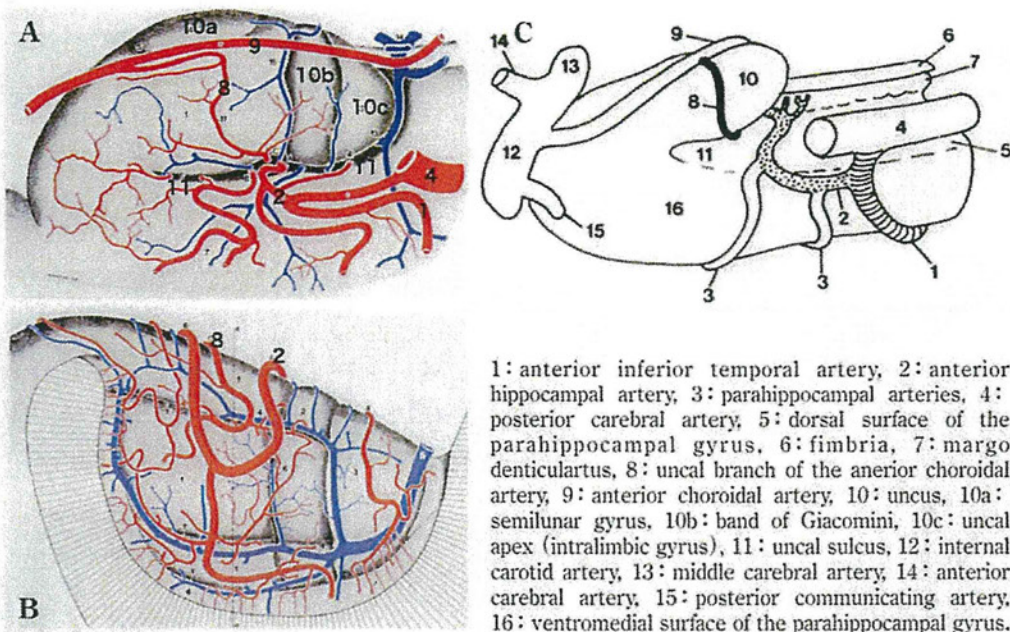


Fig. 3 Uncus, uncus branch of anterior choroidal artery and anterior hippocampal artery
 A: An illustration showing the medial aspect of the temporal lobe with the related vasculature²⁾.
 B: An illustration showing the uncus sulcus vasculature²⁾. Vessels entering the sulcus correspond to the ones in A. Note that the anterior hippocampal artery enters and exits from the sulcus feeding the piriform cortex. Note as well that there are anastomoses between the uncus branch of the anterior choroidal artery and the anterior hippocampal artery.
 C: A schematic drawing of the medial temporal structures and related arteries¹⁾.

れる鉤は、その前上部のみである。鉤の障害がより後方や深部に拡がれば、海馬頭部、迂回回、嗅内野などが障害され、記憶障害出現の可能性が予想される。

一方、鉤は glioma や glioneuronal tumor の好発部位である。側頭葉内側腫瘍の摘出手術や側頭葉てんかんに対する側頭葉内側切除では、鉤の構造や血管支配の解剖学的把握がきわめて重要である。前述のように、前脈絡叢動脈は、鉤、視索、淡蒼球内節、内包膝部および後脚、尾状核尾部、視床外側核群、大脳脚吻側を灌流する。そのため、前脈絡叢動脈の起始部や脳槽内近位部での閉塞、その穿通枝の閉塞は、片麻痺、運動失調、感覚障害、半盲、認知機能障害をきたしうる。

前脈絡叢動脈起始部の閉塞で出現する後遺症状や梗塞範囲の個人差は、鉤枝・海馬傍回枝と後大脳動脈からの海馬動脈の吻合の程度、脈絡叢枝とやはり後大脳動脈からの外側後脈絡叢動脈との吻合の程度によって生ずるものと考えられる。

4 側頭葉内側切除での注意点

てんかんや腫瘍に対する側頭葉内側切除では、前脈絡

叢動脈の損傷や閉塞の危険があり、注意が必要だと言われる。しかし、実際にこれらの手術によって前脈絡叢動脈の領域に梗塞を生ずることはまれである。特に鉤の切除を軟膜下に進める限りは、前脈絡叢動脈脳槽部の損傷のリスクは少ない。

一方、筆者は鉤腫瘍の手術で鉤の上方切除により、レンズ核線条体動脈領域に梗塞を生じ、片麻痺を呈した症例を経験した。手術ビデオの検討では、鉤内側操作に伴う前脈絡叢動脈の損傷はなく、鉤実質内切除における外側、すなわち術野手前で、中大脳動脈から分岐して後方に走行する外側レンズ核線条体動脈を出会い頭に損傷したと考えられた。それ以来、鉤切除を上方へ進める場合には、前方で軟膜越しに内頸動脈から中大脳動脈を追跡し、前脈絡叢動脈、次いでレンズ核線条体動脈を確認するように鉤切除を少しずつ上方に進め、出合い頭の損傷を避けるようにしている。鉤の上方切除では、術野の外側（手前）のごく近傍をレンズ核線条体動脈が走行することに留意する必要がある⁸⁾ (Fig. 1)。

側頭葉内側の切除を鉤から後方へ進めると脈絡叢や脈絡裂に至る。脳室内の操作では、脈絡叢が視野の妨げに

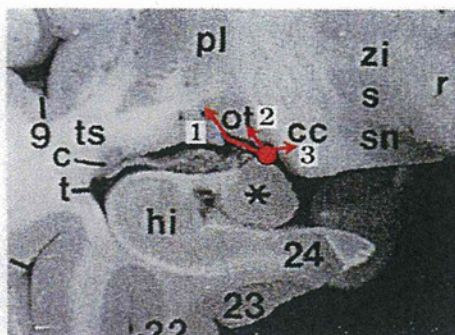


Fig.4 Perforators of the anterior choroidal artery

A conceptual drawing according to Marinkovic et al. 1999¹²⁾ on a figure by Duvernoy 1991¹¹⁾.

The anterior choroidal artery forms perforators to (1) the lateral areas to the optic tract, (2) the optic tract, and (3) the rostral peduncle. The main perforator (1) is called the capsulothalamic artery that runs posterolaterally. This branch may also originate from the anterior choroidal artery after it enters the choroid plexus.

c: caudate nucleus, cc: crus cerebri, hi: hippocampus, ot: optic tract, pl: pars lateralis of the globus pallidus, r: red nucleus, s: subthalamic nucleus, sn: substantia nigra, t: temporal horn of the lateral ventricle, ts: temporal stem, zi: zona incerta, *: uncus apex, 9: circular insular sulcus, 23: parahippocampal gyrus, 24: subiculum

なるので、脈絡叢を焼き縮める操作が有用だが、この操作は前脈絡叢動脈穿通枝の損傷をきたす危険性がある³⁾。de Oliveira は 1999 年の Marinkovic 論文に対し、自験例では脈絡叢の焼灼で片麻痺が出たことはなく、前脈絡叢動脈の脈絡叢部から分岐する穿通枝は存在しないためだろうとコメントした¹²⁾。しかし、その後の Marinkovic¹³⁾ や Fernandez-Miranda¹⁴⁾ の研究によれば、内包視床動脈は 15~38% で脈絡叢部から分岐する。

側頭葉内側切除の最後のステップでは、海馬頭部の一介摘出の後に、海馬・海馬傍回の切除断端を後方へ追加切除するが、筆者は後方切除の指標を脈絡裂の直下に外側膝状体が視認できるレベルまでとしている⁶⁾⁷⁾。この段階での術野では手前に視床の脳室面が位置し、その内側の脈絡叢をめくると、切除された海馬体部・海馬尾の軟膜越しに視床(外側膝状体)の脳槽面が確認できる(Fig. 5A)。この過程で筆者は脈絡裂や脳室の視野を得るためにしばしば脈絡叢を焼灼するが、その操作によると思わ

れる穿通枝領域梗塞の経験はない。しかし、焼灼する脈絡叢はその外側部に留めている。内包視床動脈が脳槽部で分岐する、より多いタイプでも、この動脈は脈絡裂のすぐ近傍を後外側へ走行するので、焼灼操作が脈絡裂を越えてより内側に及べば、これを損傷する危険性を想定しておくべきであろう(Fig. 4)。

海馬溝と海馬動脈

① 鉤溝と海馬溝

側頭葉内側の表面には、鉤溝と海馬溝がある(Fig. 1~3, 6)。鉤溝は鉤の前後方向のほぼ中央から始まり、後方で海馬溝に移行する。鉤溝および海馬溝は冠状断の断面図で見ると、海馬と海馬支脚との境界をなす、深い脳溝であることがわかる(Fig. 2)。

鉤の最前部では海馬内側は扁桃と連続しているが、鉤よりも後方のレベルでは海馬の内側上部は周囲脳と連続していない。この脳組織の不連続面が脈絡裂であり、脳室とくも膜下腔の境界面でもある。両者は、脈絡叢の附着部により隔てられている(Fig. 2)。

鉤溝や海馬溝は発生過程でアンモン角が折れ込むことによって形成される(Fig. 6)。このような発生過程を考慮すると、これらの溝が軟膜や血管を有する構造であること、海馬のアンモン角や歯状回の血流に深く関与していることが理解できる。

この海馬溝が大きく開いた normal variant が存在し、海馬溝遺残(hippocampal sulcus remnant)と呼ばれる(Fig. 6)。時に嚢胞状を呈し、何らかの病変と紛らわしいが、海馬溝遺残は、海馬溝の最深部、海馬の外側で前後に連続しているのが特徴である。

② 鉤溝・海馬溝と海馬動脈

鉤溝・海馬溝の上面は海馬、下面は海馬支脚であり、各々の表面に軟膜を有し、その間のくも膜下腔に軟膜血管が存在する。鉤溝には前述のように、前脈絡叢動脈の鉤枝が上方から流入する。一方、後大脳動脈からは海馬動脈が鉤溝・海馬溝に流入する。

海馬動脈は、後大脳動脈 P2 部から大きく分けて前・中・後の 3 群の枝として分岐する。前海馬動脈は鉤や海馬頭部を、中・後海馬動脈は海馬体部・海馬尾部を灌流する(Fig. 1, 3)。前・中海馬動脈は P2 だけでなく後大脳動脈から分岐した下側頭動脈から出ることもある。後海馬動脈も脳梁膨大部動脈*(splenial artery)から分岐することがある。その他にも海馬動脈の起始にはかなり変異がある²⁾。Erdem¹⁵⁾らは、海馬動脈の灌流パターンを 5 型

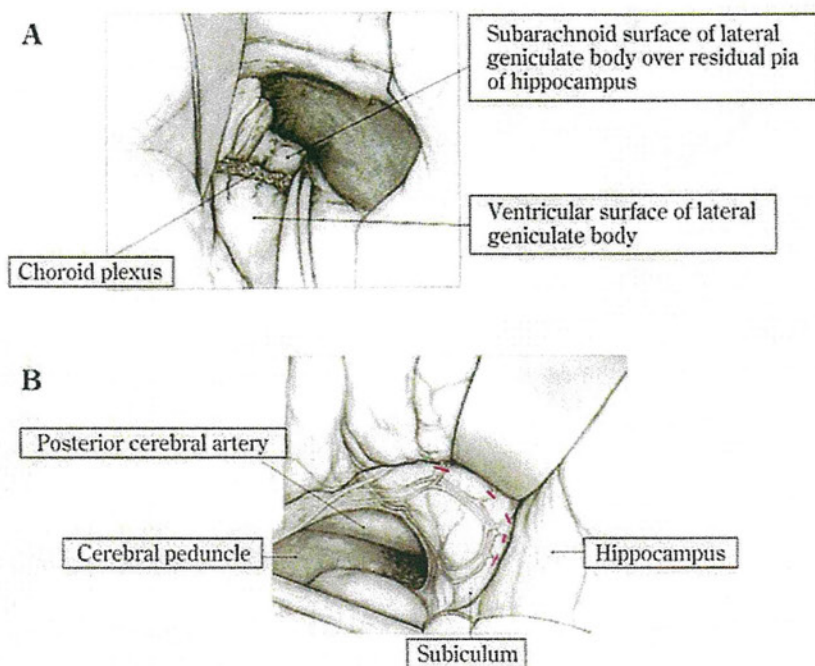


Fig. 5 Illustrations showing surgical tips for use during hippocampal resection

Modified from the reference⁷⁾.

- A: In the final stage of the additional posterior hippocampal resection, the cisternal surface of the lateral geniculate body is recognized beyond the choroid plexus and choroidal fissure after subpial resection of the fimbria. Care must be taken not to injure the perforating branches of the anterior choroidal artery, which may be hidden over the choroid plexus.
- B: In the final stage of en-bloc anterior hippocampus resection, the hippocampal sulcus is opened and the hippocampal arteries are severed deep in the sulcus together with the pia mater covering the subiculum.

に分類したが、前脈絡叢動脈、後大脳動脈 P2 本幹、後大脳動脈の分枝（下側頭動脈、外側後脈絡叢動脈、脳梁膨大部動脈）などすべてから分岐するパターンが最も多い³⁾。

前海馬動脈の起始部は鉤尖部近傍にあり、後大脳動脈本幹、下側頭動脈、脳底静脈などが密集しており (Fig. 3)²⁾¹¹⁾、海馬切除では最も注意を要する部位である。鉤溝に入る前海馬動脈は、溝内でループを形成しながら海馬頭部を灌流する細枝を出した後、溝から出て、鉤下部を灌流する (Fig. 3)。また、前述のように鉤溝内では、前脈絡叢動脈枝と後大脳動脈枝の吻合がしばしばみられる²⁾³⁾¹⁰⁾。なお、下側頭動脈は海馬傍回を超えて側副溝へ入る。

中・後海馬動脈は、後大脳動脈またはその枝から真横に出て、海馬支脚の平面上を外側に走行して海馬溝や脳系歯状回溝* (fimbriodentate sulcus) に入って海馬アンモ

ン角を灌流する (Fig. 7)。

海馬体部レベルからの後大脳動脈から分岐する枝には、海馬動脈の他に外側後脈絡叢動脈がある。前述のように両者は共通幹から出ることもある。またどちらも側頭葉内側に入るが、海馬動脈は海馬溝や脳系歯状回溝へ、外側後脈絡叢動脈は脈絡裂から脈絡叢に入る (Fig. 7)。

③ 海馬切除における海馬溝の処理

鉤溝・海馬溝には上述のように海馬や海馬支脚を灌流する血管が入るため、海馬切除や側頭葉内側の血管病変の手術において重要な指標となる。

海馬頭部の一介摘出では、ほとんどの操作を軟膜下で行えるが、最後に脳底槽から海馬溝に流入する血管群を軟膜と一緒に処理する必要がある。この操作を乱暴に行うと、後大脳動脈から海馬動脈を引き抜いてしまう危険がある。まれには後大脳動脈 P2 部そのものが外側に張

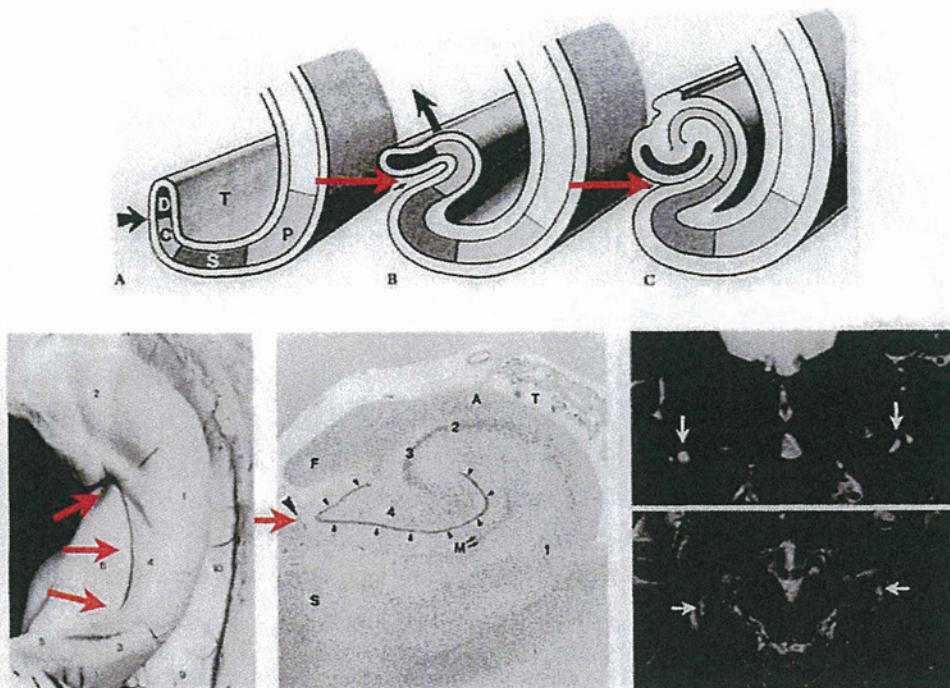


Fig. 6 Ontogenic formation of the hippocampus and hippocampal sulcus

Top: Formation of the hippocampus and hippocampal sulcus in the left temporal lobe⁹⁾. Note that the hippocampal sulcus is a folding of the cornu ammonis with its pial surface. Red arrow: hippocampal sulcus, D: dentate gyrus, C: cornu ammonis, S: subiculum, P: parahippocampal gyrus.

Bottom left: The right cadaveric hippocampus viewed from above²⁾. Red arrows: hippocampal sulcus.

Bottom middle: Coronal histologic section of a normal adult left hippocampus⁹⁾. Red arrow: hippocampal sulcus.

Bottom right: Hippocampal sulcus remnants are noted bilaterally as cystic changes in the lateral hippocampi of a normal adult (arrows).

り出して鉤溝・海馬溝にはまりこんでいる症例があり⁷⁾, その場合には後大脳動脈本幹そのものを損傷する危険も考えられる。

したがって、海馬摘出の際には、軟膜下に海馬采、そして海馬本体を上外側に剝離していき、鉤溝・海馬溝を開き、海馬溝内の動脈の走行をよく見て、loop 状に溝内を走行する海馬動脈を温存し、海馬溝のなるべく奥、すなわち外側で軟膜ごと切断するようにする。海馬支脚側でも軟膜下に脳実質を剝離するようにすれば、後大脳動脈 P2 部から分岐する海馬動脈を海馬溝内の軟膜と一介にして脳底槽側に残すことができる^{5)~7)} (Fig. 5B)。

④ 海馬溝の開放の応用

海馬溝の開放を応用した手術として、海馬溝内の脳動脈静脈奇形 (AVM) の症例を提示する。症例は 38 歳の女

性で、7 年前に右側頭葉内側の AVM を偶然発見され、ガンナイフ治療を受けた (Fig. 8A)。AVM は消失したと思われていたが、突然の頭痛をきたし、CT で脳室内出血が認められた (Fig. 8B)。残存 AVM からの出血が疑われ、脳血管造影で低血流ではあるが、動脈相で流出静脈を認め、AVM の残存が確定された。また、後大脳動脈 P2 後方からの流入動脈が同定できた (Fig. 8C)。ガンナイフ治療後の出血例であり、直達手術による摘出が必要と判断した。

手術は経シルビウス裂的に外側上方から側脳室下角を開放し、さらに脈絡裂を開放して、くも膜下腔に入ってから、海馬溝を開くように海馬采を上外側に徐々に牽引した。海馬溝内を走行する red vein が確認され、後方へ海馬溝の開放を進めて、流入動脈である海馬動脈を確認。その先端に海馬支脚の脳組織に埋もれる nidus と血腫腔