大脳白質解剖に基づくグリオーマ手術

丸山 隆志¹⁾²⁾, 村垣 善浩¹⁾²⁾, 新田 雅之¹⁾²⁾, 斎藤 太一¹⁾²⁾, 田村 学²⁾, 伊関 洋¹⁾²⁾,
岡田 芳和¹⁾²⁾

1) 東京女子医科大学脳神経外科, 2) 同 先端生命医科学研究所先端工学外科学分野

Glioma Surgery based on Anatomical Structure of the White Matter

Takashi Maruyama, M.D., Ph.D.¹⁾²⁾, Yoshihiro Muragaki, M.D., Ph.D.¹⁾²⁾,
Masayuki Nitta, M.D., Ph.D.¹⁾²⁾, Taichi Saito, M.D., Ph.D.¹⁾²⁾, Manabu Tamura, M.D., Ph.D.²⁾,
Hiroshi Iseki, M.D., Ph.D.¹⁾²⁾, and Yoshikazu Okada, M.D., Ph.D.¹⁾²⁾

1) Department of Neurosurgery, Tokyo Women's Medical University, 2) Faculty of Advanced Techno-Surgery, Institute of Advanced Biomedical Engineering & Science, Graduate School of Medicine, Tokyo Women's Medical University

The primary aim of glioma surgery is to achieve a balance between maximum tumor removal and minimal functional morbidity. The advent of awake surgery has greatly increased the number of patients with tumors in or around the eloquent language areas undergoing extensive removal. Preoperative anatomical evaluation modalities, such as diffusion tensor imaging (DTI) tractography or color mapping, are used to visualize the subcortical neuronal network in the white matter. This structural information can help predict further tumor extension and neuronal damage adjacent to the surrounding area of tumor. To achieve successful functional evaluation and maximum tumor removal without surgical complication, we must be well aware of the symptomatic evaluation following electrical stimulation. In the white matter, identifying the short association fibers and the long association fibers involving the association with language function are the key for successful resection. In our report, an overview of the anatomical structures and the clinical symptoms related to the language area encountered in glioma removal surgery are reported.

(Received September 30, 2014 ; accepted November 27, 2014)

Key words : glioma, awake surgery, association fiber, cortical mapping

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 24 : 76-84, 2015

はじめに

グリオーマ手術において、白質解剖を熟知することは摘出範囲の決定、合併症を予防するうえで不可欠である。

グレード 2, 3 グリオーマでは 20~40 歳の若年をピークに、無症状またはてんかん発作にて偶然発見される場合が多い。長期生存が期待できる腫瘍である以上、手術の目的は組織診断の確定と摘出率の向上によるてんかん発作のコントロールや、生存期間の延長といった治療成

績の改善であるとともに、摘出術による合併症の予防に努めなければならない。Functional MRI や tractography, 拡散テンソル法による color map などによる術前画像にて腫瘍の主座、周囲を取り巻く神経線維の描出を行うことで、近接する神経線維の障害による合併症の予測が可能となる。すなわち術前の白質解剖に基づく摘出計画の立案がより重要となった¹²⁾¹⁶⁾²⁰⁾。本稿では主として言語機能の温存を目的とした覚醒下摘出術に必要な白質解剖を中心に解説する。なお、言語に関する神経連絡線維の

連絡先: 丸山隆志, 〒162-8666 新宿区河田町 8-1 東京女子医科大学脳神経外科

Address reprint requests to: Takashi Maruyama, M.D., Ph.D., Department of Neurosurgery, Tokyo Women's Medical University, 8-1 Kawadacho, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8666, Japan

Table 1 White matter gyral segment sectors

Composition	Sector	Description
Gray matter	0	Cortical sector
Peripheral white matter	1	Subcortical sector
	2	Subgyral sector
	3	Gyral sector
	4	Lobar sector
Central white matter	5	Capsular sector

構成と機能については近年の研究にてより複雑かつ広範囲の領域の関与が指摘されている³¹⁾。また、グリオーマに対する覚醒下手術中に観察される神経症状は、限定された時間とタスクの中で電気刺激により誘発された症状であることから、術後に典型的な言語障害を呈さない場合も多い。術中に症状を呈したすべての言語関連線維を温存すべきかについては議論が多く、今後の症例経験の集積の中で検討すべき問題である。

グリオーマの浸潤形式

大脳皮質は新皮質、古皮質、旧皮質に区分されることが知られている。これに対し連合線維の走行に応じた分類として Yasargil ら⁴²⁾は正常な白質構造を灰白質 (gray matter)、末梢性白質 (peripheral white matter)、中心性白質 (central white matter) の 3 層に区分している。Peripheral white matter はさらに 4 つの sector に分かれており、浅層より subcortical sector, subgyral sector, gyral sector, lobar sector と呼ばれる (Table 1, Fig. 1)。神経連絡線維は、その走行から short association fiber, long association fiber, commissural fiber に分類される。それぞれの線維は、機能や解剖学的連続性をもって白質内を走行する。グリオーマの発生から周囲への浸潤までのパターンを一元的に語ることは困難である。しかし、概念的には早期に subcortical, subgyral sector に発生した腫瘍細胞が連結する軸索 (axon) に従って浸潤を開始する。次に subcortical sector を主として走行する U-fiber など、いわゆる short association fiber を介して隣接する脳回に浸潤する。さらに浸潤が進むと long association fiber や commissural fiber を介して深部白質や対側へと伸展する⁴²⁾。MRI や PET などによる術前評価にて腫瘍の辺縁がどの sector に到達しているかを予測することは、目標とする摘出範囲を想定すると同時に今後の浸潤方向を予測するために役立つ。

Fig. 1 Artistic diagram of the white matter sectors within a gyral segment (coronal section)

- 0 Cortex (gray)
 - 1 Subcortical (brown)
 - 2 Subgyral (light brown)
 - 3 Gyral (yellow)
 - 4 Lobar (dark brown)
 - 5 Capsular, pyramidal
- (Reprinted with permission from Reference 36.)

言語に関する神経連絡線維

言語機能の温存を目的としたグリオーマ摘出の場合、言語機能に関連する注意すべき連合線維として①上縦束 (superior longitudinal fasciculus : SLF)、②上前頭後頭束 (superior fronto-occipital fasciculus : SFOF)、③下前頭後頭束 (inferior fronto-occipital fasciculus : IFOF)、④下縦束 (inferior longitudinal fasciculus : ILF)、鉤状束 (uncinate fasciculus : UF) 等が知られている (Fig. 2, 3)。

上前頭後頭束

SFOF は前頭葉の中、下前頭回から頭頂葉を經由し後頭葉までを連絡する線維束である。深部白質において側脳室体部の上外側角に接し、尾状核体部の上外側、放線冠の内方を前後に走行する。放線冠により外側には上縦束が、内側には上前頭後頭束が区別される。SFOF は梁下束ともいわれ、言語機能の中でも言語始動障害に関する情報伝達をつかさどるといわれる。主に上前頭回に位置するグリオーマの摘出の際に関係する線維である。

Fig. 2 3D-model of association fiber

A : Lateral view.

B : Fiber dissection of the Lt cerebral hemisphere.

C : View after removing the SLF (yellow).

D : View after removing the SLF (yellow) and the ILF (brown).

Yellow : superior longitudinal fasciculus (SLF), Brown : inferior longitudinal fasciculus (ILF),
Orange : inferior fronto-occipital fasciculus (IFOF), Red : uncinated fasciculus (UF)

上縦束

前頭葉の下，中前頭回から発し島上端内側，前障の上縁を経由し，前頭葉，頭頂葉，後頭葉を連絡する。側脳室体部の上外側角に接し，島回後方で弓状にカーブし側頭葉に向かう。上縦束を構成する要素にはいくつかの説があり，Makris²³⁾からは以下の4つの要素から構成されていることが報告されている (Fig. 3)。

SLF I : 前頭葉背側，内側皮質，補足運動野と上頭頂皮質へと投射し，運動制御に関わっていると考えられている。

SLF II : 上縦束の主要な要素で，下尾側頭頂皮質 (caudal-inferior parietal cortex) から背外側前頭前皮質 (dorsolateral prefrontal cortex) へと投射される。空間注意と視

覚，眼球運動機能に関与する下尾側頭頂皮質 (caudal-inferior parietal cortex) に接続することから視覚空間認知に関する情報を連絡すると考えられている。

SLF III : 縁上回から腹側前運動野と前頭前野へと投射する。腹側中心前回からの情報を吻側下頭頂皮質へと連絡していることから，言語の調音などの体性感覚情報を腹側前運動野，弁蓋部，縁上回，前頭前野などのワーキングメモリーに関連する皮質へと連絡していると考えられている。

弓状束 : 中，下前頭回から外包を経由し，縁上回の深部を通過し上側頭回を連絡する。運動性言語野と感覚性言語野を連絡する主たる経路と考えられ，障害により伝導失語を呈する。弓状束はより広く上，中側頭回後部と中，下前頭回後半部を結ぶが，前頭葉後部と下頭頂小葉

Fig. 3 A : Coronal section view of a 2D-color map by 3T-MRI.
 B : Coronal section at the level of the rostrum of the corpus callosum.
 SFOF : superior fronto-occipital fasciculus, IFOF : inferior fronto-occipital fasciculus,
 ILF : inferior longitudinal fasciculus, SLF : superior longitudinal fasciculus, UF :
 uncinated fasciculus

を結ぶ前頭部分と、下頭頂小葉と側頭部後半を結ぶ後半部分に分かれる間接経路があることが示されている⁷⁾。これらは下頭頂葉から上側頭回に位置する腫瘍の場合に生じるさまざまな神経症状に関係する。たとえば縁上回皮質の電気刺激にて音韻性錯語または構音の障害を示すが、意味に関する障害は起こらないことが報告されている²⁴⁾。このように弓状束周囲の解剖は複雑で、報告により解釈が異なるために、今後さらなる検討が待たれる⁶⁾。

下前頭後頭束

下前頭回と後頭極を連絡し、外包底部でレンズ核と鉤状束の間を通り中、下側頭回を連絡する。下縦束とともに外包と最外包を形成する²⁵⁾。腹側ネットワークとも呼ばれ、統語の処理や文脈理解に関わる意味処理の遂行的側面、語彙の選択と意味記憶との関連づけなど、単語レベルを超えるさまざまな言語の意味関連の処理に関与していると推定される³⁶⁾³⁷⁾⁴⁰⁾⁴¹⁾。側頭葉や後頭葉のみならず島回後方の摘出の際に近接する線維であり、症状の鑑別に注意を要する。

下縦束

側頭葉前部から起こり、側脳室下角、後角の外側を通って後頭葉後端に達する。側脳室三角部、後角の外側では視放線とともに外側矢状層に加わる。下前頭後頭束と下縦束とは明瞭に分離することはできない。本線維の障害の場合、外傷後の逆行性健忘のように記憶障害に関連する症状が出現する⁴⁾。

鉤状束

島回の前下縁を經由し鉤状に曲がる線維束で、腹側成分と背側成分に分けられる。腹側成分は前頭葉眼窩回と側頭極、扁桃核、海馬回を連絡し、背側成分は中前頭回付近と側頭葉前外側部を連絡して下前頭後頭束と合流する。鉤状束は下前頭後頭束、視放線とともに temporal stem を構成し、島回内の外包、前障の外方下部を經由する。島回腫瘍の切除の場合に temporal stem について意識する必要がある。この線維束はエピソード記憶や言語の社会的な感情処理に関わる機能を有するとされてきたが、正確な機能についてはよくわかっていない。言語においては側頭葉前方と前頭葉底面の広い範囲とを結ぶ腹側言語ネットワークの一部に属している。ただし、この線維の損傷では直接言語機能に障害を及ぼすわけではなく、直接言語機能障害を呈するものではなく¹¹⁾、言語の意味関連の処理に関与していると考えられている⁶⁾¹⁷⁾。最近の研究では、意思決定のための記憶表出と、ある種の学習記憶の障害につながる可能性が示唆されている⁹⁾。経験的には物品呼称にて刺激により音韻性錯語を呈するが、下前頭葉を含む下前頭後頭束による腹側ネットワークが保たれているかぎり、永続的な言語障害につながるものではないようである。

電気刺激により生じる naming error

グリオーマに対する覚醒下手術では、皮質や白質への直接刺激により誘発される症状から、失語のタイプや刺激を受けた言語関連線維を想定しなければならない²⁸⁾。

Table 2 Type of naming error⁸⁾

1. Semantic paraphasias	
1. Coordinate	LION→tiger
2. Associate	FOOT→shoe
3. Superordinate	PEAR→fruits
4. Subordinate	FLOWER→rose
5. Part-whole	HAND→finger
6. Visual	NAIL→knife
2. Circumlocution error	CHAIR→sit down SHOE→cover foot
3. Phonological paraphasias	
1. Substitution	WAGON→ragon
2. Epenthesis	PANTS→plants
3. Deletion	SPOON→poon
4. Transposition	APPLE→papple
5. Perseveration	BANANA→babana
4. Neologism	
5. Performance error	

覚醒下手術中にわれわれが遭遇する失語症状の多くの場合は典型的な失語症状を呈さない場合も多い。ガイドラインにおいても刺激時のタスクの手順として数唱 (counting)、物品呼称 (naming)、読字 (reading) へと段階的に進んでいくことで、失語の内容を選別することが推奨されている²¹⁾。Ojemann ら⁸⁾の報告では覚醒下摘出術中に遭遇する naming error の種類に関して 5 種類に分類し、生じる神経症状について詳しく解説しているので参照されたい (Table 2)。

前方言語野白質

前頭葉から側頭葉に主座する病巣の場合、上縦束、下前頭後頭束、鉤状束が補足運動野、前頭言語野 (いわゆる Broca 野)、側頭葉を連絡する。上縦束は側脳室前角の外側を走行し、上向する下前頭側頭束とともに補足運動野との連絡に関与する¹⁾¹³⁾。前頭葉言語野の電気刺激によって発語停止、呼称障害、復唱障害に加えて理解障害が誘発される²²⁾³⁸⁾。これとは対照的に、前頭葉深部白質の手術で生じる可能性の高い超皮質性運動失語の特徴は、自発性が著しく低下した発話、良好な復唱能力、比較的良好な理解能力である。発話の自発性の低下やたくさんの呼称などの語想起課題の障害は、これら補足運動野への連絡線維による影響が考えられている²⁷⁾。この場合には復唱や呼称は比較的良好である。島回から側頭葉への操作の場合には、発話失行を伴う非流暢な発話、復唱が障害される運動性失語を呈する場合がある。聴覚理解は比較的保たれるが、発話に関して喚語困難、錯語が

みられ、呼称は障害されるも語頭音ヒントが有効な場合も多い。前頭葉言語野の後部下方は音韻から構音への変換に関与していると考えられ、発話の最終処理としての音声を構音する領域が中心前回の中～下部である。この両者をつなぐ領域には刺激にて運動停止を誘発する陰性運動野が確認できる場合がある。この部位の損傷ではしばしば流暢性の乏しい断続言語様の症状がみられる。ただし、発話の障害が長期間持続することは少なく、前方言語野として機能的に重要な連絡線維は前頭葉言語野と補足運動野とを結ぶ経路とも考えられている²⁷⁾³³⁾。なお、本邦では前頭葉損傷による超皮質性感覚失語が数多く報告されている³⁰⁾。病巣は中、下前頭回後半部の皮質、皮質下に多く、中心前回は基本的に保存され前頭葉言語野を一部または全部含むことが多く、超皮質性運動失語を生じる部位とオーバーラップする人が多いようである。すなわち、前頭葉白質病変では超皮質性運動失語、感覚失語いずれもが起こり得ることを記憶しておきたい¹⁸⁾。

症例 1 は、Wada test にて左優位半球が判定している島回～側頭葉内側に主座する 25 歳の神経膠腫 (oligoastrocytoma) 症例である (Fig. 4)。てんかん発作にて発症した失語症状を伴わない術前無症状な症例で、言語機能温存を目的とした覚醒下手術が行われた。側頭葉内側部分の摘出の際に一過性に保続、字性錯語が出現した。症状は一過性であったために、覚醒手術を継続し、島回部分の摘出を行った。島回後下方部に至ったところで物品呼称にて無関連性錯語、保続を主体とした言語症状をきたした。側頭葉内側部分で生じた症状は、鉤から海馬への境界領域の摘出において鉤状束に起因し、島回後方では temporal stem のうち下前頭後頭束に起因する症状と考えられた。

後方言語野白質

頭頂葉に主座する症例では、縁上回深部に走行する弓状束および下前頭後頭束が腫瘍の前方深部を走行することが想定される。弓状束は上側頭回後部の側頭葉言語野 (いわゆる Wernicke 野) と下前頭回後部の前頭葉言語野とを連絡する復唱の経路と考えられ²⁾、縁上回への刺激では音韻性錯語または構音の障害を示し、深部では通過する弓状束による伝導失語を呈する²⁴⁾³⁵⁾。また、頭頂葉言語野である角回は意味処理に関して賦活される部位であり³⁾、刺激では計算障害や Gerstmann 症候群を呈する¹⁰⁾³⁴⁾。一方、弓状束のみの障害では一過性の伝導失語しか起こさない可能性が指摘されており³⁹⁾、理解障害を

Fig. 4 A : Pre- and post-surgical removal of Lt frontal oligoastrocytoma.
 Upper lane, pre-operative MRI image of axial FLAIR.
 Middle lane, pre-operative MRI of axial T1-Gd.
 Lower lane, post-operative MRI of axial T1-Gd.
 (a) Repetition and paraphasia caused by uncinate fasciculus.
 (b) Semantic jargon aphasia caused by IFOF.
 B : 3D model of association fiber. Red ; uncinate fiber, Brown ; IFOF
 C : Semantic jargon aphasia during posterior part of insula tumor removal.

生じない範囲で縁上回から側頭頭頂接合部を含む皮質、皮質下病巣により伝導失語を呈するとも考えられている¹⁵⁾。最近の研究では弓状束は上、中側頭回後部と中、下前頭回後部ならびに中心前回とを連絡する一方で、必ずしも前頭葉言語野に終止しない場合やその後部の弁蓋部までしか至らない場合があることも報告されている。Tractography が交叉線維を描出できないことによる可能性があるため、今後の研究結果が待たれる⁷⁾¹⁴⁾。

術中にみられる症状の特徴は、自発話は基本的に流暢であり、音韻性錯語がしばしば頻発するが発語失行はなく、語性錯語は少ない。復唱障害は特徴的であり、頻発する音韻性錯語に対する自己修復が繰り返される傾向がみられる。喚語できているが音韻性錯語によって正しい表出が妨げられ、言い直すのが伝導失語の特徴とされ

る¹⁹⁾。聴覚性理解障害はほとんどないが、呼称において仮名の字性錯読が強い傾向である²⁹⁾。

症例 2 は、優位半球下部頭頂葉に主座する神経膠腫である (Fig. 5)。てんかん発作にて発症した、術前失語症状のない症例で、硬膜下電極留置による皮質マッピングを行い、腫瘍直上に誘発される神経症状は認めないことを確認した。腫瘍前方下部、縁上回深部の白質部分の摘出の際に、流暢性、長文の復唱の障害、無関連性錯語、仮名読字障害を呈した。解剖学的には深部白質の弓状束に関連する症状と考えられた。

おわりに

3T MRI の普及により拡散テンソル画像を用いた神経

Fig.5 Pre- and post-surgical removal of a Lt parietal anaplastic oligodendroglioma

A : Preoperative sagittal FLAIR image.

B : Preoperative tractography indicating the arcuate fibers.

C : Postoperative sagittal FLAIR image.

D : Preoperative functional evaluation by grid-electrode implantation.

連絡線維の詳細な描出が可能となり，神経膠腫手術の術前評価の精度が向上した⁵⁾¹²⁾³²⁾．腫瘍を取り巻く神経連絡線維の走行を事前に予測することで，言語領域に隣接

する腫瘍摘出において覚醒下手術による言語機能の評価が可能となる．特に皮質下マッピングによる言語機能の評価にて，生じた神経症状から神経線維の連続性の確認

を行うことが重要である。皮質下部分の摘出の場合、われわれが多用するのは復唱と関連する呼称の語想起である²⁶⁾。深部白質での摘出操作と並行して症状の誘発の有無を確認することが理想的ではあるが、刺激と摘出を同時に行うことは困難である。したがってモニタリングとして通常会話を継続しつつ流暢性や理解度、反応性などの低下を感じた場合に、速やかに電気刺激によるマッピングを実施し、物品呼称、復唱、読字など想定される神経線維に準じた言語反応の可否を確認する。ただし、観察される神経症状は腫瘍の組織型、罹患期間、サイズなどに多くの影響を受けることから、それぞれの症例において綿密な予測と評価が必要である。また、合併症を予防しつつ最大限の摘出を行うという目標達成のためには、生じた神経症状が腫瘍摘出後に回復が可能か否かを判断することも今後の課題である。

本稿では、覚醒下手術による術中マッピングの観点から大脳白質の神経線維の解剖と言語に関する神経症状につき解説を行った。

謝 辞

本稿を執筆するにあたり、貴重なご指導を賜りました札幌医科大学医学部リハビリテーション医学講座教授 石合純夫教授に心より感謝申し上げます。

著者の COI (conflicts of interest) 開示: 本論文の発表に關して開示すべき COI はありません

文 献

- Alexander MP, Benson DF, Stuss DT: Frontal lobes and language. *Brain Lang* **37**: 656-691, 1989.
- Bernal B, Ardila A: The role of the arcuate fasciculus in conduction aphasia. *Brain* **132**: 2309-2316, 2009.
- Binder JR, Desai RH, Graves WW, Conant LL: Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cereb Cortex* **19**: 2767-2796, 2009.
- Catani M, Jones DK, Donato R, Ffytche DH: Occipito-temporal connections in the human brain. *Brain* **126**: 2093-2107, 2003.
- Catani M, Jones DK, Ffytche DH: Perisylvian language networks of the human brain. *Ann Neurol* **57**: 8-16, 2005.
- Catani M, Mesulam M: The arcuate fasciculus and the disconnection theme in language and aphasia: history and current state. *Cortex* **44**: 953-961, 2008.
- Catani M, Thiebaut de Schotten M: A diffusion tensor imaging tractography atlas for virtual in vivo dissections. *Cortex* **44**: 1105-1132, 2008.
- Corina DP, Loudermilk BC, Detwiler L, Martin RF, Brinkley JE, Ojemann G: Analysis of naming errors during cortical stimulation mapping: implications for models of language representation. *Brain Lang* **115**: 101-112, 2010.

- de Zubicaray GI, Rose SE, McMahon KL: The structure and connectivity of semantic memory in the healthy older adult brain. *Neuroimage* **54**: 1488-1494, 2011.
- Duffau H, Denvil D, Lopes M, Gasparini F, Cohen L, Capelle L, Van Effenterre R: Intraoperative mapping of the cortical areas involved in multiplication and subtraction: an electrostimulation study in a patient with a left parietal glioma. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* **73**: 733-738, 2002.
- Duffau H, Gatignol P, Moritz-Gasser S, Mandonnet E: Is the left uncinate fasciculus essential for language? A cerebral stimulation study. *J Neurol* **256**: 382-389, 2009.
- Fernandez-Miranda JC, Pathak S, Engh J, Jarbo K, Verstynen T, Yeh FC, Wang Y, Mintz A, Boada F, Schneider W, Friedlander R: High-definition fiber tractography of the human brain: neuroanatomical validation and neurosurgical applications. *Neurosurgery* **71**: 430-453, 2012.
- Freedman M, Alexander MP, Naeser MA: Anatomic basis of transcortical motor aphasia. *Neurology* **34**: 409-417, 1984.
- Frey S, Campbell JS, Pike GB, Petrides M: Dissociating the human language pathways with high angular resolution diffusion fiber tractography. *J Neurosci* **28**: 11435-11444, 2008.
- Fridriksson J, Kjartansson O, Morgan PS, Hjaltason H, Magnúsdóttir S, Bonilha L, Rorden C: Impaired speech repetition and left parietal lobe damage. *J Neurosci* **30**: 11057-11061, 2010.
- Giussani C, Roux FE, Ojemann J, Sganzerla EP, Pirillo D, Papagno C: Is preoperative functional magnetic resonance imaging reliable for language areas mapping in brain tumor surgery? Review of language functional magnetic resonance imaging and direct cortical stimulation correlation studies. *Neurosurgery* **66**: 113-120, 2010.
- Grossman M, McMillan C, Moore P, Ding L, Glosser G, Work M, Gee J: What's in a name: voxel-based morphometric analyses of MRI and naming difficulty in Alzheimer's disease, frontotemporal dementia and corticobasal degeneration. *Brain* **127**: 628-649, 2004.
- 濱中淑彦, 波多野和夫, 石黒聖子, 橋本眞言, 辻 麻子, 田中春美, 三宅裕子, 石川佐和夫, 太田彰子, 中嶋理香, 松井朋子: 前頭葉と失語—超皮質性感覚失語像をめぐる—。失語症研究 **12**: 130-144, 1992.
- 石合純夫: 高次脳機能障害学 第2版。東京, 医歯薬出版, 2012.
- Jbabdi S, Johansen-Berg H: Tractography: where do we go from here? *Brain Connect* **1**: 169-183, 2011.
- Kayama T: Guidelines Committee of the Japan awake surgery conference: The guidelines for awake craniotomy guidelines committee of the Japan awake surgery conference. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **52**: 119-141, 2012.
- Lesser RP, Lueders H, Dinner DS, Hahn J, Cohen L: The location of speech and writing functions in the frontal language area. Results of extraoperative cortical stimulation. *Brain* **107** (Pt 1): 275-291, 1984.
- Makris N, Kennedy DN, McInerney S, Sorensen AG, Wang R, Caviness VS Jr, Pandya DN: Segmentation of subcomponents within the superior longitudinal fascicle in humans: a quantitative, in vivo, DT-MRI study. *Cereb Cortex* **15**: 854-869, 2005.
- Maldonado IL, Moritz-Gasser S, Duffau H: Does the left superior longitudinal fascicle subserve language seman-

- tics? A brain electrostimulation study. *Brain Struct Funct* **216**: 263–274, 2011.
- 25) Mandonnet E, Nouet A, Gatignol P, Capelle L, Duffau H: Does the left inferior longitudinal fasciculus play a role in language? A brain stimulation study. *Brain* **130**: 623–629, 2007.
- 26) 丸山隆志, 村垣善浩, 新田雅之, 齋藤太一, 田村 学, 伊関 洋, 岡田芳和: 覚醒下手術の現状と課題. 脳外誌 **22**: 597–604, 2013.
- 27) Morgan VL, Mishra A, Newton AT, Gore JC, Ding Z: Integrating functional and diffusion magnetic resonance imaging for analysis of structure–function relationship in the human language network. *PLoS One* **4**: e6660, 2009.
- 28) 村垣善浩: 脳機能マッピング・モニタリング 硬膜下電極モニタリング法を用いた機能部位同定の要点と注意点. 脳外誌 **10**: 291, 2001.
- 29) 永江和久: 失読症における失読. 神経内科 **10**: 437–442, 1979.
- 30) 大槻美佳, 相馬芳明, 吉村菜穂子, 小山 晃, 辻 省次: 前頭葉損傷と理解障害—前頭葉損傷による流暢性失語における検討—. *Brain Nerve* **49**: 122–130, 1997.
- 31) Price CJ: The anatomy of language: a review of 100 fMRI studies published in 2009. *Ann N Y Acad Sci* **1191**: 62–88, 2010.
- 32) Richter M, Zolal A, Ganslandt O, Buchfelder M, Nimsky C, Merhof D: Evaluation of diffusion-tensor imaging-based global search and tractography for tumor surgery close to the language system. *PLoS One* **8**: e50132, 2013.
- 33) Rosso C, Valabregue R, Arbizu C, Ferrieux S, Vargas P, Humbert F, Attal Y, Messé A, Zavanone C, Meunier S, Cohen L, Delmaire C, Thielscher A, Herz DM, Siebner HR, Samson Y, Lehericy S: Connectivity between right inferior frontal gyrus and supplementary motor area predicts after-effects of right frontal cathodal tDCS on picture naming speed. *Brain Stimul* **7**: 122–129, 2014.
- 34) Roux FE, Boetto S, Sacko O, Chollet F, Trémoulet M: Writing, calculating, and finger recognition in the region of the angular gyrus: a cortical stimulation study of Gerstmann syndrome. *J Neurosurg* **99**: 716–727, 2003.
- 35) Roux FE, Lubrano V, Lauwers-Cances V, Trémoulet M, Mascott CR, Démonet JF: Intra-operative mapping of cortical areas involved in reading in mono- and bilingual patients. *Brain* **127**: 1796–1810, 2004.
- 36) Saur D, Kreher BW, Schnell S, Kümmerer D, Kellmeyer P, Vry MS, Umarova R, Musso M, Glauche V, Abel S, Huber W, Rijntjes M, Hennig J, Weiller C: Ventral and dorsal pathways for language. *Proc Natl Acad Sci U S A* **105**: 18035–18040, 2008.
- 37) Saur D, Schelter B, Schnell S, Kratochvil D, Küpper H, Kellmeyer P, Kümmerer D, Klöppel S, Glauche V, Lange R, Mader W, Feess D, Timmer J, Weiller C: Combining functional and anatomical connectivity reveals brain networks for auditory language comprehension. *Neuroimage* **49**: 3187–3197, 2010.
- 38) Schäffler L, Lüders HO, Dinner DS, Lesser RP, Chelune GJ: Comprehension deficits elicited by electrical stimulation of Broca's area. *Brain* **116** (Pt 3): 695–715, 1993.
- 39) Tanabe H, Sawada T, Inoue N, Ogawa M, Kuriyama Y, Shiraishi J: Conduction aphasia and arcuate fasciculus. *Acta Neurol Scand* **76**: 422–427, 1987.
- 40) Tyler LK, Marslen-Wilson W: Fronto-temporal brain systems supporting spoken language comprehension. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* **363**: 1037–1054, 2008.
- 41) Tyler LK, Marslen-Wilson WD, Randall B, Wright P, Devereux BJ, Zhuang J, Papoutsis M, Stamatakis EA: Left inferior frontal cortex and syntax: function, structure and behaviour in patients with left hemisphere damage. *Brain* **134** (Pt 2): 415–431, 2011.
- 42) Yasargil MG: *Microneurosurgery IVA: CNS Tumors: Surgical Anatomy, Neuropathology, Neuroradiology, Neurophysiology, Clinical Considerations, Operability, Treatment Options*. New York, Thieme, 1994.

要 旨

大脳白質解剖に基づくグリオーマ手術

丸山 隆志 村垣 善浩 新田 雅之 齋藤 太一
田村 学 伊関 洋 岡田 芳和

グリオーマ摘出において神経脱落症状を防ぎつつ可及的摘出を達成するためには、大脳白質解剖を熟知する必要がある。術前の MRI による tractography や拡散テンソル法を用いた color map などを用いて、腫瘍の主座に接する白質線維や近接する脳回を同定することにより、手術にて生じる可能性のある機能障害を予測し、術中に適切なモニタリングやマッピング法を選択することが可能となる。またこれら解剖学的情報は摘出計画に有用であるとともに、今後の腫瘍の伸展予測を可能とする。術中迅速診断が可能な場合には、予測される伸展方向の摘出腔壁からの組織採取により残存病変の有無を確認することで、より積極的な摘出が達成される。術中これら連絡線維により生じる神経症状は、いわゆる古典的な失語症状とは異なり、さまざまなタスクを用いながら誘発される症状から判断する必要がある。前方言語野、後方言語野それぞれにおいて関連する連絡線維を選択し、白質解剖とともにこれら線維への刺激や障害により術中に生じるであろう言語症状につき解説を行う。

脳外誌 **24**: 76–84, 2015