

RÉCUPÉRATION FONCTIONNELLE APRÈS RÉSECTION DE GLIOMES INFILTRANT L'AIRE SOMATO-SENSORIELLE PRIMAIRE (S I) Étude par stimulations électriques per-opératoires

H. DUFFAU, L. CAPELLE

Service de Neurochirurgie 1, Hôpital de la Salpêtrière, 47, boulevard de l'Hôpital, 75651 Paris Cedex 13.

SUMMARY : Functional recovery after surgical resection of gliomas involving the primary somatosensory area using intraoperative stimulation mapping

H. DUFFAU, L. CAPELLE (*Neurochirurgie*, 2001, 47, 534-541).

Background. — *With the aim to achieve the most complete resection in cases of parietal low-grade glioma involving the primary somatosensory area (S I), the authors describe a series with resection of S I using an intraoperative brain mapping. The immediate and delayed postoperative functional results are analyzed.*

Patients and methods. — *Six patients were operated on for a low-grade glioma involving S I, revealed by seizures with a normal clinical examination. All patients underwent awake surgery under local anesthesia, to allow realization of an intraoperative sensorimotor brain mapping using direct electrical stimulations.*

Results. — *The primary motor area (M I) and S I were detected in all procedures. A part of infiltrated S I was removed in spite of a sensitive response of this area during stimulations (sensory face in 2 cases, upper limb area in 5 cases, and lower limb area in 2 cases). All patients presented an immediate postoperative sensory deficit, with recovery in the 6 cases within 3 months. Five resections were total and one subtotal.*

Conclusions. — *In our experience, the primary somatosensory area could be resected in case of tumoral infiltration, without inducing a permanent neurological deficit. This may be due to brain plasticity mechanisms, with recruitment of loco-regional and contralateral eloquent regions, and also the learning of new compensatory strategies. Such a phenomenon can lead to perform more extensive resections in cases of infiltrative gliomas in the somatosensory region.*

Key words : *somatosensory cortex, functional brain mapping, direct electrical stimulations, brain plasticity, low-grade gliomas.*

RÉSUMÉ

Objectif. — Dans le but d'optimiser la qualité de la résection dans le cas de gliomes de bas grade pariétaux infiltrant l'aire somato-sensorielle primaire (S I), les auteurs rapportent une série d'exérèses de S I, pratiquées sous couvert d'une cartographie fonctionnelle per-opératoire. Les résultats fonctionnels sont analysés en post-opératoire immédiat et retardé.

Patients et méthodes. — Six patients ont été opérés d'un gliome de bas grade envahissant S I, révélé par une comitialité avec examen neurologique normal. Toutes les procédures chirurgicales ont été conduites sous anesthésie locale, afin de permettre la réalisation d'une cartographie sensori-motrice à l'aide des stimulations électriques per-opératoires.

Résultats. — L'aire motrice primaire (M I) et S I ont été identifiées dans tous les cas. Une partie de S I a été réséquée en raison d'une infiltration gliomateuse, malgré l'existence de réponses somesthésiques lors des stimulations (aire de la face dans 2 cas, du membre supérieur dans 5 cas et du membre inférieur dans 2 cas). Tous les patients ont présenté un déficit sensitif post-opératoire immédiat, qui a secondairement récupéré dans les 3 mois. Cinq résections ont été complètes, et une subtotale.

Conclusions. — Ces résultats montrent que S I peut être réséquée en cas d'infiltration tumorale, sans engendrer de séquelles définitives. La récupération semble due aux phénomènes de plasticité cérébrale, par recrutement de sites loco-régionaux et contralatéraux, ainsi que par l'apprentissage de stratégies nouvelles. Ces phénomènes permettent la réalisation de résections plus complètes des gliomes en région somato-sensorielle.

De nombreuses études ont montré que la qualité et la durée de survie dans les gliomes de bas grade étaient directement dépendantes de l'étendue de l'exérèse chirurgicale [4, 11, 15, 19, 24, 30, 32, 42, 43, 47, 51]. Toutefois, il a également été rapporté que du tissu neuronal fonctionnel pouvait persister au sein de gliomes de bas grade infiltrants, et ce sans engendrer de déficit neurologique [28, 40], du fait de la configuration spatiale de ce type de lésions constituées de cellules tumorales isolées [9].

Par conséquent, pratiquer la résection complète d'un gliome de bas grade envahissant une région cérébrale « éloquente » impliquera nécessairement l'exérèse de complexes glio-neuronaux encore fonctionnels, et ne pourra être envisagée que si ces structures sont susceptibles d'être compensées du fait de mécanismes de plasticité cérébrale [12]. Ainsi ont déjà été rapportés plusieurs exemples de récupération fonctionnelle à la suite notamment d'exérèse d'aires motrices supplémentaires [34, 50], d'aires motrices primaires de la face du côté non-dominant [21], et de lobes insulaires [13, 51] infiltrés par un gliome de bas grade.

Les auteurs rapportent une série de 6 résections chirurgicales de gliomes de bas grade envahissant l'aire somato-sensorielle primaire (S I), réalisées sous couvert d'une cartographie sensorimotrice per-opératoire, avec déficit postopératoire immédiat suivi d'une récupération secondaire.

PATIENTS ET MÉTHODES

Parmi 140 patients opérés d'une lésion en région fonctionnelle à l'aide des stimulations cérébrales électriques directes entre septembre 1996 et août 2000 dans notre institution, 6 d'entre eux ont bénéficié de l'exérèse d'un gliome de bas grade pariétal infiltrant S I.

Il s'agissait de 4 hommes et 2 femmes, âgés en moyenne de 41 ans, tous droitiers. La symptomatologie inaugurale avait consisté en une crise comitiale dans tous les cas, avec examen neurologique normal.

L'IRM pré-opératoire révélait l'existence d'une lésion ayant toutes les caractéristiques d'un gliome de bas grade (hyposignal T1, hypersignal T2, homogène, sans prise de contraste), infiltrant le lobe pariétal avec envahissement de S I, du côté droit dans 3 cas et du côté gauche dans 3 cas. L'identification du sillon rolandique était systématiquement effectuée sur l'IRM anatomique, en se basant de façon combinée sur les coupes dans les 3 plans de l'espace, et sur l'IRM tridimensionnelle avec reconstruction surfacique. Étaient utilisés les repères prouvés par les études récentes de corrélations anatomo-fonctionnelles [33, 41], et tout spécialement « l'encoche de la main » [20, 35, 49] et « l'image en miroir » [2]. Tous les patients étaient opérés, éveillés, sous anesthésie locale, afin de

permettre la réalisation d'une cartographie fonctionnelle sensori-motrice dans les 6 cas (ainsi que d'une cartographie des aires du langage dans les 3 cas de lésion au niveau de l'hémisphère dominant gauche), à l'aide de la méthode des stimulations électriques cortico-sous-corticales per-opératoires directes.

La technique utilisée, préalablement détaillée par les auteurs [10], consiste à appliquer une sonde bipolaire de 5 mm d'espacement à même le cerveau, délivrant un courant biphasique à une intensité non délétère pour le parenchyme de 2 à 6 mA, les autres paramètres restant constants (60 Hz, trains d'ondes de 1 ms).

Les stimulations étaient systématiquement effectuées après ouverture de la dure-mère, tout d'abord au niveau cortical avant toute exérèse, puis en sous-cortical au fur et à mesure de la résection, afin d'en fixer les limites fonctionnelles non seulement en surface mais également en profondeur. Il était, par ailleurs, demandé aux patients de réaliser des mouvements continus des membres supérieur et/ou inférieur pendant toute la durée de l'exérèse.

De surcroît, un repérage lésionnel per-opératoire par échographie était systématiquement réalisé avant toute cartographie fonctionnelle, permettant ainsi de préciser le « périmètre » dans lequel les stimulations devaient être effectuées en priorité.

RÉSULTATS

Les caractéristiques cliniques, iconographiques et chirurgicales des 6 patients sont récapitulées dans le *tableau I*.

La détection des structures cortico-sous-corticales motrices et somato-sensorielles primaires a été obtenue dans tous les cas (en plus de l'identification des aires du langage chez les 3 patients porteurs d'une lésion gauche). À souligner, de plus, la mise en évidence de représentations multiples de l'aire des doigts au sein de S I chez 2 patients, à savoir le déclenchement de paresthésies équivalentes des doigts lors de la stimulation de sites corticaux différents distants de plus de 10 mm.

Les zones motrices et du langage ont été systématiquement épargnées. Par contre, une partie des aires somesthésiques primaires détectées au sein du gyrus rétrocentral par les stimulations a été réséquée en raison d'une infiltration gliomateuse déjà évoquée sur l'IRM préopératoire et confirmée par l'échographie peropératoire (*figures 1, 2, 3 et 4*) : l'exérèse a ainsi intéressé l'aire de la face dans 2 cas, l'aire du membre supérieur dans 5 cas, et l'aire du membre inférieur dans 2 cas. Cette dernière n'a toutefois jamais porté sur l'ensemble des 3 régions. Pendant la résection, les patients ont commencé à se plaindre d'une perte de la sensibilité, sans pour autant interrompre leurs mouvements. La limite antérieure cortico-sous-corticale de l'exérèse a été

TABLEAU I. — Caractéristiques, cliniques, radiologiques et chirurgicales des 6 patients avec résection d'un gliome de l'aire somato-sensorielle primaire.

TABLE I. — *Clinical, radiological and surgical features in 6 patients undergoing resection of a glioma involving the primary somatosensorial area.*

Patients	Age et sexe	Symptômes inauguraux	Examen clinique préopératoire	IRM préopératoire	Actes opératoires	Examen neurologique post-opératoire immédiat	Examen neurologique à 6 mois Vie socio-professionnelle	Qualité de l'exérèse
1	26 H	Crise généralisée	Normal	GBG rétrocentral D	AL-Cartographie sensori-motrice Résection aire du MS	Déficit sensitif sévère	Examen normal Vie normale	Totale
2	36 H	Crise généralisée	Normal	GBG rétrocentral G	AL-Cartographies sensori-motrice et du langage Résection aire du MI	Déficit sensitif sévère Héminégligence	Dyesthésies minimales Discrets troubles proprioceptifs Vie normale	Totale
3	26 F	Crise partielle	Normal	GBG rétrocentral D	AL-Cartographie sensori-motrice Résection aire face et partie aire du MS Détection de représentations somesthésiques multiples des doigts	Déficit sensitif modéré	Examen normal Vie normale	Totale
4	58 F	Crise généralisée	Normal	GBG rétrocentral G	AL-Cartographies sensori-motrice et du langage Résection aire du MS	Déficit sensitif sévère	Dyesthésies minimales Vie normale	Totale
5	56 H	Crise partielle	Normal	GBG rétrocentral D	AL-Cartographie sensori-motrice Résection aires des MS et MI	Déficit sensitif sévère Héminégligence	Dyesthésies minimales Discrets troubles proprioceptifs Vie normale	Totale
6	44 H	Crise partielle	Normal	GBG rétrocentral G	AL-Cartographies sensori-motrice et du langage Résection aire face et partie aire du MS Détection de représentations somesthésiques multiples des doigts	Déficit sensitif modéré	Examen normal Vie normale	Subtotale

H : homme, F : femme, GBG : gliome de bas grade, AL : anesthésie locale, D : droit, G : gauche, MS : membre supérieur, MI : membre inférieur.

fixée par la détection des fibres pyramidales à l'aide des stimulations.

Tous les patients ont eu un déficit sensitif, à la fois épicritique et proprioceptif postopératoire immédiat : 2 déficits modérés (les 2 patients avec résection de l'aire de la face et d'une partie de l'aire du membre supérieur), et 4 déficits sévères (les patients avec résection de l'ensemble de l'aire du membre supérieur et/ou du membre inférieur). Parmi ces 4 cas d'aggravation majeure, chez 2 patients (avec résection de l'aire du membre inférieur) était également associée une importante négligence motrice.

Une récupération fonctionnelle a toutefois été observée chez les 6 patients, dans un délai de 3 mois maximum. Cette récupération a été

complète dans 3 cas, et presque complète dans les 3 autres cas, à savoir la persistance de minimales dyesthésies, voire de discrets troubles proprioceptifs, n'empêchant cependant pas la reprise d'une vie socio-professionnelle normale (médiane de suivi d'1 an).

Les résections tumorales, évaluées sur une IRM de contrôle précoce et tardive systématique, ont été considérées comme totales dans 5 cas et subtotale dans 1 cas – résidu de moins de 10 cm³ [4], en raison d'une infiltration de l'aire motrice primaire associée.

L'examen histologique a confirmé le diagnostic de gliome de bas grade dans les 6 cas. Il n'y a eu de traitement complémentaire effectué chez aucun des patients.

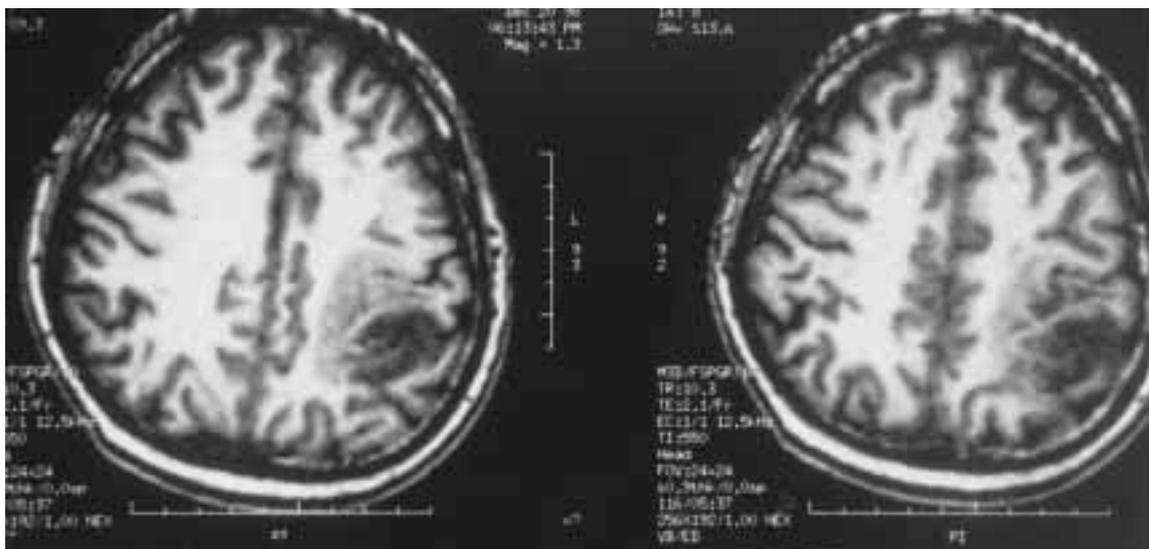


FIG. 1. — Coupes axiales d'IRM cérébrale pré-opératoire (pondération T1 avec injection de gadolinium) objectivant un gliome de bas grade pariétal gauche, allant jusqu'au contact du sillon central, avec un envahissement de l'aire somato-sensorielle primaire, chez un patient sans déficit neurologique.

FIG. 1. — Axial views of T1-weighted enhanced pre-operative MRI, showing a left parietal low-grade glioma, extended to the central sulcus, then with an infiltration of the primary somatosensory area. There was no pre-operative neurological deficit.

DISCUSSION

LÉSION ET RÉSECTION DE L'AIRES SOMATO-SENSORIELLE PRIMAIRE

Les récupérations fonctionnelles différentes à la suite d'accidents vasculaires cérébraux rétrocentraux ont donné des arguments en faveur d'une spécialisation de chaque aire pariétale dans le traitement de l'information somesthésique [29] : ainsi, les lésions du lobule pariétal supérieur semblent ne laisser que peu de séquelles, alors que celles intéressant S I engendrent des troubles sensitifs plus sévères, le plus souvent persistants [5].

Les mêmes observations ont été rapportées à la suite d'excision du cortex pariétal dans le cadre de la chirurgie de l'épilepsie [6, 7], avec survenue de déficits transitoires à la suite de la résection de gyri pariétaux épargnant S I, mais induction de déficits somesthésiques définitifs lors d'une exérèse intéressant le gyrus rétrocentral (les troubles les plus importants étant engendrés par l'excision de la représentation de l'aire de la main). Lüders [23] a toutefois modulé ce discours en décrivant la possibilité d'une résection des 3 cm sus-sylviens de S I sans séquelles (donc correspondant à la représentation corticale de la face), à condition de respecter les aires de la main et du pied.

Les différences entre les résultats obtenus dans notre travail, à savoir une récupération malgré l'exérèse d'aires S I (notamment des membres

supérieur et inférieur), et ceux décrits tout particulièrement par Corkin [6, 7] semblent pouvoir être expliqués :

— premièrement, par l'utilisation des stimulations per-opératoires dans notre expérience, méthode rapportée par de nombreux auteurs comme non délétère, fiable, précise et reproductible dans la détection des aires tant corticales que sous-corticales indispensables à la fonction à tout moment de l'exérèse chirurgicale [3, 8, 14, 16, 17, 27, 34, 40, 44, 46], ayant ainsi permis l'identification et le respect, d'une part, des structures préolandiques motrice (aire 4) et somatosensorielle dévolue à la représentation des entrées proprioceptives (aire 3a), constitutives respectivement du mur antérieur et du repli profond du sillon central, et donc toutes deux situées en avant de la cavité chirurgicale (ces dernières pouvant jouer un rôle essentiel dans la récupération), d'autre part, des aires somato-sensorielles rétrocentrales adjacentes à la cavité, préservées lorsque non envahies par la tumeur (puisque chez aucun des patients n'a été réalisée une résection des 3 régions à la fois de la face, du membre supérieur et du membre inférieur), et pouvant largement participer à la récupération fonctionnelle ;

— deuxièmement, du fait d'une pathologie différente dans notre travail par rapport à ceux de Corkin [6, 7] et de Lüders [23] : en effet, une infiltration gliomateuse peut plus facilement favoriser la mise en jeu de phénomènes de compensation

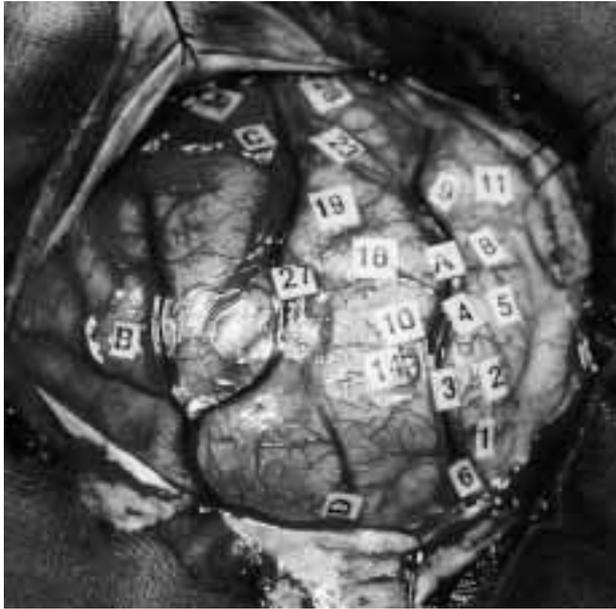


FIG. 2. — Photographie per-opératoire pré-réssection. Les lettres A, B, C, D indiquent les contours de la tumeur identifiés par échographie, la limite lésionnelle antérieure (A) venant directement au contact du sillon rolandique. En effet, les stimulations corticales ont permis d'identifier : les sites moteurs primaires précentraux en 6 (épaule), 1 (bras), 3 (avant-bras), 2 (poignet), 4 (les 5 doigts), 5 (pouce), 8 (face) ; les sites du langage (arrêt de la fluence en 9 et 11 ; anomie en 23 et 28) ; et les sites somato-sensoriels primaires rétrocentraux en 14 (avant-bras), 10 (main), 18 (les 5 doigts) et 19 (face), tous localisés au sein de la lésion infiltrante.

FIG. 2. — *Intraoperative view before resection. The tumor boundaries were detected using intraoperative ultrasonography (A, B, C, D). The cortical stimulations allowed the identification of : precentral primary motor sites : 6 (shoulder), 1 (arm), 3 (forearm), 2 (wrist), 4 (fingers), 5 (thumb) and 8 (face) ; language sites : 9 and 11 (speech arrest), 23 and 28 (anomia) ; retrocentral primary somatosensory sites : 14 (forearm), 10 (hands), 18 (fingers) and 19 (face), all located within the glioma.*

péri-lésionnelle, comme largement démontré en IRM fonctionnelle [1, 26, 37, 48], et ce malgré la possible persistance de sites éloquentes au sein même du gliome de bas grade comme illustrée dans nos résultats, qu'un cortex non tumoral engendrant des crises comitiales.

MÉCANISMES DE COMPENSATION FONCTIONNELLE

Ces mécanismes faisant l'objet d'une étude à part dans ce même numéro de *Neurochirurgie* (Mise au point : « Récupération fonctionnelle à la suite de lésions de l'aire somato-sensorielle primaire. Etude des mécanismes de compensation »), nous n'aborderons ici que les principaux points sans en détailler la physiopathologie.

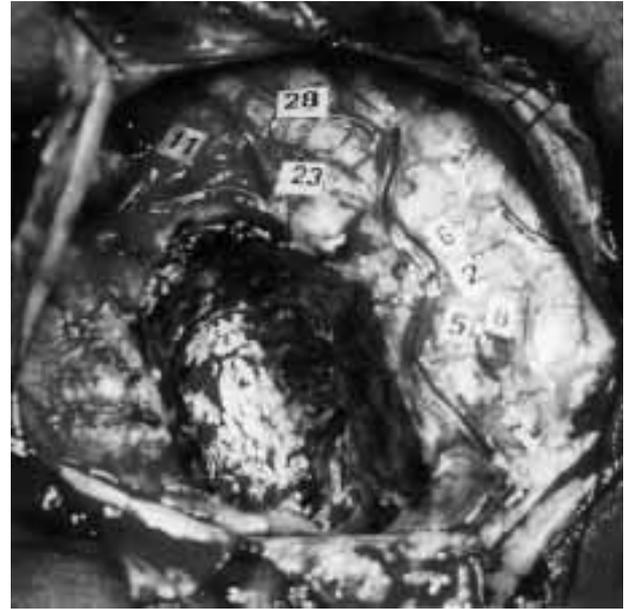


FIG. 3. — Photographie per-opératoire post-réssection. Une nouvelle cartographie fonctionnelle utilisant les mêmes paramètres de stimulations électriques montre : a) la détection des mêmes sites moteurs précentraux qu'en pré-exérèse (notons que pour des raisons techniques, le chiffre 5 a remplacé le 4 (les 5 doigts), tandis que le 8 a remplacé le 5 (pouce), et le 2 a remplacé le 8 (face)) ; b) la détection des mêmes sites du langage (arrêt de la fluence en 6 qui a remplacé le 9, et anomie en 23 et 28 – légèrement déplacés médialement en raison de la déformation anatomique liée au volume de la résection –) ; c) l'exérèse des 4 sites somato-sensoriels primaires du membre supérieur et de la face, puisque envahis par la tumeur.

FIG. 3. — *Intraoperative view after tumor resection. A new functional mapping using brain stimulations with the same electrical parameters shows : a) the detection of the same precentral motor sites than before glioma removal (for technical reasons, the number 4 was replaced by the number 5 (fingers), the number 5 was replaced by the number 8 (thumb), and the number 8 was replaced by the number 2 (face)) ; b) the detection of the same language sites : speech arrest (9 replaced by 6), anomia (23 and 28, slightly moved medially because of the shift due to the tumor removal) ; c) the resection of the four primary somatosensory sites (of the superior limb and face), since invaded by the glioma.*

Recrutement local

Envisageable du fait de probables redondances au sein de S I, jamais réséquée en totalité dans notre expérience.

Recrutement régional

— Aires prérolandiques motrice primaire (aire 4) et proprioceptive (aire 3a), systématiquement préservées puisque le mur antérieur du sillon central représentait la limite antérieure de l'exérèse.

— Aire somato-sensorielle secondaire (S II), respectée chez 4 patients en totalité, et dans sa portion précentrale dans les 2 autres cas.

— Cortex pariétal postérieur, pouvant expliquer la négligence motrice lors des 2 résections de gliome médialement situé.

Recrutement controlatéral

Modification des stratégies. — Étant donné la persistance, dans 3 cas, de discrets troubles de la sensibilité à l'examen neurologique au-delà du 3^e mois, avec toutefois un retentissement fonctionnel moindre que celui qui aurait pu être envisagé (n'empêchant pas la reprise d'une vie socio-professionnelle normale), il est possible que ces patients aient intégré dans leurs modalités de récupération l'apprentissage de stratégies nouvelles.

IMPLICATIONS THÉRAPEUTIQUES NEURO-ONCOLOGIQUES

Il n'est plus à démontrer que les gliomes de bas grade ne représentent pas une maladie bénigne. En effet, une revue de la littérature retrouve des médianes de survie allant de 4 à 9 ans, avec une moyenne d'environ 6 à 7 ans [18, 19, 24, 25, 30, 31, 36, 38, 39, 42, 45]. Le décès est le plus souvent dû à une transformation maligne, dégénérescence survenant une fois sur deux dans les 5 ans d'après les principaux auteurs, rejoignant ainsi globalement les chiffres de médianes de survie puisque l'évolution fatale est très rapide à la suite du passage à l'anaplasie [24, 42, 43, 45].

À souligner, en plus de ce risque de dégénérescence, la tendance fréquente des gliomes de bas

grade à la croissance volumétrique, souvent à l'origine de déficits neurologiques, d'hypertension intracrânienne, de crises comitiales retentissant sur le confort de vie [19, 22, 24, 31, 43, 45].

Même si la conduite interventionniste reste sujette à controverses, de nombreux auteurs pensent que la chirurgie d'exérèse peut agir tant sur le taux de la récurrence (pas de ré-évolution dans les 44 mois si résection complète, 14,8 % si résection subtotale, 46,2 % si résection partielle [4]), que sur le délai de dégénérescence et la médiane de survie [4, 11, 15, 19, 24, 30, 32, 42, 43, 47, 51]. Ainsi, il semblerait que ce soit essentiellement le volume résiduel qui soit à l'origine du pronostic, à savoir avec de meilleurs résultats à long terme si la résection a pu être totale, mais au moins à condition que cette dernière n'ait pas laissé de résidu supérieur à 10 cm³ [4].

En conséquence, dans les cas de gliomes de bas grade infiltrant S I, il semble intéressant de démontrer que l'exérèse de l'aire pariétale ascendante envahie peut être effectuée sans engendrer de séquelles fonctionnelles définitives. Cette donnée nouvelle peut permettre de transformer une résection « subtotale » (moins de 10 cm³ de lésion restante) en exérèse véritablement complète (chez 5 des 6 patients (83 %) dans notre série), ou du moins une résection « partielle » (de plus de 10 cm³) en « subtotale » (1 cas dans notre expérience), et ainsi donner toutes les chances d'optimiser le pronostic à plus long terme.

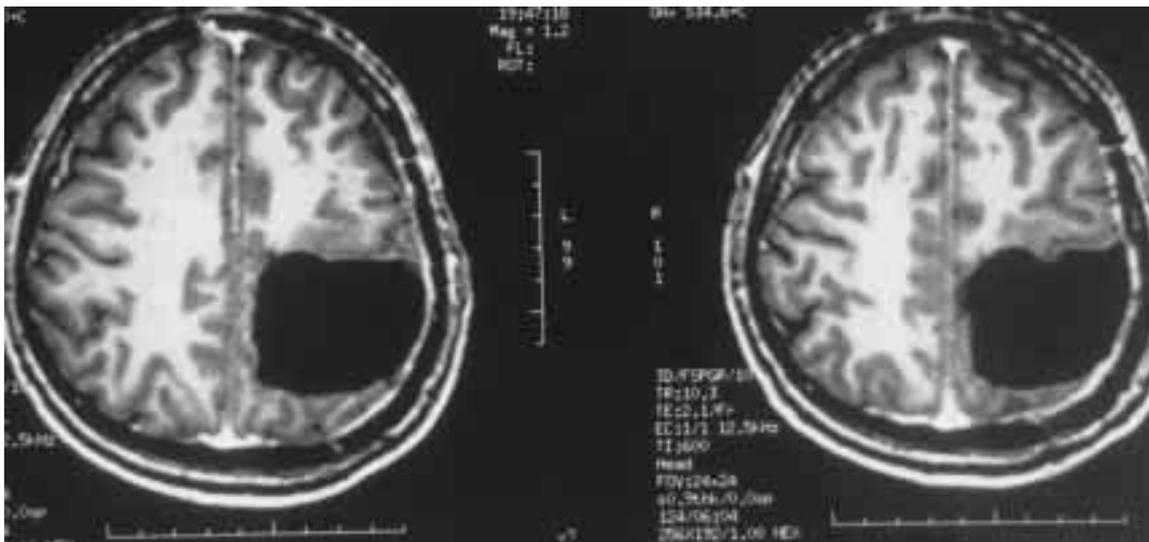


FIG. 4. — Coupes axiales d'IRM du 12^e mois postopératoire, montrant la résection lésionnelle allant jusqu'au sillon rolandique vers l'avant – ayant donc intéressé l'aire somato-sensorielle primaire – chez un patient ayant un déficit somesthésique postchirurgical immédiat, secondairement régressif en 3 mois.

FIG. 4. — Post-operative T1-weighted enhanced MRI (12 months after the surgery), showing a cavity of resection coming in contact to the central sulcus forward. The primary somatosensory area was then removed. The patient presented a postoperative sensory deficit, and recovered within 3 months.

CONCLUSION

L'aire somato-sensorielle primaire semble pouvoir être résequée sans engendrer de retentissement fonctionnel au long court, du moins lors d'une infiltration gliomateuse. Ce phénomène est probablement sous-tendu par les mécanismes de plasticité cérébrale, tels que le recrutement d'aires locales, régionales, voire contro-hémisphériques, et l'apprentissage de stratégies nouvelles compensatrices. De telles observations pourraient permettre d'optimiser la qualité de la résection préventive des gliomes de bas grade envahissant S I, dans un double but fonctionnel et vital.

REMERCIEMENTS : Les auteurs tiennent à remercier le Pr M.S. BERGER pour avoir inspiré ce travail.

RÉFÉRENCES

- [1] ATLAS SW, HOWARD RS, MALDJIAN J, ALSOP D, DETRE JA, LISTERUD J *et al.* Functional magnetic resonance imaging of regional brain activity in patients with intracerebral gliomas : findings and implications for clinical management. *Neurosurgery* 1996 ; 38 : 329-338.
- [2] BERGER MS, COHEN W, OJEMANN GA. Correlation of motor cortex using intraoperative brain mapping data with preoperative magnetic resonance imaging anatomy. *J Neurosurg* 1990 ; 72 : 383-387.
- [3] BERGER MS, OJEMANN GA. Intraoperative brain mapping techniques in neuro-oncology. *Stereotact Funct Neurosurg* 1992 ; 58 : 153-161.
- [4] BERGER MS, DELIGANIS AV, DOBBINS JD, KELES GE. The effect of extent of resection on recurrence in patients with low grade cerebral hemisphere gliomas. *Cancer* 1994 ; 74 : 1784-1791.
- [5] CASELLI RJ. Ventrolateral and dorsomedial somatosensory association cortex damage produces distinct somesthetic syndromes in humans. *Neurology* 1993 ; 43 : 762-771.
- [6] CORKIN S, MILNER B, RASMUSSEN T. Effects of different cortical excisions on sensory thresholds in man. *Trans Am Neurol Assoc* 1964 ; 89 : 112-116.
- [7] CORKIN S, MILNER B, RASMUSSEN T. Somatosensory thresholds : contrasting effects of postcentral gyrus and posterior parietal-lobe mechanisms. *Arch Neurol* 1970 ; 23 : 41-58.
- [8] DANKS RA, ROGERS M, AGLIO LS, GUGINO LD, BLACK PM. Patient tolerance of craniotomy performed with the patient under local anesthesia and monitored conscious sedation. *Neurosurgery* 1998 ; 42 : 28-36.
- [9] DAUMAS-DUPORT C, SCHEITHAUER BW, KELLY P.J. A histologic and cytologic method for the spatial definition of gliomas. *Mayo Clin Proc* 1987 ; 62 : 435.
- [10] DUFFAU H, CAPELLE L, SICHEZ JP, FAILLOT T, ABDENNOUR L, LAW KOUNE JD *et al.* Intraoperative direct electrical stimulations of the central nervous system : the Salpêtrière experience with 60 patients. *Acta Neurochir (Wien)* 1999 ; 141 : 1157-1167.
- [11] DUFFAU H, CAPELLE L, ARTHUIS F, SICHEZ JP, BITAR A, FAILLOT T *et al.* Gliomes de bas grade : plaidoyer pour une chirurgie « large ». Les tumeurs du système nerveux central. *Revue de la Société Francophone de Cancérologie (DYK Eds)*, 1999, 46-52.
- [12] DUFFAU H, CAPELLE L. May surgery in eloquent areas induce brain plasticity ? *Neuroimage* 2000 ; 11 : S271.
- [13] DUFFAU H, CAPELLE L, LOPES M, FAILLOT T, SICHEZ JP, FOHANNO D. The insular lobe : physiopathological and surgical considerations. *Neurosurgery* 2000 ; 47 : 801-811.
- [14] EBELING U, SCHMID UD, YING H, REULEN HJ. Safe surgery of lesions near the motor cortex using intraoperative mapping techniques : a report on 50 patients. *Acta Neurochir* 1992 ; 119 : 23-28.
- [15] EBELING U, FISHER M, KOTHBAUER K. Surgery of astrocytomas in the motor and premotor cortex under local anesthesia : report of 11 cases. *Minim Inv Neurosurg* 1995 ; 38 : 51-59.
- [16] FANDINO J, KOLLIAS SS, WIESER HG, VALAVANIS A, YONEKAWA Y. Intraoperative validation of functional magnetic resonance imaging and cortical reorganization patterns in patients with brain tumors involving the primary motor cortex. *J Neurosurg* 1999 ; 91 : 238-250.
- [17] HAGLUND MM, BERGER MS, SHAMSELDIN M, LETTICH E, OJEMANN GA. Cortical localization of temporal lobe language sites in patients with gliomas. *Neurosurgery* 1994 ; 34 : 567-576.
- [18] JANNY P, CURE H, MOHR M, HELDT N, KWIATKOWSKI F, LEMAIRE JJ *et al.* Low-grade supratentorial astrocytomas. Management and prognostic factors. *Cancer* 1994 ; 73 : 1934-1945.
- [19] LAWS ER Jr, TAYLOR WF, CLIFTON MB, OKAZAKI H. Neurosurgical management of low-grade astrocytomas of the cerebral hemispheres. *J Neurosurg* 1984 ; 61 : 665-673.
- [20] LEHÉRICY S, DUFFAU H, CORNU P, CAPELLE L, PIDOUX B, CARPENTIER A *et al.* Correspondence between fMRI somatotopy and individual brain anatomy of the central region : comparison with intrasurgical stimulations in patients with brain tumors. *J Neurosurg* 2000 ; 92 : 589-598.
- [21] LEROUX PD, BERGER MS, HAGLUND MM, PILCHER WH, OJEMANN GA. Resection of intrinsic tumors from nondominant face motor cortex using stimulation mapping : report of two cases. *Surg Neurol* 1991 ; 36 : 44-48.
- [22] LOISEAU H, BOUSQUET P, RIVEL J, VITAL C, KANTOR G, ROUGIER A *et al.* Astrocytomes de bas grade sustentoriels de l'adulte. Facteurs pronostics et indications thérapeutiques. À propos d'une série de 141 patients. *Neurochirurgie* 1995 ; 41 : 38-50.
- [23] LÜDERS H, COMAIR YG, BLEASEL AF, HOLTHAUSEN H. Recovery of function following lesions of eloquent brain areas. In : Freund HJ, Sabel BA, Witte OW, eds. Brain plasticity, *Advances in Neurology*. Vol 73. Philadelphia : Lippincott-Raven, 1997, 335-346.
- [24] MCCORMACK BM, MILLER DC, BUDZILOVICH GN, VOORHEES GJ, RANSOHOFF J. Treatment and survival of low-grade astrocytoma in adults - 1977-1988. *Neurosurgery* 1992 ; 31 : 636-642.
- [25] MEDBERRY CA, STRAUS KL, STEINBERG SM, COTELINGAM JD, FISHER WS. Low-grade astrocytomas : treatment results and prognostic variables. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1988 ; 15 : 837-841.
- [26] MUELLER WM, YETKIN FZ, HAMMEKE TA, MORRIS III GL, SWANSON SJ, REICHERT K *et al.* Functional magnetic resonance imaging mapping of the motor cortex in patients with cerebral tumors. *Neurosurgery* 1996 ; 39 : 515-521.

- [27] OJEMANN GA, OJEMANN JG, LETTICH E, BERGER MS. Cortical language localization in left, dominant hemisphere. An electrical stimulation mapping investigation in 117 patients. *J Neurosurg* 1989 ; 71 : 316-326.
- [28] OJEMANN JG, MILLER JW, SILBERGELD DL. Preserved function in brain involved by tumor. *Neurosurgery* 1996 ; 39 : 253-259.
- [29] PAUSE M, KUNESCH E, BINKOFSKI F, FREUND HJ. Sensorimotor disturbances in patients with lesions of the parietal cortex. *Brain* 1989 ; 112 : 1599-1625
- [30] PHILIPPON JH, CLÉMENCEAU SH, FAUCHON FH. Supratentorial low-grade astrocytomas in adults. *Neurosurgery* 1993 ; 32 : 554-559.
- [31] PIEPMEIER JM. Observations on the current treatment of low-grade astrocytic tumors of the cerebral hemisphere. *J Neurosurg* 1987 ; 67 : 177-181.
- [32] PIEPMEIER JM, CHRISTOPHER S, SPENCER D, BYRNE T, KIM J, KNISEL JP *et al.* Variations in the natural history and survival of patients with supratentorial low-grade astrocytomas. *Neurosurgery* 1996 ; 38 : 872-879.
- [33] PUCE A, CONSTABLE RT, LUBY ML, MCCARTHY G, NOBRE AC, SPENCER DD *et al.* Functional magnetic resonance imaging of sensory and motor cortex : comparison with electrophysiological localization. *J Neurosurg* 1995 ; 83 : 262-270.
- [34] ROSTOMILY RC, BERGER MS, OJEMANN GA, LETTICH E. Postoperative deficits and functional recovery following removal of tumors involving the dominant hemisphere supplementary motor area. *J Neurosurg* 1991 ; 75 : 62-68.
- [35] RUMEAU C, TZOURIO N, MURAYAMA N, PERETTI-VITTON P, LEVRIER O, JOLIOT M *et al.* Location of the hand function in the sensorimotor cortex : magnetic resonance and functional correlation. *AJNR* 1994 ; 15 : 425-433.
- [36] SALCMANN M. Radical surgery for low-grade glioma. *Clin Neurosurg* 1988 ; 36 : 353-366.
- [37] SEITZ RJ, HUANG Y, KNORR U, TELLMANN, HERZOG H, FREUND HJ. Large scale plasticity of the human motor cortex. *Neuroreport* 1995 ; 6 : 742-744.
- [38] SHAW EG, DAUMAS-DUPOUR C, SCHEITHAUER BW. Radiation therapy in the management of low-grade supratentorial astrocytomas. *J Neurosurg* 1989 ; 70 : 853-861.
- [39] SHURMAN PR, TROOST D, VERBEETEN B Jr, BOSCH DA. 5-year survival and clinical prognostic factors in progressive supratentorial diffuse « low-grade » astrocytoma : a retrospective analysis of 46 cases. *Acta Neurochir (Wien)* 1997 ; 139 : 2-7.
- [40] SKIRBOLL SS, OJEMANN GA, BERGER MS, LETTICH E, WINN HR. Functional cortex and subcortical white matter located within gliomas. *Neurosurgery* 1996 ; 38 : 678-685.
- [41] SOBEL DF, GALLEN CC, SCHWARTZ BJ. Locating the central sulcus : comparison of MR anatomic and magnetoencephalographic functional methods. *AJNR* 1993 ; 14 : 915-925.
- [42] SOFFIETI R, CHIO A, GIORDANA MT, VASARIO E, SCHIFFER D. Prognostic factors in well-differentiated cerebral astrocytomas in the adult. *Neurosurgery* 1989 ; 24 : 686-692.
- [43] STEIGER HJ, MARKAWALDER RV, SEILER RW, EBELING U, REULEN HJ. Early prognosis of supratentorial grade 2 astrocytomas in adult patients after resection or stereotactic biopsy. *Acta Neurochir* 1990 ; 106 : 99-105.
- [44] TAYLOR MD, BERNSTEIN M. Awake craniotomy with brain mapping as a routine surgical approach to treating patients with supratentorial intraaxial tumors : a prospective trial of 200 cases. *J Neurosurg* 1999 ; 90 : 35-41.
- [45] VERTOSICK FT, SELKER RG, ARENA VC. Survival of patients with well-differentiated astrocytomas diagnosed in the era of computed tomography. *Neurosurgery* 1991 ; 28 : 496-501.
- [46] WALSH AR, SCHMIDT RH, MARSH HT. Cortical mapping and local anaesthetic resection as an aid to surgery of low and intermediate grade gliomas. *Br J Neurosurg* 1992 ; 6 : 119-124.
- [47] WEINGART J, OLIVI A, BREM H. Supra-tentorial low-grade astrocytomas in adults. *Neurosurgery Quarterly* 1991 ; 1 : 141-160.
- [48] WUNDERLICH G, KNORR U, HERZOG H, KIWIT JCW, FREUND HJ, SEITZ RJ. Precentral glioma location determines the displacement of cortical hand representation. *Neurosurgery* 1998 ; 42 : 18-27.
- [49] YOUSRY TA, SCHMIDT UD, ALKHADI H. Localization of the motor hand area to a knob on the precentral gyrus. A new landmark. *Brain* 1997 ; 120 : 141-157.
- [50] ZENTNER J, HUFNAGEL A, PECHSTEIN U, WOLF H, SCHRAMM J. Functional results after resective procedures involving the supplementary motor area. *J Neurosurg* 1996 ; 85 : 542-549.
- [51] ZENTNER J, MEYER B, STANGI A, SCHRAMM J. Intrinsic tumors of the insula : a prospective surgical study of 30 patients. *J Neurosurg* 1996 ; 85 : 263-271.

COMMENTAIRES

La récurrence des gliomes de bas grade étant liée au volume tumoral laissé en place, le sacrifice de certaines régions fonctionnelles (sensitives) pourrait donc être envisagé.

Duffau et Capelle nous rapportent leur expérience chez des patients ayant un gliome dans l'aire somatosensorielle primaire et les récupérations neurologiques post-opératoires.

Les différentes hypothèses sont trouvées dans la discussion et dans le second article (p. 558-563). La plasticité cérébrale n'est pas un mythe et est connue dans le développement des tumeurs de bas grade à croissance lente. L'aspect nouveau est que la résection chirurgicale (phénomène brutal) peut également générer une plasticité cérébrale.

Jacques BROTCHE et Olivier DE WITTE
Bruxelles