

[Sulcal identification and neuronavigation in supratentorial cavernoma surgery]

Pierre Jannin, Eric Seigneuret, Xavier Morandi, Olivier J. Fleig, Laurent Riffaud, G. Le Goualher, G. Brassier, Jean-Marie Scarabin

▶ **To cite this version:**

Pierre Jannin, Eric Seigneuret, Xavier Morandi, Olivier J. Fleig, Laurent Riffaud, et al.. [Sulcal identification and neuronavigation in supratentorial cavernoma surgery]. Neurochirurgie, 2000, 46 (6), pp.534-9; discussion 539-40. inserm-00331760

HAL Id: inserm-00331760

https://inserm.hal.science/inserm-00331760

Submitted on 17 Oct 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Neurochirurgie **Vol. 46, n° 6, 2000, 534-540**

REPERAGE SULCAL ET NEURONAVIGATION DANS LA CHIRURGIE DES CAVERNOMES SUPRATENTORIELS

SULCAL IDENTIFICATION AND NEURONAVIGATION IN SUPRATENTORIAL CAVERNOMA SURGERY

TITRE RESUME : REPERAGE SULCAL ET NEURONAVIGATION

P. JANNIN [(1)], E. SEIGNEURET [(1,2)], X. MORANDI [(1,2)], O.J. FLEIG [(1)],
L. RIFFAUD [(1,2)], G. LE GOUALHER [(1,3)],
G. BRASSIER[(2)], J.M. SCARABIN [(1,2)]

(1) Laboratoire SIM UPRES 2232 Faculté de Médecine Université de Rennes 1,
(2) Service de Neurochirurgie CHRU Pontchaillou, 35033 RENNES Cedex 2,
(3) BIC Montreal Neurological Institute, Montreal, PQ, Canada.

Reprint request : X. MORANDI, Service de Neurochirurgie, CHRU Pontchaillou
Rue Henri le Guilloux, 35033 RENNES Cedex 2
Tél : 02.99.28.43.94
Fax : 33 02.99.28.41.03

Key words : *Neuronavigation, Cortical sulci, Cavernoma, Image guided surgery*.

Mots-clés : *Neuronavigation , sillons corticaux, cavernomes, chirurgie guidée par l'image*

SUMMARY

The authors present the use of cortical sulci, segmented from Magnetic Resonance Imaging, in image guided neurosurgery. Sulcal information was transferred to a surgical microscope with enhanced reality features. This assistance was used for the resection of supratentorial cavernomas (7 patients).

Sulci were semi-automatically segmented from 3D MRI data sets. Sulci close to the cavernoma were selected and transferred to the neuronavigation system which allows the superimposition of graphics into the right ocular of the microscope. Selected sulci were displayed on the workstation and superimposed into the ocular of the microscope.

Cortical sulci proofed to be useful for the recognition of the anatomical environment. The superimposed sulci helped to optimise location and size of the skin incision as well as to guide the access to the cavernoma by using the course of a sulcus as indirect trajectory.

RESUME

Les auteurs présentent l'utilisation de sillons corticaux, segmentés à partir d'examens d'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), pour le guidage du geste neurochirurgical dans le cas d'exérèse de cavernomes supratentoriels chez 7 patients. Cette technique est couplée à un système de neuronavigation intégrant la fonctionnalité de réalité augmentée au sein du microscope.

Les sillons corticaux ont été segmentés de façon semi-automatique à partir d'examens 3D d'IRM. Les sillons proches du cavernome ont été sélectionnés et envoyés vers le système de neuronavigation. Les sillons sélectionnés ont été affichés dans la station de neuronavigation et dans les oculaires du microscope.

Les sillons ont été utilisés pour la reconnaissance de l'environnement anatomique de l'acte chirurgical, pour optimiser la position et la taille de l'incision et du volet osseux et pour guider l'accès au cavernome en utilisant le sillon sélectionné comme trajectoire courbe.

Les cavernomes ou angiomes caverneux sont des hamartomes vasculaires dont la fréquence diagnostique a considérablement augmenté depuis l'utilisation en routine de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) [18,19]. Les cavernomes sont situés préférentiellement à l'étage supratentoriel et prédominent dans les régions frontale et temporale [8,18,22]. Parfois de découverte fortuite, les manifestations cliniques le plus souvent observées sont les crises d'épilepsie, les hémorragies et les forme pseudo-tumorales [9,16,18]. A l'étage supratentoriel, ils sont situés dans la substance blanche sous corticale (2/3 des cas) ou à la surface du cortex (1/3 des cas) et souvent à proximité ou au fond d'un sillon cortical [18]. L'ensemble des auteurs s'accorde sur le fait que la difficulté principale de leur traitement chirurgical est le repérage du cavernome [3,6,20]. L'utilisation de systèmes de neuronavigation permet d'atténuer cette difficulté parfois responsable de complications fonctionnelles postopératoires [6,20].

Ces systèmes qui intègrent un localisateur 3D et une station d' image créent un lien direct entre le patient en salle d'opération et son imagerie préopératoire. En identifiant respectivement la position de marqueurs sur les images préopératoires et sur le patient, le système de neuronavigation permet à partir d'un po int identifié dans le repère patient de trouver son correspondant dans les images affichées sur la station de travail. Le but de cette approche est de se repérer, retrouver, reconnaître la topologie de la zone pointée.

Certains systèmes offrent en plus une fonctionnalité dite de "réalité augmentée" [1,14]. Celle-ci permet de voir en per-opératoire, à travers les oculaires du microscope chirurgical, des images, graphiques et symboles provenant des images préopératoires, à l' échelle réelle et à leur position supposée. Ces informations sont recalculées et affichées

à chaque nouvelle position du microscope et à chaque modification du zoom et de la focale. La vision est ainsi augmentée d'informations invisibles à l'œil nu.

Dans le contexte d'un système de neuronavigation possédant la fonctionnalité de superposition d'images dans les oculaires du microscope, nous présentons l'intérêt de l'utilisation de sillons corticaux, segmentés à partir d'examens d'IRM 3D en tant que guides au repérage chirurgical des cavernomes supratentoriels.

MATERIELS ET METHODES

Nous avons étudié 7 cas (6 hommes et 1 femme) dont l'âge variait de 20 à 52 ans. Les circonstances diagnostiques étaient des crises d'épilepsies généralisées ou partielles, des syncopes réflexes et, dans un cas, il s'agissait d'une découverte fortuite. Le cavernome a été diagnostiqué sur une IRM standard et les localisations étaient temporales (3 cas), frontales (3 cas) et pariétale (tableau I). La démarche qui a permis l'insertion des sillons corticaux dans le système de neuronavigation et dans les oculaires du microscope a été la suivante : *acquisition* d'une IRM 3D, *segmentation* semi-automatique des sillons et du cavernome, *visualisation* 3D conjointe avec l'IRM 3D, *sélection* des sillons pertinents, *conversion* en fichiers graphiques reconnus par l'application de neuronavigation (STP 3.4 Leibinger Freiburg/Allemagne), *transfert* vers le système de neuronavigation et *utilisation* en contexte opératoire.

Examen IRM préopératoire : Après positionnement de six marqueurs sur la peau du patient, nous avons effectué un examen anatomique IRM en utilisant un protocole 3D SPGR pondéré en T1 sur un appareil Signa 1.5 T (General Electric Medical Systems).

Les paramètres d'acquisition étaient les suivants : FOV de 24 cm, TR de 33 ms, TE de 3 ms, 124 coupes sagittales, matrice de 256*256 pixels, épaisseur de coupe de 1.3 mm. A partir de ces images, nous avons reconstruit un volume isotropique, puis, nous avons extrait les sillons corticaux à partir de cet examen.

Segmentation des sillons corticaux ***:*** Nous avons développé une procédure qui a permis d'extraire les sillons corticaux à partir d'une IRM anatomique 3D, et de les représenter par une surface tridimensionnelle décrivant leur surface médiane. Nous avons réalisé cette segmentation par un enchaînement de plusieurs étapes : la segmentation du cerveau, la classification substance grise, substance blanche et liquide cérébro-spinal [12], l'extraction automatique des traces externes des sillons à la surface corticale et enfin, la construction automatique de surfaces 3D représentant la surface médiane des sillons [13]. L'objectif de cette méthode était d'obtenir une meilleure compréhension de la forme des replis corticaux dont on ne pouvait jusqu'ici qu'observer la partie superficielle ou des sections dans des coupes bi-dimensionnelles. Même si la segmentation automatique de tous les sillons corticaux est possible grâce à notre méthode, nous avons choisi de ne reconstruire que les sillons pertinents au geste chirurgical, par une sélection manuelle réalisée à partir de leurs traces externes.

Segmentation des cavernomes : Nous avons défini les contours des cavernomes à partir de l'examen IRM, soit de manière automatique grâce à des fonctions de morphologie mathématique, soit manuellement en dessinant sur la station de neuronavigation les contours du cavernome sur chaque coupe.

Visualisation ***:*** Nous avons développé des outils de visualisation 3D pour permettre l'affichage des données calculées : un module de rendu de volume permettant d' afficher des vues 3D d'un vo lume et des plans de coupe 2D et un module de visualisation 3D de

données graphiques de type surfaces 3D [2]. Nous avons visualisé les sillons segmentés dans le module de rendu volumique superposés aux coupes 2D du volume IRM d'origine et dans le module de rendu surfacique en tant que surfaces 3D.

Sélection et transfert vers le neuronavigateur **:** Nous avons développé une application pour sélectionner les sillons et les sauvegarder dans un fichier dont le format est reconnu par l'application de neuronavigation. Pour chaque patient, nous avons sélectionné plusieurs sillons. Dans le cas des localisations superficielles proches de la surface corticale (cas 5 et 6), nous avons sélectionné les sillons les plus proches du cavernome. Dans les autres cas correspondants à des cavernomes profonds (cas 1 et 4) ou superficiels mais adjacents à la surface d'un sillon (cas 2, 3 et 7), nous avons choisi et visualisé un sillon définissant la trajectoire d'accès au cavernome. Les fichiers contenant les sillons sauvegardés ont été concaténés en un seul fichier qui contient également les contours correspondant au cavernome. Ce fichier global a ensuite été envoyé vers la station de neuronavigation et inclus aux données du patient.

Neuronavigation : Nous avons effectué la mise en correspondance entre les images IRM préopératoires du patient et le patient lui-même en salle opératoire avec le pointeur 3D du système de localisation. Après cette mise en correspondance, le système de neuronavigation que nous avons utilisé (Surgical Microscope Navigator / Carl Zeiss Oberkochen-Allemagne) a permis la localisation tridimensionnelle d'un pointeur par rapport aux images préopératoires et la projection de graphiques dans l'oculaire du microscope. Ces graphiques consistaient en sections bi-dimensionnelles des surfaces des objets 3D présélectionnés (intersection entre la surface 3D des objets et le plan focal du microscope). Les données graphiques relatives aux sillons segmentés étaient donc accessibles sous deux formes différentes : soit dans les oculaires du microscope lorsque

le plan focal intersecte un des sillons, soit sur la station image du neuronavigateur, affichés dans les plans de coupe de l'IRM ou dans la vue 3D de l'IRM. Les contours du cavernome et des sillons affichés dans les oculaires du microscope ont été utilisés pour définir l'incision cutanée et la craniotomie et après ouverture de la dure-mère pour guider l'accès au cavernome. Pour détecter et corriger tout changement accidentel de position du patient ou du système de localisation 3D, une croix équipée de diodes électroluminescentes a été fixée sur la têtière et était détectée par le localisateur 3D. L'exérèse des cavernomes a été réalisée selon les techniques de dissection microchirurgicale.

RESULTATS

Les résultats concernant les sept patients sont présentés dans le tableau I. La segmentation des sillons a été possible pour tous les patients. Selon les résultats calculés par le logiciel de neuronavigation de notre système, la précision mathématique de la mise en correspondance des marqueurs était comprise entre 1,9 mm et 4,52 mm (erreur résiduelle moyenne). Lors des interventions, les chirurgiens ont estimée qualitativement la précision de la superposition des sillons par comparaison entre les sillons segmentés et leurs correspondances anatomiques per-opératoires. Dans la majorité des cas la précision a été estimée par les différents opérateurs comme bonne. Dans le cas du patient 4, nous avons observé un décalage d'environ 3 mm entre le sillon réel et le sillon affiché. Ce décalage correspondait approximativement à un demi gyrus et le sillon affiché était à mi-distance de deux sillons réels. Dans ce cas, la forme des sillons a permis une correction visuelle du décalage.

Le recul postopératoire variait entre trois et six mois. Nous avons observé une parésie faciale transitoire chez un patient (cas 1) tandis que les suites opératoires ont été simples pour tous les autres patients.

CAS ILLUSTRATIF

CAS N° 7 :

Un patient âgé de 37 ans, droitier, a été admis dans notre service car il a fait deux crises d'épilepsie généralisées en 8 jours. Son examen neurologique était normal. L'IRM cérébrale montrait une lésion évocatrice d'un cavernome dans le gyrus frontal inférieur droit (*figure 1*). A partir de l'IRM et du cerveau segmenté, nous avons sélectionné les rameaux ascendant, diagonal et horizontal du sillon frontal inférieur (*figures 2 et 3*). L'affichage dans le microscope nous a permis de dessiner sur la peau le cavernome et les sillons sélectionnés pour réaliser l'incision cutanée (*figure 4*). Après repérage, le rameau diagonal du sillon frontal inférieur a été ouvert délicatement et utilisé comme guide jusqu'à atteindre le cavernome situé au fond de celui-ci (*figure 5*). L'exérèse du cavernome fut réalisée sans difficulté et sans aucun sacrifice vasculaire ou parenchymateux. Les suites opératoires immédiates furent simples et 2 mois plus tard, le patient n'avait pas eu de crise d'épilepsie.

DISCUSSION

Nous avons développé une méthode de visualisation per-opératoire des sillons corticaux via un système de neuronavigation pour l'identification de la cartographie sulcale du site chirurgical. Dans le contexte de la chirurgie des lésions supratentorielles, les méthodologies plus classiques (stéréotaxie, neuronavigation simple) n'utilisent le plus souvent que les trajectoires rectilignes [3,6,10,11,20]. L'identification et la visualisation des sillons ont permis de guider l'approche chirurgicale au cavernome soit comme

indicateur de la localisation du cavernome, soit en utilisant le sillon comme une trajectoire courbe menant au cavernome. Dans les deux approches, l'information est toujours associée à la visualisation simultanée du cavernome. En outre, cette méthode permet une approche mini-invasive en réduisant l'incision cutanée et la craniotomie mais aussi en respectant au mieux les structures vasculaires et parenchymateuses situées à proximité. L'accès à l'information sulcale n'a pas modifié l'abord chirurgical mais a permis de sécuriser le repérage et l'accès au cavernome.

La participation du chirurgien aux étapes de préparation est essentielle. Elle inclut la segmentation et la sélection des sillons et lui permet d'intégrer la cartographie sulcale du site chirurgical. Bien évidemment, cette méthode nécessite une parfaite connaissance de l'anatomie sulco-gyrale. L'utilisation d'atlas de référence facilite grandement ce travail de reconnaissance et d'identification [5, 17,21]. Ainsi, lorsqu'il existe un décalage, une déformation cérébrale peropératoire, le chirurgien peut corriger la position du sillon affiché.

Actuellement, les graphiques affichés dans les oculaires du microscope du système de neuronavigation sont monoscopiques, monochromes et bi-dimensionnels. Les conséquences de ces limitations ont été : la difficulté d'appréhender la forme 3D globale du sillon, la difficulté dans certaines situations de différencier les sillons superposés et l'obligation de modifier la mise au point du microscope pour faire apparaître les sillons, au détriment parfois de la netteté de la vue opératoire.

La précision de l'affichage des sillons corticaux au sein de notre système de neuronavigation dépend des étapes de segmentation et de mise en correspondance. Selon les résultats calculés par notre système, la précision de la mise en correspondance

entre les images préopératoires et le patient en salle d'opération a varié entre 1.9 et 4.52 mm (RMS) mais elle est hautement dépendante de la localisation et de la distribution des marqueurs [7]. Cette valeur ne doit pas être interprétée au premier degré. Elle n'est liée qu'à la mise en correspondance locale des marqueurs et n'est pas toujours significative de la précision globale. Les étapes de segmentation n'ajoutent pas d'incertitudes en localisation mais peuvent générer une information incomplète. Pour valider les résultats de la segmentation, le chirurgien s'est référé aux images IRM d'origine grâce à une visualisation synchronisée entre les sillons corticaux segmentés et visualisés sur l'outil de rendu surfacique et l'examen IRM 3D visualisé sur l'outil de rendu volumique. Dans le cas du patient 4, le décalage observé n'était pas dû à un défaut du système mais montre les limites basses du système en terme de résolution spatiale. Cela démontre aussi le fait que la solution que nous avons développée est une aide au geste chirurgical mais ne remplace en aucun cas le jugement et la connaissance du chirurgien.

Il faut aussi souligner que la précision de notre solution est limitée par la déformation anatomique peropératoire due à l'acte chirurgical. Selon la localisation et la taille de la zone opératoire, cette déformation peut rendre rapidement obsolète l'information anatomique de planning [15]. Il peut donc être nécessaire de quantifier, voire de modéliser, ces déformations à l'aide d'une imagerie peropératoire pour modifier les informations préopératoires en fonction des déformations calculées [4,23].

CONCLUSION

Nous avons développé une technique permettant 1) de définir automatiquement des surfaces représentant les sillons corticaux à partir d'une imagerie préopératoire, 2) de visualiser ces informations en contexte opératoire via un microscope chirurgical repéré par un système de neuronavigation. Nous avons démontré la faisabilité et l'intérêt clinique de cette technique dans le cadre de la chirurgie des cavernomes supratentoriels. Cette méthodologie pourra être utilisée dans d'autres types de chirurgie (chirurgie tumorale, chirurgie de l'épilepsie) en y intégrant de façon analogue des informations fonctionnelles provenant de magnéto-encéphalographie, d'IRM fonctionnelle et/ou de tomographie à émission mono-photonique.

REFERENCES

1. AZUMA RT. A survey of augmented reality. *Presence : Teleoperators and virtual environnements* 1997 ; 6 : 355-385.
2. BARILLOT C. Surface and volume rendering techniques to display 3D data. *IEEE Engineering in Medicine and Biology* 1993 ; 111-119.
3. BARNETT GH, McKENZIE RL, RAMOS L, PALMER J. Nonvolumetric stereotaxy-assisted craniotomy. Results in 50 consecutive cases. *Stereotact Funct Surg* 1993 ; 61 : 80-95.
4. BUCHOLZ RD, YEH DD, TROBAUGH J, et al. The correction of stereotactic inaccuracy caused by brain shift using intraoperative ultrasound device. In : J. Troccaz, E. Grimson and R. Mösges, Eds. CVR Med - MRCAS'97. Berlin, Germany : Springer-Verlag, 1997 ; 459-466.
5. DUVERNOY H. The human brain. Surface, three-dimensional sectional anatomy and MRI. Springer-Verlag, Wien, Paris, 1991.
6. GOLFINOS JG, FITZPATRICK BC, SMITH LR, SPETZLER RF. Clinical use of a frameless stereotactic arm : results of 325 cases. *J Neurosurg* 1995 ; 83 : 197-205.
7. GRUNERT P, MÜLLER-FORELL W, DARABI K, et al. Basic principles and clinical applications of neuronavigation and intraoperative computed tomography. *Comput Aided Surg* 1998 ; 3 : 166-173.
8. HOUTTEVILLE JP. Les cavernomes intracrâniens. Table ronde. *Neurochirurgie* 1989 ; 35 :7 3-131.

9. HOUTTEVILLE JP. Brain cavernoma : a dynamic lesion. *Surg Neurol* 1997 ; 48 :6 10-614.

10. KELLY PJ. Sterotactic craniotomy. In : Friedman WA, Ed. Neurosurgery clinics of north america. *Stereotactic Neurosurgery*. 1990 ; 1 : 781-799.

11. KIKINIS R, GLEASON PL, MORIARTY TM, et al. Computer-assisted interactive three-dimensional planning for neurosurgical procedures. *Neurosurgery* 1996 ; 38:640-651.

12. LACHMANN F, BARILLOT C. Brain tissue classification from MRI data by means of texture analysis. *SPIE Medical Imaging, Image Processing* 1992, 1652 : 72-83.

13. LE GOUALHER G, BARILLOT C, BIZAIS Y. Modeling cortical sulci with active ribbons. *Int J Pattern Recognition and Artificial Intelligence* 1997 ; 11 : 1295-1315.

14. LUBER J, MACKEVICS A. Multiple co-ordinate manipulator (MKM) : A computer-assisted microscope. In : Lemke H.U. Ed. *Proc. CAR 95 Berlin*, Springer-Verlag 1995 ; 1121-1125.

15. MAURER CR, HILL DLG, MARTIN AJ, et al. Investigation of intraoperative brain deformation using a 1.5-T interventional MR system : Preliminary results. *IEEE trans. Med Imaging* 1998 ; 17 : 817-825.

16. MORAN NF, FISH DR, KITCHEN N, et al. Supratentorial cavernous haemangiomas and epilepsy : a review of the literature and cases series. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1999 ; 66 : 561-568.

17. ONO M, KUBIK S, ABERNATHEZY CD. Atlas of the cerebral sulci. Georg Thieme Verlag, Stuggart, 1990.

18. PORTER PJ, WILLINSKY RA, HARPER W, WALLACE MC. Cerebral cavernous malformations : natural history and prognosis after clinical deterioration with or without hemorrhage. *J Neurosurg* 1997 ; 87 : 190-197.

19. POZZATI E, ACCIARRI N, TOGNETTI F, MARLIANI F, GIANGASPERO F. Growth, subsequent bleeding, and de novo appearance of cerebral cavernous angiomas. *Neurosurgery* 1996 ; 38 : 662-670.

20. ROESSLER K, UNGERSBOECK K, AICHHOLZER M, et al. Frameless stereotactic lesion contour-guided surgery using a computer-navigated microscope. *Surg Neurol* 1998 ; 49 : 282-289.

21. TALAIRACH J, TOURNOUX P. Co-planar sterotactic atlas of the human brain. Georg Thieme Verlag, Stuggart, 1988.

22. VOIGT K, YASARGIL MG. Cerebral cavernous haemangiomas or cavernomas. Incidence, pathology, localisation, diagnostic, clinical feature and treatment. Review of the literature and report of an unusual case. *Neurochirurgia* (Stuttg.) 1976 ; 19 : 59-68.

23. WIRTZ CR, BONSANTO MM, KNAUTH M, et al. Intra-operative magnetic resonance imaging to update interactive navigation in neurosurgery. Method and preliminary experience. *Comput. Aided Surg*. 1997 ; 2 : 172-179.

FIGURES

Fig 1 : IRM. Coupes sagittale, coronale et axiale pondérées en T1. Le cavernome est situé dans le gyrus frontal inférieur droit. (Cas n° 7)

MRI. Sagittal, coronal and axial T1-weighted images showing the cavernoma located in the right frontal inferior gyrus. (Case n° 7)

Fig 2 : Superposition des sillons sélectionnés sur le cerveau segmenté et sur une coupe coronale IRM : sillon frontal inférieur, rameau horizontal (violet) ; rameau diagonal (vert) et rameau ascendant (bleu). (Cas n° 7)

Superimposition of the selected sulci on the 3D segmented brain and on a coronal MRI slice : inferior frontal sulcus, horizontal ramus (purple) ; diagonal ramus (green) and ascending ramus (blue). (Case n° 7)

Fig 3 : Représentation 3D des sillons et du cavernome. Les éléments sélectionnés pour être insérés dans le neuronavigateur sont : le cavernome (rouge) ; le rameau horizontal (violet), le rameau diagonal (vert) et le rameau ascendant (bleu). (Cas n° 7)

3D representation of the sulci and cavernoma. Selected structures which are displayed on the workstation of the neuronavigation system are : cavernoma (red), horizontal ramus (purple), diagonal ramus (green) and ascending ramus (blue). (Case n° 7)

Fig 4 : La superposition du cavernome et des sillons sélectionnés sur la peau permet de tracer l'incision cutanée et de centrer le volet sur le cavernome. (Cas n° 7)

Superimposition of cavernoma and selected sulci on the skin allows to optimize the incision and to centre the craniotomy on the cavernoma. (Case n° 7)

Fig 5 : Superposition des sillons sélectionnés et visualisés dans l'oculaire du microscope sur les sillons réels. Vue per-opératoire après éxérèse du cavernome. (Cas n° 7)

Superimposition of selected sulci and visualized into the ocular of the microscope on the real sulci. Intra-operative view after cavernoma removal. (Case n° 7)

TABLEAU I. - RESUME DES 7 OBSERVATIONS

TABLE 1. - SUMMARY OF THE 7 CASES

Patient	Age / Sexe	Clinique	Localisation	Situation	Sillons sélectionnés	Précision (mm)[1]	Evolution
1	39 / M	Découverte fortuite	Précentral gauche	Profond	Précentral, central, Frontal supérieur	2,44	Parésie faciale transitoire
2	24 / M	Syncopes	Temporal droit	Superficiel	Temporal supérieur, Latéral	1,90	Bonne
3	52 / M	Crises épilepsie généralisées	Fronto-orbitaire	Superficiel	Orbitaire	2,04	Bonne
4	20 / M	Crise épilepsie généralisée	Pariétal gauche	Profond	Intra-pariétal, Postcentral	3,44	Bonne
5	24 / M	Crises partielles	Temporal droit	Superficiel	Latéral, Temporaux supérieur et moyen	2,17	Bonne
6	36 / F	Crises partielles	Temporal droit	Superficiel	Temporaux moyen et inférieur	4,52	Bonne
7	38 / M	Crises épilepsie généralisées	Frontal droit	Superficiel	Rameaux diagonal, horizontal et ascendant du sillon frontal inférieur	2,97	Bonne

[1] Cette valeur de précision correspond à une erreur résiduelle moyenne sur les marqueurs et calculée par le logiciel de neuronavigation.
This accuracy value corresponds to a mean residual error computed on the fiducial markers by the neuronavigation software.

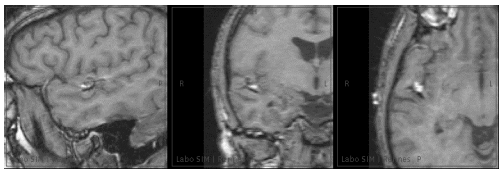


Figure 1 : IRM du patient 2 : Coupes sagittale, coronale et axiale. Le cavernome est visible dans le gyrus temporal supérieur.

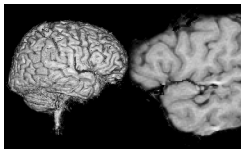


Figure 2 : Patient 2 : Cerveau segmenté et coupe IRM avec superposition des sillons choisis (en vert : le sillon temporal supérieur et en bleu le sillon latéral et la partie inférieure du sillon central).

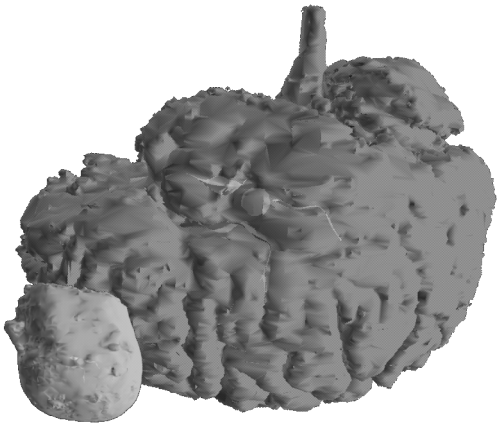


Figure 3 : Patient 2 : Scène 3D comprenant les sillons reconstruits et le cavernome. Les éléments choisis pour être insérés dans le neuronavigateur sont : en rouge : le cavernome , en vert : le sillon temporal supérieur et en bleu le sillon latéral et la partie inférieure du sillon central.

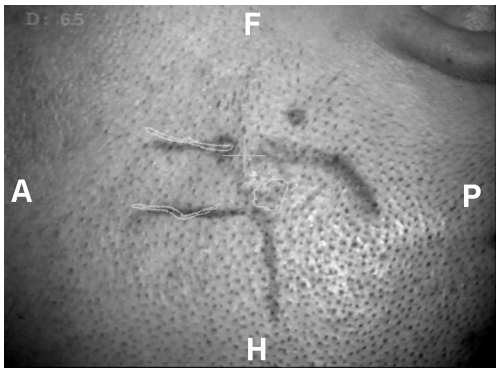


Figure 4 : Patient 2 : la superposition du cavernome et des sillons temporal supérieur, latéral et la partie inférieure du sillon central sur la peau permet de tracer l'incision cutanée.



Figure 5 a) : Patient 2 : superposition des sillons choisis et visualisés dans l'oculaire du microscope sur les sillons réels. Figure 5 b) : Visualisation sur l'IRM 3D des sillons choisis (même position que la figure 5a) par l'application STP du neuronavigateur. En bleu : sillon latéral et la partie inférieure du sillon central, en vert : sillon temporal supérieur.

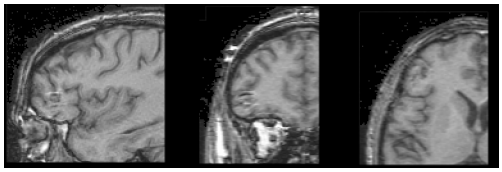


Figure 6 : IRM du patient 7 : Coupes sagittale, coronale et axiale. Le cavernome est visible dans le gyrus frontal inférieur.

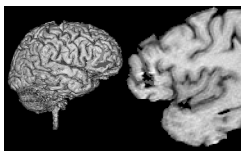


Figure 7: Patient 7 : Superposition des sillons choisis sur le cerveau segmenté et sur une coupe coronale : sillon frontal inférieur rameau horizontal (en magenta) rameau diagonal (en vert) rameau ascendant (en bleu)

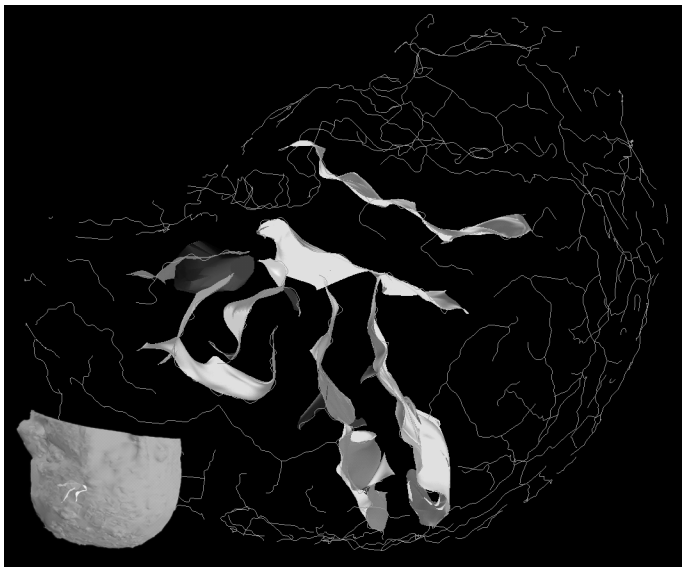


Figure 8 : Patient 7 : Scène 3D comprenant les sillons reconstruits et le cavernome. Les éléments choisis pour être insérés dans le neuronavigateur sont : en rouge : le cavernome, en magenta: le rameau horizontal du sillon frontal inférieur, en vert : le rameau diagonal du sillon frontal inférieur et en bleu: le rameau ascendant du sillon frontal.

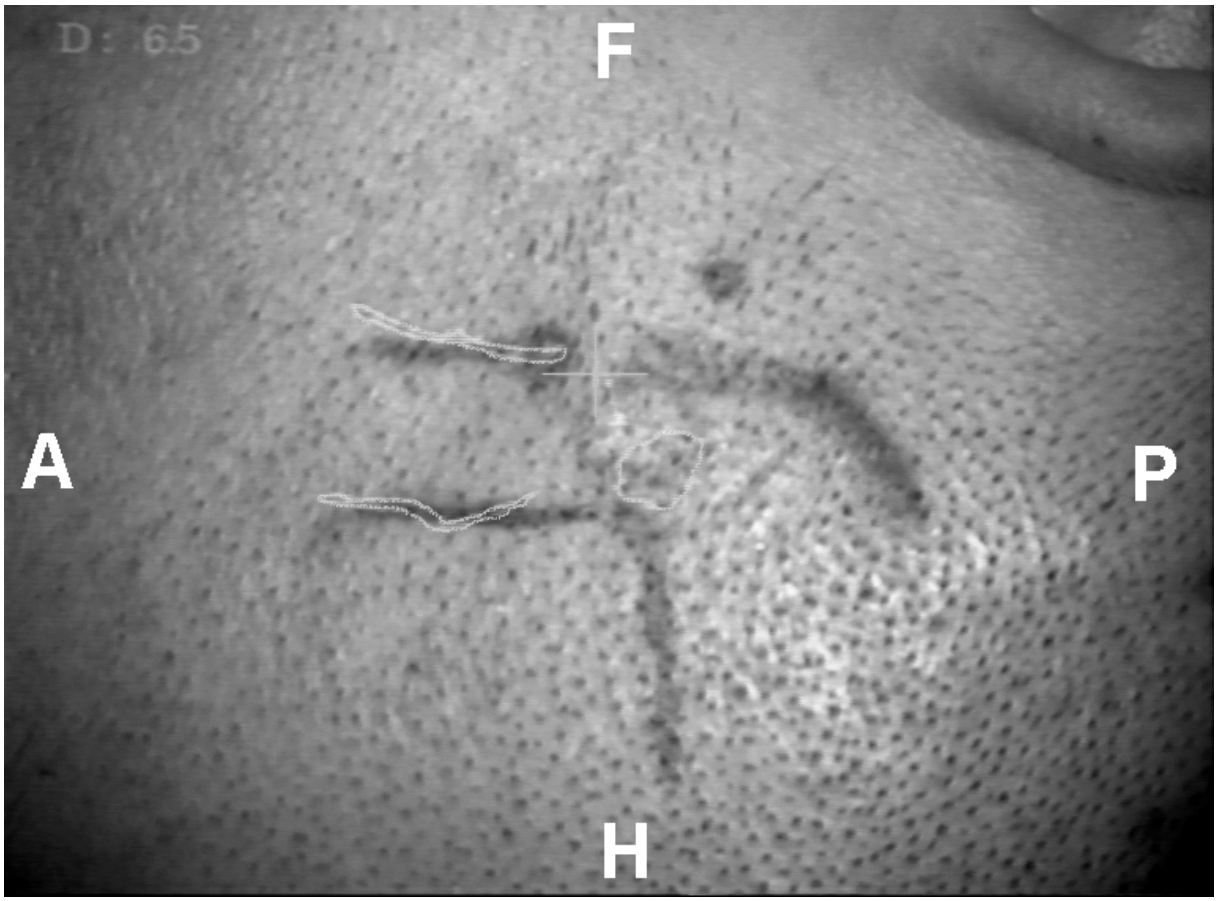


Figure 9 : Patient 7 : la superposition du cavernome et des sillons choisis sur la peau permet de tracer l'incision cutanée.

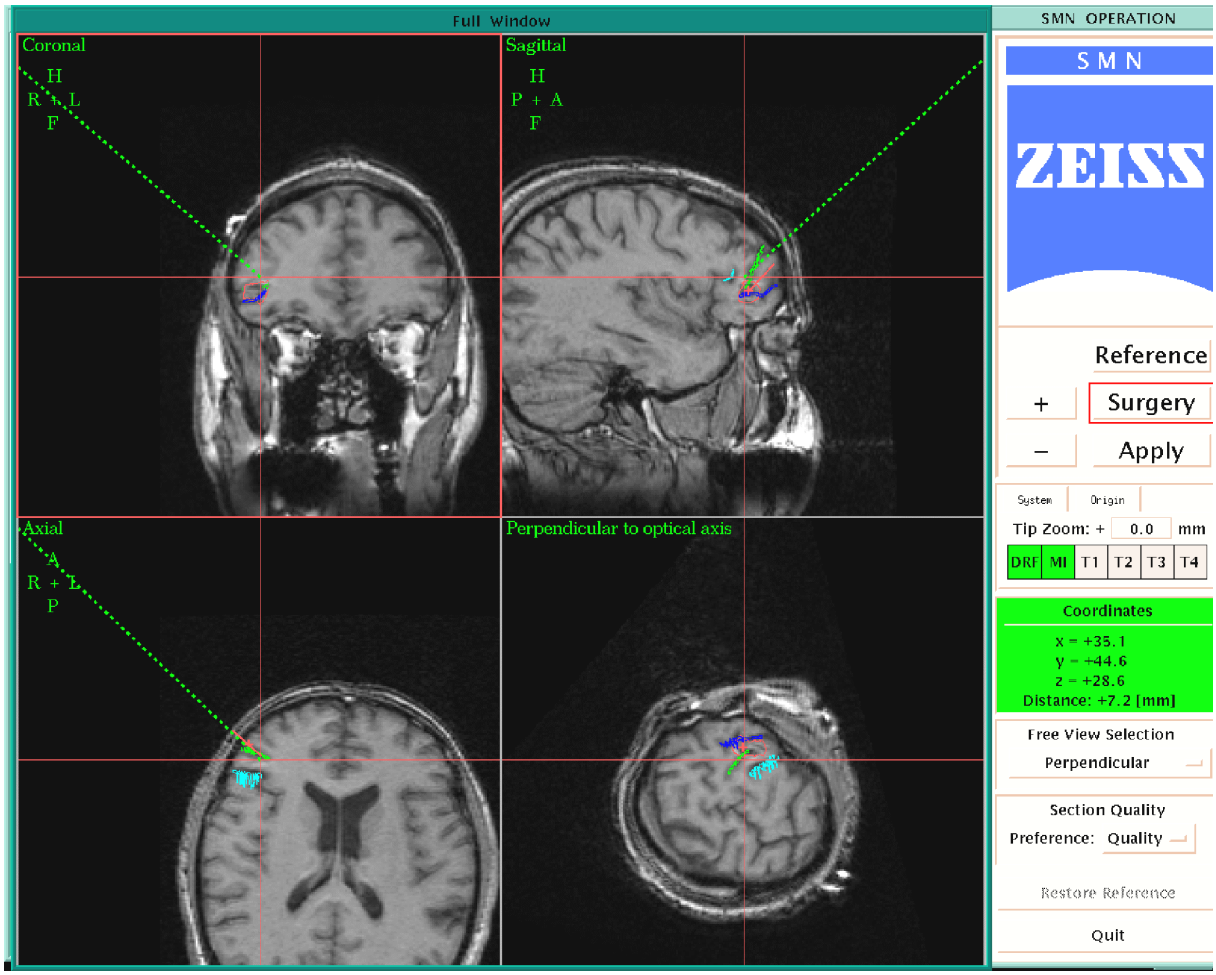


Figure 10 : a) : Patient 7 , superposition des sillons choisis et visualisés dans l'oculaire du microscope sur les sillons réels. Figure 10 b) : Visualisation des sillons choisis sur l'IRM 3D (même position que la figure 10a) par l'application STP du neuronavigateur.