

L'étude micro-anatomique des fibres du faisceau unciné et ses implications dans la chirurgie fronto-temporo-insulaire

Microsurgical anatomical study of the uncinate fasciculus

Cet article a été nominé pour le prix du Jeune Talent Chirurgical.

Nadine Travers

Laboratoire d'anatomie, CHRU, Tours

Mots clés

- ◆ Faisceau unciné
- ◆ substance blanche
- ◆ voie frontotemporale
- ◆ technique de Klingler
- ◆ isthme temporal
- ◆ insula

Résumé

Le faisceau unciné, principal faisceau d'association fronto-temporale, assure une connexion entre structures limbiques et paralimbiques et semble impliqué dans certains troubles mnésiques observés après lobectomie temporale antérieure. Il constitue par ailleurs une voie de propagation des phénomènes épileptiques. Toutefois, son anatomie est peu connue.

L'objectif de ce travail était triple : réaliser une étude micro-anatomique des fibres du faisceau unciné (et de ses rapports dans l'isthme temporal) ; définir des repères opératoires permettant sa préservation (chirurgie d'exérèse) ou sa section (chirurgie de l'épilepsie) ; et préciser l'existence d'une éventuelle systématisation autorisant une destruction sélective.

Les sujets d'étude comprenaient 33 hémisphères humains et la méthode employée était la technique de dissection des fibres élaborée par Klingler.

Les résultats ont permis de décrire précisément le faisceau unciné : configuration tridimensionnelle, extrémités basi-frontale et temporo-polaire, segment insulaire (et ses dimensions), systématisation interne absente. Ces observations ont conduit à confirmer, en la précisant, la zone d'interruption optimale du faisceau : incision peu profonde du *limen insulae*. Elles ont également montré la nécessité de préserver l'isthme temporal dans une lobectomie temporale antérieure, avec pour seul repère de projection du *limen insulae* sur la face latérale du lobe temporal, la mesure de la distance *limen*-pôle temporal, en l'absence de repère sulcal ou ventriculaire utilisable. La destruction sélective ne peut s'envisager en l'absence de systématisation.

Keywords

- ◆ Uncinate fasciculus
- ◆ white matter tract
- ◆ frontotemporal pathway
- ◆ fiber-dissection technique
- ◆ temporal stem
- ◆ insula

Abstract

Objective: The uncinate fasciculus, which constitutes the main frontotemporal pathway interconnecting limbic and paralimbic structures, seems to be involved in memory disorders reported after anterior temporal lobectomy. It also contributes to propagation of the epileptic events. Nevertheless, literature data provide poor details regarding its anatomy.

The aims of this study were to describe the three-dimensional anatomy of the tract, including its relationships in the temporal stem and lobe, to define surgical landmarks allowing its preservation (during tumoral resection) or its section (during epileptic surgical procedure), and to find a possible systematization leading to partial section.

Methods: Thirty-three previously frozen, formalin-fixed human brains were dissected under the operative microscope using the fiber-dissection technique.

Results: The microanatomy of the uncinate fasciculus is described in this article (origin, course, termination, relationships) and a practical terminology for each segment is presented, to clarify and supplement the anatomical information presently available. No internal systematization was found. During operative procedure, this frontotemporal pathway can be interrupted by a thin incision of the *limen insulae* but no surgical landmark (sulcal or ventricular) can be employed to preserve the fibers running through the temporal stem, excepted the distance between the *limen* and the temporal pole.

Certains des troubles cognitifs, particulièrement mnésiques survenant après lobectomie temporale antérieure ont été rapportés (1) à l'hippocampectomie associée. Pourtant, il n'existe pas de corrélation évidente entre performances neuropsychologiques post-opératoires et étendue de l'hippocam-

pectomie (2). Le faisceau unciné (FU) qui constitue la principale voie d'association fronto-temporale pourrait être impliqué dans ces déficits, car sa section isolerait le cortex temporal associatif (3). Cette hypothèse serait confortée par certaines constatations après chirurgie de l'épilepsie : Ojemann (4)

Correspondance :

traversnadine@yahoo.fr

corrèle ainsi le degré de déficit lors des tests neuropsychologiques à l'importance de l'extension latérale (mais non médiale) de la résection temporale.

Les expérimentations animales menées chez le singe n'apportent pas d'élément pertinent sur le rôle exact du FU ni sur les conséquences cognitives de sa section, notamment sur la mémoire visuelle, car leurs conclusions apparaissent contradictoires (5-8). Elles stipulent toutefois que le FU participerait à la boucle paralimbique intégrant cortex orbito-frontal, cingulaire, parahippocampique et temporo-polaire (9). Cette boucle a au moins une fonction olfactive chez le singe mais son implication dans les tâches cognitives est hautement probable compte tenu de la nature des régions connectées.

Enfin, le FU est considéré comme le support de la propagation de phénomènes épileptiques chez l'homme et sa section est intégrée à la stratégie chirurgicale des lobectomies temporales indiquées dans les épilepsies partielles réfractaires (10, 11).

Malgré l'importance fonctionnelle et les implications pathologiques de l'atteinte du FU, une seule étude, réalisée par Ebeling sur 10 hémisphères, traite de son anatomie descriptive (12) ce qui nous a conduit à réaliser un nouveau travail dont les objectifs étaient les suivants :

- réaliser une étude micro-anatomique du FU et de ses rapports dans l'isthme temporal ;
- exploiter ces données pour définir des repères chirurgicaux utilisables pour épargner les fibres uncinées (chirurgie d'exérèse) ou au contraire pour les détruire (par exemple lors d'une chirurgie de l'épilepsie) ;
- rechercher s'il existe une systématisation exploitable de ces fibres qui pourrait aboutir à des sections sélectives.

Matériel et méthodes

Sujets

L'étude a porté sur 41 hémisphères cérébraux humains normaux adultes, sans distinction de sexe, disséqués selon une technique très proche de celle de Klingler (13, 14). Six hémisphères ont été utilisés pour l'entraînement à la technique et deux n'ont pu être inclus en raison d'une qualité insuffisante de la préparation (cf. *infra*).

Les cerveaux provenaient de sujets ayant volontairement donné leur corps au laboratoire d'anatomie avant leur décès.

Méthodes

La technique de Klingler permet la dissection des fibres de la substance blanche et reposerait (14) sur le principe de la congélation-décongélation de l'eau située entre elles. En effet, une solution aqueuse de formol ne pénétrerait que peu dans les fibres à gaine de myéline, mais s'infiltrerait entre celles-ci. La congélation de la pièce entraînerait alors la formation préférentielle de glace à ce niveau. L'augmentation de volume de l'eau lors de la congélation conduirait à une légère dissociation des fibres, indispensable à leur dissection au sein de la substance blanche et au suivi de leur trajet.

Préparation des pièces anatomiques

Le cerveau était prélevé moins de 36 heures après le décès, aussitôt immergé dans l'eau. La fixation s'effectuait immédiatement dans une solution formolée à 5% dans laquelle le cerveau était suspendu par une ficelle nouée à l'artère basilaire. Cette suspension préservait la morphologie cérébrale en évitant un contact avec le fond du cristallisateur. Les bains étaient renouvelés à un rythme hebdomadaire durant 3 mois, jusqu'à l'obtention d'un parenchyme cérébral ferme mais non dur.

Après lavage à l'eau courante pendant plusieurs heures, chaque pièce était placée sous microscope opératoire pour retrait complet de l'arachnoïde, de la pie-mère et des vaisseaux corticaux (15), à l'exception de la région inter-hémisphérique, inaccessible faute d'écartement possible. Les cerveaux étaient ensuite congelés à -15°C durant 4 semaines, puis lentement décongelés à +5°C pendant 3 à 5 jours dans un réfrigérateur. Ils pouvaient dès lors être disséqués et conservés dans une solution de formol à 5%.

Principe général de la dissection

Après préparation, la substance grise devenait spongieuse et les faisceaux de substance blanche s'individualisaient. Le cortex était réséqué à la curette et les faisceaux blancs sous-jacents pouvaient être progressivement suivis par « pelage » sous magnification optique (microscope opératoire Zeiss OPMI 9FC, Oberkochen, Germany). Les instruments utilisés à cet effet étaient de fines spatules de bois confectionnées à partir d'abaisse-langues taillés « à la demande » en fonction de l'étape de la dissection. Ils étaient beaucoup moins traumatisants pour le soulèvement et le « pelage » des fibres que les pinces métalliques traditionnelles, y compris celle employée par les embryologistes que conseille Klingler (14).

Au fur et à mesure de leur « dissection-exérèse », les fibres ont été photographiées en macrophotographie (boîtier Hasselblad Classic [IC], Göteborg, Sweden, monté sur blanc ; film Technical Pan 6415 120, Eastman-Kodak, Rochester, NY, USA).

Étapes successives de la dissection anatomique

Nous n'avons pas retenu l'abord proposé par Ebeling (12), débutant par l'ablation de l'opercule pariétal, afin d'éviter par principe tout recours à une résection parenchymateuse profonde susceptible d'interrompre des faisceaux d'association, même éloignés de la région d'intérêt. Nous avons préféré suivre la description de l'abord de la face latérale de l'hémisphère selon Türe (15), du moins dans sa phase initiale c'est-à-dire pour nous jusqu'à l'isolement de la commissure antérieure (CA).

Le cortex cérébral était d'abord retiré à l'œil nu aux sommets des *gyri* et sous microscope au fond des sillons, à l'aide de curettes et spatules. Cette « décortication » intéressait toute la face latérale de l'hémisphère, à l'exception du *gyrus* frontal supérieur et de la pointe temporale (afin de permettre la mesure ultérieure de la distance *limen insulae*-pôle temporal) et était étendue à la région basifrontale. La différence de couleur et surtout de consistance entre substances grise et blanche permettait de les distinguer aisément et l'aspect spongieux « en morille » du cortex favorisait son détachement. L'ablation de ce dernier exposait aussitôt les fibres arquées, fibres d'association courtes « en U » en position immédiatement sous-corticale reliant deux *gyri* adjacents. L'exérèse progressive des fibres arquées temporales, pariétales et frontales révélait le faisceau longitudinal supérieur (FLS) ou faisceau arqué autour de la vallée sylvienne et de l'*insula*. À ce stade, la portion résiduelle enfouie de cortex représentée par les opercules fronto-orbitaire, fronto-pariétal et temporal pouvait être facilement retirée, conduisant à l'exposition de l'*insula* et des fibres les plus profondes du FLS. Le retrait complet du cortex insulaire découvrait la capsule extrême et les fibres les plus antérieures du segment insulaire du faisceau unciné immédiatement sous le cortex du *limen insulae*.

L'ablation de la capsule extrême permettait d'exposer le *claustrum* dans la région de l'apex insulaire et la capsule externe à la périphérie de ce dernier. À ce degré de profondeur de la dissection, la portion isthmique du faisceau unciné (FU) et celle du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI) étaient isolées juste en avant du *claustrum*, ces 2 faisceaux étant indissociables l'un de l'autre dans leur trajet insulaire. La poursuite de la dissection sous l'*insula* consistait en l'ablation

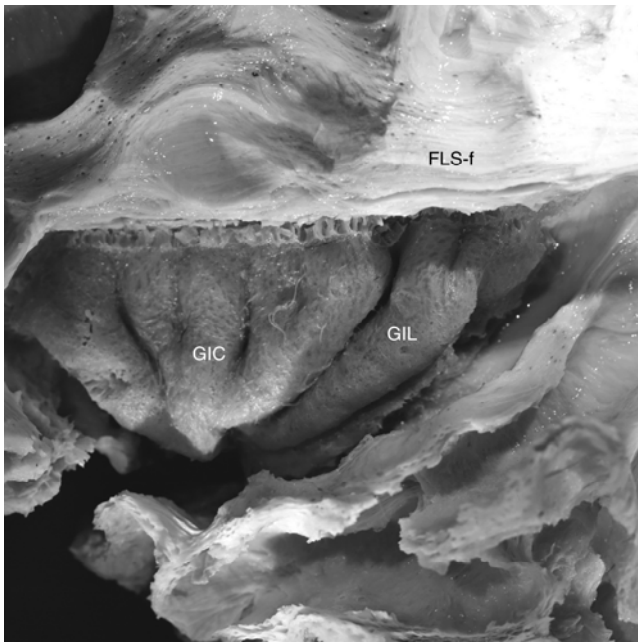


Figure 1. Mise en évidence de l'insula après dissection du faisceau longitudinal supérieur (FLS) dont on aperçoit la branche antérieure ou frontale (FLS-f). GIL : gyri insulaires longs ; GIC : gyri insulaires courts.

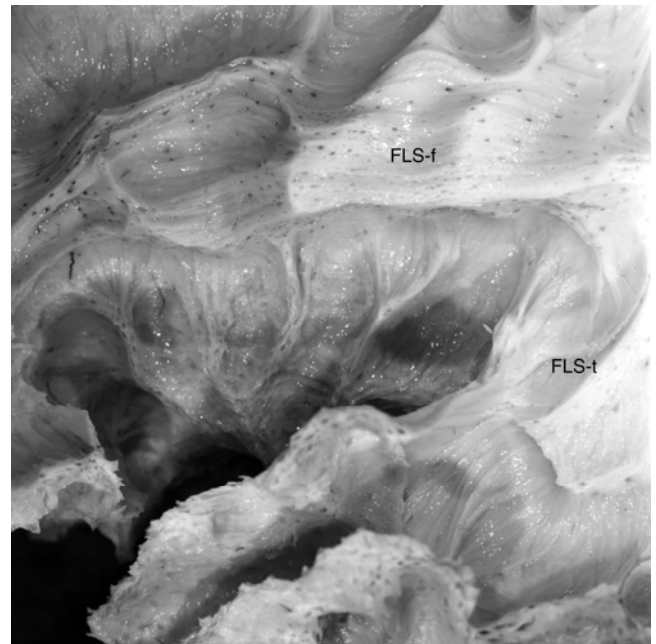


Figure 2. Aspect des sillons et empreinte des gyri insulaires après retrait du cortex insulaire et de quelques fibres arquées insulaires (ces dernières appartiennent à la capsule extrême). FLS-f : branche frontale du faisceau longitudinal supérieur ; FLS-t : branche temporale du faisceau longitudinal supérieur.

de la capsule externe et du *claustrum*, mettant à nu la face latérale du *putamen*.

Les figures 1, 2, 3a et 3b illustrent ces premières étapes. Le *putamen* avait un aspect comparable à celui du cortex, tant pour sa couleur brunâtre que pour sa consistance spongieuse qui nous permettait de le retirer à l'aide d'une microcurette. À l'opposé, le *globus pallidus* apparaissait très différent lors de son exérèse : beaucoup plus pâle mais aussi beaucoup plus ferme et compact. De ce fait, la zone de transition entre *putamen* et *globus pallidus* était très clairement identi-

fiable. L'ablation du *globus pallidus* découvrait en périphérie la totalité de la capsule interne. À fort grossissement, la substance grise des ponts putamino-caudés était parfaitement visible entre les fibres capsulaires. La portion basale du noyau lenticulaire était traversée par la commissure antérieure (CA). L'exérèse pas à pas de ce noyau lenticulaire permettait donc de disséquer l'expansion latérale de la CA. Celle-ci ap-

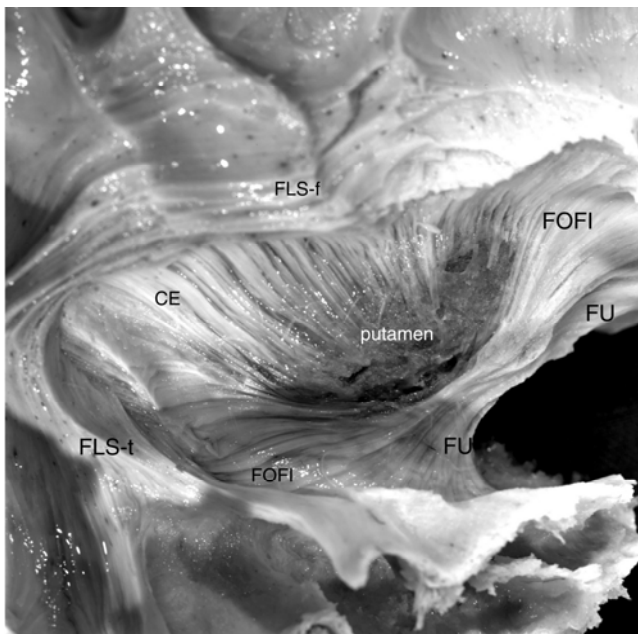


Figure 3a. Vue latérale d'un hémisphère droit. L'ablation de la capsule extrême permet de découvrir la capsule externe (CE) dont le retrait met à nu la face latérale du putamen. Vers l'avant, les segments insulaires, accolés, du faisceau unciné (FU) et du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI) sont visibles (pas de limite décelable à ce niveau). FLS-f et FLS-t : branches frontale et temporale du faisceau longitudinal supérieur.

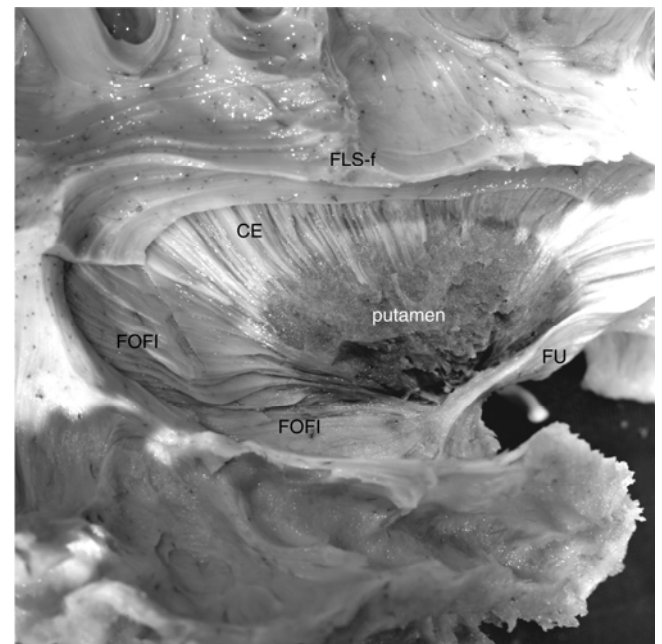


Figure 3b. Vue latérale d'un hémisphère droit. Même stade de dissection que la figure 3a sur un autre hémisphère avec, pour seule différence, le retrait de la majorité des fibres latérales du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI), montrant le rapport direct de la face médiale du segment intermédiaire du faisceau unciné (FU) avec la face latérale du putamen dans son "ascension" frontale, la face médiale du FU couvre ensuite la face antérieure du putamen. CE : capsule externe ; FLS-f : branche frontale du faisceau longitudinal supérieur.

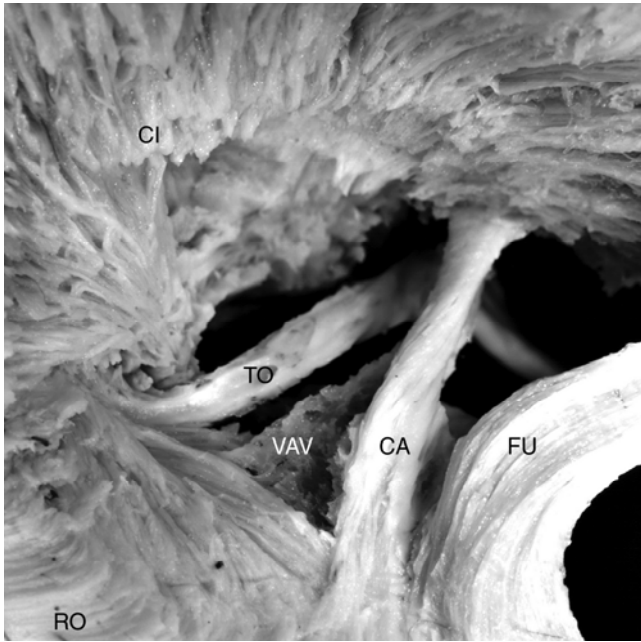


Figure 4. Rapports de la commissure antérieure (CA), de la voie amygdalofuge ventrale (VAV) et du tractus optique (TO) dans la région sous-lenticulaire. CI : capsule interne ; RO : radiations optiques ; FU : faisceau unciné.

paraissait « engainée » sur toute sa longueur par le canal de Gratiolet se présentant sous une structure rigide (« plastifiée ») et transparente. En arrière et au-dessous de la CA, selon un trajet parallèle à celle-ci, on isolait la voie amygdalofuge ventrale (VAV) traversant la substance perforée antérieure, puis en arrière d'elle, le tractus optique (fig. 4). La dissection de ces 3 éléments (CA, VAV et tractus optique) a systématiquement été poursuivie jusqu'à la ligne médiane, afin de confirmer leur identification. À ce stade, les structures anatomiques constituant les rapports directs du FU dans l'isthme pouvaient être isolées. Nous avons d'abord étendu la dissection du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI) à partir de son segment insulaire vers ses deux pôles temporo-occipital (fig. 5a et 5b) puis frontal.

Le sacrifice de la branche descendante temporelle du faisceau longitudinal supérieur (FLS) avec ablation du *gyrus* temporal supérieur était obligatoire pour découvrir le FOFI sous-jacent. À son tour, l'ablation du segment temporo-occipital du FOFI « au ras » de son point de départ, à savoir son isthme, permettait la dissection de 2 éléments sous-jacents essentiels dans notre étude : l'épanouissement temporel des fibres commissurales vers l'avant et les radiations optiques (RO) avec présence à ce niveau de la boucle de Meyer vers l'arrière. Les rapports entre fibres uncinées, fibres du FOFI, fibres commissurales et RO pouvaient alors être étudiées au niveau du lobe temporal. La voie amygdalofuge ventrale (VAV) se rendant par définition vers la face temporo-mésiale n'était impliquée que dans les rapports du FU au sein de l'isthme temporel mais pas au-delà.

Pour finir, l'exérèse du *putamen* a été complétée vers l'avant par celle de la tête du noyau caudé afin de dégager toute la face profonde de l'extrémité frontale du FU, avant sa pénétration dans les *gyri* orbitaires.

Ces différentes étapes isolaient le FU et permettaient la description de son anatomie ainsi que de ses rapports dans l'isthme et le lobe temporal.

Établissement des repères chirurgicaux

Nous avons évalué la pertinence de plusieurs repères anatomiques éventuellement utilisables pour éviter la section ou guider la destruction per-opératoires du FU :

- les sillons temporaux supérieur et inférieur ;

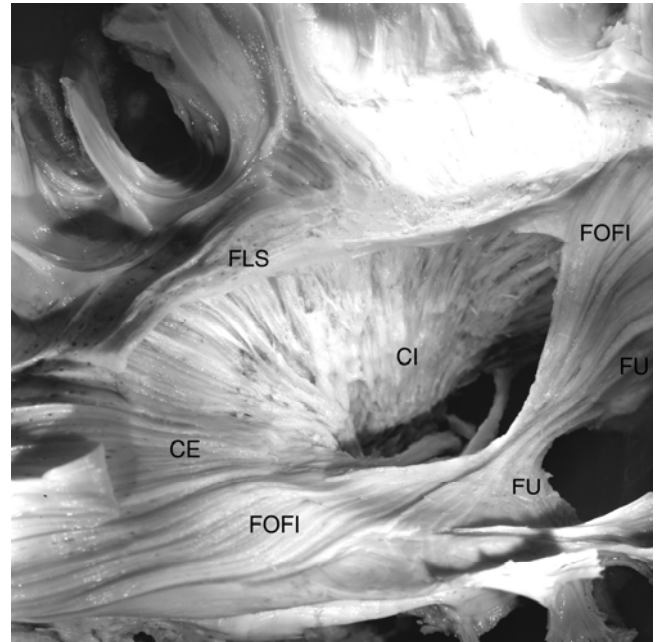


Figure 5a. Dissection du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI) dont le segment insulaire est accolé à celui du faisceau unciné (FU) sans limite nette les séparant (vue latérale d'un hémisphère droit). FOFI : faisceau occipito-frontal inférieur ; FU : faisceau unciné ; FLS : faisceau longitudinal supérieur ; CE : capsule externe ; CI : capsule interne.

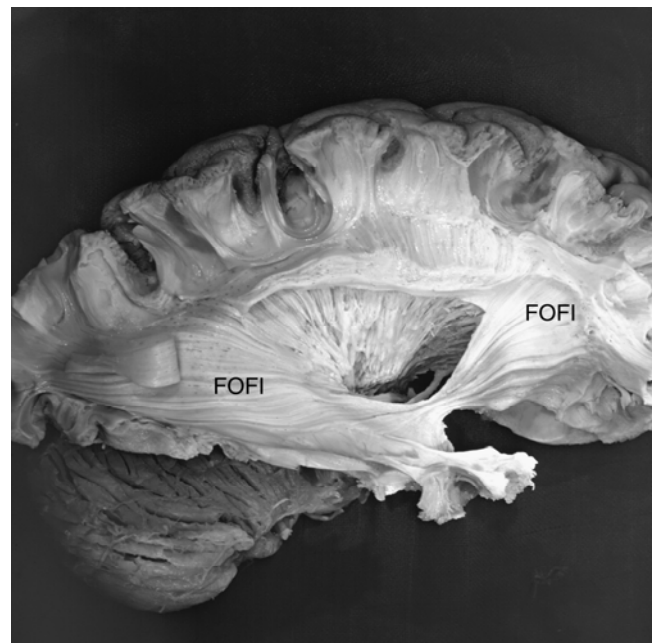


Figure 5b. Le même faisceau que sur la figure 5a, sur une vue élargie attestant de la destination temporo-occipitale du faisceau. On aperçoit en fuite sur les deux figures, 3 structures disséquées dans la région sous-lenticulaire : la commissure antérieure, la voie amygdalofuge ventrale et le tractus optique, d'avant en arrière.

- la pointe de la corne inférieure du ventricule latéral ;
 - le *limen insulae* ;
 - la position et la distance de la corne inférieure du ventricule latéral par rapport au *limen insulae* ;
 - la distance *limen insulae*-pôle temporal.
- Aucun repère vasculaire n'était utilisable avec la technique employée.

Résultats

Technique de Klingler

La qualité de la préparation —et donc de la dissection— variait selon les hémisphères. Les deux premiers, immergés par erreur durant les 24 premières heures dans une solution formolée à 10% étaient inexploitable, en raison d'une absence de différenciation substance grise/substance blanche et des faisceaux au sein de la substance blanche. Les 33 autres hémisphères étaient dissécables. Il existait par ailleurs des variations de qualité au sein d'un même hémisphère : les régions basifrontale et temporale présentaient toujours un cortex très spongieux facile à détacher, alors que celui-ci restait plus compact —et moins dissécable— dans les régions parasagittales. Il existait par ailleurs, pour 12 hémisphères, une zone bien circonscrite de fixation anormale (cortex très ferme, compact, plus pâle et indétachable) de topographie toujours identique : tiers postérieur des *gyri* frontaux moyen et inférieur. Pour les 12 hémisphères impliqués, la première étape de la dissection a été modifiée : il était impossible de décoller les fibres arquées aux sommets des *gyri*. Ceux-ci ont dû être sectionnés près de leur base où la substance blanche devenait filamenteuse et le faisceau longitudinal supérieur (FLS) progressivement identifiable. Toutefois, bien que l'axe principal de ce long faisceau d'association fronto-pariéto-temporal ait suivi une courbure concave en avant autour de la région péri-insulaire, il donnait régulièrement des fascicules perpendiculaires, dirigés latéralement vers le sommet des *gyri* sus-jacents. L'artéfact observé induisait donc une fragmentation exagérée des points de départ de ces fascicules perpendiculaires mais ne compromettait pas la poursuite de la dissection réalisable en profondeur. Le FLS n'intervenait pas comme rapport direct du FU, mais son isolement était important car seule la section stricte de sa branche descendante temporale (destinée aux *gyri* temporaux supérieur —GTS— et moyen —GTM) autorisait la mise en évidence et la préservation du FOFI sous-jacent, essentiel dans notre étude.

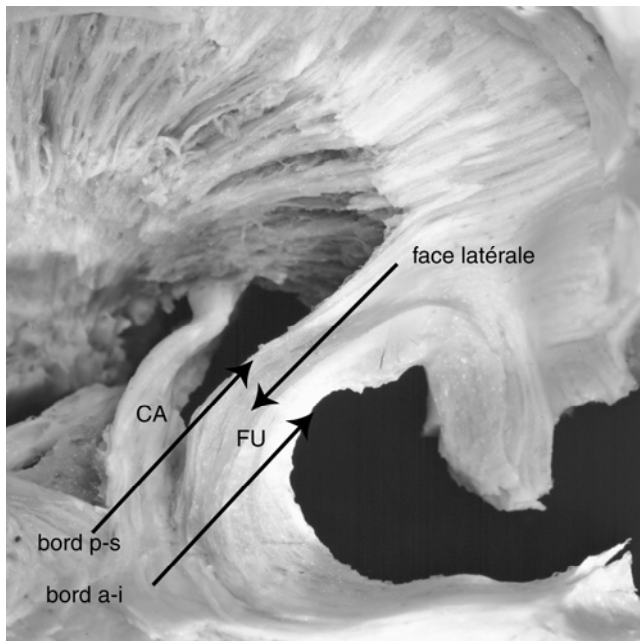


Figure 6. Configuration du segment intermédiaire (insulaire) du FU. Bord a-i : bord antéro-inférieur ; bord p-s : bord postéro-supérieur. La face médiale n'est pas visible sur cette vue latérale d'un hémisphère droit. FU : faisceau unciné ; CA : commissure antérieure.

Micro-anatomie du FU – Rapports dans l'isthme temporal

Micro-anatomie du FU

Configuration tridimensionnelle

Le FU avait une forme de C concave en avant, dont les deux extrémités étaient composées de fibres s'épanouissant en éventail au niveau des régions orbito-frontale et temporo-polaire. Le segment intermédiaire (isthme), où les fibres étaient regroupées, occupait le *limen insulae*. Cette configuration en crochet était invariable et donne son nom à cette structure (« *uncus* »). Ce segment avait une forme de ruban aplati auquel on décrivait deux faces (médiale et latérale) et deux bords (postéro-supérieur et antéro-inférieur), identifiés sur la figure 6.

Segment intermédiaire (insulaire)

Après retrait complet du premier plan, constitué du cortex insulaire, la capsule extrême constituait un deuxième plan. Elle était majoritairement composée de fibres arquées connectant l'*insula* aux opercules en contournant les sillons circulaires de l'*insula*. Seule la partie antéro-basale de l'*insula*, située à proximité immédiate du pli falciforme, ne comportait pas de fibres arquées la connectant aux opercules, mais était traversée par les fibres les plus antérieures et latérales du FU. La capsule extrême était donc composée des fibres arquées et, à sa partie antérieure, du faisceau unciné. L'ablation de la capsule extrême découvrait un troisième plan plus profond composé du *claustrum* au niveau de l'apex insulaire et de la capsule externe au dessus et en arrière de celui-ci. La face médiale du FU répondait au *claustrum* alors que sa face latérale répondait au cortex du *limen insulae*. Le bord postéro-supérieur du FU était accolé au bord inférieur du FOFI. Ce dernier était lui aussi constitué d'un segment intermédiaire (insulaire, accolé au segment intermédiaire du FU) et de deux expansions (frontale et temporo-occipitale). Le segment intermédiaire du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI) constituait donc un rapport postérieur constant du

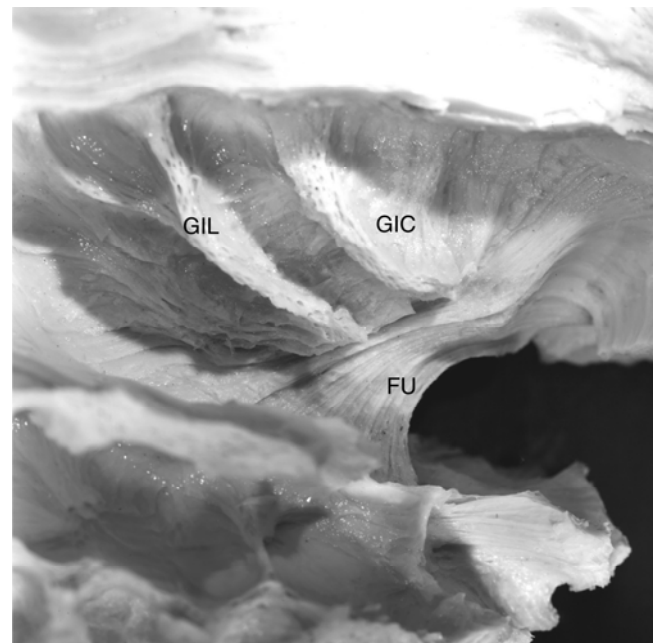


Figure 7. Topographie précise du segment intermédiaire du faisceau unciné (FU) au sein de la substance blanche insulaire : il se situe bien sous le limen insulae sur cette autre vue latérale d'un hémisphère droit. GIL : gyri insulaires longs ; GIC : gyri insulaires courts.

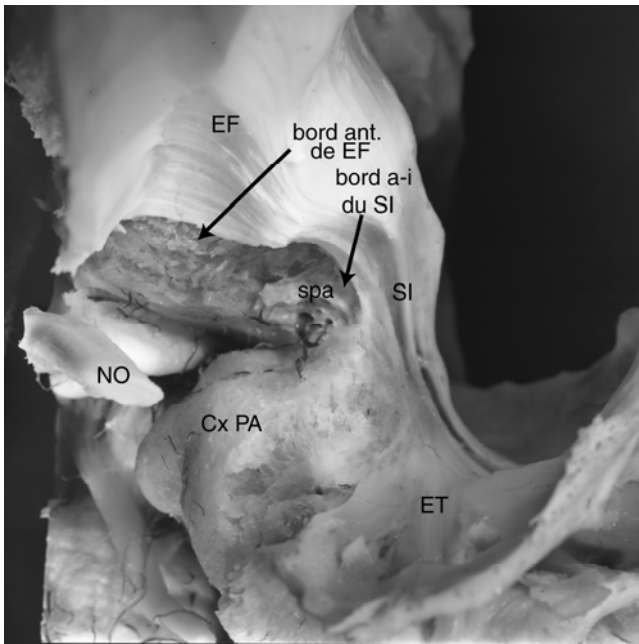


Figure 8. Rapports du bord antéro-inférieur du segment intermédiaire (SI) du faisceau unciné (FU) puis du bord antérieur de l'extrémité frontale du FU (bord ant. de EF) sur une vue de face d'un hémisphère gauche : la substance perforée antérieure (spa) puis la tête du noyau caudé (NC). EF : extrémité frontale du FU ; ET : extrémité temporale du FU ; Cx PA : cortex péri-amygdalien ; NO : nerf optique.

segment intermédiaire du FU, sans limite nette entre les deux faisceaux. Les fibres les plus postérieures du segment intermédiaire du FOFI rejoignaient la partie inférieure de la capsule externe. Enfin, le bord antéro-inférieur du segment intermédiaire du FU longeait la substance perforée antérieure. La figure 7 objective la traversée du *limen insulae* par le FU.

Extrémité frontale

Les fibres uncinées frontales se distribuaient aux *gyri* orbitaires (latéral, postérieur et médial), au *gyrus rectus* et à l'aire sous-calleuse. Elles divergeaient depuis leur portion insulaire vers la région basifrontale en prenant un aspect de plus en plus étalé et aplati. Dans ce trajet, l'extrémité frontale du FU cheminait et s'épanouissait à la face antéro-inférieure de la jonction putamino-caudée où elle participait à la formation de la capsule externe. On pouvait décrire à cette extrémité frontale, deux faces (médiale et latérale) et deux bords (antérieur et postérieur).

Le bord antérieur longeait successivement de bas en haut, à partir de l'isthme du FU, le bord latéral de la substance perforée antérieure puis la jonction des faces latérale et inférieure de la tête du noyau caudé avant de cheminer sous cette dernière. Le bord postérieur restait accolé sur toute sa longueur au bord antérieur du FOFI. La face médiale de l'extrémité frontale couvrait successivement la face latérale puis le bord antérieur du *putamen* et ensuite la face inférieure de la tête du noyau caudé. De ce fait, les fibres médiales de l'extrémité frontale du FU participaient à la capsule externe. La face latérale prenait part à la constitution de la capsule extrême.

Le segment le plus distal des fibres de l'extrémité frontale du FU se distribuait en suivant un éventail grossièrement situé dans un plan horizontal participant à la formation de la substance blanche sous-corticale des *gyri* orbitaires et du *gyrus rectus*. L'épaisseur de cet éventail de fibres diminuait progressivement vers la distalité, traduisant la distribution des fibres au cours de leur trajet. Seules quelques fibres parmi les plus postérieures et médiales de cet éventail avaient un trajet légèrement ascendant vers l'aire sous-calleuse à laquelle elles se distribuaient. Du fait de l'épuisement des fibres de

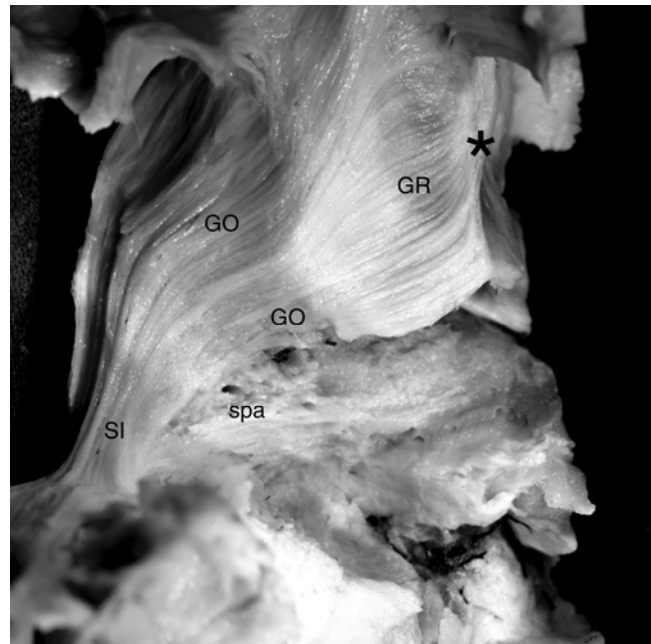


Figure 9. Distribution terminale de l'extrémité frontale du faisceau unciné (FU) : elle se fait vers les gyri orbitaires (GO), le *gyrus rectus* (GR) ainsi que l'aire sous-calleuse pour un très petit contingent de fibres (*). SI : segment intermédiaire du FU ; spa : substance perforée antérieure ; * : fibres prenant une direction sagittale vers l'aire sous-calleuse.

l'extrémité frontale du FU au cours de leur trajet, elles formaient une couche épaisse pour les *gyri* orbitaires et mince pour le *gyrus rectus* et l'aire sous-calleuse (fig. 8 et 9).

Extrémité temporale

Depuis l'isthme unciné, l'extrémité temporale divergeait en direction temporo-polaire et se distribuait aux régions suivantes : ses fibres médiales longeait et semblaient se distribuer à la face latérale du noyau baso-latéral du corps amygdaloïde. Ses fibres antérieures allaient tout droit vers le pôle temporal au sein des *gyri* temporaux supérieur et moyen. Ses fibres latérales se dirigeaient aussi vers ces 2 mêmes *gyri*, dans une région située entre le pôle temporal en avant et le plan coronal passant par le bord postérieur du segment intermédiaire du FU en arrière.

Dimensions du segment insulaire

Du fait de l'accolement intime des segments intermédiaires du FU et du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI), la mesure exacte du FU imposait la « dissection-exérèse » complète du FOFI en partant de l'extrémité postérieure temporo-occipitale de ses fibres. Le sacrifice du FOFI altérant l'analyse ultérieure des rapports temporaux, cette résection n'a été menée que sur 10 hémisphères, au niveau desquels les mesures suivantes ont été réalisées :

- largeur (distance entre bords antéro-inférieur et postéro-supérieur) entre 6 et 8 mm ;
- épaisseur du bord postéro-supérieur entre 2 et 3 mm.

Systématisation des fibres

Les fibres connectées au corps amygdaloïde cheminaient près du bord antéro-inférieur du segment intermédiaire du FU pour rejoindre macroscopiquement le *gyrus rectus* et l'aire sous-calleuse.

Les autres fibres (connectées au pôle temporal ou à la partie antérieure des *gyri* temporaux supérieur et moyen) cheminaient près du bord postéro-supérieur du segment intermédiaire du FU. Leur distribution frontale était beaucoup plus

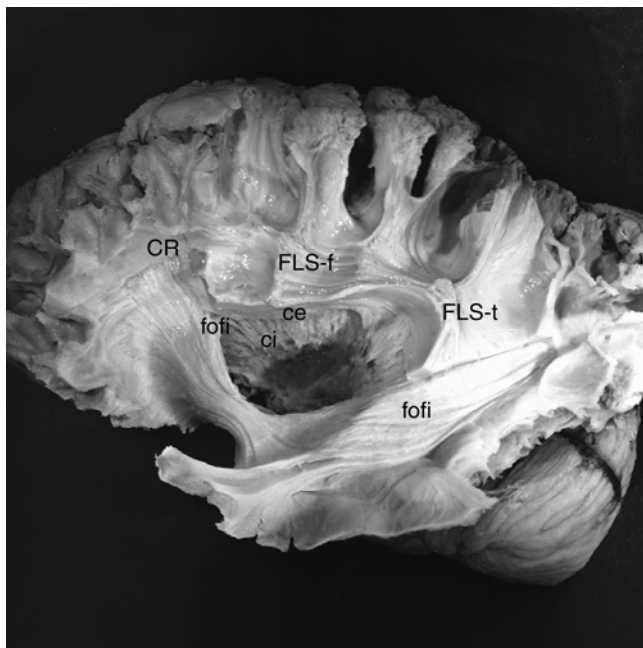


Figure 10. Le faisceau occipito-frontal inférieur (fofi) ne peut être isolé au niveau de ses deux extrémités frontale et temporo-occipitale qu'après section des branches frontale et temporelle du faisceau longitudinal supérieur (FLS-f et FLS-t). Certaines fibres frontales cheminent en dedans de la branche frontale du FLS pour rejoindre la corona radiata (CR), les fibres temporo-occipitales convergent vers le pôle occipital.

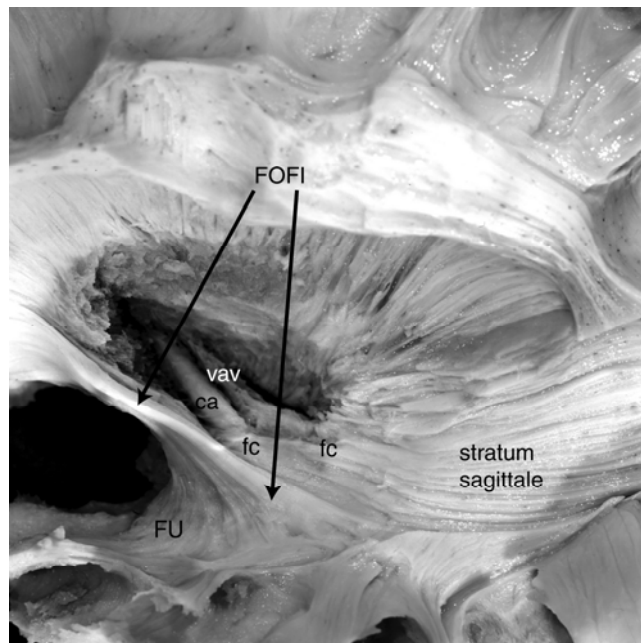


Figure 11. La section du segment temporo-occipital du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI) au ras de sa portion insulaire puis le pelage de ses fibres découvrent les fibres commissurales (fc), mais ce pelage ne peut être complet vers l'extrémité occipitale par l'intrication fofi-fc-radiations optiques sous-jacentes (stratum sagittale) où les deux premiers types de fibres s'entremêlent beaucoup entre elles et plus faiblement aux radiations optiques dont la boucle antérieure peut être retrouvée en profondeur. FU : faisceau unciné ; ca : commissure antérieure ; vav : voie amygdalofuge ventrale.

variable : *gyrus* orbitaire postérieur, latéral, médial ou *gyrus rectus*, selon la précocité d'épuisement des fibres déjà citée.

Rapports du FU

Rapports avec le faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI)

Le FOFI constituait un rapport postérieur constant du FU puisque l'accolement entre le bord postéro-supérieur du FU et le bord antérieur du FOFI s'observait au niveau des 3 portions du FU : extrémité frontale (avant sa dispersion en éventail horizontal), segment intermédiaire et portion toute initiale (au niveau de l'isthme temporal) de l'extrémité temporale.

Le faisceau longitudinal supérieur (FLS) cheminait latéralement au FOFI qu'il croisait en deux points : l'un supérieur (entre branche antérieure ou frontale du FLS et segment frontal du FOFI) et le second, inférieur (entre branche inférieure ou temporelle du FLS et segment temporo-occipital du FOFI). La dissection du FOFI sur l'ensemble de son trajet (fig. 10) imposait donc la section de la branche antérieure frontale et de la branche inférieure temporelle du FLS (avant sa division vers le *gyrus* temporal supérieur et le *gyrus* temporal moyen). Au niveau du point supérieur, certaines fibres frontales du FOFI semblaient s'interrompre et d'autres contournaient le bord médial de la branche antérieure ou frontale du FLS pour rejoindre la *corona radiata*. Les plus antérieures de ces mêmes fibres du FOFI se dirigeaient vers l'extrémité antérieure du *gyrus* frontal moyen (GFM). C'est seulement à ce niveau que la distinction précise entre FOFI et FU pouvait être établie. À l'inverse, au niveau du point inférieur, les fibres temporelles du FOFI qui siégeaient dans le *gyrus* temporal moyen (GTM), prenaient très rapidement une direction postérieure les éloignant du FU pour les conduire jusqu'au pôle occipital. Le segment intermédiaire (insulaire) du FOFI, étroitement juxtaposé au FU, appartenait presque exclusivement à la capsule externe, bien que quelques fibres latérales entraient dans la composition de la capsule extrême. De ce fait, sa face

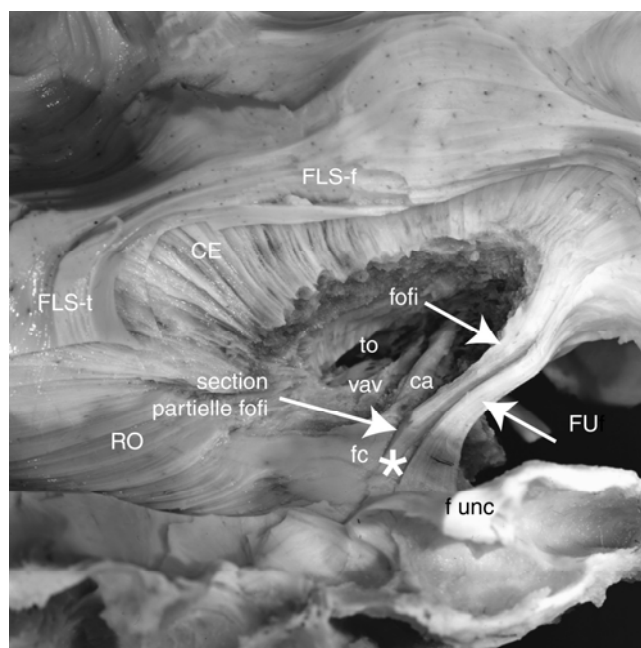


Figure 12. Après section du segment temporo-occipital du faisceau occipito-frontal (fofi), les fibres commissurales sous-jacentes (fc) deviennent visibles. Les rapports temporaux des faisceaux empruntant l'isthme temporal s'établissent alors ainsi d'avant en arrière : fibres uncinées (f unc), fibres du fofi (*), fibres commissurales (fc), radiations optiques (RO). Région sous-lenticulaire : commissure antérieure (ca), voie amygdalofuge ventrale (vav), tractus optique (to). FU : faisceau unciné ; FLS : faisceau longitudinal supérieur.

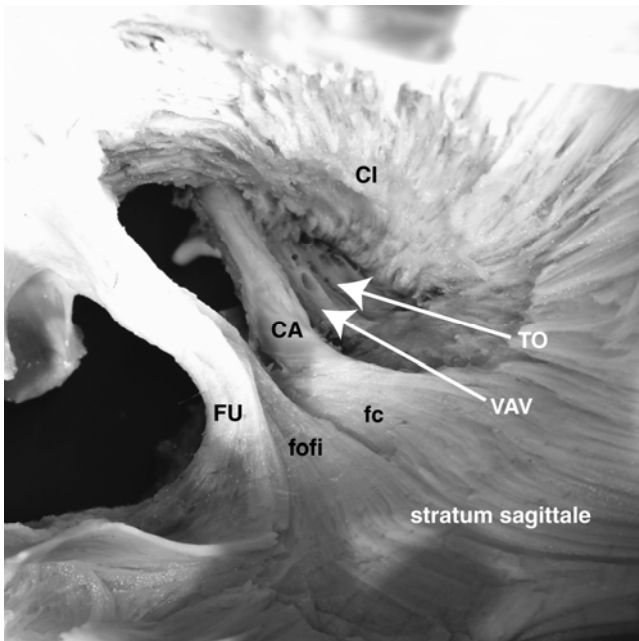


Figure 13. La dissection de la région sous-lenticulaire fait apparaître d'avant en arrière la commissure antérieure (CA), la voie amygdalofuge ventrale (VAV) et le tractus optique (TO). Au niveau du lobe temporal, les fibres commissurales (fc), celles du faisceau occipito-frontal inférieur (fofi), se rejoignent pour former avec les radiations optiques (plus profondes) le stratum sagittale. CI : capsule interne ; FU : faisceau unciné.

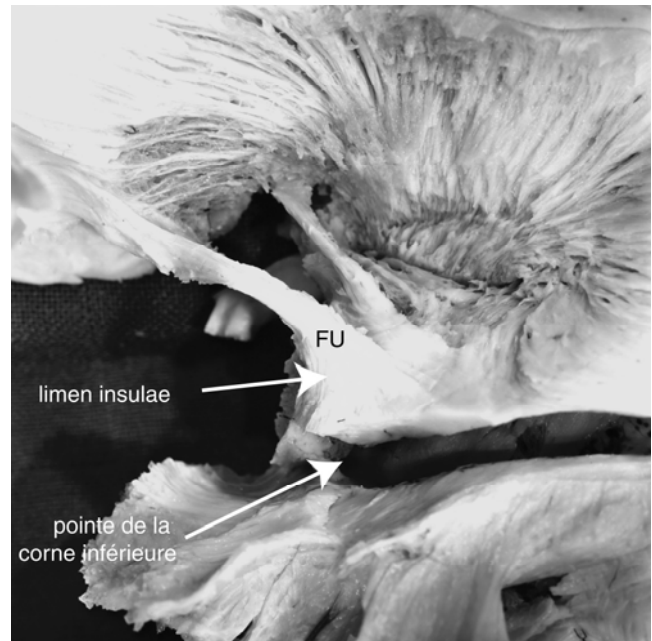


Figure 14. Position du limen insulae (et par conséquent du segment intermédiaire du FU) par rapport à la pointe de la corne inférieure du ventricule latéral. L'hippocampe est visible au travers de l'ouverture ventriculaire. FU : faisceau unciné.

médiale tapissait les faces latérale puis antérieure du *putamen*.

Rapports avec la commissure antérieure (CA)

La CA était découverte lors de la dissection de la partie basale du noyau lenticulaire. À partir de ce point, elle pouvait être suivie médialement (vers le pilier antérieur du *fornix*) et latéralement (vers l'isthme puis le lobe temporal). Son isolement complet jusqu'à la ligne médiane, en avant du pilier antérieur du *fornix*, était systématique, imposant préalablement le retrait de la tête du noyau caudé.

L'expansion latérale de la CA, depuis le *globus pallidus* jusqu'à l'isthme temporal, apparaissait recouverte d'une gaine épaisse, résistante et transparente à laquelle les fibres superficielles adhéraient fortement. Cette gaine correspondait au canal de Gratiolet. Dans ce canal, les fibres subissaient une rotation antihoraire, à la manière d'une corde de chanvre, ce qui ne permettait pas de les « peler » sur toute leur longueur. L'expansion latérale décrivait une discrète courbure initiale convexe antérieurement, avant d'adopter une direction postérieure et descendante vers l'ouverture latérale du canal de Gratiolet à la base du *putamen*. Médialement, à ce point, la CA était compacte et avait la forme d'un cordon rond. Latéralement à lui, elle se dispersait en une mince couche de fibres étalées qui participaient à la substance blanche du *gyrus* temporal moyen (GTM). À ce niveau, ces fibres étalées étaient immédiatement médiales aux fibres du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI) qui devaient par conséquent être sectionnées pour mettre les fibres commissurales en évidence. Ces dernières avaient alors plusieurs destinations :

- certaines passaient au dessus du noyau basolatéral du corps amygdaloïde avant de longer sa face latérale pour y abandonner vraisemblablement quelques fibres ;
- d'autres cheminaient entre la boucle antérieure (de Meyer) des radiations optiques (RO) en arrière et le FOFI en avant, le FU étant immédiatement antérieur à ce dernier (fig. 11 et 12). Le FOFI recouvrait en totalité les fibres commissurales sans échange visible de fibres entre FOFI et CA. La majorité des fibres cheminant entre FOFI et boucle antérieure se

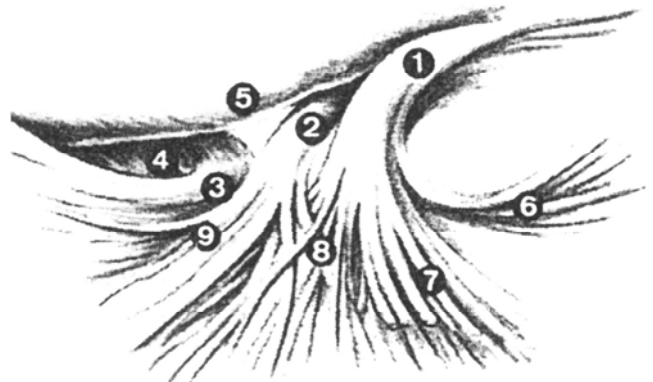


Figure 15. 1 : faisceau unciné et ses fibres d'épanouissement temporales (6, 7, 8) ; 2 : commissure antérieure et ses fibres temporales (8, 9) ; 3 : boucle antérieure des radiations optiques ; 4 : pédoncule thalamique inférieur ; 5 : noyau lenticulaire.

Cette figure est la reproduction intégrale de la représentation schématique des rapports du faisceau unciné avec les faisceaux adjacents au niveau de l'isthme temporal, telle que l'a établie Ebeling (réf. 9).

recourbait vers l'arrière pour accompagner les radiations optiques (RO) dans la profondeur des *gyri* temporaux moyen et inférieur (GTM, GTI) jusqu'au lobe occipital. La minorité restante avait un trajet plus court, dirigé latéralement dans la substance blanche du GTM. Le nombre limité de ces fibres n'autorisait qu'un « pelage » minimal sous peine de les détruire complètement.

Rapports avec les radiations optiques (RO)

La dissection des voies visuelles débutait par l'isolement du tractus optique dans la région sous-lenticulaire lors de l'étape de dissection de la commissure antérieure (CA). Trois structures étaient disposées parallèlement d'avant en arrière : CA, voie amygdalofuge ventrale (VAV), tractus optique (fig. 13). La dissection du tractus optique était complétée vers l'avant jusqu'à la ligne médiane pour retrouver le chiasma. Vers l'arrière, dans la région sous-lenticulaire, le retrait progressif de la capsule interne n'a jamais permis d'identifier clairement le corps géniculé latéral car les fibres, trop « humides » à cet

endroit, présentaient un certain degré d'empatement qui n'autorisait aucun « pelage ».

Au niveau du *gyrus* temporal moyen (GTM), l'ablation du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI) —plus latéral— découvrait la boucle antérieure puis le corps des radiations optiques (RO). La boucle antérieure des RO arrivait au contact des fibres les plus postérieures de la CA. Dans leur trajet temporo-occipital, les RO étaient rejointes par la majorité des fibres de la CA (cf. *supra*) et par les fibres les plus médiales du FOFI. La réunion de ces 3 faisceaux est habituellement désignée sous le terme de « *stratum sagittale* » pour souligner le caractère « pluristratifié » (15).

En résumé, les rapports des différents faisceaux au niveau du *gyrus* temporal moyen (GTM) s'établissaient ainsi d'avant en arrière : FU, FOFI, CA, RO.

Rapports avec la voie amygdalofuge ventrale (VAV)

Elle était aussi isolée lors de la dissection de la région sous-lenticulaire, où elle occupait une position comprise entre la commissure antérieure (CA) en avant et le tractus optique en arrière jusqu'à l'isthme temporal. Elle pénétrait ensuite dans le corps amygaloïde par sa partie supéromédiale. Ses contingents antérieurs, amygdaloseptal (ou bandelette diagonale de Broca) et amygdalohypothalamique, pouvaient tous deux être disséqués jusqu'à la ligne médiane. Tout comme la VAV elle-même, ces 2 faisceaux présentaient une structure filamentueuse beaucoup moins nette que les autres faisceaux étudiés et se trouvaient perforés de nombreux petits orifices témoignant de leur traversée de la substance perforée antérieure. En revanche, nous ne sommes pas parvenus à isoler le pédoncule thalamique inférieur vers l'arrière, dernier contingent de la VAV.

Repères opératoires utilisables dans une lobectomie temporale antérieure

Les repères suivants ont été analysés dans le but de repérer le *limen insulae* pour préserver le segment intermédiaire du FU :

- les sillons temporaux supérieur et moyen n'ont pu être exploités en l'absence d'élément visible lors d'un abord latéral pouvant servir de point de repère du segment intermédiaire ;
- la position de la pointe de la corne inférieure du ventricule latéral variait par rapport au *limen insulae*, rendant son utilisation incertaine. L'extrémité antérieure de la corne inférieure se situait tantôt à l'aplomb (fig. 14) tantôt 5 à 10 mm en arrière du *limen insulae* sur les hémisphères étudiés ;
- la distance *limen insulae*-pôle temporal mesurait en moyenne 25 mm (21 à 30 mm).

Discussion

L'objectif de cette étude était triple : réaliser l'étude anatomique d'un faisceau assez peu connu malgré son importance fonctionnelle ; définir des repères chirurgicaux en mesure de l'épargner ou de le détruire dans la chirurgie temporo-insulaire ; et préciser l'existence d'une éventuelle systématisation autorisant une destruction sélective. Dans ce chapitre, nos observations anatomiques sont confrontées aux données de la littérature et la pertinence des repères chirurgicaux exploitables est discutée. L'éventualité d'une destruction sélective n'est pas abordée en l'absence de systématisation réelle.

Technique utilisée

La comparaison de nos observations avec les résultats des autres études de dissection menées sur la substance blanche

se heurte à leur rareté. Hormis quelques publications sporadiques de début du 20^e siècle (16-18) dont certaines exclusivement théoriques (16), l'étude tridimensionnelle des faisceaux n'a débuté qu'avec Klingler, dont l'atlas publié en 1956 (14) reste la seule référence actuelle. En effet, l'avènement des techniques histologiques puis les progrès de l'imagerie médicale ont ensuite compromis la diffusion de sa pratique, seul moyen pourtant d'appréhender directement la réalité anatomique de la substance blanche. Actuellement, les travaux d'Ebeling (12, 19) et de Türe (15, 20, 21) résumant quasiment les publications sur le sujet.

Afin d'expliquer des résultats parfois imparfaits de la technique de préparation, nous avons d'abord supposé la constitution d'un gradient de concentration variant selon la pesanteur au sein des cristallisoirs qui expliquerait une préparation inhomogène : les régions les plus craniales (parasagittales) subissent une fixation différente des régions les plus caudales (basifrontales et temporales). Néanmoins, l'observation d'une zone de fixation anormale sur la convexité frontale ne permettait pas de s'en tenir à cette seule hypothèse. Klingler évoque 3 causes possibles d'échec de la technique (13, 14) : le « faible degré de congestion » des pièces, le délai tardif de prélèvement (sans précision chiffrée) et une concentration de formol supérieure à 5%. Nous prévoyons de modifier le procédé de préparation dans l'avenir de 2 façons différentes, afin d'optimiser les possibilités de dissection de la substance blanche en profondeur :

- utilisation d'une solution formolée à 3% avec un temps de fixation prolongé à 4 mois (favorisant ainsi la pénétration du formol dans les zones périventriculaires) en association avec un bain tiède pour la décongélation lente (22) ;
- application de la méthode de Curran (17) ; injection intracarotidienne de formol à 10% et maintien du cerveau *in situ* 24 ou 48 heures avant prélèvement.

Résultats anatomiques

Faisceau unciné

Nos observations sur l'anatomie du segment insulaire du FU rejoignent les travaux de Türe (20).

À l'inverse d'Ebeling (12), nous n'avons pas identifié de distribution frontale des fibres postérosupérieures vers les seuls *gyri* orbitaires qui, dans notre étude, se distribuaient aussi au *gyrus rectus*. Il n'a donc pas été possible de confirmer la systématisation bipolaire proposée par Ebeling : corps amygaloïde-fibres antéroinférieures-*gyrus rectus*, et GTS/GTM-fibres postérosupérieures-*gyri* orbitaires. De plus, Ebeling décrit des fibres uncinées atteignant le *gyrus* temporal inférieur (GTI) non retrouvées. En revanche, la séquence antéro-postérieure (FU, FOFI, CA, RO) des rapports des divers faisceaux empruntant l'isthme temporal schématisée par cet auteur (fig. 15) est retrouvée à l'identique dans notre étude.

Rapports du FU

Les données de la littérature sur le faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI) sont pauvres. La seule description détaillée est celle de Curran (17). Le trajet et la terminaison du segment temporo-occipital sont comparables. Le segment frontal admet par contre une distribution plus large pour Curran, incluant la face latérale du lobe frontal et notamment l'aire de Broca. Malheureusement, il ne précise pas le moyen d'éviter le retrait initial de cette zone dans la dissection, qui est en fait sacrifiée dès l'ablation des fibres arquées. Enfin, Türe (21) suggère de rebaptiser ce faisceau « faisceau occipito-frontal » en l'absence d'homologue supérieur, confondu selon lui avec le pédoncule thalamique supérieur.

Nos observations sont concordantes avec les données de la littérature sur l'expansion latérale et les fibres terminales de la commissure antérieure (CA) [13, 23-26]. Klingler rapporte

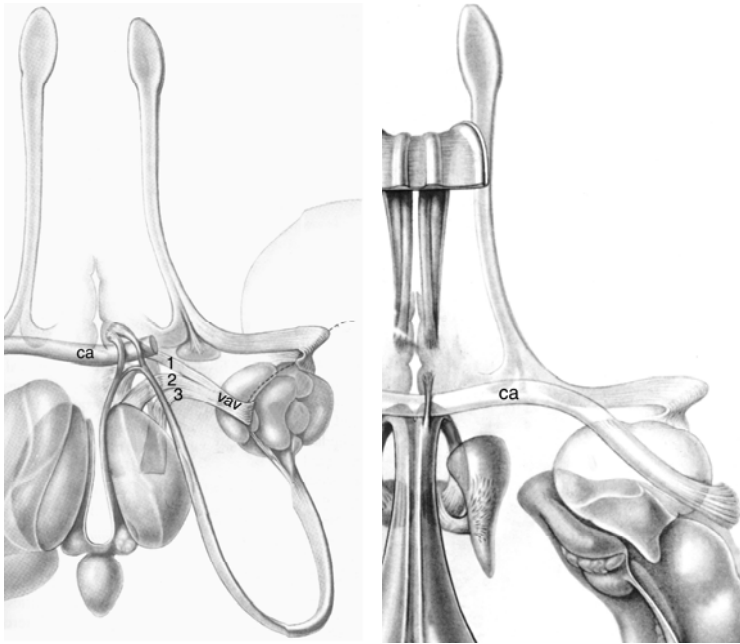


Figure 16. Ces deux vues supérieures du système limbique établies par Nieuwenhuys (réf. 21) permettent de situer la position de la commissure antérieure (ca) par rapport à la voie amygdalofuge ventrale (vav), dont les deux trajets sont grossièrement parallèles. La vav se divise en 3 structures qui sont de l'avant vers l'arrière : la bandelette diagonale (1) ; le pédoncule thalamique inférieur (2) ; le faisceau médial du télencéphale (3). Dans notre étude, l'élément anatomique qui peut être disséqué entre la commissure antérieure et le tractus optique dans la région sous-lenticulaire apparaît être la voie amygdalofuge ventrale plutôt que le pédoncule thalamique inférieur.

toutefois des fibres à destinée temporo-polaire que nous n'avons pu mettre en évidence, car cela supposait le retrait de toutes les fibres uncinées. Les difficultés rencontrées dans la dissection des fibres de l'expansion latérale de la commissure antérieure (CA) sont illustrées au travers de leur description de « fibres entortillées à la manière d'une corde » par Klingler (13).

La topographie des radiations optiques (RO) constitue le point de différence majeure avec les travaux d'Ebeling (12). Ce dernier situe la boucle antérieure des RO à 5 mm en moyenne en avant de l'extrémité antérieure de la corne inférieure du ventricule latéral (19). Nous avons à l'inverse constaté que cette boucle antérieure se situait en arrière de la pointe de la corne inférieure. Cette dernière constatation nous semble concordante à la distance moyenne rapportée entre pôle temporal et boucle antérieure des RO (27).

Enfin, la voie amygdalofuge ventrale (VAV) nous semble bien être le rapport postérieur de la CA dans la région sous-lenticulaire. La VAV est désignée par Türe sous le terme d'anse pédonculaire (15). À l'inverse, elle ne peut être identifiée comme le pédoncule thalamique inférieur comme le propose Ebeling (12) si l'on se réfère aux schémas anatomiques de Nieuwenhuys (fig. 16) [25].

Repères chirurgicaux

Notre série de dissections a montré que les fibres temporales du FU, toutes à direction antérieure, antéro-médiale ou antéro-latérale, se distribuaient au corps amygdaloïde, au pôle temporal et à la partie antérieure des *gyri* temporaux supérieur et moyen située en avant d'un plan coronal passant par le bord postérieur du segment insulaire du FU. Dans ces conditions, tout geste d'exérèse du cortex temporal latéral, même limité —comme par exemple une lobectomie de la pointe— induisait une destruction de la majorité des fibres projetant au niveau du cortex temporal latéral. Seules restaient en place celles connectées au corps amygdaloïde.

Le seul intérêt d'une meilleure connaissance de l'anatomie du FU dans ce cadre devenait donc pour nous la préservation du segment intermédiaire du FU lorsque le corps amygdaloïde était laissé en place. Elle permettait de maintenir fonctionnelle la connexion par le FU de 2 structures limbiques essentielles : le *gyrus rectus* et le corps amygdaloïde. Pour cela, il était intéressant d'évaluer la fiabilité de repères opératoires présents à face latérale du lobe temporal, point de départ

d'une lobectomie temporelle antérieure, pour estimer la projection de l'isthme du FU, autrement dit la position du *limen insulae*. C'est pour cette raison que les repères étudiés avaient pour objectif la localisation du *limen insulae* et du segment intermédiaire du FU sous-jacent.

Le seul repère facilement utilisable nous apparaît être la distance entre le *limen insulae* et la pointe du lobe temporal : seule une lobectomie limitée aux 25 mm les plus antérieurs du lobe temporal épargnera à coup sûr l'isthme en profondeur. Une fois le *limen insulae* —et par conséquent le segment intermédiaire du FU— repéré, l'exérèse peut ensuite être étendue vers le bas et l'arrière.

Applications dans la chirurgie frontotemporoinsulaire

Lobectomie frontale

La présente étude ne fournit aucun repère opératoire nouveau à respecter dans ce contexte, mais confirme l'importance de préserver une languette de parenchyme cérébral basifrontal sain, incluant au moins le *gyrus rectus*. Elle se justifie en fait doublement : du fait de l'importance fonctionnelle du *gyrus rectus*, mais aussi pour maintenir la connexion entre celui-ci et le corps amygdaloïde, autre structure limbique majeure, via le FU.

Les fibres uncinées frontales occupaient une position sous-corticale immédiate au niveau du *gyrus rectus*. De ce fait, la préservation d'une mince languette de substance blanche sous-corticale devrait respecter —au moins morphologiquement— l'extrémité frontale du FU et donc la connexion fronto-amygdalienne.

Lobectomie temporelle antérieure

Nous avons déjà vu que l'objectif est ici de préserver l'isthme temporal dans la chirurgie d'exérèse, ce qui suppose de repérer la projection du *limen insulae* sur la face latérale de l'hémisphère. Notre étude n'a pas permis d'établir de véritable repère chirurgical à ce niveau. C'est l'IRM pré-opératoire par la mesure de la distance *limen insulae*-pôle temporal sur les coupes axiales qui peut apporter une limite postérieure de départ individuelle dans la résection de la convexité temporelle. Bien évidemment, la neuronavigation repère directement le *limen insulae* et donc indirectement le segment intermédiaire du FU.

Interruption du FU

Elle suppose une incision peu profonde du *limen insulae* puisque le FU est situé juste au dessous du cortex insulaire et que son épaisseur est de 3 mm. En l'absence de quantification du degré de rétraction parenchymateuse lié à la technique de fixation, il est difficile d'extrapoler au sujet vivant la profondeur de l'incision à réaliser (épaisseur du cortex plus épaisseur du FU). La partie antérieure de la face latérale du segment intermédiaire du FU, proche du bord antéro-inférieur, se recourbe médialement pour former un petit arc convexe antérieurement et répond en surface au versant interne du *limen insulae*.

Le versant interne du *limen insulae*, qui comporte exclusivement des fibres uncinées, doit être coagulé au même titre que le versant externe qui abrite des fibres du FU, mais aussi du faisceau occipito-frontal inférieur (FOFI). Bien évidemment, le mode de bifurcation du segment M1 de l'artère cérébrale moyenne — non étudiable dans notre travail — peut limiter ce geste.

Conclusion

L'étude micro-anatomique du FU et plus largement des faisceaux de la substance blanche semble indivisible de certaines perspectives neurochirurgicales. Les applications de la section du FU, limitées à la chirurgie de l'épilepsie (10, 11), s'étendront peut-être dans l'avenir à l'exérèse des gliomes de bas grade temporaux ou basi-frontaux sans envahissement macroscopique de l'*insula*, a fortiori s'il existe des troubles cognitifs préopératoires, dans le but de limiter le risque d'extension d'une éventuelle récurrence vers l'*insula* et d'agir ainsi préventivement sur le maintien de sa résécabilité future. Le FU a en effet été clairement identifié par certains auteurs comme une voie de propagation élective de ces tumeurs, parmi lesquels Yasargil (28).

Le principe des stimulations peropératoires ne se limite plus au seul cortex ou aux noyaux gris centraux, mais s'applique aujourd'hui aux faisceaux d'association impliqués dans le langage (29).

Les balbutiements de la psychochirurgie conduiront peut-être à préconiser la destruction sélective de certaines voies, même si les rares études actuelles, limitées à la recherche d'anomalies du FU dans la schizophrénie (30, 31) fournissent des résultats contradictoires et envisagent de toute façon actuellement un hypofonctionnement de la voie et non l'inverse.

Les résultats de l'imagerie de diffusion appliqués à l'anatomie de la substance blanche (*tracking* des fibres) mériteront d'être confrontés à leur réalité anatomique pour être définitivement validés.

La revalorisation de la technique de Klingler mérite d'être considérée à la lumière de ces perspectives neurochirurgicales, indépendamment de sa contribution précieuse au service de l'anatomie.

Références

- Zola-Morgan S, Squire LR, Mishkin M. The neuroanatomy of amnesia: amygdala-hippocampus versus temporal stem. *Science* 1982;218:1337-9.
- Wyler AR, Hermann BP, Somes G. Extent of medial temporal resection on outcome from anterior temporal lobectomy: a randomized prospective study. *Neurosurgery* 1995;37:982-90.
- Horel JA. The neuroanatomy of amnesia. A critique of the hippocampal memory hypothesis. *Brain* 1978;101:403-45.
- Ojemann G, Dodrill C. Intraoperative techniques for reducing language and memory deficits with left temporal lobectomy. In: Wolf P, Dam M, Janz D, et al (eds). *Advances in Epileptology*. New York: Raven Press 1987; Vol 16: 327-30.
- Eacott MJ, Gaffan D. Inferotemporal-frontal Disconnection: The Uncinate Fascicle and Visual Associative Learning in Monkeys. *Eur J Neurosci* 1992;4:1320-32.
- Gaffan D, Eacott MJ. Uncinate fascicle section leaves delayed matching-to-sample intact, with both large and small stimulus sets. *Exp Brain Res* 1995;105:175-80.
- Gaffan D, Eacott MJ. Visual learning for an auditory secondary reinforcer by macaques is intact after uncinata fascicle section: indirect evidence for the involvement of the corpus striatum. *Eur J Neurosci* 1995;7:1866-71.
- Gutnikov SA, Ma YY, Buckley MJ, et al. Monkeys can associate visual stimuli with reward delayed by 1 s even after perirhinal cortex ablation, uncinata fascicle section or amygdalotomy. *Behav Brain Res* 1997;87:85-96.
- Chabardes S, Kahane P, Minotti L, et al. Anatomy of the temporal pole region. *Epileptic Disord* 2002;4 Suppl 1:S9-15.
- Fried I. Anatomic temporal lobe resections for temporal lobe epilepsy. *Neurosurg Clin N Am* 1993;4:233-42.
- Sindou M, Guenet M. Surgical anatomy of the temporal lobe for epilepsy surgery. *Adv Tech Stand Neurosurg* 2003;28:315-43.
- Ebeling U, von Cramon D. Topography of the uncinata fascicle and adjacent temporal fiber tracts. *Acta Neurochir* 1992;115:143-8.
- Klingler J, Gloor P. The connections of the amygdala and of the anterior temporal cortex in the human brain. *J Comp Neurol* 1960;115:333-69.
- Ludwig E, Klingler J. *Atlas humani cerebri*. Basel New York: Karger, S, 1956.
- Ture U, Yasargil MG, Friedman AH, et al. Fiber dissection technique: lateral aspect of the brain. *Neurosurgery* 2000;47:417-26.
- Archambault. Le faisceau longitudinal inférieur et le faisceau optique central. *Revue Neurologique* 1906;4:1206-8.
- Curran E. A new association fiber tract in the cerebrum. *J Comp Neurol and Psych* 1909;19:645-57.
- Meyer A. The connections of the occipital lobes and the present status of the cerebral visual affections. *Trans Assoc Am Physicians* 1907;22:7-16.
- Ebeling U, Reulen HJ. Neurosurgical topography of the optic radiation in the temporal lobe. *Acta Neurochir* 1988;92:29-36.
- Ture U, Yasargil DC, Al-Mefty O, et al. Topographic anatomy of the insular region. *J Neurosurg* 1999;90:720-33.
- Ture U, Yasargil MG, Pait TG. Is there a superior occipitofrontal fasciculus? A microsurgical anatomic study. *Neurosurgery* 1997;40:1226-32.
- Klingler J. Erleichterung der makroskopischen Präparation des Gehirns durch den Gefrierprozess. *Schweiz Arch Neurol Psychiatr* 1935;36:247-56.
- Carpenter M. *Core text of neuroanatomy*. Baltimore: Williams & Wilkins, fourth edition, 1991.
- Duvernoy HM, Cabanis EA, Vannson JL. *The human brain: surface, three-dimensional sectional anatomy and MRI*. Wien: Springer-Verlag, 1991.
- Nieuwenhuys R, Voogd J, Van Huijzen C. *The human central nervous system*. Springer-Verlag, third revised edition, 1988.
- Sedat J, Duvernoy H. Anatomical study of the temporal lobe. Correlations with nuclear magnetic resonance. *J Neuroradiol* 1990;17:26-49.
- Velut S, Destrieux C. *Systématisation des voies optiques primaires et voies optiques secondaires: EMC Ophtalmologie*, Elsevier, 1997: Vol 21-008-B-10.
- Yasargil MG, von Ammon K, Cavazos E, et al. Tumours of the limbic and paralimbic systems. *Acta Neurochir* 1992;118:40-52.
- Duffau H, Capelle L, Sichez N, et al. Intraoperative mapping of the subcortical language pathways using direct stimulations. An anatomo-functional study. *Brain* 2002;125:199-214.
- Highley JR, Walker MA, Esiri MM, et al. Asymmetry of the uncinata fasciculus: a post-mortem study of normal subjects and patients with schizophrenia. *Cereb Cortex* 2002;12:1218-24.
- Kubicki M, Westin CF, Maier SE, et al. Uncinate fasciculus findings in schizophrenia: a magnetic resonance diffusion tensor imaging study. *Am J Psychiatry* 2002;159:813-20.