

APLICAȚII CLINICE ALE TRACTOGRAFIEI ANSEI MEYER

CRISTINA GOGA¹, IOAN ȘTEFAN FLORIAN², MENA RUBEN RODRIGUEZ³, ZEYNEP FIRAT⁴,
IOANA HĂLMACIU⁵, KLARA BRÎNZANIUC⁶

^{1,5,6}Universitatea de Medicină și Farmacie Tîrgu Mureș, ^{1,2}Universitatea de Medicină și Farmacie „Iuliu Hațieganu”, Cluj Napoca,
^{1,3,4}Universitatea de Medicină Yeditepe, Istanbul, Turcia

Cuvinte cheie: ansa Meyer, tractografie, rezonanță magnetică nucleară de difuziune, epilepsie, defecte de câmp vizual

Rezumat: Defectele de câmp vizual (DCV) datorate leziunilor ansei Meyer pot să apară după rezecțiile chirurgicale ale lobului temporal. Tractografia (DTT, Diffusion Tensor Tractography) ansei Meyer ar putea reduce riscul de apariție al DCV postoperatorii. În prezent, nu există o metodă standardizată pentru realizarea tractografiei acestei structuri. Am realizat DTT pentru ansa Meyer la 10 subiecți umani sănătoși și am demonstrat aranjamentul complex al variatelor fibre de proiecție care compun ansa Meyer și relațiile complexe cu sistemele de fibre adiacente. Evaluarea ansei Meyer prin tractografie ar putea reprezenta o metodă utilă pentru a prezice DCV după rezecțiile chirurgicale ale lobului temporal și aceste cunoștințe anatomice ar putea fi utilizate pentru a dezvolta strategii chirurgicale și tactici, care permit evitarea riscului de a leza intraoperator această structură importantă.

Keywords: Meyer's loop; diffusion tensor tractography; diffusion tensor imaging; epilepsy; visual field defect

Abstract: Visual field defects (VFD) due to Meyer's loop injury may occur after temporal lobe resection surgery. Diffusion tensor tractography (DTT) of the Meyer's loop may reduce the risk of postoperative VFD. Currently, there is no standardized method to perform tractography for this structure. We performed DTT of the Meyer's loop in 10 healthy subjects and demonstrated the complex arrangement of the various projection fibers that compose the Meyer's loop and the complex relations with the neighbouring fiber systems. Evaluation of the Meyer's loop through the use of tractography may be a useful method to predict VFD after temporal resection surgery and this anatomical knowledge may be used to build surgical strategies and tactics to avoid the risk of intraoperative damage to this structure.

INTRODUCERE

Amigdalohipocampectomia selectivă și rezecțiile de lob temporal, ca și tratamente chirurgicale pentru epilepsia de lob temporal, sunt metode bine stabilite. O complicație comună după toate aceste tipuri de intervenții sunt DCV cauzate de lezarea intraoperatorie a ansei Meyer. Deși, ansa Meyer este denumită comun ca și ansa temporală a fibrelor anterioare ale radiației optice, studii recente au arătat că variate fibre de proiecție pentru lobii temporal și occipital participă la formarea acestei anse, acestea incluzând și radiația optică.(1-4) DTT are aplicații clinice importante în neurochirurgie, incluzând procesul de planificare preoperatorie și identificarea intraoperatorie a fibrelor individuale ale substanței albe. Tractografia ansei Meyer ar putea prezice probabilitatea apariției DCV după rezecțiile de lob temporal și ar putea reduce riscul lezării intraoperatorii a acestei structuri. Tractografia sau DTT este o tehnică avansată de rezonanță magnetică nucleară (RMN) care oferă posibilitatea unei reconstrucții 3-dimensionale și a unei analize a importantelor sisteme de fibre individuale ale substanței albe. Imaginile DTT sunt generate pornind de la informația oferită de RMN de difuzie (DTI, Diffusion tensor imaging). DTI este o tehnică RMN care poate fi utilizată pentru a evalua direcționalitatea difuziei moleculelor de apă, în cursul mișcării acestora printre fibrele substanței albe.(5-7) Pornind de la această informație, direcția principală și magnitudinea difuziei pot fi determinate, și orientarea fibrelor substanței albe poate fi determinată indirect. Această tehnică dezvoltată în urmă cu mai mult de o decadă, oferă o vizualizare unică, non-invazivă și in vivo a arhitecturii substanței albe. Imaginile DTT sunt generate utilizând algoritmi matematici care conectează voxelii imagine,

pe baza anizotropiei lor și a principalei direcții de difuzie a moleculelor de apă la nivelul acestor voxelii.(7-10)

Pentru că DTT reprezintă până în prezent singura metodă non-invazivă de investigație a fibrelor substanței albe, ar putea oferi detalii adiționale referitoare la anatomia ansei Meyer.(11-16) În prezent, nu există o metodă standardizată pentru realizarea tractografiei ansei Meyer. Angulația fibrelor din ansa Meyer și relațiile complexe cu multiple sisteme de fibre adiacente reprezintă dificultăți în încercarea de a demonstra precis ansa Meyer, datorită distorsiunilor și a erorilor algoritmilor matematici asociate cu delineaarea a unor asemenea aranjamente complexe ale fibrelor substanței albe.

SCOP

În continuare vom prezenta descrierea tehnicii noastre DTT, pentru tractografia ansei Meyer și vom discuta aplicațiile clinice curente ale tractografiei și dezvoltarea viitoare a acestui domeniu.

MATERIAL ȘI METODĂ DE LUCRU

Zece subiecți umani (4 femei și 6 bărbați, vârsta medie 36 ani, cu limita de vârstă 16-59 ani), fără istoric anterior de afecțiuni neurologice, traumă cerebrală sau afecțiuni psihiatrice, au fost recrutați, după obținerea avizului comisiei de etică instituțională. Am realizat RMN utilizând o unitate clinică RMN la 3T (Philips, Ingenia, Eindhoven, Netherlands, 8-channel sensitivity encoding (SENSE) head coil). DTI a fost achiziționat utilizând tehnica single-shot spin echo planar imaging (EPI; TR 3759 ms, TE 95 msec, EPI factor 47, slice thickness 2.5 mm, gap 0 mm). Șaisprezece direcții de difuzie la b=800

¹Autor corespondent: Cristina Goga, Str. Ghe. Marinescu, Nr. 38, Tîrgu-Mureș, România, E-mail: gogacristina@gmail.com, Tel: +40744 553455
Articol intrat în redacție în 21.10.2014 și acceptat spre publicare în 06.11.2014
ACTA MEDICA TRANSILVANICA Decembrie 2014;2(4):29-32

secunde/mm² au fost achiziționate, în aditie la imaginile b=0. Șaizeci de secțiuni, pentru a acoperi în întregime creierul, au fost achiziționate pornind de la vertex până la nivelul foramen magnum. Timpul de achiziție mediu a fost de 6 minute. Dimensiunile voxelului reconstruit au fost 1.75X1.75X2.50 mm. Imagini în secvențe T1 3D turbo field echo (3D T1-TFE), cu aceeași rezoluție a voxelilor, au fost achiziționate în plan sagital (TR 9.0 ms, TE 4.2 msec, slice thickness 0.9 mm) și coregistrate pentru ghidare anatomică.

Hărțile de anizotropie fracțională (FA) calculate din informația obținută prin DTI au fost individual coregistrate cu imagini în secvențe T1, utilizând stația de lucru a sistemului RMN (Achieva, Philips, Extended MR Workspace 2.6.3.3). Hărțile FA au fost vizualizate sub forma unor hărți a căror orientare este codată color. Codarea color a fibrelor substanței albe în hărțile de anizotropie fracțională a fost următoarea: roșu pentru fibrele orientate stânga-dreapta, albastru pentru fibrele orientate superior-inferior și verde pentru fibrele orientate anterior-posterior.

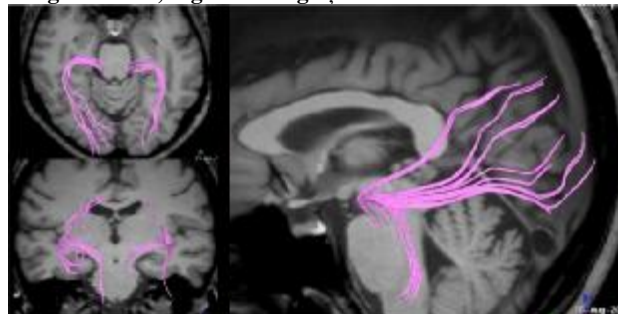
Software-ul pentru urmărirea fibrelor a fost utilizat pentru a genera DTT. Fasciculele de fibre 3-dimensionale au fost reconstruite utilizând tehnica FACT (Fiber Assignment by Continuous Tracking), care este o metodă deterministică, în care traiectoriile fibrelor sunt inițiate pornind de la voxelii sau markerii (seeds). (7,10) Valorile pragului pentru FA și parametrii de deflecție au fost setate între 0.27-0.35 și respectiv 700-915 (unde 0 se referă la deflexie completă și 1000 la lipsa deflexiei), pentru a obține o evidențiere maximă. O tehnică utilizând regiuni multiple de interes (ROI), bazată pe cunoaștere (Knowledge-based multiple-ROI technique) a fost utilizată. (8,17,18) Pentru a delinea fasciculele de fibre ale substanței albe relevante, ROI multiple au fost plasate în substanța albă a regiunii occipitale și, ulterior, în regiunea corpilor geniculați laterali și a tractului optic, în concordanță cu metode de referință anatomice descrise în prealabil, pentru identificarea corpilor geniculați laterali și a tracturilor optice, în imagini în secvențe T1 și hărți de anizotropie fracțională color-codate. (19-21) Culorile fasciculelor de fibre reconstruite prin DTT au fost selecționate pentru a permite vizualizarea optimă. Fibrele reconstruite 3-dimensionale au fost vizualizate prin suprapunere peste imagini în secvențe T1 3D turbo field echo (3D T1-TFE) 3-planare, pentru a augmenta localizarea lor anatomică precisă și relațiile cu alte structuri anatomice.

Șase fascicule de fibre ale substanței albe, relevante pentru ansa Meyer au fost reconstruite: pedunculul talamic posterior care include radiația optică, fibrele occipitopontine/parietopontine, comisura anterioară, fasciculul occipitofrontal, fasciculul uncinat și fasciculul longitudinal inferior. Pentru a asigura o reconstrucție cât mai cuprinzătoare a tuturor fibrelor posibile implicate în ansa Meyer, au fost utilizate o ROI mare în lobul occipital, definită pe o imagine coronală, și o ROI mare în regiunea corpului geniculat lateral, care include atât pulvinarul cât și pedunculul cerebral al mezencefalului, și definit pe o imagine sagitală. Apoi, o analiză exhaustivă a fost realizată pentru a identifica toate fibrele care penetrează ambele ROI și participă la formarea ansei Meyer, iar ulterior aceste fibre au fost parcelate în funcție de conexiunile lor diferite. După identificarea ansei Meyer, o ROI în lobul frontal, utilizând o imagine coronală, a fost plasată în aditie la ROI occipitală, pentru a reconstrui fasciculul occipitofrontal. Pentru reconstrucția fibrelor comisurii anterioare, două ROI au fost plasate la 10 mm distanță una de alta, pe partea dreaptă și stângă a planului mediosagital. Fasciculul uncinat a fost reconstruit prin plasarea unei ROI în regiunea temporală anterioară și a unei a doua ROI în substanța albă a porțiunii bazale a lobului frontal, în plan coronal.

REZULTATE

Ansa Meyer a fost reconstruită în toate cazurile studiate (figura nr. 1). Fibrele cu originea în corpul geniculat lateral, inclusiv pulvinarul talamic și porțiunea laterală a pedunculului cerebral al mezencefalului, s-au extins într-o direcție anterolaterală, în interiorul regiunii temporale anterioare, înainte ca aceste fibre să realizeze o curbă posterioară și să ajungă în cortexul occipital. Această ansă temporală este cunoscută, în mod comun, ansa Meyer. Toate fibrele componente ale ansei Meyer și-au continuat cursul în tavanul cornului temporal al ventriculului lateral și au atins terminațiile lor corticale. Multiple fibre de proiecție au participat la formarea ansei Meyer. Fibrele radiației optice, acele fibre cu originea în corpul geniculat lateral și în continuarea tractului optic, au parcurs ansa Meyer și și-au continuat cursul înspre cortexul vizual occipital. Pedunculul talamic posterior include fibre talamocorticale de proiecție care își au originea la nivelul pulvinarului și conectează pulvinarul talamic cu regiuni corticale occipitale. Fibrele radiației optice sunt doar unele dintre variatele fibre de proiecție din componența pedunculului talamic posterior.

Figura nr. 1. Reconstrucție DTT a ansei Meyer (roz) în imagine axială, sagitală stângă și coronală



Fibrele reconstruite au fost suprapuse peste imagini anatomice în secvențe T1 3D turbo field echo (3D T1-TFE) pentru a augmenta localizarea lor anatomică și a evidenția relațiile acestora cu structurile anatomice adiacente. Fibrele de proiecție cu originea în corpul geniculat lateral, pulvinarul talamic și porțiunea laterală a pedunculului cerebral al mezencefalului se extind în direcție anterolaterală, în regiunea temporală anterioară, înainte ca aceste fibre să formeze o ansă posterioară și să ajungă la terminațiile lor, în cortexul occipital. Toate aceste fibre de proiecție, incluzând fibrele occipitopontine, pedunculul talamic posterior și radiația optică compun ansa Meyer, și își continuă cursul în tavanul cornului temporal al ventriculului lateral pentru a realiza o curbă medială, posterior de cornul occipital al ventriculului lateral, și a ajunge la terminațiile corticale occipitale ale acestora.

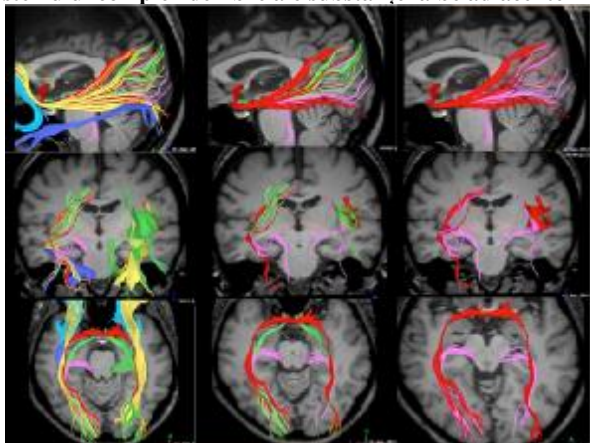
Diferențierea precisă între aceste fibre variate ale pedunculului talamic posterior a fost extrem de dificilă, pentru că toate aceste fibre cu originea, fie în corpul geniculat lateral, fie în pulvinar fuzionează și se amestecă înainte de a forma ansa Meyer, și nu au putut fi diferențiate sau separate la acest nivel. Fibrele occipitopontine, fibre de proiecție cu origine în cortexul vizual occipital și terminație în nucleii pontini, au prezentat un curs prin ansa Meyer, împreună cu fibrele radiației optice și cu fibrele talamocorticale ale pedunculului talamic posterior. Aceste fibre occipitopontine s-au amestecat cu cele ale pedunculului talamic posterior, la nivelul ansei Meyer, și apoi și-au continuat cursul în porțiunea laterală a pedunculului cerebral al mezencefalului pentru a ajunge la nucleii pontini. Toate aceste fibre de proiecție parcurg cursul până la cortexul occipital, ca parte a stratului sagital. O relație intricată a ansei Meyer cu fasciculul uncinat, fasciculul occipitofrontal, comisura anterioară și fasciculul longitudinal inferior a fost demonstrată (figura nr. 2).

DISCUȚII

Utilizând tehnica noastră DTT, a fost posibilă demonstrarea multiplelor sisteme de fibre de proiecție, inclusiv a radiației optice, a pedunculului talamic posterior și a fibrelor occipitopontine care participă împreună la formarea ansei

Meyer. Prin suprapunerea fibrelor reconstruite 3-dimensional peste imagini 3-planare în secvențe T1 3D turbo field echo (3D T1-TFE), compoziția, cursul și relațiile ansei Meyer cu fibrele adiacente au putut fi evidențiate și evaluate, informații care ar putea fi utile pentru procesul de planificare preoperatorie și pentru ghidare intraoperatorie a rezecțiilor temporale.

Figura nr. 2. Reconstrucție DTT a ansei Meyer și a sistemului complex de fibre ale substanței albe adiacente



Fibrele reconstruite au fost suprapuse peste imagini anatomice în secvențe T1 3D turbo field echo (3D T1-TFE). *Sus*: Imagine axială a fibrelor substanței albe, care se intersectează și se amestecă, în regiunea ansei Meyer: fibre occipitopontine și pedunculul talamic posterior (roz) care include și radiația optică (verde); fasciculul uncinat (albastru deschis); comisura anterioară (roșu); fasciculul occipitofrontal (galben); fasciculul longitudinal inferior (albastru). *Mijloc*: Sistemul complex de fibre în relație cu ansa Meyer care au terminație la nivelul cortexului occipital, într-o imagine coronală: fibrele occipitopontine și pedunculul talamic posterior (roz), radiația optică (verde); comisura anterioară (roșu); fasciculul occipitofrontal (galben); fasciculul longitudinal inferior (albastru). *Jos*: Imagine sagitală care demonstrează fibrele substanței albe adiacente ansei Meyer în regiunea temporală anterioară: fibrele occipitopontine și pedunculul talamic posterior (roz), care include și radiația optică (verde); sunt fibrele de proiecție occipitale, care împreună formează ansa Meyer; fasciculul uncinat (albastru deschis); comisura anterioară (roșu); fasciculul occipitofrontal (galben); fasciculul longitudinal inferior (albastru). Fibrele comisurii anterioare și cele ale fasciculului occipitofrontal se amestecă și se intersectează cu fibrele ansei Meyer pentru a forma stratul compact, denumit stratul sagital. Fasciculul longitudinal inferior se atașează marginii inferioare a stratului sagital.

Deși mai multe studii, utilizând fie estimări ale rezecțiilor temporale, fie tehnica de disecție a fibrelor substanței albe, au investigat anatomia ansei Meyer, există în continuare un dezacord legat de localizarea precisă, cursul și detaliile anatomice ale ansei Meyer.(22-35) Limita anterioară a ansei Meyer nu a fost bine stabilită până în prezent, deoarece a fost estimată ca fiind oriunde între 20 și 60 mm posterior de polul temporal, cu o tendință înspre estimări mai mici în studii mai recente.(19,36) Ca rezultat, în prezent, apariția și extensia DCV postoperatorii, datorită lezării ansei Meyer în cursul intervențiilor pentru epilepsia temporală, nu pot fi prezise cu acuratețe utilizând RMN convențional sau prin măsurarea extensiei rezecției. Doar câteva studii, realizate pe cohorte foarte mici au demonstrat că DTT poate reconstrui și analiza detaliile anatomice ale ansei Meyer.(11,19,37-40) Aceste studii, care utilizează tractografia deterministică sau probabilistică pentru a evalua detaliile anatomice ale ansei Meyer, prin utilizarea a 2 ROI, o ROI la nivelul corpiilor geniculați laterali și o a doua ROI la nivelul cortexului calcarin, au arătat rezultate variabile pentru locația și cursul ansei Meyer. După cunoștințele autorilor, acesta este primul studiu care aplică o metodă cuprinzătoare pentru reconstrucția tuturor fibrelor de proiecție care participă în formarea ansei Meyer, prin utilizarea unor ROI de dimensiuni mari, o ROI la nivelul substanței albe a lobului occipital și o a doua ROI la nivelul regiunii corpiilor geniculați laterali, incluzând pulvinarul talamic și porțiunea laterală a pedunculului cerebral al mezencefalului. Faptul că, multiple fibre de proiecție pentru lobii temporal și occipital, inclusiv radiația optică, participă la formarea acestei anse temporale ar putea explica rezultatele variabile și contradictorii ale studiilor utilizând

estimări ale rezecției chirurgicale temporale, care evaluează locația ansei Meyer în mod indirect prin stabilirea extensiei rezecției temporale și astfel a ansei Meyer. Prezența altor fibre de proiecție implicate în formarea ansei Meyer ar putea explica de ce rezecții mai extinse temporale, nu sunt asociate în mod consistent cu DCV, pentru că fibrele rezecate ale ansei Meyer nu erau fibre ale radiației optice, ci variate alte fibre de proiecție a căror impact funcțional nu îl putem evalua.

DTT pentru ansa Meyer, înainte de rezecțiile temporale sau amigdalohipocampectomia selectivă, ar putea reduce riscul DCV postoperatorii. Taoka și colaboratorii au utilizat DTT preoperatorie a ansei Meyer și au găsit o corelație semnificativă a DCV postoperatorii cu extensia rezecției ansei Meyer peste limita anterioară a acesteia, în timp ce nu au putut arăta o corelație cu extensia rezecției lobului temporal.(16) Similar, Chen și colaboratorii au arătat că DCV postoperatorii ar putea fi prezise de gradul de lezare a ansei Meyer măsurată prin DTT pre și intraoperator, la pacienții supuși rezecțiilor de lob temporal pentru epilepsie.(37) Ambele studii au demonstrat o variabilitate importantă a extensiei anterioare a ansei Meyer, dar locația exactă a fibrelor anterioare ale ansei Meyer și relația acestora cu polul temporal rămân controversate. Cu toate acestea, cu DTT ar putea fi posibilă estimarea locației fibrelor radiației optice la nivelul ansei Meyer, care nu a fost posibilă prin studiile de disecție sau prin studiile mai vechi bazate pe estimări intraoperatorii. Rezultatele studiilor de disecție, care nu pot diferenția fibre individuale ale radiației optice, și cele ale studiilor utilizând estimări ale dimensiunii rezecției temporale, care presupun că apariția DCV este corelată cu dimensiunea rezecției, sunt chestionate de aceste studii recente de DTT.

Anatomia finală a ansei Meyer necesită studii viitoare utilizând o combinație a studiilor de disecție a fibrelor, a studiilor histologice care utilizează trasori și pot fi aplicate la subiecții umani, împreună cu DTT. Observațiile noastre din DTT provin de la o populație de 10 subiecți sănătoși, însă studii viitoare, pe populații mai mari, și compararea diferiților algoritmi deterministici sau probabilistici sunt necesare pentru a valida rezultatele noastre. Pacienții cu leziuni patologice localizate la nivelul lobului temporal ar putea avea o anatomie diferită față de subiecții umani sănătoși. Cercetări viitoare, utilizând DTT pentru studiul detaliilor anatomice ale ansei Meyer în cazul diferitelor tipuri de patologii care interesează lobul temporal, și compararea diferențelor dintre subiecți sănătoși și pacienți ar putea avea un potențial important pentru aplicația practică a acestor informații, în procesul de planificare preoperatorie pentru intervențiile de neurochirurgie și pentru ghidarea intraoperatorie.

CONCLUZII

Studiul nostru prezintă o tehnică pentru demonstrarea ansei Meyer prin care am arătat un aranjament complex al variatele fibre de proiecție care compun ansa Meyer și relațiile intricate ale acestei anse cu fibrele adiacente. Aceste relații complexe contribuie la dificultatea demonstrării cu acuratețe a ansei Meyer prin DTT. O apreciere precisă a detaliilor anatomice ale ansei Meyer ar putea prezice DCV postoperatorii și ar putea permite dezvoltarea unor strategii chirurgicale și tactici de prevenție a leziunilor acestei structuri, în cursul rezecțiilor temporale pentru tratamentul epilepsiei.

REFERINȚE

1. Türe U, Yaşargil MG, Friedman AH, Mefty Al O. Fiber dissection technique: lateral aspect of the brain. *Neurosurgery* 2000;47(2):417-26.
2. Yaşargil MG, Türe U, Yasargil DC. Impact of temporal lobe surgery. *J. Neurosurg. American Association of Neurological*

- Surgeons 2004;101(5):725-38.
3. Goga C, Brinzaniuc K, Rodriguez-Mena R, Florian IS. The temporal lobe white matter fiber systems demonstrated by fiber dissection technique. *Romanian Journal of Functional and Clinical, Macro- and Microscopical Anatomy and Anthropology* 2014;13(1):7-15.
 4. Goga C, Brinzaniuc K, Florian IS, Rodriguez-Mena R. The three-dimensional architecture of the internal capsule of the human brain demonstrated by fiber dissection technique. *ARS Medica Tomitana* 2014;3(78):115-22.
 5. Basser PJ, Mattiello J, LeBihan D. MR diffusion tensor spectroscopy and imaging. *Biophys J* 1994;66:259-67.
 6. Basser PJ, Mattiello J, LeBihan D. Estimation of the effective self-diffusion tensor from the NMR spin echo. *J Magn Reson.* 1994;B 103:247-54.
 7. Basser PJ, Pajevic S, Pierpaoli C, Duda J, Aldroubi A. In vivo fiber tractography using DT-MRI data. *Magn Reson Med.* 2000;44:625-32.
 8. Conturo TE, Lori NF, Cull TS, Akbudak E, Snyder AZ, Shimony JS, et al. Tracking neuronal fiber pathways in the living human brain. *Proc Natl Acad Sci USA* 1999;96:10422-7.
 9. Jones DK. Studying connections in the living human brain with diffusion MRI. *Cortex* 2008;44:936-52.
 10. Mori S, van Zijl PC. Fiber tracking: principles and strategies—a technical review. *NMR Biomed* 2002;15:468-80.
 11. Yamamoto T, Yamada K, Nishimura T, Kinoshita S. Tractography to Depict Three Layers of Visual Field Trajectories to the Calcarine Gyri. *American Journal of Ophthalmology* 2005;140(5):781-1.
 12. Okada T, Miki Y, Kikuta K, Mikuni N, Urayama S, Fushimi Y. Diffusion tensor fiber tractography for arteriovenous: quantitative analyses to evaluate the corticospinal tract. *ANJR Am J Neuroradiol* 2007;28:1107-13.
 13. Ciccarelli O, Toosy AT, Hickman SJ, al E. Optic radiation changes after optic neuritis detected by tractography-based group mapping. *Hum Brain Mapp* 2005;25(3):308-16.
 14. Kikuta K, Takagi Y, Nozaki K, al E. Early experience with 3-T magnetic resonance tractography in the surgery of cerebral arteriovenous malformations in and around the visual pathways. *Neurosurgery* 2006;58:331-7.
 15. Powell HW, Parker GJ, Alexander DC, Symms MR, Boulby PA, Wheeler-Kingshott CA. MR tractography predicts visual field defects following temporal lobe resection. *Neurology* 2005;65:596-9.
 16. Taoka T, Sakamoto M, Nakagawa H, Nakase H, Iwasaki S, Takayama K, et al. Diffusion Tensor Tractography of the Meyer Loop in Cases of Temporal Lobe Resection for Temporal Lobe Epilepsy: Correlation between Postsurgical Visual Field Defect and Anterior Limit of Meyer Loop on Tractography. *American Journal of Neuroradiology* 2008;29(7):1329-34.
 17. Mori S, Kaufmann WE, Davatzikos C, Stieltjes B, Amodei L, al E. Imaging cortical association tracts in human brain. *Magn Reson Imag* 2002;47:215-23.
 18. Kovanlikaya I, Firat Z, Kovanlikaya A, Ulug AM, Cihangiroglu MM, John M, et al. Assessment of the corticospinal tract alterations before and after resection of brainstem lesions using diffusion tensor imaging (DTI) and tractography at 3T. *Eur J Radiol* 2011;77:383-91.
 19. Nilsson D, Starck G, Ljungberg M, Ribbelin S, Jönsson L, Malmgren K, et al. Intersubject variability in the anterior extent of the optic radiation assessed by tractography. *Epilepsy Research* 2007;77(1):11-6.
 20. Nieuwenhuys R, Voogd J, van Huijzen C. *The Human Central Nervous System*. 4 ed. Berlin: Springer-Verlag; 2008.
 21. Saeki N, Fujimoto N, Kubota M, Yamaura A. MR demonstration of partial lesions of the lateral geniculate body and its functional intra-nuclear topography. *Clin Neurol Neurosurg* 2003;106(1):28-32.
 22. Bjork A, Kugelberg E. Visual field defects after temporal lobectomy. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1957;35:210-6.
 23. Marino R Jr, Rasmussen T. Visual field changes after temporal lobectomy in man. *Neurology* 18(9):825-35.
 24. Penfield W. Temporal lobe epilepsy. *Br J Surg* 1954;41:337-43.
 25. Penfield W, Flanigin H. Surgical therapy for temporal lobe seizures. *Arch Neurol Psychiatry* 1950;64:490-500.
 26. Penfield W, Jasper H. *Epilepsy and Functional Anatomy of the Human Brain*. Boston: Little Brown; 1960.
 27. Rasmussen AT. The extent of recurrent geniculocalcarine fibers (loop of Archambault and Meyer) as demonstrated by gross brain dissection. *Anat Rec* 1943;85(3):277-84.
 28. Tecoma ES, Laxer KD, Barbaro NM. Frequency and characteristics of visual field defects after surgery for mesial temporal sclerosis. *Neurology* 1993;43:1235-8.
 29. Ebeling UU, Reulen HJ. Neurosurgical topography of the optic radiation. *Acta Neurochir* 1988;92(1-4):29-36.
 30. Choi C, Rubino PA, Fernández-Miranda JC, Abe H, Rhoton AL Jr. Meyer's loop and the optic radiations in the transsylvian approach to the mediobasal temporal lobe. *Neurosurgery* 2006;59(4 Suppl 2):228-35.
 31. Choi C-Y, Han S-R, Yee G-T, Lee C-H. A Understanding of the Temporal Stem. *J Korean Neurosurg Soc* 2010;47(5):365-9.
 32. Párraga RG, Ribas GC, Welling LC, Alves RV, de Oliveira E. Microsurgical anatomy of the optic radiation and related fibers in 3-dimensional images. *Neurosurgery* 2012;71:160-72.
 33. Peltier J, Travers N, Destrieux C, Velut S. Optic radiations: a microsurgical anatomical study. *J Neurosurg* 2006;105(2):294-300.
 34. Peltier J, Vercluyte S, Delmaire C, Pruvo J-P, Godefroy O, Le Gars D. Microsurgical anatomy of the temporal stem: clinical relevance and correlations with diffusion tensor imaging fiber tracking. *J Neurosurg* 2010;112(5):1033-8.
 35. Rubino PA, Rhoton AL Jr, Tong X, de Oliveira E. Three-dimensional relationships of the optic radiation. *Neurosurgery* 2005;57(Supplement 4):219-27.
 36. Krolak-Salmon P, Guenot M, Tiliket C, al E. Anatomy of the optic nerve radiations as assessed by static perimetry and MRI after tailored temporal lobectomy. *Br J Ophthalmol* 2000;84:884-9.
 37. Chen X, Weigel D, Ganslandt O, Buchfelder M, Nimsky C. Prediction of visual field deficits by diffusion imaging in temporal lobe epilepsy surgery. *NeuroImage* 2009;45:286-97.
 38. Thudium MO, Campos AR, Urbach H, Clusmann H. The Basal Temporal Approach for Mesial Temporal Surgery: Sparing the Meyer Loop with Navigated Diffusion Tensor Tractography. *Neurosurgery* 2010;67:ons385-90.
 39. Sherbondy AJ, Dougherty RF, Napel S, Wandell BA. Identifying the human optic radiation using diffusion tensor imaging and fiber tractography. *J Vis* 2008;8(10):12.1-12.11.
 40. Hofer S, Karaus A, Frahm. Reconstruction and dissection of the entire human visual pathway using diffusion tensor MRI. *Front Neuroanat* 2010;4:15.