

## NEURONAVIGAȚIA ȘI STEREOTAXIA – TEHNOLOGII DE VÂRF ÎN NEUROCHIRURGIA MODERNĂ

F.M. Grămadă, N. Ianovici

Clinica Neurochirurgie Iași

Universitatea de Medicină și Farmacie „Gr.T. Popa” Iași

### *NEURONAVIGATION AND STEREOTAXY – HIGH TECH IN MODERN NEUROSURGERY (Abstract):*

Image-guided neuronavigation utilizes the principle of stereotaxis. The brain is considered as a geometric volume which can be divided by three imaginary intersecting spatial planes, orthogonal to each other (horizontal, frontal and sagittal) based on the Cartesian coordinate system. Any point within the brain can be specified by measuring its distance along these three intersecting planes. Neuronavigation provides a precise surgical guidance by referencing this coordinate system of the brain with a parallel coordinate system of the three-dimensional image data of the patient that is displayed on the console of the computer-workstation so that the medical images become point-to-point maps of the corresponding actual locations within the brain. Neuronavigation and stereotaxy provide intraoperative orientation to the surgeon, help in planning a precise surgical approach to the targeted lesion, define the surrounding neurovascular structures and allow to avoid the eloquent areas of the brain during surgery. This article reviews the role and the current applications of neuronavigation and stereotaxy. Progressive advances in technology will improve the cost-benefit ratio and the user-friendliness of the system and in the near future it may help to realize the aim of complete cytoreductive surgery with minimal morbidity. However, at the present state of knowledge, the benefits of neuronavigation only compliment the experience and knowledge of neuroanatomy of the surgeon and cannot act as a substitute for it.\*

KEY WORDS: NEURONAVIGATION, STEREOTAXY

Apariția tehnicilor de neuronavigație a fost privită, în momentul lansării pe piață a primelor instalații, ca un vis venit din science-fiction, dificil de introdus în uzul curent al activității unui serviciu de neurochirurgie. Cu toate acestea, azi, în majoritatea clinicilor de neurochirurgie, intervențiile neurochirurgicale folosesc această tehnologie, metoda devenind pentru toți neurochirurgii o necesitate, oferind pacienților riscuri operatorii minime. Pe lângă posibilitatea reperării cu maximă siguranță a procesului patologic intracranian – ceea ce implică volete mai reduse ca întindere, asigurându-se astfel un confort postoperator sporit pacientului – această tehnică permite un control superior în ceea ce privește gradul de extindere al rezecției tumorale.

Folosindu-se de facilitățile pe care le oferă astăzi tehnologia informatică stereotaxia modernă devine, în momentul în care beneficiem de aparatura modernă, o tehnică foarte ușor de aplicat practic și care devine indispensabilă în cazurile dificile.

### **Neuronavigația**

Folosirea tehnologiei de neuronavigație schimbă în mod fundamental modul de operație pentru afecțiunile neurochirurgicale craniocerebrale, putând fi comparată cu revoluția adusă chirurgiei abdominale de către endoscopie. Pornind de la tehnologia aero-spațială care permite unui avion să aterizeze în condiții de ceață cu vizibilitate 0, tehnologia computerizată pe care o utilizează neuronavigația facilitează descoperirea tumorilor cerebrale de dimensiuni foarte mici (chiar cele cu diametru sub 1 cm) indiferent de profunzimea la care se găsesc situate în creier. [1,2]

---

\* received date: 27.10.2005  
accepted date: 20.01.2006

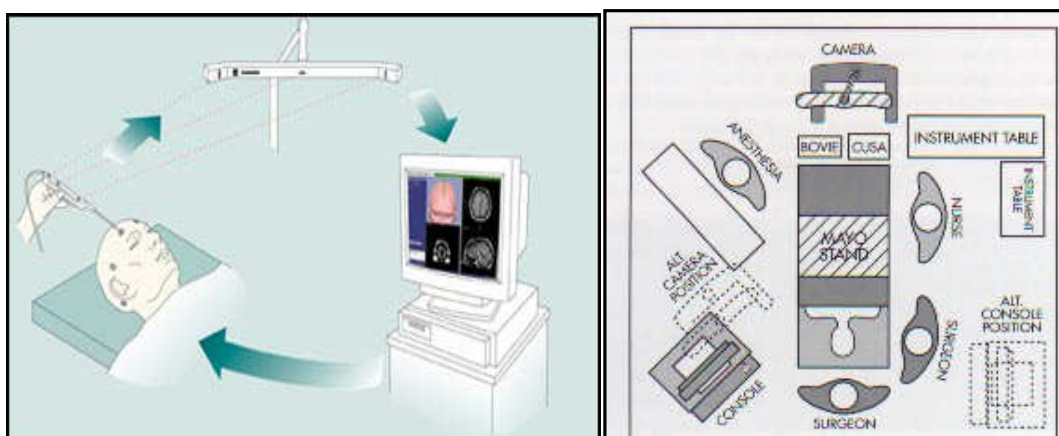
Pentru pionierii neurochirurgiei a existat preocuparea de a se stabili repere anatomice în corelație cu simptomatologia clinică, pe baza cărora să se stabilească traiectorii ale abordurilor pentru a se realiza accesul la procesele patologice intracraniene. Existența variantelor anatomice normale (10-15%), care duceau în unele cazuri la craniotomii albe, a determinat căutarea altor metode mai precise de localizare a neoformațiilor cerebrale. Ventriculografia/pneumoencefalografia și arteriografia carotidiană și vertebrală au constituit o primă revoluție în ceea ce privește descoperirea unui proces expansiv intracranian. Cu toate acestea diagnosticul de localizare se punea doar pe existența unor semne indirecte – de deplasare a axelor vasculare sau sistemului ventricular. Acest fapt, împreună cu riscurile inerente acestor tehnici agresive, a determinat abandonarea acestor metode de diagnosticare a neoformațiilor cerebrale grație apariției tehnicilor imagistice moderne: tomografia computerizată(CT) și rezonanța magnetică nucleară (RMN).

Aceste două tehnologii au rezolvat în mare măsură problema confirmării existenței tumorii cerebrale însă rămânea de rezolvat necesitatea ca neurochirurgul să ajungă la țintă pe cea mai scurtă cale care să evite elementele anatomice cu funcții esențiale unei vieți normale. Deseori între cortexul care se vede după craniotomie și formațiunea tumorală există creier normal pe o distanță de mai mulți centimetri. Cerebrotomia duce la leziuni ireversibile iar uneori aspectul macroscopic al tumorii poate fi extrem de asemănător cu creierul normal.

Aceste argumente alături de existența unor formațiuni cu diametru infracentimetric a determinat căutarea unor metode de reperaj a formațiunilor cerebrale pornind de la imaginile CT sau RMN, folosindu-se programe de calculator deosebit de performante.

Primul pas al unei intervenții care folosește neuronavigația este realizarea unor imagini CT sau RMN. Unele sisteme folosesc markeri (cel puțin 4) aplicați pe calota craniană, markeri care sunt recunoscuți pe imaginile realizate; alte sisteme se bazează pe repere anatomice cum ar fi orbitele sau piramida nazală. Este necesar ca imaginile să fie realizate în format DICOM cu secțiuni și pas de maxim 3 mm. Aceste imagini vor fi transferate prin cablu sau CD către computerul instalației de neuronavigație, unde vor fi prelucrate, realizându-se o imagine tridimensională.

A doua etapă este analiza în fața monitorului instalației de neuronavigație pentru a se alege traiectul necesar pentru a se aborda tumora, evitând zonele funcționale importante ale creierului [2].



**Fig. 1 Instrumentar necesar tehnicilor de neuronavigație**

Următorul pas are loc în sala de operație unde se realizează coroborarea datelor existente pe imaginea virtuală de pe display și craniul pacientului. După tipul de aparat legătura dintre calculator și craniu se realizează prin emisie de infraroșii sau ultrasunete.

Craniul pacientului este legat solidar prin intermediul potcoavei Mayfield cu un cadru de referință (DRF), dotat cu 3 LED-uri care vor recepționa și reflecta în permanență unde infraroșii emise de o lampă. Folosindu-se o sondă înzestrată cu LED-uri se face înregistrarea care va permite corelarea poziției tridimensionale în spațiu a markerilor aflați pe craniul pacientului cu imaginea lor de pe monitorul calculatorului. O dată această etapă realizată, sonda sau orice alt instrument (pensă de coagulare, aspirator etc.) este vizualizat pe display, permițând neurochirurgului să știe în orice moment unde se află în interiorul calotei craniene iar pe măsură ce se realizează ablația se poate aprecia când se poate opri intervenția (Fig. 1).

Folosindu-se această tehnologie se pot realiza biopsii stereotaxice fără cadru. Utilizând acul de biopsie echipat cu LED-uri se pătrunde printr-o gaură de trepan și se ajunge la nivel tumoral urmărind traiectoria pe ecranul monitorului.

Tehnica neuronavigației se utilizează pentru realizarea rezecțiilor tumorale, a implanturilor spinale, plasarea cateterelor intracraniene, biopsiilor tumorale, chirurgia bazei craniului și sinusurilor în ORL etc.

Facilitățile oferite sunt: creșterea confortului pacientului, identificarea anatomiei cerebrale și a structurilor critice, scurtarea duratei intervențiilor, diminuarea dimensiunilor inciziilor și a craniotomiilor, scurtarea duratei de spitalizare etc.

Dotarea Clinicii de Neurochirurgie din Iași cu o instalație de neuronavigație Radionics ne-a determinat ca imediat după instalare să încercăm să utilizăm această tehnologie într-un număr mare de intervenții operatorii. Deși toți neurochirurgii au dorit din primul moment ca instalația să fie imediat și larg utilizată, introducerea acestei tehnici nu a fost ușor de realizat din cauze care au ținut de complexul de dotări suplimentare pe care serviciul trebuie să îl aibă pentru ca aparatura respectivă să furnizeze informațiile de care avem nevoie. Aceste „amănunte” nu au fost luate în considerație în momentul achiziționării și dacă nu ar fi fost rezolvate investiția ar fi rămas la stadiu de mobilă sau material de prezentat la studenți.

Aceste dificultăți au fost:

- necesitatea existenței compatibilității sistemelor de realizare a informațiilor digitalizate privind imaginile CT sau RMN. Pentru acesta programele e-Film ale CT/RMN pe de o parte și cele ale neuronavigației trebuie să fie identice. În caz contrar programul de neuronavigație nu poate demara. Prin efortul făcut de tehnicienii Radionics s-a reușit să poată exista o legătură directă între cele 2 sisteme.
- „imobilizarea” pe o durată de timp mare (achiziția de imagini CT durează mai mult pentru neuronavigație) a aparatului CT extrem de solicitat (mai ales pentru numeroasele cazuri de urgențe medico-chirurgicale) a necesitat o colaborare amabilă din partea Departamentului de Imagistică.
- un alt element ce trebuie luat în considerare este obligația ca masa CT să posede un sistem de fixare compatibil pentru cadrul de stereotaxie al aparatului de neuronavigație.
- necesitatea existenței unui sistem de fixare a capului de masa de operație, dotare pe care Clinica de Neurochirurgie nu o avea. Prin eforturi s-a reușit obținerea unei mese de operație și a unui sistem de fixare a capului tip Mayfield dar, în forma originală, acesta nu permitea fixarea de antena instalației de neuronavigație. Realizând, prin eforturi proprii, o formă artizanală am reușit să depășim și această problemă.
- sterilizarea cu etilen-oxid este obligatorie dar care nu se poate realiza în spitalul nostru fiind obligați să apelăm la amabilitatea colegilor din alte spitale din Iași (Spitalul CFR, Spitalul de Obstetrică și Ginecologie sau Institutul de Cardiologie).

În ciuda tuturor greutăților pe care le-am arătat mai sus, activitatea folosind această aparatură a început în februarie 2003, permițându-ne să realizăm un număr de peste 70 intervenții asistate de computer, din care 30 au fost biopsii fără cadru.

Analiza acestor cazuri ne permite să individualizăm 3 categorii de pacienți care beneficiază în cel mai mare grad de facilitățile oferite de această tehnologie:

- leziuni neurochirurgicale de dimensiuni foarte mici: 0,8 – 2,5 cm,
- leziuni profunde: talamus, corp calos ,
- leziuni situate în zone de importanță funcțională deosebită cum ar fi zona rolandică sau cea a centrului limbajului.

În toate aceste intervenții localizarea procesului patologic intracranian a fost determinată cu maximă exactitate, permițând utilizarea unor volete cutanate și osoase de dimensiuni minime. Datele furnizate de reconstrucțiile tridimensionale realizate preoperator bazate pe markerii cutanați aplicați înainte de explorarea computer tomografică au permis alegerea traiectoriilor adecvate pentru abordul leziunilor. Au fost preferate traiectoriile cele mai scurte dar care evitau zonele funcționale sensibile. Ca urmare a respectării acestor principii nu am avut nici o agravare a deficitelor existente sau apariția altor noi în evoluția postoperatorie.

Utilizarea instrumentelor specifice neuronavigației a necesitat un antrenament prin simularea unor intervenții chirurgicale, ceea ce a permis ca intraoperator să nu existe momente dificile. Este de preferat ca să existe inițial un nucleu chirurghi – instrumentiste care să fie specializat în acest tip de intervenții iar ulterior, în mod treptat, tot personalul din blocul operator să fie familiarizat cu aspectele particulare ale acestor operații.

### **Stereotaxia**

Stereotaxia permite localizarea structurilor cerebrale profunde, în special nucleii gri centrali, fără a se leza țesutul cerebral de vecinătate, folosindu-se localizarea tridimensională a țintei (target) față de cele 3 planuri fundamentale: anteroposterior, dreapta-stânga și superior-inferior, perpendiculare între ele. Deși inițial a fost utilizată pentru tratamentul bolii Parkinson, această tehnică s-a extins în toate situațiile în care acuratețea este foarte importantă: biopsia unor tumori subcentimetrice, neurochirurgie funcțională, microchirurgie și radiochirurgie.

Începută de Horsley și Clarke în 1908 pe animal, stereotaxia a fost continuată de Spiegel și Wycis la Philadelphia în 1947. Lars Leksell și Tallairach au realizat independent în 1949 cadre de stereotaxie care foloseau hărți extrem de complicate, utilizând explorările existente la acel moment istoric: teleradiografii craniene (la 5 metri), arteriografii cerebrale și ventriculografie. [1-3]

Din 1980 se utilizează cadrul BRW (Brown-Roberts-Wells) iar din 1988 CRW (Cosman-Roberts-Wells), acesta din urmă fiind în dotarea Clinicii de Neurochirurgie Iași, permițând realizarea intervențiilor stereotaxice pe baza unui program computerizat foarte performant – NeuroPlan – oferit de Radionics.

Explorarea de bază este fie cea realizată de CT sau RMN (se poate efectua în plus arteriografie cerebrală, tomografie prin emisie de pozitroni PET, tomografie computerizată prin emisie singulară de foton SPECT sau RMN funcțional). Cele două explorări sunt complementare: CT are avantajul unei acurateți geometrice dar detaliile morfologice sunt deficitare în timp ce la RMN elementele anatomice se recunosc foarte bine dar există distorsiuni ale dimensiunilor. Aceste deficiențe se remediază printr-un program special de fuziune a imaginilor care permite să putem recunoștem elementele anatomice în dimensiuni reale.

Primul moment este reprezentat de plasarea pe craniul pacientului a localizatorului fixat prin 4 șuruburi și realizarea explorării CT în timp ce eventualul examen RMN (fără localizator) putea fi efectuat în prealabil [2].

După ce imaginile DICOM au fost introduse în computerul pentru stereotaxie, se analizează imaginile și se decide ținta și punctul de intrare. Programul NeuroPlan furnizează

cele 3 coordonate în cele 3 planuri: antero-posterior, lateral și vertical cât și unghiul și secțiunea de abord (aceste din urmă pot varia în funcție de necesitățile de înclinare a acului pentru evitarea ariilor funcționale).

După scoaterea localizatorului se atașează pe suportul fixat pe craniu cadrul CRW în mediu steril și care este fixat pe coordonatele furnizate de programul de computer.



**Fig. 2 Suport și cadru pentru stereotaxie**

O primă direcție de utilizare a stereotaxiei este realizarea biopsiilor în tumori profunde sau situate în zone critice cerebrale de dimensiuni mici cu acuratețe de 0,1mm.

A doua direcție în care folosim stereotaxia este radioterapia, metoda permițând aplicarea brachiterapiei în regiuni extrem de limitate, pentru a se prezerva țesutul cerebral normal de vecinătate.

Neurochirurgia funcțională constituie aplicația de vârf a stereotaxiei, permițând tratamentul neurochirurgical al bolii Parkinson și a altor diskinezii rebele la tratamentul medicamentos [1]. După reperarea formațiunilor responsabile de simptomatologie, se realizează înregistrări ale potențialelor acestora folosindu-se microelectrozi. Se pot realiza leziuni prin termocoagulare sau electrocoagulare fie se pot plasa electrozi de stimulare cronică [3,4]. Dacă prima tehnică are avantajul costului redus dar cu producere de leziuni care o dată realizate sunt ireversibile (posibilitate de lezare și a unor structuri esențiale cum ar fi capsula internă) a doua este prohibitivă prin prețul ridicat (15.000 euro), dar are avantajul reversibilității în caz de amplasare eronată.

Azi, pentru tratamentul diskineziilor, tratamentul neurochirurgical constă fie în realizarea de leziuni de tip talamotomie, palidotomie și subtalamotomie sau amplasarea de sonde care stimulează talamusul, nucleul subtalamic sau palidusul.

## CONCLUZII

Utilizarea neuronavigației și stereotaxiei trebuie extinsă la majoritatea intervențiilor neurochirurgicale pentru procese expansive intracraniene și în neurochirurgia funcțională, tehnologia modernă aducând confort pentru pacient și un plus de siguranță pentru neurochirurg.

## BIBLIOGRAFIE

1. Benabid AL, Benayous A, Pollak P. Mechanism of deep brain stimulation. *Movement Disorders*, 2002, 17, S3: S123-S129
2. Fundamental of Stereotaxy, European Dealer training Gent, Belgium, 2002

3. Deuschl G, Volkmann J, Krack P. Deep brain stimulation for movement disorders. *Movement Disorders*, 2002, 17, S3: S102-S111
4. Dostrovsky JO, Lozano AM. Mechanism of deep brain stimulation. *Movement Disorders*, 2002, 17, S3:S63-S68