

A FRONTOTEMPORALIS TRANSSYLVIAN FELTÁRÁS SZIMULÁCIÓJA ÉS ALKALMAZÁSÁNAK ISMERTETÉSE

BALOGH Attila¹, CZIGLÉCZKI Gábor², PÁPAI Zsolt^{2, 3}, Mark C. PREUL⁴, BANCZEROWSKI Péter^{1, 2}

¹Országos Idegtudományi Intézet, Budapest

²Semmelweis Egyetem, AOK, Idegsebészeti Tanszék, Budapest

³Semmelweis Egyetem, Humánmorfológiai és Fejlődésbiológiai Intézet, Budapest

⁴Barrow Neurological Institute, Phoenix, Arizona, Amerikai Egyesült Államok

THE INTERACTIVE NEUROANATOMICAL SIMULATION AND PRACTICAL APPLICATION OF FRONTOTEMPORAL TRANSSYLVIAN EXPOSURE IN NEUROSURGERY

Balogh A, MD; Czegléczki G; Pápai Zs, MD; Preul MC, MD; Banczerowski P, MD, PhD

Idegyogy Sz 2014;67(11–12):376–383.

Háttér és célkitűzés – A modern képrekonstrukciós eljárások hatékony szemléltető képessége folytán a számítástechnikai alkalmazások egyre fontosabb szerepet töltenek be az idegsebészeti képzésben.

A célunk olyan szimulációs oktatóeszköz kifejlesztése volt, melynek segítségével cadaveren szimulált műtéti eljárások, neuroanatómiai boncolások térhatású, interaktív formában jeleníthetők meg és a dissectio valóságú rekonstrukcióját nyújtják. Az eljárás gyakorlati alkalmazását a frontotemporalis, transsyylvian feltárás példáján keresztül mutatjuk be.

Módszer – Két cadaver fej-nyak preparátum fő artériáinak és vénáinak kipreparálása után a preparátumok ereit színes szilikongyantával töltöttük fel. A preparátumokat Mayfield-fejtartóban rögzítettük. A neuroanatómiai boncolások legkülönbözőbb fázisaiban, két digitális fényképezőgéppel felszerelt robotmikroszkóp segítségével, pásztázásokat végeztünk. A több rétegben elkészített nagyfelbontású felvételeket az általunk kifejlesztett számítástechnikai program segítségével interaktív modulba szerkesztettük.

Eredmény – A többretegű képrács-rekonstrukciós eljárás segítségével létrehoztuk a frontotemporalis, transsyylvian feltárás szimulációs oktatómodulját. A virtuális preparátum szabadon elforgatható, a legkülönbözőbb látószögekből vizsgálható, rétegváltással a virtuális műtéti feltárás élménye szimulálható.

Következtetés – A frontotemporalis, transsyylvian feltárás szimulációjával jól modellezhetőek a koponyabázis eléréséhez szükséges műtéti lépések és mélyben elhelyezkedő anatómiai struktúrák megközelítésének módja és a feltáráshoz szükséges optimális fejezőmódot előtti beállítás. Az interaktív térhatású szimulációs eljárás jól használható a műtét előtti tervezésben és az idegsebészeti képzésben is.

Kulcsszavak: szimulációs program, idegsebészeti képzés, cadaver boncolás, frontotemporalis, transsyylvian feltárás

Background and purpose – There is an increased need for new digital education tools in neurosurgical training. Illustrated textbooks offer anatomic and technical reference but do not substitute hands-on experience provided by surgery or cadaver dissection. Due to limited availability of cadaver dissections the need for development of simulation tools has been augmented.

We explored simulation technology for producing virtual reality-like reconstructions of simulated surgical approaches on cadaver. Practical application of the simulation tool has been presented through frontotemporal transsyylvian exposure.

Methods – The dissections were performed on two cadaveric heads. Arteries and veins were prepared and injected with colorful silicon rubber. The heads were rigidly fixed in Mayfield headholder. A robotic microscope with two digital cameras in inverted cone method of image acquisition was used to capture images around a pivot point in several phases of dissections. Multilayered, high-resolution images have been built into interactive 4D environment by custom developed software.

Results – We have developed the simulation module of the frontotemporal transsyylvian approach. The virtual specimens can be rotated or tilted to any selected angles and examined from different surgical perspectives at any stage of dissections. Important surgical issues such as appropriate head positioning or surgical maneuvers to expose deep situated neuroanatomic structures can be simulated and studied by using the module.

Conclusion – The simulation module of the frontotemporal transsyylvian exposure helps to examine effect of head positioning on the visibility of deep situated neuroanatomic structures and study surgical maneuvers required to achieve optimal exposure of deep situated anatomic structures. The simulation program is a powerful tool to study issues of preoperative planning and well suited for neurosurgical training.

Keywords: simulation program, neurosurgery training, cadaver dissection, frontotemporal, transsyylvian exposure

Levelező szerző (correspondent): Dr. BALOGH Attila, Országos Idegsebészeti Tudományos Intézet; 1145 Budapest, Amerikai út 57. Telefon: (06-1) 251-2999, fax: (06-1) 251-5678, e-mail: baloatt@yahoo.com

Érkezett: 2013. május 28. Elfogadva: 2013. július 31.

www.elitmed.hu

Az elmúlt két évtizedben számos olyan számítógépes oktatóeszközt fejlesztettek ki az orvosképzésben, melyek segítségével a tanulók nem csak passzív befogadói, hanem aktív részesei a tartalom tanulmányozásának, elsajátításának¹. Az ilyen interaktív szemléltetőeszközök nyújtotta lehetőség az idegtudományok területén különös jelentőségű az idegrendszer bonyolult felépítésének és működésének bemutatásában². Az idegsebészeti képzésben a legnagyobb kihívások közé tartozik a megfelelő tájanatómiai ismeretek felelevenítése mellett a kézügyesség fejlesztése, a műfogások elsajátítása és a műtéti eszköztár helyes megválasztása. Az illusztrált atlaszok vagy sebészeti kézikönyvek alapvető anatómiai és technikai ismereteket tartalmaznak, de nem helyettesíthetik a műtétek vagy a cadavereken végzett boncolások során szerzett tapasztalatokat, melyek a mind a mai napig a leghatékonyabb módjai az anatómiai ismeretek elsajátításának³. A tetemboncolás az orvosképzés egyik alapvető eszköze, gyakorlati alkalmazása mégis limitált, a korlátozott hozzáférhetőség miatt^{4, 5}. Ezért szükséges olyan eljárások és számítógépes alkalmazások kifejlesztése, melyek a sebészképzés hatékony eszközeivé válhatnak.

Az interaktív, háromdimenziós megjelenítésen alapuló szimulációs eljárások alkalmazása mind a graduális, mind a posztgraduális képzésben kedvező fogadtatásra talált. Az interakció nyújtotta lehetőség motiválónak bizonyul^{6, 7}, műtétek tervezésére is lehetőséget nyújt⁸, alkalmazásuk az idegsebészeti gyakorlatban is elterjedni látszik⁹. A megfelelő anatómiai részletesség, az élethű megjelenítés és színábrázolás azonban továbbra sem megoldott ezekben a számítástechnikai alkalmazásokban.

A többretegű képrács-rekonstrukciós eljárás neuroanatómiai dissectiók során készített fényképek ezreit használja fel valóság-hű virtuális rekonstrukció létrehozásához. Szemben a korai Quick Time Virtual Reality (QTVR) szoftverrel elért eredményekkel¹⁰⁻¹², a MIGRT program (Multilayer Image Grid Reconstruction Technology) segítségével olyan szimulációs környezetet lehetett kialakítani, melyben a felhasználók szabadon forgathatják és a kívánt látószögbe állíthatják a preparátumokat, rétegváltással pedig követhetik a boncolások, szimulált műtéti feltárások egymás után következő lépéseit¹³.

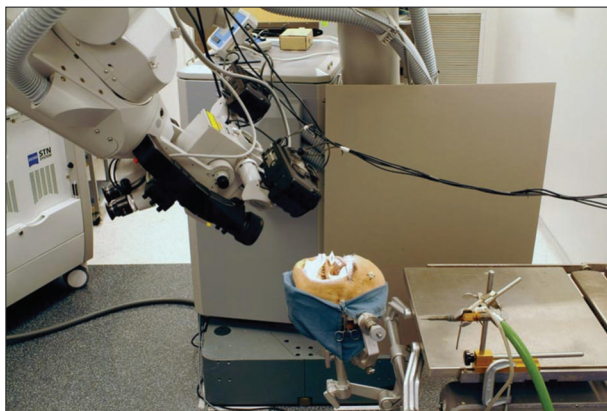
A frontotemporalis, transylvian feltárás a leggyakrabban alkalmazott feltárás az agyalapi struktúrák és a Willis-kör területi érmalformációk eléréséhez¹⁴⁻¹⁸, mesencephalonban elhelyezkedő cavernomák¹⁵, ritka lokalizációjú saccularis aneurysmák¹⁶, arteriovenosus malformációk¹⁷ vagy akár trigeminus schwannoma¹⁸ kezelésében.

A régió idegsebészeti szempontból kiemelt szerepe, anatómiai komplexitása miatt elkészítettük a feltárás mikrosebészeti szimulációját, mely mind a preoperatív tervezésben, mind a sebészi technika és a tájanatómiai viszonyok tanulmányozásában segítséget nyújthat a posztgraduális képzésben is. A szimulációs program előnyeit a közleményben részletesen is tárgyaljuk.

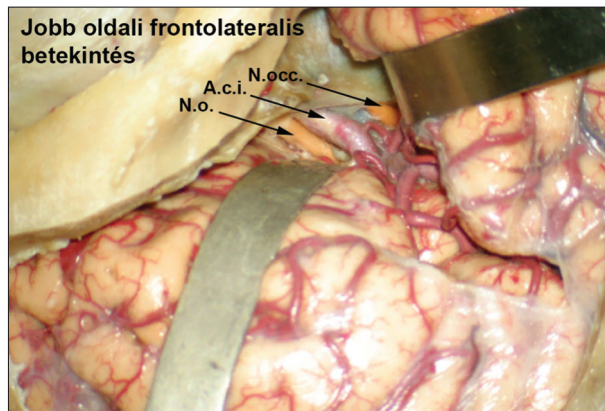
Anyag és módszer

A boncolásokat két cadaver fej-nyak preparátumon végeztük, melyeket a halál beállta után 24–36 óra után készítettünk elő. A boncolások az Amerikai Egyesült Államokban a szükséges helyi etikai bizottság engedélyével történtek. Mindkét oldali arteria vertebralis, arteria carotis communis és vena jugularis interna kireparálása után, a bevezetett kanülökön keresztül az érrendszert Disan-oldattal mostuk át állandó nyomás mellett. A kanülökön keresztül az érrendszerbe szilikongyantát fecskendeztünk. Az artériákat piros színnel, a vénákat kék színnel festettük meg. 4–6 hetes balsamozó oldatban való tárolás után, mindkét preparátum boncolását úgy végeztük, hogy a sebészi feltárás lépései mellett a régió tájanatómiai viszonyait is bemutassuk. A preparátumokat merev Mayfield-fejtartóba rögzítettük (Aesculap inc, Boston, USA) (**1. ábra**) az eljárás folyamán. A dissectiók elvégzéséhez standard mikrosebészeti eszközöket használtunk (fúró, csontfogó, olló és disszektor). A preparálás lupenagyítás vagy MKM sebészi robotmikroszkóp segítségével történt. A robotmikroszkóp (Zeiss MKM carrier with OPMI neurosurgical microscope, Carl Zeiss Surgical, Inc.) optikájához két digitális fényképezőgépet (EOS D60 Canon, Inc., Tokyo, Japan) illesztettünk, melyekkel nagyfelbontású felvételeket készítettünk (**1. ábra**). Távvezérléssel a kamerák egy időben készítették felvételeket a bal és a jobb szemlencsén keresztül. A fényképek további feldolgozását számítógépes munkaállomáson valósítottuk meg.

Minden dissectiók fázist követően a robotmikroszkópot a preparátum felett előre meghatározott gömbfelszín cikkelye mentén mozgattuk úgy, hogy annak mozgatása során a fókuszpont és a fókusz távolság ne változzon. A berendezés fókuszpontjának és egyben forgatási középpontjának a hypophysis területét választottuk. A beállítás eredményeképpen a fényképek a kijelölt forgási középpont körül készültek egy gömbpalást mentén. A Mayfield-fejtartó biztosította, hogy a preparátumok rögzített helyzetben maradjanak az egész folyamat során. Az eljárás eredményeképpen előállított többretegű

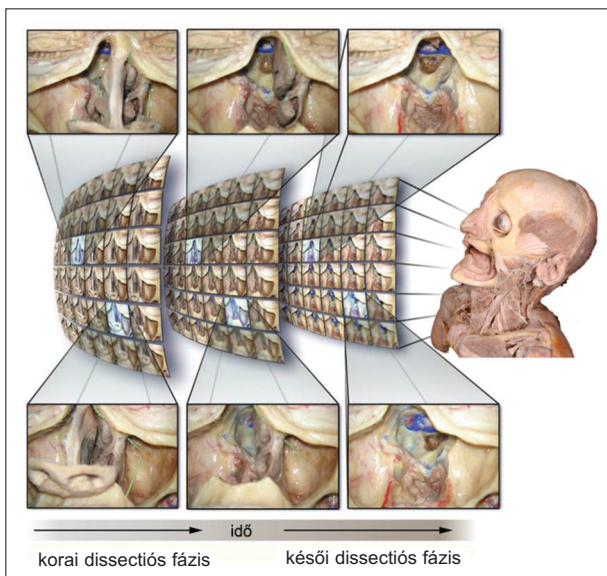


1. ábra. A robotmikroszkóp és a fejtartóban rögzített fej látható. A preparátum képei a kijelölt forgási középpont (hypophysis) körül készültek gömbpalástcikkely mentén



3. ábra. A jobb oldali frontotemporalis, Sylvius-árkon keresztüli feltárás csontablakán a kisszárny csontos részének elfűrése után elénk táruló kép. Jól látható a temporolateralis és frontolateralis agyi eltartó helyzete és az általuk létrehozott munkacsatorna

N.o.: nervus opticus (jobb oldali), A.c.i.: arteria carotis interna (jobb oldali), N.o.c.: nervus oculomotorius (jobb oldali)



2. ábra. A többrétegű képrács-rekonstrukciós eljárás elvét magyarázó ábra. A dissectio folyamán a felvételek gömbpalást mentén készülnek a robotmikroszkóp segítségével ugyanabban a térhelyzetben és irányultságból a boncolás más és más szakaszában

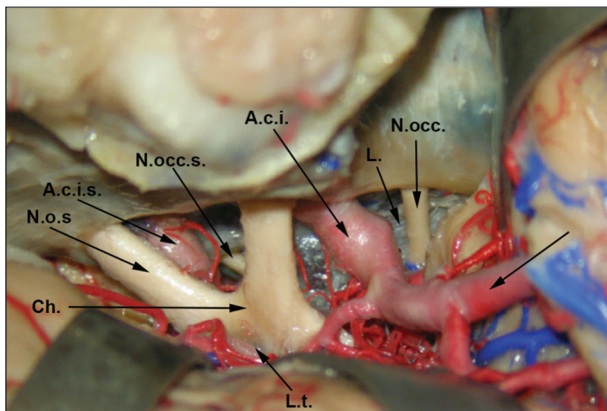
képrácsszerkezet felvételei ugyanaból a szögből, de a boncolás különböző stádiumaiban készültek (2. ábra). A számítógépes programban ezek között a stádiumok között rétegváltással barangolhat a felhasználó a boncolás élményét szimulálva.

A felvételeket négydimenziós interaktív modulba rendeztük az általunk kifejlesztett MIGRT számítógépes program segítségével. A képernyőn a preparátum elforgathatóvá, különböző szögekből és különböző boncolási stádiumokban megtekinthetővé vált.

A formalinfixált szövetek boncolásán keresztül bemutatott folyamat nem feltétlenül csak a műtéti lépéseket mutatja be, hanem az agyalap komplex anatómiáját is (például a musculus temporalis átvágása a retrakció helyett vagy a nervus opticus átvágása az arteria basilaris látótérbe hozása céljából).

A FRONTOTEMPORALIS TRANSSYLVIAN FELTÁRÁS ELKÉSZÍTÉSE

Bőrmetszés után a fül tragusa előtt első lépésben azonosítottuk a nervus facialis, a nervus auriculotemporalis és az arteria temporalis superficialis. A musculus temporalis eltávolításával szabaddá tettük az os temporale pars squamosáját és a pteriont. A pterion körül frontotemporalis csontablakot készítettünk, melyen keresztül láthatóvá vált a Sylvius-árkot borító duraréteg, valamint az os sphenoidale kis szárnyának íve. A kemény agyhártya eltávolítása után, az arachnoidealis réteg megnyitásával, valamint a frontális és temporalis lebenyek gyengéd szétválasztásával látótérbe hoztuk a processus clinoides anterior és a jobb oldali arteria carotis internát (3. ábra). Következő lépésben a szubfrontális képletek gyengéd eltartása után a jobb nervus opticus és a Sylvius-árkokban elhelyezkedő arteria cerebri media főtrözsét és másodlagos ágait mutatuk be. A Sylvius-árkok kiterjesztett megnyitásával már az arteria cerebri media főtrözsze és az arteria carotis interna supraclinoidalis szakasza is láthatóvá vált. A Sylvius-árkok arachnoidealis rétegének további oldásával és a temporopolaris képletek eltartása után kiterjedt panorámát sikerült kialakítanunk a koponyabázison. Ebben a stádiumban az



4. ábra. A Sylvius-árok teljes feltárásával és az agyi lapocok mélybe helyeződésével széles rálátás nyílik a koponyabázis képleteire, ahogyan az műtét alatt, jobb oldali frontális beállításban mutatkozik

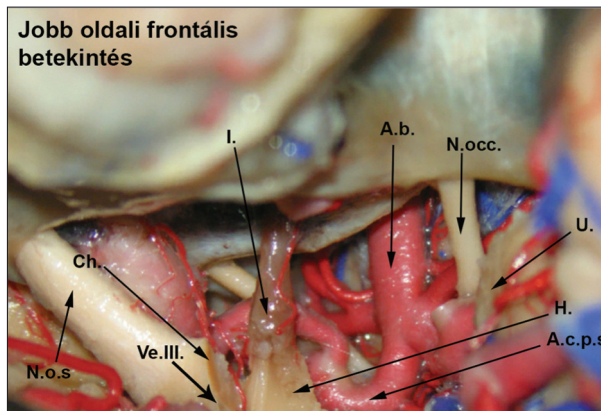
A.c.i.s.: arteria carotis interna sinistra, N.o.s.: nervus opticus sinister, N.occ.s.: nervus oculomotorius sinister, Ch.: chiasma opticum, L.t.: lamina terminalis, L.: Lilliequist-membrán, N.occ.: nervus oculomotorius (jobb oldali), A.c.i.: arteria carotis interna (jobb oldali)

alábbi struktúrák váltak láthatóvá: az azonos oldali arteria carotis interna bifurcatiója, arteria cerebri anterior, arteria cerebri media, mindkét nervus opticus, interopticus tér, chiasma opticum, lamina terminalis, arteria communicans anterior, mindkét oldali nervus oculomotorius és a Lilliequist-membrán (a cisterna interpeduncularis és cisterna chiasmatis közti határolómembrán) (**4. ábra**). A következőkben nem sebészi lépések segítségével célunk a régióban elhelyezkedő (rutin sebészeti beavatkozások során takarásban lévő) képletek feltárása volt. Az azonos oldali arteria carotis interna eltávolításával az arteria chorioidea anterior eredését és a két arteria communicans posteriort tettük láthatóvá. A két artéria perforátor ágrendszerének kiirtásával az arteria basilaris csúcsát és a fossa interpeduncularis elülső részét mutattuk meg. Végül a jobb oldali nervus opticus átvágásával a hypophysis nyelét az arteria hypophysealis superiorral, és a harmadik agykamrát is feltártuk (**5. ábra**).

Eredmények

A FRONTOTEMPORALIS, TRANSSYLVIAN FELTÁRÁS SZIMULÁTORA

A többrétegű képrács-rekonstrukciós eljárás segítségével létrehoztuk a frontotemporalis, transsylvian feltárás interaktív térhatást biztosító neuroanatómiai szimulátorát. Az eljárásunk segítségével olyan virtuális környezetet hoztunk létre, melyben az agyalap frontotemporalis, Sylvius-árkon keresztül történő megköze-



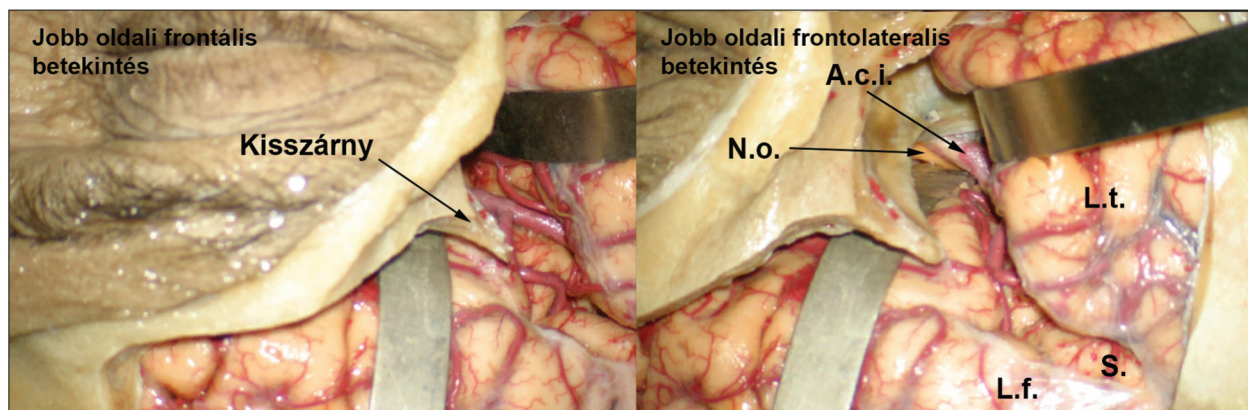
5. ábra. A jobb oldali nervus opticus, arteria chorioidea anterior és arteria communicans posterior perforátor ágrendszerének eltávolítása utáni kép

Ve.III.: ventriculus tertius, I.: infundibulum, A.b.: arteria basilaris, U.: uncus (jobb oldal), A.c.p.s.: arteria cerebri posterior sinister, H.: hypothalamus, Ch.: chiasma opticum, N.occ.: nervus oculomotorius (jobb oldali), N.o.s.: nervus opticus sinister

lítése modellezhető. A virtuális környezetben a preparátum a számítógépes program segítségével szabadon forgatható, virtuálisan boncolható, a rejtett anatómiai képletek látótérbe hozhatóak, tanulmányozható térbeli elhelyezkedésük és egymáshoz való viszonyuk. A szemléltető- és oktatóeszköz lehetőséget teremt fontos preoperatív tervezési feladatok tanulmányozására, mint például a beteg fejhelyzetének pontos beállítása és annak vizsgálata, hogy az milyen hatást gyakorol a megközelíteni kívánt anatómiai régió láthatóságára. További fontos szimulációs gyakorlati feladat a mély agyi struktúrák eléréséhez szükséges sebészi útvonal megtervezése és az ehhez szükséges műtéti lépések modellezése. A szimulációs modul segítségével a preparátum a legkülönbözőbb műtéti látószögbe forgatható, így a takarásban lévő anatómiai struktúrák megjeleníthetőek, regionális anatómiai viszonyaik tanulmányozhatóak. A rétegváltás technikájával műtéti lépések, mint például az agy eltartásának vagy a csontelemek eltávolításának szükséges pontos helye és mértéke, de akár a neuroanatómiai dissectio folyamata is rekonstruálható. Az anatómiai rétegek eltávolításával a feltárásból elérhető anatómiai struktúrák viszonya és helyzete vizsgálható.

Megbeszélés

Az idegsebészeti képzés színvonalát számos tényező befolyásolja napjainkban. A technikai lehetőségek, a gazdasági fejlettség, kulturális korlátok (az arab világban a boncolás tiltott) mind határt szabhatnak hatékony és modern képzési modalitásokhoz való



6. ábra. A frontotemporalis, Sylvius-árkon keresztüli feltárás elforgatott (rotációs) szimulációja. Jól látható, hogy amint a preparátumot a frontotemporalis irányba állítjuk, az ékcsont kisszárnnyának csaknem teljes terjedelme látótérbe kerül, továbbá a jobb oldali nervus opticus és arteria carotis interna is látható a mélyben. A szimulációval jól megmutatható a beteg fejhelyzetének műtét előtti beállítása a carotis opticus vidék környékére centrált feltárás esetén

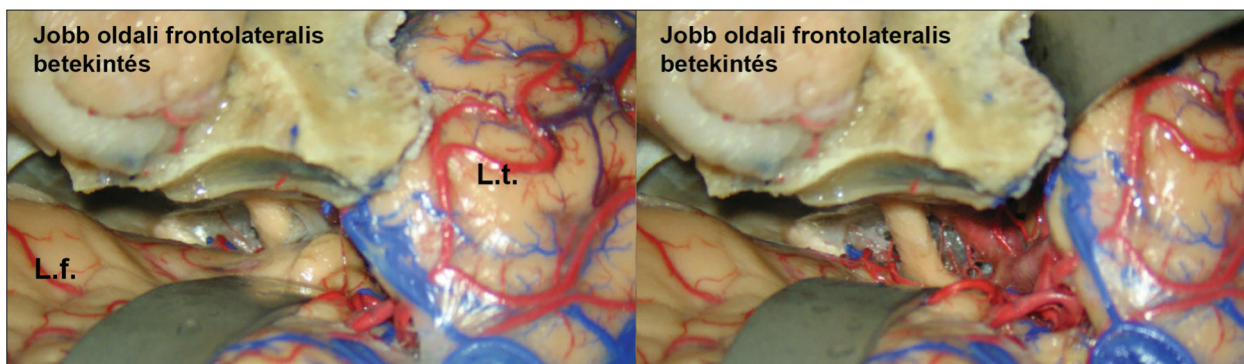
A.c.i.: arteria carotis interna, N.o.: nervus opticus, S: Sylvius-árok, L.t.: temporalis lebeny, L.f.: frontális lebeny

hozzáféréshez¹⁹. A sebészi manőverek betanítása, a műtét tervezése és kivitelezése alapos felkészülést igényel a hibák minimális szinten történő tartása céljából^{20, 21}. A boncoláshoz való hozzáférhetőség korlátozottsága miatt a sebészképzésben fokozott az igény olyan alternatív módszerek és oktatóeszközök iránt, melyek segítséget nyújthatnak az indikáció felállításában és a műtét eszköztár és eljárások helyes megválasztásában²². Erre a célra számos számítástechnikai alkalmazást, szimulációs programot²³, virtuális endoszkópiát^{24, 25}, képrekonstrukciós eljárást fejlesztettek már ki^{26, 27}. Miután a boncoláshoz való hozzáférést számos tényező akadályozza, ezért ez a képzési modalitás rutinszerűen nem terjedt el a sebészképzésben²⁸. Nem véletlen, hogy a modern képkalkító technikák elterjedésével egyre nagyobb igény mutatkozik élethű szimulációs környezetet bemutató számítástechnikai programokra²⁹. A szimulációk segíthetnek komplex anatómiai régiók érthetőbb bemutatásában és az optimális sebészi feltárás kiválasztásában³⁰. A vélemények és tapasztalatok eddig alapvetően kedvezőek^{22, 29}, de egyértelmű, hogy a programokban további szerkezeti és megjelenésbeli módosítások szükségesek. Csak ezek tökéletesítése, objektív értékelése és validálása után válhatnak a képzés teljes részévé^{19, 29, 31}.

A QVTR program¹⁰⁻¹² háromdimenziós környezetben képes megjeleníteni az anatómiai preparátumokat, hátránya hogy nem képes bemutatni a boncolás folyamatát. A probléma megoldását a többretegű képrács rekonstrukciós eljárás (MIGRT) kifejlesztése jelentette, mely a ma elérhető legteljesebb interakciót és valóság-hű szimulációt kínálja. Célunk olyan – térhatást is biztosító – idegsebésze-

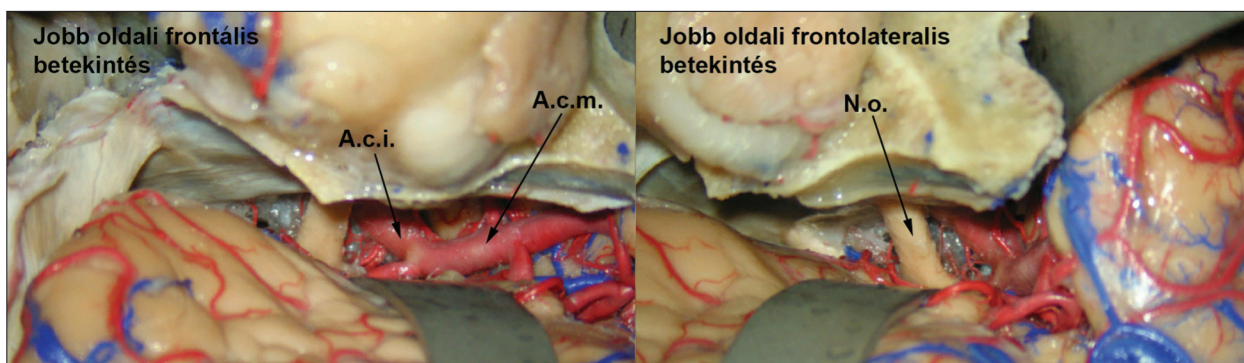
ti szimulátor kifejlesztése volt, mely segítséget nyújt a frontotemporalis feltárás műteti előkészítése során oly fontos optimális fejtartás beállításának vizsgálatára és egyben képes bemutatni azokat a műteti lépéseket (például csontelvétele vagy megfelelő agyi eltartó pozicionálás), melyek szükségesek mély struktúrák feltárásához és a műtét későbbi szakaszában látótérbe hozásukhoz.

A frontotemporalis feltárás az egyik leggyakrabban használt koponyamegnyitás az idegsebészeti gyakorlatban. A szimulációkban rétegváltással szemléltetjük a feltáráshoz szükséges bőrmetszés pontos helyét és vonalvezetését a nervus facialis és nervus auriculotemporalis elkerülése érdekében. A szimulációs modulban ugyancsak rétegváltással mutatható be, hogyan fedhető fel a musculus temporalis eltartásával a frontotemporalis régió csontfelszíne és hogyan tehető láthatóvá a pterion, amely fontos tájékozódási pont a csontablak kialakítása során. A következő rétegek váltásával a dissectio egymás után következő fázisait rekonstruáltuk és bemutattuk, hogy a frontotemporalis csontablak méretének és helyzetének kialakításával a Sylvius-árok megközelítése hogyan modellezhető. A csontablak orbitozigomatikus csontelvételel történő kiterjesztésével megmutattuk, hogy bár az orbita felső, laterális részében elhelyezkedő laesiók megközelíthetőek, de ennek a kiterjesztésnek nincs számottevő hozadéka az arteria carotis interna és nervus opticus vidékére célzott munkacsatorna kialakításában. Jól szemléltethető, hogy a munkacsatorna szignifikánsan nem nő, így annak eltávolítása nem szükséges a carotis opticus régió eléréséhez. Szemléltettük továbbá, hogy a frontolateralis és



7. ábra. A felvételpár az azonos, jobb oldali frontolateralis irányú betekintésből mutatja a carotis opticus szöglet vidékét, amint rétegváltással a Sylvius-árok széles megnyitását, a frontolateralis lapoc mélyebbre helyezését és a gyurus rectus eltartásának eredményét modellezzük. A manőverek hatására feltárul a koponyabázis

L.f.: Lobus frontalis, L.t.: Lobus temporalis



8. ábra. A felvételpár a koponyabázis feltárásának állapotában végzett elforgatás frontális és frontolateralis betekintése által nyújtott képet mutatja. A beteg fejhelyzetének frontális irányú beállítása jobb rálátást biztosít a Sylvius-árok mélyebb régiójában elhelyezkedő arteria cerebri media főtrzsére és a temporo-medialis struktúrákra

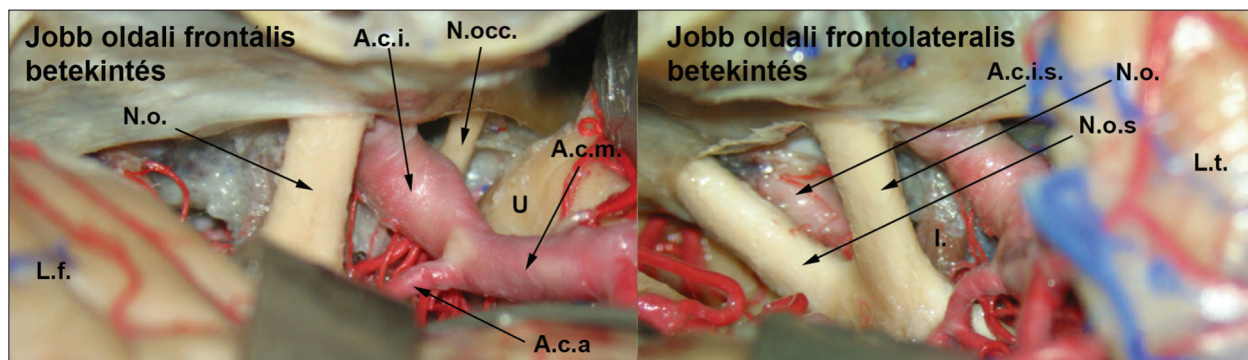
A.c.i.: arteria carotis interna (jobb oldal), A.c.m.: arteria cerebri media (jobb oldal), N.o.: nervus opticus (jobb oldal)

temporopolaris állomány eltartása – mely rétegváltással jól szemléltethető – hogyan segíti a munkacsatorna kialakítását és az ebben a rétegben történő elforgatás hogyan segít látótérbe hozni az ékcsonk kis szárnyának csaknem teljes terjedelmét (**6. ábra**).

A preparátum frontális irányú beállításában rétegváltással a frontális lebeny gyengéd elemelésének hatása rekonstruálható, ahonnan vizsgálhatóak a jobb oldali nervus opticus, az arachnoideával fedett Sylvius-árok és a benne helyet foglaló érképletek (**7. ábra**). A frontális agyi eltartás fokozásával és az arachnoidealis réteg további megnyitásával (melyet rétegváltással tudunk megvalósítani) a Sylvius-árok szélesebb feltárása mutatható be. Ebben a stádiumban a preparátum forgatásával az arteria cerebri media főtrzsének és másodlagos ágainak, valamint az interoptikális tér láthatósága vizsgálható mind frontolateralis, mind frontális irányokból (**8. ábra**). A következő lépésben a frontális és temporalis lebeny eltartásának fokozásával az

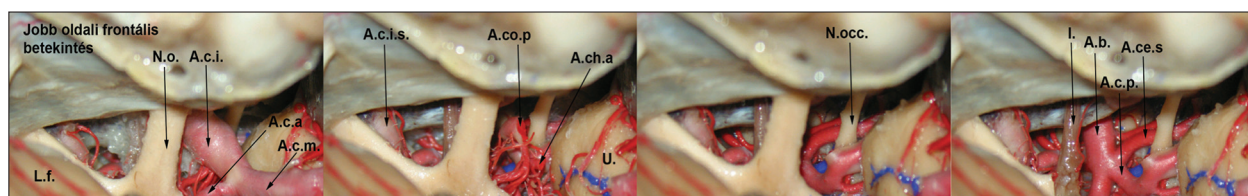
agyalap jelentős részét tettük láthatóvá. Ebben a stádiumban az elforgatás, a nézőpont frontális vagy frontolateralis változtatása különösen sok információt szolgáltat a helyes fejbeállításról. A frontolateralis beállításban az arteria carotis interna, a lamina terminalis, a hypophysisnyél, a contralateralis nervus oculomotorius és mindkét nervus opticus látszik. Az elforgatás által nyújtott előny jól szemléltethető, ahogyan a fejpozíció változtatásával a hypophysisnyél is láthatóvá tehető, mely frontális fejbeállítás során a jobb oldali nervus opticus takarásában helyezkedik el a régió műtéti megközelítése során. A preparátum frontális irányú forgatása esetén az uncusra, az arteria cerebri media főtrzsére és az azonos oldali nervus oculomotoriusra nyílik jobb rálátás (**9. ábra**).

A boncolás további szakaszában nem műtéti lépéseket modelleztünk, hanem a régió fontos neuroanatómiai kapcsolatait kívántuk bemutatni az elforgatás és rétegváltás adta lehetőségen keresztül. Az azonos oldali arteria carotis interna eltávolításá-



9. ábra. A felvételpár a Sylvius-árok megnyitását és az agyi eltartók behelyezését követően elénk táruló panorámát és ebben a fázisban végzett elforgatás adta lehetőséget demonstrálja. A frontális fejbeállításnál a nervus opticus síkjától laterálisan elhelyezkedő struktúrák, míg frontolateralis beállítás esetén a hypophysisnyél és a két nervus opticus közötti és feletti tér hozható látótérbe

N.o.: nervus opticus, N.occ.: nervus oculomotorius, A.c.i.: arteria carotis interna, A.c.m.: arteria cerebri media, U.: uncus, A.c.a.: arteria cerebri anterior, A.c.i.s.: arteria carotis interna sinistra, L.f.: lobus frontalis, L.t.: lobus temporalis, N.o.s.: nervus opticus sinister



10. ábra. A frontotemporalis, Sylvius-árkon keresztüli feltárás mély struktúráinak diszeccióját, eltávolítását és az arteria basilaris látótérbe hozását rétegváltások képsorozata modellezi

L.f.: lobus frontalis, N.o.: nervus opticus (jobb oldali), A.c.i.: arteria carotis interna (jobb oldali), A.c.a.: arteria cerebri anterior (jobb oldali), A.c.m.: arteria cerebri media (jobb oldali), A.c.i.s.: Arteria carotis interna sinistra, A.co.p.: arteria communicans posterior, A.ch.a.: arteria chorioidea anterior (jobb oldali), U.: uncus, N. occ.: nervus oculomotorius (jobb oldali), I.: infundibulum, A.b.: arteria basilaris, A.ce.s.: arteria cerebelli superior (jobb oldali), A.c.p.: arteria cerebri posterior (jobb oldali)

val – mely rétegváltással szimulálható – az arteria chorioidea anterior és az arteria communicans posterior eredését kívántuk bemutatni az arteria carotis interna hátsó falán, mely rutin műtéti beavatkozások során nem kerül látótérbe. Újabb rétegváltással a két utóbbi artéria perforátor ágrendszerének eltávolításával széles rálátást nyerhetünk az arteria basilaris csúcsára. Ebben a stádiumban a fej frontolateralis irányba történő forgatásával jól bemutatható, hogy az azonos oldali nervus opticus takaró hatása megszűnik és az arteria basilaris csúcsa jól láthatóvá válik. Ekkor mindkét nervus oculomotorius, mindkét arteria cerebelli superior és mindkét arteria cerebri posterior proximális eredése is látható. Végezetül az azonos oldali nervus opticus eltávolításával a harmadik agykamrát, a chiasma opticumot, a hypophysis nyelét és az arteria hypophysialis superiorit tettük láthatóvá (10. ábra).

A többrétegű képrács-rekonstrukciós eljárás képanyaga kizárólag fotográfián alapszik a művi hatást keltő animált tartalommal szemben. A szoftver segítségével a felhasználó virtuálisan „kézbe

veheti” a preparátumot és reprodukálhatja a boncolás fázisait. A felhasználó könnyen kezelhető környezetben frissítheti fel ismereteit, tekintheti át egy-egy komplex anatómiai régió szerkezetét és gyakorolhat műtéti lépéseket.

Célunk a szimulációs modul létrehozásával az anatómiai struktúrák, a műtéti feltárás és műfogások szemléltetése volt a térhatás, a kiforgathatóság és a rétegváltás adta lehetőségeken keresztül, és bemutattuk a képrekonstrukciós eljárás előnyeit is.

Következtetés

A szimulált cadaver boncolások interaktív, többdimenziós rekonstrukciója lehetőséget nyújt műtéti lépések, műfogások gyakorlására, elsajátítására. Az agyalap frontotemporalis, Sylvius-árkon keresztül történő megközelítésének példáján bemutattuk a szimulációs program gyakorlati alkalmazását. A szimulátor segítséget nyújt a műtét előtti fejpozíci-

ós megválasztás vizsgálatában és általa tanulmányozható a fejpozíció-beállítás mély agyi struktúrák – a feltárás során várható – láthatóságára kifejtett hatása. Az oktatóeszköz lehetőséget nyújt mély

agy struktúrák megközelítéséhez szükséges műtéti műfogások tanulmányozására, így az idegsebészeti képzés és műtéti tervezés hatékony eszközévé válhat.

IRODALOM

1. Drake RL. A retrospective and prospective look at medical education in the United States: trends shaping anatomical sciences education. *J Anat* 2013 Apr 19. doi: 10.1111/joa.12054. [Epub ahead of print]
2. McColgan P, McKeown PP, Selai C, Doherty-Allan R, McCarron MO. Educational interventions in neurology: a comprehensive systematic review. *Eur J Neurol* 2013 Mar 29. doi: 10.1111/ene.12144. [Epub ahead of print]
3. Older J. Anatomy: a must for teaching the next generation. *Surgeon* 2004;2(2):79-90.
4. Blaschko SD, Brooks MH, Dhuy MS, Charest-Shell C, Clayman RV, McDougall EM. Coordinated multiple cadaver use for minimally invasive surgical training *JLSLS* 2007;11(4):403-7.
5. Azer SA, Eizenberg N. Do we need dissection in an integrated problem-based learning medical course? Perceptions of first- and second-year students. *Surg Radiol Anat* 2007;29(2):173-80.
6. Battulga B, Konishi T, Tamura Y, Moriguchi H. The effectiveness of an interactive 3-dimensional computer graphics model for medical education. *Interact J Med Res* 2012; 1(2):e2.
7. Oishi M, Fukuda M, Hiraishi T, Yajima N, Sato Y, Fujii Y. Interactive virtual simulation using a 3D computer graphics model for microvascular decompression surgery. *J Neurosurg* 2012;117(3):555-65.
8. Olsson P, Nysjö F, Hirsch JM, Carlbom IB. A haptics-assisted cranio-maxillofacial surgery planning system for restoring skeletal anatomy in complex trauma cases. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2013 Apr 21. [Epub ahead of print]
9. Luciano CJ, Banerjee PP, Sorenson JM, Foley KT, Ansari SA, Rizzi S, et al. Percutaneous spinal fixation simulation with virtual reality and haptics. *Neurosurgery* 2013;72 (Suppl 1):89-96.
10. Nieder GL, Nagy F, Wagner LA. Preserving and sharing examples of anatomical variation and developmental anomalies via photorealistic virtual reality. *Anat Rec B New Anat* 2004;276:15-8.
11. Balogh A, Preul MC, Schornak M, Hickman M, Spetzler RF. Intraoperative stereoscopic QuickTime Virtual Reality. *J Neurosurg.* 2004;100(4):591-6.
12. Trelease RB, Nieder GL, Dørup J, Hansen MS. Going virtual with quicktime VR: new methods and standardized tools for interactive dynamic visualization of anatomical structures. *Anat Rec* 2000;261(2):64-77.
13. Balogh AA, Preul MC, László K, Schornak M, Hickman M, Deshmukh P, et al. Multilayer image grid reconstruction technology: four-dimensional interactive image reconstruction of microsurgical neuroanatomic dissections. *Neurosurgery* 2006;58(1 Suppl):ONS157-65.
14. Schwartz MS, Anderson GJ, Horgan MA, Kellogg JX, McMenomey SO, Delashaw JB Jr. Quantification of increased exposure resulting from orbital rim and orbitozygomatic osteotomy via the frontotemporal transsylvian approach. *J Neurosurg* 1999;91(6):1020-6.
15. Li ST, Zhong J. Surgery for mesencephalic cavernoma: case report. *Surg Neurol* 2007;67(4):413-7.
16. Fujiwara K, Saito K, Ebina T. Saccular aneurysm of the accessory middle cerebral artery—case report. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2003;43(1):31-4.
17. Mizoi K, Yoshimoto T, Nagamine Y, Takahashi A, Ezura M. Surgical removal of giant basal ganglia arteriovenous malformations through the extended transsylvian approach following preoperative embolization—two case reports. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 1995;35(12):869-75.
18. Taha JM, Tew JM Jr, van Loveren HR, Keller JT, el-Kalliny M. Comparison of conventional and skull base surgical approaches for the excision of trigeminal neurinomas. *J Neurosurg.* 1995;82(5):719-25.
19. Marcus H, Vakharia V, Kirkman MA, Murphy M, Nandi D. Practice makes perfect? The role of simulation-based deliberate practice and script-based mental rehearsal in the acquisition and maintenance of operative neurosurgical skills. *Neurosurgery* 2013;72(Suppl 1):124-30.
20. Alaraj A, Charbel FT, Birk D, Tobin M, Luciano C, Banerjee PP, et al. Role of cranial and spinal virtual and augmented reality simulation using immersive touch modules in neurosurgical training. *Neurosurgery* 2013;72 (Suppl 1):115-23.
21. Chan S, Conti F, Salisbury K, Blevins NH. Virtual reality simulation in neurosurgery: technologies and evolution. *Neurosurgery* 2013;72 Suppl 1:154-64.
22. Haji FA, Dubrowski A, Drake J, de Ribaupierre S. Needs assessment for simulation training in neuroendoscopy: a Canadian national survey. *J Neurosurg* 2013;118(2):250-7.
23. Aboud E, Al-Mefty O, Yaşargil MG. New laboratory model for neurosurgical training that simulates live surgery. *J Neurosurg* 2002;97(6):1367-72.
24. Auer LM, Auer DP. Virtual endoscopy for planning and simulation of minimally invasive neurosurgery. *Neurosurgery* 1998;43:529-37.
25. Neubauer A, Wolfsberger S. Virtual endoscopy in neurosurgery: a review. *Neurosurgery* 2013;72(Suppl 1):97-106.
26. Gorman PJ, Meier AH, Krummel TM. Simulation and virtual reality in surgical education: Real or unreal? *Arch Surg* 1999;134:1203-8.
27. Kockro RA, Serra L, Tseng-Tsai Y, Chan C, Yih-Yian S, Gim-Guan C, et al. Planning and simulation of neurosurgery in a virtual reality environment. *Neurosurgery* 2000;46:118-5.
28. Wong K, Stewart F. Competency-based training of basic surgical trainees using human cadavers. *Anz J Surg* 2004; 74:639-42.
29. Ganju A, Aoun SG, Daou MR, El Ahmadiéh TY, Chang A, Wang L, et al. The role of simulation in neurosurgical education: a survey of 99 united states neurosurgery program directors. *World Neurosurg* 2012 Nov 24. pii: S1878-8750(12)01366-6. doi: 10.1016/j.wneu.2012.11.066. [Epub ahead of print]
30. Oishi M, Fukuda M, Yajima N, Yoshida K, Takahashi M, Hiraishi T, et al. Interactive presurgical simulation applying advanced 3D imaging and modeling techniques for skull base and deep tumors. *J Neurosurg* 2013 Apr 12. [Epub ahead of print]
31. Choudhury N, Gélinas-Phaneuf N, Delorme S, Del Maestro R. Fundamentals of neurosurgery: virtual reality tasks for training and evaluation of technical skills. *World Neurosurg* 2012 Nov 23. pii: S1878-8750(12)01359-9. doi: 10.1016/j.wneu.2012.08.022. [Epub ahead of print]