# Szimulált idegsebészeti eljárások interaktív térhatású megjelenítése

Doktori értekezés

# Dr. Balogh Attila

Semmelweis Egyetem Szentágothai János Idegtudományi Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Banczerowski Péter, PhD, c. egyetemi tanár

Hivatalos bírálók: Dr. Ertsey Csaba, PhD, egyetemi adjunktus Dr. Büki András, MTA Doktora, egyetemi tanár

Szigorlati bizottság elnöke:	Dr. Csillag András, MTA Doktora, egyetemi tanár
Szigorlati bizottság tagjai:	Dr. Arányi Zsuzsanna, PhD, egyetemi docens
	Dr. Szeifert György, PhD, főorvos, egyetemi
	magántanár

Budapest 2015

# Tartalomjegyzék

1	Beveze	tés	4
	1.1 A k	ooncolás rövid története	4
	1.2 Szemléltető eszközök		6
	1.3 Szi	muláció és a mikrosebészeti gyakorlatok jelentősége	7
	1.4 Újs	szerű, komputer alapú oktatószközök, a szimulátorok	9
	1.4.1	Bonctani videók	11
	1.4.2	Animációk	11
	1.4.3	Volumetrikus képalkotó eljárások	12
	1.4.4	A Visible Human Project	13
	1.5 For	tográfiás interaktív képrekonstrukció (MKM-QTVR rendszer)	14
	1.5.1	A képrács rekonstrukció	16
	1.5.2	Az MKM-QTVR eljárás alkalmazásai	20
	1.5.3	Az MKM-QTVR eljárás hiányosságai	21
	1.6 Az	idegsebészeti műtéttan, mint a szimuláció tárgya	21
	1.6.1	A beteg pozícionálásának szempontjai	22
	1.6.2	A behatolási irány, a munkacsatorna és a munkaterület kapcsolata	22
	1.6.3	A feltárás	23
	1.6.4	Az agyeltartás és a minimál invazivitás	24
	1.6.5	Rezekció és vérzéscsillapítás	24
	1.6.6	Rekonstrukció	25
2	Cálkití	zásoly	26
4	Clikiti	[2/5/K	20
3	Módsz	er	27
	3.1 A	preparátumok elkészítése	27
	3.1.1	A preparátum elmozdulásmentes rögzítése és beállítása	27
	3.2 A	Dásztázás	30
	3.3 Tö	bbrétegű képrács rekonstrukció	33
	3.4 Pro	eparációs eszközök és a disszekció	34
	3.5 Az	orbitozygomatikus feltárás szimulációs moduljának elkészítése	35
	3.5.1	A preparátum beállítása	35
	3.5.2	Az MKM és a képrács beállításai	35
	3.5.3	A disszekció	35
	3.6 A f	ossa interpeduncularis szimulációs moduljának elkészítése	46
	3.6.1	A preperátum beállítása	46
	3.6.2	Az MKM és a képrács beállításai	47
	3.6.3	A disszekció	47
	3.7 A sinus cavernosus és a selláris régió szimulációs moduljának elkészítése 55		
	3.7.1	A preparátum beállítása	55

	3.7.3 A disszekció	56
4	Eredmények	64
4	Az elforgatás és a térélmény	64
4	A rétegváltás mint a disszekció szimulációja	65
4	Az orbitozygomatikus feltárás szimulációs vizsgálata	65
4	A fossa interpeduncularis szimulációs vizsgálata	70
4	A sinus cavernosus és a sella vidékének szimulációs vizsgálata	76
5	Megbeszélés	79
6	Következtetések	90
7	Összefoglalás	91
8	Summary	92
9	Irodalom	93
10	Saját publikációk jegyzéke	101
1	0.1 Disszertációhoz kapcsolódó közlemények	101
1	0.2 Egyéb közlemények	101
11	Köszönetnyilvánítás	103

# 1 Bevezetés

## 1.1 A boncolás rövid története

Az anatómia iránti érdeklődés már az ókorban is megmutatkozott. A kínai Huang Ti (Kr.e.2600 körül) vagy Hippokratész (Kr.e.460-Kr.e.377) boncolás nélkül jegyezte le megfigyeléseiket. Ennek megfelelően ismereteik súlyos tévedéseken alapultak.

A görög Herophilosz volt az első orvos, aki embert boncolt Kr.e. 300 körül, Alexandriában. Kiválóan ismerte az ideg- és érrendszert, a szem felépítését, a látóidegeket, a májat, a szívet valamint az ivarszerveket. Kollégája és feltehetően riválisa, Eraszisztratosz (Kr.e.280 körül) közvetlenül a halál beállta után végzett boncolásokat a halál okának megállapítása céljából. Ő tehát joggal tekinthető az első kórboncnoknak (1).

A római jog kifejezetten tiltotta a boncolást. (2) Galen állatkísérletek alapján próbált következtetéseket levonni az emberi test felépítésére vonatkozóan. Még a keresztény Európában is csak a 13. századtól kezdve maradtak fent feljegyzések (3-6) boncolásokról.

A legrészletesebb anatómiai leírások, illusztrációk azonban a reneszánsz idejéből származnak. (1. Ábra)



1. Ábra: The Anatomy Lesson of Dr Nicolaes Tulp. Rembrandt, 1632.

A reneszánsz kezdetén jelentek meg eleinte illusztráció nélküli (Mondino dei Luzzi:1 Anathomia, 1316), majd két évszázad később már ábrákkal kiegészített művek (Leonardo da Vinci, Andreas Vesalius, William Harvey, Théophile Bonet). Történetkutatások alapján ebben az időben a boncolás elterjedésében jelentős szerepet játszott a keresztény egyház, egy új vallási és kultúrális nézet kialakításával, mely szerint az emberi test nem volt többé szent és sérthetetlen.

A 13.-14. századtól kezdődően egyre több európai állam engedélyezte a boncolást, többnyire kivégzett bűnözök tetemén, kizárólag oktatási céllal. Az első nyilvános boncolást Mondino de Liuzzi végezte 1315 környékén. A legpontosabb leírások azonban Vesaliustól származnak a 16. századból.

A középkori Angliában a boncolást a 16. századig tiltották. A király csak egy szűk sebészcsoport számára biztosított előjogokat (Murder Act 1751), mely értelmében évi tíz alkalommal végezhettek boncolásokat, kivégzett bűnözők tetemén. (3)

A 19. században az ovosi egyetemek számának növekedésével az oktatási célra elérhető tetemek száma kevésnek bizonyult. A kadaver iránti igény oly mértékben nőtt, hogy a szervekkel történő illegális kereskedés is megindult. Szervcsempészek és tolvajok tevékenysége egész "üzletággá" nőtte ki magát. Ennek egyik legszélsőségesebb eredményeképpen, Angliában 1827-28 között, 17 embert gyilkoltak meg, szerveiket anatómusok számára értékesítették. A nyilvános felháborodás miatt és a jelentős "igény" kielégítése céljából vezették be 1832-ben az Anatomy Act elnevezésű törvényt, mely lehetővé tette engedéllyel rendelkező oktatók számára a boncolást az erre a célra felajánlott tetemeken. (7)

A 20. századra a kórboncolás az orvosképzés és a klinikai gyakorlat mindennapos részévé vált. A legtöbb egyetemen, hetente több órában tartanak kötelező bonctermi gyakorlatokat, melyek során a hallgatók számára lehetőség nyílik, többnyire előadások és könyvek segítségével felépített anatómiai modell, valós viszonyokkal történő összevetésére.

A bonctermek "fenntarthatósága" azonban kihívás elé állítja az intézeteket világszerte. A felajánlások száma, a tetemek tárolásának és kezelésének költségei gátat szabnak az oktatás e modalitásának széleskörű alkalmazásának.

# 1.2 Szemléltető eszközök

A nehéz elérhetőség ellenére a boncolás az anatómia és a sebészeti műtéttan oktatásának etalonja maradt. (8) A boncolás során szerzett élmény pótolhatatlan. A szöveti konzisztencia megismerése, a mikrosebészeti preparáció elsajátításaa műtétek elvégzésén kívűl más módon nem lehetséges. A boncolás kiváltására alkalmas szemléltető-szimulációs eszközt egyelőre nem fejlesztettek ki.

Az anatómia atlaszok mint például a Szentágothai, Sobotta, Netter, Pernkopf, Yokochi talaszok művészi illusztrációkat, fényképeket tartalmaznak (2.Ábra) melyek a bonctermi gyakorlatok és a tentermi előadások mellett az anatómia oktatás másik allappillérét képezik.



2. Ábra: A Szentágothai és a Sobotta atlasz

Bár az anatómiai atlaszok oktatásban betöltött szerepe vitathatatlan, ugyanakkor atlaszokból és a szöveges tankönyvekből változatlanul nagy kihívást jelent megérteni az emberi test térbeli felépítését. A két dimenziós képek térhatást nem nyújtanak a preparátum térbeli szerkezete nehezen vizsgálható interakció hiányában.

## **1.3** Szimuláció és a mikrosebészeti gyakorlatok jelentősége

A mikorsebészet olyan sebészeti eljárások, beavatkozások gyűjtőfogalma, melyek végrehajtásához operációs mikroszkópra vagy optikai nagyításra van szükség. Mikrosebészeti technikát először Svédországban fül-orr-gégészeti kezelések során alkalmaztak. (9,10)

Az operációs mikroszkóp használta gyorsan elterjedt más sebészeti szakmákban is. Az idegsebészetben először Yasargil és munkatársai dolgozták ki az idegsebészeti mikrosebészet technikáit. A hat kötetes "Microneurosurgery" (Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York, 1984–1996) kötet az idegsebészeti mikrosebészeti műtéttan alapjait foglalja össze. A mikrosebészeti neuroanatómia és a legfontosabb idegsebészeti feltárások szemléletes kadaveren szimulált feldolgozása pedig Albert L. Rhoton Jr. nevéhez fűződik (The Congress of Neurological Surgeons: Rhoton's Cranial Anatomy and Surgical Approaches, Illinois - Chicago, 2003).

A boncolás és a kadaveren végzett mikrosebészeti gyakorlat lehetőséget nyújt az anatómiai ismeretanyag frissítésére, komplex feltárások begyakorlására. Az Egyesült Államokban az idegsebészeti szakképzés részét képezi (ahol elérhető!) 2-6 hónapos laboratóriumi mikrosebészeti gyakorlat, melynek során a szakorvos jelöltek feltárásokat szimulálhatnak kadaveren. Komplex gerincműtétek, fúziós eljárások, koponya- és arcrekonstrukciós műtétek, az agykoponya feltárásai jól modellezhetőek kadaveren. A kadaveren végzett szimulált műtéti beavatkozásokkal lehetőség nyílik "kitekintésre", a környező anatómiai viszonyok feltérképezésére, melyre "éles" helyzetben nem nyílik mód. Ezek a kurzusok azonban nehezen hozzáférhetőek és rendkívűl költségesek.

A műtétek biztonságos elvégzéséhez szükséges gyakorlatra, a váratlan helyzetekben elvárható helyes megoldó stratégia kialakítására sok évi klinikai gyakorlattal, műtéti tapasztalattal, megfelelő számú asszisztencia elvégzésével lehet szert tenni.

Az ovosképzésben a tetemen végzett szimulációs gyakorlatok mellett rendelkezésre állnak műtéti szimulátorok is, melyek segítségével a térszerkezet jobban vizsgálható. A szimulátorok segítségével a sebész felkészülhet műtétekre, azok lépéseit és lépések hatását tágabb anatómiai környezetben is megvizsgálhatja. Az újszerű megjelenítő eszközök a beteg számára is szemléletesebben segítenek megértetni az emberi test felépítését és működését, patológiás folyamatok környező szövetekre kifejtett hatását, valamint beavatkozások indokoltságát, műtétek várható kockázatait.

Mindezzel együtt fontos megjegyezni, hogy a klinikai gyakorlat, az elvégezett és "asszisztált" műtétek által nyújtott "biztonság", tapasztalat, szimulációs eszközökkel nem váltható ki, de kétségtelenül ezen eszközök jelentősen hozzájárulhatnak a műtéti technikák elsajátításához és növelik a sebészi kompetenciát. (11) A szimulációs műtétek során olyan környezetet kívánatos teremteni, mely közelít a valós helyzethez. Egy ilyen labor szerves része a műtéti technikák gyakorlásához szükséges mikrosebészeti eszköztár is. (3. Ábra)



3. Ábra: A Barrow Neurológiai Intézetben (Pheonix, USA) felszerelt idegsebészeti szimulációs műtő. A labor felszereltsége vetekszik a műtők színvonalával. Az idegsebészetben használt legfontosabb eszközök, mikrosebészeti csontfúró, (robot)mikroszkóp, műtőasztal és a fejtartó rendelkezésre állnak szimulációs gyakorlatok elvégzéséhez.

A szimulációs műtők elterjedésének gátat szab a tetemhez való hozzáférés, a teljes test felajánlások számának csökkenése, a boncterem fenntartásának, a tetem kezelésének és tárolásának költségei, a felhasználást övező kegyeleti etikai, jogi korlátok.

Ennek megfelelően szimulációs laborok kialakítására csak nagyobb egyetemi központokban nyílik lehetőség. (12) További problémát jelent, hogy a gyakorlatok során felhasznált preparátum a legtöbbször oly károsodást szenved, mely felhasználhatatlanná teszi további gyakorlatok céljára. A fentiek eredményeképpen a bonctermi gyakorlatok zsúfoltak, -sokszor 10-15 hallgató vesz részt egy-egy demonstráción-, rontva a boncolás mint oktatási modalitás hatásfokát.

# 1.4 Újszerű, komputer alapú oktatószközök, a szimulátorok

Egyre több egyetemen a bonctermi gyakorlat egyre inkább háttérbe szorul a fent részletezett nehézségek miatt, melynek következtében megnőtt a kereslet alternatív oktató eszközök iránt. A boncolás és a mikrosebészeti technikák finom manipulációs élményét a hagyományos szemléltető eszközök nem biztosítják. A számítástechnika fejlődésével és az internet gyors elterjedésével, olyan számítógépes programok váltak elérhetővé, melyek az illusztrált atlaszok kétdimenziós világához képest, életszerűbb virtuális élményt képesek létrehozni. A programok segítségével a felhasználó szinte "kézbe veheti" az a szerveket, tanulmányozhatja felépítésüket, műtétek lépéseit gyakorolhatja akár otthon is. (13-19) Az emberi test szemléltetésére számos újszerű komputer alapú oktatóeszközt fejlesztettek ki. Az alábbiakban, a teljesség igénye nélkül, összefoglaljuk a főbb fejlesztési irányokat. (4. Ábra)



4. Ábra. Képrekonstrukciós modalitások. A.: A poligonalis felület rekonstrukciós eljárással (animációk) jól szemléltethető az emberi test, részletgazdagsága azonban messze elmarad a fénykép alapú vagy volumetrikus képrekonstrukció felbontásától. A jelenleg elérhető anatómiai oktató és szemléltető eszközök döntő többsége animáció. V.: A volumetrikus képalkotó eljárások mint a CT vagy az MR a preoperatív diagnosztika nélkülözhetetlen eszközei. Hátrányuk, hogy nem tükrözik a valós szín árnyék és textúra viszonyait. F.: Az

interaktív, térhatású fotorekonstrukció a legrészletesebb felbontással, valósághű leképezést nyújt.

#### **1.4.1** Bonctani videók

A bonctermi videók gyűjteményeit megtalálhatjuk az interneten részben szabadon elérhető, részben előfizetéses hozzáféréses formában. Ilyen gyűjteményt kínál a wisconsini egyetem honlapja: www.anatomy.wisc.edu/courses/gross/ vagy a ww.thinkanatomy.com honlap. A legismertebb bonctani viedó gyűjtemény pedig az Acland's Video Atlas of Human Anatomy (www.aclandanatomy.com) Bár a videófelvételeken anatómusok vezetésével figyelhetjük meg a boncolást és annak fázisait, de a felhasználó passzív részese marad az eseményeknek. Interakcióra nincs mód, a folyamat visszajátszható, de térhatás nem áll rendelkezésre a tartalom nem manipulálható. A bonctani videók az anatómia oktatás területén széleskörben nem terjedtek el. A dokumentáció ezen formája inkább a sebészetben terjedt el. Ilyen műtéti video gyűjteményt kínálnak a www.websurg.com, www.medicalvideoslive.com honlap is.

### 1.4.2 Animációk

Az anatómiai animációk, orvosok, művészek (grafikusok, rajzművészek) által, nagy pontossággal megrajzolt, háromdimenziós interaktív formában megjelenített szemléltető- és oktatóeszközök. A felhasználó a modellt elforgathatja, manipulálhatja akár több látószögből is megvizsgálhatja, "szétszedheti". A legismertebb sebészeti és anatómiai modellező program a Primal Pictures cég fejelesztése (www.primalpictures.com). (20) Az interaktív animáció jól használható szemléltető eszköz az anatómia oktatásban, számos egyetem alkalmazza.

Az animációk által megjelenített anatómiai viszonyok azonban nem tükrözik a valós szín, árnyék, valamint fényviszonyokat. (5. Ábra) Az anatómia oktatás és sebészképzése számára a fénykép alapú megjelenítés előnyösebb, miután részleteiben lényegesen több információt nyújt.



5. Ábra: A fénykép vs. animáció. A kép szemlélteti a fotográfia és az illusztráció közötti különbséget. A fényképes megjelenítés valós szín, árnyék és fényviszonyokat tükröz a lehető leggazdagabb felbontásban szemben az illusztrációkkal.

## 1.4.3 Volumetrikus képalkotó eljárások

A CT, MR képalkotás egy volumetrikus adathalmaz rekonstrukcióján alapul. Ezek a képalkotó módszerek mindennapi diagnosztika területén nélkülözhetetlenek. CT vagy MR képalkotás kórfolyamatok morfológiai viszonyairól, elhelyezkedéséről pontos képet szolgáltat, konvencionalis síkokban. A volumetrikus adathalmaz legújabb szoftveres feldolgozásának eredményeképpen az anatómiai struktúrák vagy a patológiás folyamatok akár háromdimenziós formában is megjeleníthetőek.

A boncolás élményét azonban ez a megjelenítési forma sem képes megfelelően "visszaadni". Valós szín-, árnyék- és fényviszonyokat nem tükröz, művi hatást kelt, azonban a háromdimenziós feldolgozás után a kiforgatás lehetősége nagy előnyt jelent a 2dimenziós felvételekhez képest. Gondoljunk például a konvencionalis két- és

háromdimenziós angiográfia közötti különbségre. Rávetülés miatt egy-egy lézió alakja, erek lefutása, vagy egy érzsák nyakának az érhez fűződő viszonya sokszor pontosabban megérthető háromdimenziós rekonstrukcióban, kifrogatással míg a konvencionális 2dimenziós felvételeken mélységben, egymás mögött, fedésben elhelyezkedő képletek lefutása, alakja, csak több fősík együttes elemzésével volt megérthető.

## **1.4.4** A Visible Human Project

Mind az atlaszokban mind a diagnosztikus képalkotó vizsgálatokat tartalmazó oktató anyagokban találhatók keresztmetszeti ábrázolások. Az ilyen ábrázolás hátránya hogy kifejezett képzelőerőt igényel háromdimenziós modell elképzelése.

A Visible Human Project anyagát egy texasi gyilkos testének feldolgozásán alapul (kivégzését megelőzően) aki belegyezett testének tudományos célú felhasználásába. Még életében teljes test CT és MR vizsgálaton esett át majd, kivégzését követően, testét 1mm-es szeletekre vágták egy speciális eljárás segítségével. Minden makroszkópos szeletet lefényképeztek. Így minden kadaver szelethez egy CT és MR felvétel mellett tartozott egy keresztmetszeti fénykép is.

A két kép modalitás együttes bemutatása a boncolás talán eddigi legéletszerűbb megjelenítését eredményezte. A projekt számos személyiség jogi szervezet tiltakozását váltotta ki, etikai kérdéseket merültek fel a "kísérlet" ügyében de kétségtelen, a projekt - mai napig - az emberi test legszemléletesebb és legrészletesebb megjelenítését eredményezte.

A Touch of Life Technologies cég által fejlesztett VH Dissector oktatóprogram a Visible Human Project adatán alapul, a makroszkópos anatómia metszetek fotográfiás és CT/MR felvételeit párosítja interaktív formában. (20)

A program segítségével a felhasználó keresztmetszetben rekonstruált MR felvételt tekinthet meg az emeberi test bármely részéről és ugyanannak a szeletnek a fényképét is megjelenítheti.

A projekt irodalma széleskörű, a legtöbb részletetet a www.nlm.nih.gov/research/visible/visible\_human.html honlapon ismerhetjük meg. (21, 22)

A tanulmány számos számítógépes rekonstrukcióhoz szolgáltatott már adatot. (23, 24, 25, 26, 27)

## 1.5 Fotográfiás interaktív képrekonstrukció (MKM-QTVR rendszer)

Nieder és munkatársai 1995-ben számoltak be először egy újszerű, interaktív fotográfiás megjelenítés, a QTVR technológia (QuickTime Virtual Reality) sebészeti és anatómiai alkalmazásairól. (28) Az eljárás során egy-egy anatómiai preparátumról -egy fényképezőgép előtt forgatható tartóállványon körbeforgatva- felvétel sorozatot készítettek.(6. Ábra) A képanyagot a program segítségével egyetlen interaktív montázzsá rekonstruálták, így olyan mozgás- és térélményt teremtve, amelyben a preparátum virtuálisan, körkörös mozgásban vizsgálhatóvá vált. A rekonstrukcióban -az elforgatással- a preparátum rejtett elemei is megjeleníthetőek lettek. A statikus, kétdimenziós képi megjelenítéssel szemben a "kiforgatás" már nemcsak a CT/MR rekonstrukciókon, hanem a fénykép alapú megjelenítésben is elérhetővé vált. (29-34)



6. Ábra. A fényképezőgép előtt, elfordított fejhelyzetekben készített felvételek egy lineáris képsorozatot alkotnak. A felvételek QTVR program segítségével egyetlen, interaktív

montázsba szerkeszthetőek, melyben a preparátum elforgatható, a legkülönbözőbb látószögekből vizsgálható.

A kiforgatással rejtett struktúrák látótérbe hozhatóak, a mozgatás térhatást, mélységérzetet kelt, mely segíti rejtett struktúrák, komplex anatómiai viszonyok jobb megértését. Konvencionalis 2-dimenziós megjelenítésben a struktúrák egymásra vetülése fontos részleteket takarhat el. (7. Ábra)



7. Ábra: Az elforgatás QTVR rekonstrukcióban. A felvételsorozat a forgatás hatását mutatja, amint rejtett anatómiai struktúrák látótérbe kerülnek a betekintési irány változtatásával. A felvételeken emelkedő számozással a betekintési irány frontolateralis irányból lateralis irányba történő változtatását mutatja jobb oldalon. Az első felvételen az arteria cerebri media teljes terjedelme feltűnik, majd fokozatosan fedésbe kerül a halántéklebeny pólusa miatt, miközben a regio interopticalis és a fissura interhemispherialis fokozatosan látótérbe kerül. Ha a felvételsorozatból kiemelünk egy képet, sok részlet rejtve marad a kiforgatás nélkül. Térhatás hiányában az anatómiai képletek egymáshoz elhelyzkedése nehezebben viszonvított térbeli érthető, а rávetülések miatt körülményesebben vizsgálható.

Míg egy videó lejátszása során a felhasználó passzív szemlélő marad, az interaktív QTVR megjelenítésben a képnavigáció által az események aktív irányítójává válik. Az interaktív montázs képnavigációja során a felhasználó saját ütemében tanulmányozhatja a preparátumot, figyelme lényegesen jobban elmélyül a preparátum vizsgálatában, melynek eredményeképpen lényegesen több időt tölt annak vizsgálatával.

#### 1.5.1 A képrács rekonstrukció

A technika orvosi felhasználása nagy előrelépést jelentett az anatómiai oktatás területén, azonban a preparátum bejárása korlátozott maradt. A képanyag felvétel

sajátosságai miatt a preparátum keresztirányú elforgatására nem nyílt lehetőség. A probléma megoldását egy új eljárás kidolgozása és egy új eszköz (Zeiss MKM robotmikroszkóp) bevezetése jelentette. (57)

Henn és munkatársai először közölték a QTVR technológia olyan alkalmazását, melynek során egy robotberendezést használtak fel a preparátum körül, gömbfelszín mentén történő pásztázás céljára egy képrácsot kialakítva. (8. Ábra)



8. Ábra. A kép a Zeiss MKM sztereotaxiás robotmikroszkópot mutatja, melyet elsődlegesen funkcionális idegsebészeti beavatkozások céljára fejlesztettek ki. A berendezés 6 szabadságfokkal rendelkezik, milliméter pontosan képes pozícionálni a sebészeti mikroszkóp optikáját miközben fókuszpontját és fókusztávolságát megtartja. A berendezés súlya eléri az egy tonnát.

A robotmikroszkóp működése sok tekintetben eltér a hagyományos, idegsebészeti célokra használt operációs mikroszkópokétól. A szerkezet mozgatását érzékelők és motorok végzik, a rendkívűli pontosságot, mely az agyban történő célzáshoz nélkülözhetetlen, a robosztus felépítmény biztosítja. A berendezés speciális helyiséget, mozgatása szakképzett

személyzetet igényel, vezérlését bonyolult elektronika végzi. A pásztázás során a felvételek elkészítése a mikroszkópra szerelt nagy felbontású fényképezőgépekkel történt.

Henn és munkatársai eljárásuk során a robotmikroszkópot egy virtuális gömbfelszín részlet mentén, egyenlő szögelfordulásokkal különböző térhelyzetekbe állították. Minden térhelyzetben egy felvételt készítettek a preparátumról. A pásztázás eredménye egy képrács lett (9. Ábra), melynek felvételei ugyanabban a fókuszpontban, más és más látószögből készültek a preparátum bejárása során (10. Ábra). A képek rekonstrukciója azok felvételi sorrendje alapján történt QTVR programban. A létrehozott interaktív montázsban a preparátum elforgathatóvá vált nemcsak vízszintes de függőleges irányban is.



9. Ábra: Az ábra a pásztázás eredményeképpen létrejött képrács felvételeinek sematikus térbeli elhelyezkedését mutatja. A berendezés egy előre megtervezett útvonal mentén, számos térbeli pozícióba állítja a fényképezőgépet.



10. Abra A képrács szerkezetben a felvételek időrendben vagy térbeli helyzetük alapján helyezkednek el. Minden felvétel más és más látószögből mutatja be ugyanazt a fókuszpontot.

## 1.5.2 Az MKM-QTVR eljárás alkalmazásai

AZ MKM-el társított QTVR technika alkalmasnak bizonyult laboratóriumi körülmények között, mikrosebészeti eljárások segítségével létrehozott preparátumok újszerű bemutatására. Az interaktív képrekonstrukció segítségével, a korábbi statikus kétdimenziós megjelenítéssel szemben a térélmény "életre keltette" a szerkezeti viszonyokat, lehetővé vált a preparátum szabad elforgatása minden irányban. Az eljárás segítségével mélyben elhelyezkedő, sokszor fedésben lévő struktúrák még inkább megjeleníthetővé váltak.

A következő lépésben az MKM-QTVR képrekonstrukciót intraoperatív körülmények között is felhasználtuk. Idegsebészeti műtétek során szkenneléseket végeztünk és műtéti fázisokat rekonstruáltunk. (35) A műtéti lépések ilyen jellegű

rekonstrukciója segtíti az idegsebészeti beavatkozások lépéseinek és a "munkaterületben" elhelyezkedő struktúrák helyzetének vizsgálatát. A térhatású megjelenítés új dimenziót nyitott a műtéti szimuláció területén.

### 1.5.3 Az MKM-QTVR eljárás hiányosságai

Az MKM-QTVR eljárás térhatást biztosító szimulációs környezetet biztosított. Azonban a rekonstrukció a boncolás egy-egy fázisát tudta csak bemutatni, a boncolás menetét nem jelenítette meg. A műtéti lépések, a mikrosebészet eljárások szimulációjához olyan eszközre volt szükség, mely a térélmény mellett a műtéti lépéseket, a boncolás folymatát is képes bemutatni.

## 1.6 Az idegsebészeti műtéttan, mint a szimuláció tárgya

Az idegsebészeti műtétek során számos kihívással találjuk magunkat szembe. A beavatkozásokat Sok szempont mérlegelése alapján kell megterveznünk és kiviteleznünk. A radiológiai képalkotó vizsgálatok, a kórfolyamat dignitása, növekedési jellege (infiltráció versus expanzió), elhelyzekedése, mérete, az elokvencia kérdésköre, mind olyan tényező, mely alapos mérlegelést igényel a behatolási irány kiválasztása, a munkacsatorna és az optimális munkaterület kialakítása céljából.

A sebésznek a képalkotó vizsgálatok által biztosított információkból kell felépítenie a lézió alakját, meg kell határoznia annak pontos elhelyezkedését és környezetéhez való viszonyát. Ilyen körültekintő preoperatív átgondolást, műtéti tervezést igényel a legtöbb agysebészeti beavatkozás, de kiváltképpen egyes funkcionális idegsebészeti beavatkozások, melyek során szerkezeti eltérést nem mutató struktúrák kerülhetnek eltávolításra.

A műtétek elején technikai lépések sorát kell elvégeznünk, kezdve a beteg fejének pozícionálásával, fejtartóba történő befogásával, a műtőasztal beállításával az optimális behatolási szög meghatározásához. A műtét fázisai, mint a craniotómia elkészítése, a munkaterület kialakítása csontrészek eltávolítása, vagy az agy egyes részeinek eltartása, végül a koponya rekonstrukciója komplex térbeli gondolkodást igényel, melynek elvégzéséhez szükséges jártasságot számottevő gyakorlat árán sajátíthatunk el.

Az alábbiakban számba vesszük azokat a műtéttechnikai megfontolásokat, melyek vizsgálatában a cadaveren végzett szimuáción és az azt rekonstruálni képes interaktív térhatást biztosító képrekonstrukció jelentősége kiemelendő.

#### 1.6.1 A beteg pozícionálásának szempontjai

A legtöbb koponyaműtét előtt elengedhetetlen a beteg test és fejhelyzetének beállítása az optimális behatolás irányának kiválasztása, melyet a képalkotó és klinikai adatok, valamint az anatómiai ismeretek összevetésével érünk el. A beteg műtéti fejhelyzetének rossz beállítása a műtét későbbi fázisaiban nehézséget okozhat, akár hátrányos irányba befolyásolva annak kimenetelét.

A helyes fejhelyzet beállítás kialakításának fontosságát jól szemlélteti az arteria cerebri media (ACM) és arteria communicans anterior (ACoA) lézióinak műtéti megközelítése kapcsán, a hanyattfekvő beteg fejelfordításának mértéke. Az ACoA vidék feltárásához a hanyattfekvő beteg fejének ellenoldali felé elforgatása csak kissé, kb. 10-15 fokkal, addig az ACM másodlagos oszlás vidékének feltárásához a fej erőteljeseb, csaknem 30 fokkal történő elfordítása szükséges.

Világszerte a műtétek kezdeti fázisait végző szakorvos jelöltek számára egy ilyen csekély mértékű elforgatásbeli különbség elhanyagolhatónak tűnhet, rossz beállítást eredményezve. A probléma analízisében az interraktív képrekonstrukción alapuló szimuláció hatékonyan segíthet, szemléletesen modellezve a műtéti helyzetet.

#### 1.6.2 A behatolási irány, a munkacsatorna és a munkaterület kapcsolata

A behatolási irány az a szög, melyből várhatóan a legmegfelelőbb helyzet alakítható ki a munkaterület feltárása céljából. A munkacsatornát a bőr- és izomlebeny preparációjával, a csontrészek eltávolításával és az agy eltartása árán alakítjuk ki. A munkaterület az a régió, melyet a feltárás segítségével teszünk láthatóvá a munkacsatornán keresztűl. Általában itt helyezkedik el a lézió. A behatolási irány helyes megválasztása, a munkacsatorna optimális kialakítása fontos tényező a munkaterületben történő biztonságos manipuláció és a lézió optimális kezelésének szempontjából.

A rosszul megválasztott behatolási irány beszűkítheti a munkacsatornát és elégtelen feltárást eredményezhet. Azonban fordítva is igaz, amennyiben jól megválasztott a

behatolási irány, elégtelen feltárás is korlátozhatja mozgásterünket. A sebész az optimális behatolási irány megválasztását, a munkacsatorna kialakításának lépéseit, és ezek egymáshoz fűződő viszonyainak elemzését, már fejben, a műtét előtt elvégzi.

A műtét alatt folyamatos mérlegelés szükséges. A helyes behatolási irány kiválasztásához, a műtéti útvonal megtervezéséhez pontos neuroanatómiai ismeretekre van szükség. Ismernünk kell, hogy az elokvens régiók elérése, vagy éppen azok elkerülése, milyen kockázatot rejt magában. A behatolás irány megválasztását általában a lézió minél rövidebb elérésének szempontja határozza meg. Azonban előfordulhat olyan eset is, amikor hosszabb útirányt választunk egy elokvens régió elkerülése céljából.

A sokszor vizuálisan egyértelmű különbségek objektív mérőszámokkal történő alátámasztására az elmúlt években kadavereken quantitatív méréseket végeztek neuronavigácós és photometriai módszerek segítségével. Összehasonlították egyes idegsebészeti feltárások kiterjesztett változatainak a munkaterület nagyságára gyakorolt hatását, javaslatokat fogalmazva meg egyes feltárások kialakítására és kiterjesztésére vonatkozóan. (36-39)

A behatolási irány megtevezése, a munkacsatorna kialakítása és azok változtatásainak munkaterületben heylet foglaló struktúrák láthatóságára kifejtett hatása kadaveren kiválóan szimulálható.

#### 1.6.3 A feltárás

A feltárás során kerül kijelölésre a bőrmetszés elhelyezése, hossza és alakja. A lágyrészek preparációja során célunk a szövetek rétegenkénti leválasztása elegendő szöveti részlet visszhagyása mellett a rekonstrukció elvégzéséhez, valamint a csontfelszín megtisztítása a craniotomia elvégzéséhez. A craniotomia során kerül kialakításra a szükséges csontablak, illetve a szükséges csontelemek eltávolítása. A csontablak eltávolítását követően optimális nagyságú és formájú nyílást alakítunk ki a kemény agyhártyán. A rosszul megtervezett bőrmetszés, a csontablak rosszul kialakított helyzete és mérete beszűkítheti a sebész mozgásterét, hátrányos irányba befolyásolva a műtét kimenetelét. Egy ilyen helyzet szemléletes példája, amikor egy parasagittalis csontablak elkészítése során hosszanti vagy haránt bőrmetszést ejtünk. A haránt bőrmetszés a sagittalis

irányú mozgásteret beszűkíti a craniotomia ebben az irányban csak korlátozott mértékben terjeszthető ki. Így a nem megfelelően elhelyezett bőrmetszés segédmetszést igényelhet, mely sebgyógyulási zavarhoz vezethet.

#### 1.6.4 Az agyeltartás és a minimál invazivitás

A feltárások során vezérelv a beavatkozás elvégzéséhez szükséges és elégséges agyeltartás olyan lokalizációban, ahol a maradandó idegrendszeri károsodás lehetősége minimalizálható. Ennek megfelelően két sebészi megközelítés, sebészi habitus, alakult ki.

Az úgynevezett "keyhole" feltárások szorgalmazói az optimális helyen kialakított lehető legkisebb feltárást tartják szükségesnek az agy "néma" helyein történő eltartással. Az ilyen bevatkozások sok tapasztalatot és rendkívűl pontos anatómiai ismeretet igényel. A liquorterekből történő agyvíz lebocsátással a környezeti viszonyok "lazíthatóak", kritikus, sokszor miliméterekben mérhető terület nyerhető a munkaterület kialakításához.

A másik irányzat képviselői a minimális invazivitást, az agy traumatizációjának csökkentését akár nagyobb feltárásssal, agyeltartás nélkül, extenzív csont eltávolítás árán érik el. A minimál invazivitás elsődleges célja az agyszövet minél kisebb mértékű tarumatizálása. Az agy nem megfelelő mértékű és lokalizációjú eltartása maradandó idegrendszeri károsodást okozhat.

Az invazivitás műtéttani kérdései, az agy helyes lokalizációjú és mértékű eltartása szimulációs gyakorlatokon vagy műtéti szimulátorok segítségével kiválóan szemléltethető.

#### 1.6.5 Rezekció és vérzéscsillapítás

A műtét delikát részét a lézió kezelése, rezekciója képezi. Egy daganat esetében általában azt belülről megkisebbítjük, majd körbejárva leválasztjuk a környező szövetekről és kiemeljük. Vascularis megbetegedések esetén egy érzsák eredését (nyakát) kipreparáljuk, majd klippet helyezünk fel hogy kiiktassuk a keringésből. A műtét végeztével vérzést csillapítunk és speciális eljárásokat alkalmazunk az utóvérzés kockázatának csökkentése céljából (dura kiöltés, spongostan henger behelyezése, bipoláris koagulació).

Laboratóriumi körülmények között a lézió eltávolítása nem szimulálható. A vérzéscsillapítás elsajátításához jól alkalmazható szimulációs eljárást még nem fejlesztettek

ki. A haemostasis módszerei laboratóriumi körülmények között, leginkább állatokon végzett kísérletekkel szimulálhatóak. Erek perfúziójával is alakítottak ki korábban véres környezetet, -laboratóriumi körülmények között-, vérzés csillatpítás gyakorlata céljából (40) A vérzéscsillapítási eljárások eredményei, -például egy-egy aneurysma klipp felhelyzése utáni állapot-, a tápláló, valamint az elfolyást biztosító erekhez és az érzsák nyaki részéhez viszonyított helyzete, egy tumor műtét utáni helyzet bemutatása, interaktív szimulációval jól szemléltethető.

## 1.6.6 Rekonstrukció

A műtét végső fázisa a koponya rekonstrukció. Ekkor szüntetjük meg az agy eltartását teret hagyva a spontán expanzióra, majd lehetőség szerint vízhatlanul egyeztetjük a kemény agyhártya széleit. Visszahelyezzük és rögzítjük a csontablakot, szükség esetén műcsonttal pótoljuk a hiányokat, rétegesen egyeztetjük és varrjuk össze a lágyrészeket, igyekezve megőrizni az izmok funkcióit. Ezek a műtét technikai lépések kadaveren jól modellezhetőek, intreraktív képrekonstrukcióval szemléletesen bemutathatók.

# 2 Célkitűzések

- Célunk, az anatómiai viszonyok vizsgálatára, valamint kadaveren végzett műtét technikai eljárások bemutatására szolgáló, interaktív, térhatású megjelenítést biztosító oktatóeszköz kifejlesztése.
- Célunk egy olyan alkalmazás kialakítása, mellyel a felhasználó virtuálisan "kézbe veheti", elforgathatja, nagyíthatja, a rétegváltáson keresztül "boncolhatja" a preparátumot.
- Célunk egy olyan szimulátor kifejlesztése, mely lehetővé teszi a műtéttani lépések és az anatómia viszonyok vizsgálatát számítógépen.
- Célunk az idegsebészetben gyakran alkalmazott frontolaterális megközelítés -az orbitozygomatikus feltárás- valamint az abból elérhető fossa interpeduncularis és a sinus cavernosus-sella vidék szimulációs moduljainak előállítása.
- A három előállított modul segítségével megvizsgáltuk a rétegváltás szerepét a műtéttechnikai lépések és a disszekció bemutatásában, valamint az elforgatás szerepét a betekintési irány változtatásának szimulációjában és annak a munkaterületben elhelyezkedő struktúrák láthatóságára kifejtett hatásában.

# 3 Módszer

2002-ben az arizonai (USA) Barrow Neurológiai Intézetben, Dr. Robert F. Spetzler irányítása alatt kezdődően kadaveren mikrosebészeti eljárásokat végeztem, melynek keretén belül idegsebészeti feltárásokat szimuláltam. Ezzel egyidőben a kadaveren végzett eljárások bemutatására szolgáló interaktív térhatású képrekonstrukciós eljárást továbbfejlesztettük.

## 3.1 A preparátumok elkészítése

A mikrosebészeti feltárásaink során három fej-nyak preparátumot használtunk fel. A preparátumokat az intézet kegyeleti és kadaver szövetre vonatkozó kutatás-etikai szabályai szerint, post mortem 48 órán belül készítettük elő. Az érrendszert speciális szilikon alapú gyantával töltöttük fel. A feltöltéshez azonosítottuk és kanüláltuk mindkét oldali artéria carotis internát, artéria vertebrálist és a két véna juguláris internát. Az érrendszer artériás és vénás oldalát 4% formalint tartalmazó eleggyel mostuk át, és tettük szabadon átjárhatóvá. Az érrendszert, katalizátor hatására oldószerrel szilárduló, szilikonnal töltöttük fel. A szilikon az érrendszerbe bejutva, azt kitöltötte, gumihoz hasonlatos konzisztenciát nyerve megszilárdult, a boncoláshoz kellő rugalmasságot biztosítva. A vénás és az artériás rendszer megkülönböztetése céljából az oldathoz festékanyagot kevertünk. Az artériás feltöltéshez piros, míg a vénás rendszer megjelenítéséhez kék színt használtunk. A feltöltést a vénás oldalon kezdtük, majd az artériás oldallal folytattuk. A befecskendezést addig végeztük, míg a szem sclérájának kis kaliberű erein is láthatóvá nem vált a festékanyag, jelezve a preparátum érrendszer apró ereinek töltöttségét. Ezt követően a preparátumot 4%os formalin oldatban fixáltuk 8 héten kesztül, majd 70%-os alkoholos alapú elegyben tartósítottuk azt követően. Az alkoholos "átfixálásra" az agy és a kötőszövetek konzisztenciájának megőrzése, a kellő rugalmasság elérése céljából volt szükség, miután a formalinban történő, hosszú idejű, tartósítás az agyszövetet törékennyé teszi.

## 3.1.1 A preparátum elmozdulásmentes rögzítése és beállítása

A mikrosebészeti preparációhoz és a sorozatos szkennelések elvégzéséhez szükséges elmozdulásmentes rögzítést Mayfield fejtartó alkalmazásával oldottuk meg. (11. ábra) A fejtartó három pontos rögzítést biztosít a kalvariába fúródó szögek segítségével.



11. Ábra: A műtőasztalhoz illesztett Mayfield fejtartó szerkezet, három pontos, stabil rögzítést biztosít.

A praperátumot a műtéti helyzetet szimulálva hanyatfektetve úgy állítottuk be, hogy az orbitozygomatikus feltárásból, a fossa interpeduncularis és a sinus cavernosus-sella régió legtöbb képlete megjeleníthető legyen. (12. Ábra) A feltárások során a robotmikroszkóp forgatási központját, -azaz az optika fókuszpontját- úgy állítottuk be, hogy az mindhárom feltárás esetében a hypophysis nyelére essen, miután ez a beállítás biztosította a legnagyobb pásztázási tartományt és a legszélesebb betekintést.



12. Ábra. A kép a forgási pont azaz a fókuszpont beállítását mutatja. A képrács szerkezet a pásztázott régiót frontális és frontolaterális irányokból képezi le.

## 3.2 A pásztázás

A képrács szerkezet felvételeinek elkészítéséhez az MKM robotmikroszkópot használtunk, mely optikai egységének két oldalára Canon EOS D 60-as tükörreflexes fényképezőgépeket szereltünk. A fényképezőgépek kioldását manuálisan végeztük a pásztázás során. A robotmikroszkóp egy előre megtervezett trajektória, egy kígyó mintázat (13. ábra) mentén hordozta a fényképezőgépet és készítette el a felvételeket a preparátumról. A képrács méretét a horizontális sorok és vertikális oszlopok számának meghatározásával állítottuk fel. A robotmikroszkóp a trajektória két pontja között lassan haladt, egy felvétel elkészítéséhez 15-20 mp-re volt szükség. Egy-egy képrács (a nagyság függvényében) átlagosan 15-20 sort és oszlopot is (azaz 225-400 felvételt) tartalmazott, az egész felület szkennelése akár több órát is igénybe vett. A pásztázás vonala egy virtuális gömbfelszínt járt be, mely során az optika fókuszpontja és fókusztávolsága állandó maradt.



13. Ábra. Az ábra azt mutatja, amint a robotmikroszkóp optikájára szerelt fényképezőgép"bejár" egy gömbfelszín részletet és kialakítja a képrácsot.

A pásztázások során a preparátumot elmozdulásmentesen rögzítettük, melynek robotmikroszkóphoz viszonyított helyzete állandó maradt. (14. Ábra)



14. Ábra: A kép szemlélteti a fej-nyak preparátum, Mayfield fejrögzítő segítségével megvalósított, elmozdulásmentes rögzítését. A felvételen látható a preparátum fölé hajló robotmikroszkóp optikája és arra felszerelt fényképezőgépek. Az MKM egy gömbfelszín mentén pásztázott a preparátum felett.

A robotmikroszkópra szerelt fényképezőgépet ugyanazokba a térhelyzetekbe vissza tudtuk állítani a boncolás egymást követő fázisaiban, így egy többrétegű képrács szerkezetet tudtunk létrehozni a preparátum elmozdulásmentes rögzítése mellett. A képrács szerkezet mindegyik felvétele ugyanabból a látószögből a boncolás egy másik fázisát mutatta. (15. Ábra) (40)



15. Ábra: A szkennelések eredményeképpen a többrétegű képrács szerkezetben minden egyes felvétel, ugyanabból a látószögből a boncolás más és más fázisait örökíti meg. A képanyagot MIGRT (Multilayer Image Grid Reconstruction Technology) szoftver segtíségével interaktív, térhatásban rekonstruáltuk és jelenítettük meg szimuláció céljára.

# 3.3 Többrétegű képrács rekonstrukció

A pásztázások során elkészített képanyagot az általunk erre a célra kifejlesztett MIGRT (Multilayer Image Grid Reconstruction Technology) elnevezésű számítógépes programban rekonstruáltuk. (41) A felvételeket a program a képrács és a felvételek jellemzőit leíró paraméter file alapján egy interaktív képmegjelenítőben mutatta be. A kezelő felületet úgy alakítottuk ki hogy a számítógép egerének mozgatásával a preparátum elforgatását, míg a görgő mozgatásával az

egymást követő rétegek eltávolítását és visszahelyezését, azaz a boncolás fázisait lehessen szimulálni. (16. ábra)



16. Ábra: A MIGRT program. A képernyőn, a felső sávban foglalnak helyet a rendelkezésre álló interaktív térhatású modulok. A számítógép egerének mozgatásával a preparátum elforgatható, míg a görgő a rétegek közötti váltást, azaz a boncolás szimulációját teszi lehetővé.

## 3.4 Preparációs eszközök és a disszekció

Az anatómiai régiók boncolását mikrosebészeti eszközökkel végeztük. A bőrmetszésekhez szikét használtunk, a fasciát az ér- és idegképleteket mikrosebészeti csipesz és mikroolló segítégével preparáltuk. A csontelemekről a csonthártyát ráspoly segítségével emeltük el, míg a csontablakot csontfúróval készítettük el. A nagyobb csontelemeket Leksell és Kerrison rongeur használatával távolítottuk el. A finom mikrosebészeti (például arachnoidális szálagok) oldásához mikrodisszektort használtunk. A szabad szemmel már nehezen látható struktúrák biztonságos kezelését sebészeti lupé vagy operációs mikroszkóp nagyítása alatt végeztük.

## 3.5 Az orbitozygomatikus feltárás szimulációs moduljának elkészítése

## 3.5.1 A preparátum beállítása

A fej nyak preparátumot a középvonalban úgy helyeztük el, hogy a fényképezőgép fókuszpontja a hypophysisre essen. Ez a beállítás egy olyan gömbfelszín cikkely mentén történő pásztázást tett lehetővé, mellyel a koponyaboltozat és a koponyabázis frontális és frontolateralis felszíne is leképezhető. A beállítással a feltárás fontosabb lépései, a behatolás iránya, a munkacsatorna kialakítása, a munkaterület és abban elhelyezkedő fontosabb képletek jól megjeleníthetőek. A feltárás során olyan fontos tájékozódási pontokat igyekeztünk kipreparálni, mint például a pterion, az orbita felső és oldalsó csontos fala, fissura orbitalis superior, a kisszárny, a Sylvius árok és a carotis-opticus szöglet, melyek a sebészi beavatkozások során is fontos tájékozódási pontokként szolgálnak, de lehetővé teszik a sinus cavernosus elülső részének, a tentoriális incisura, az arteria carotis interna, a nervus oculomotorius és a nervus opticus vidékének megjelenítését is. A feltárásokat- valós műtéti helyzetet szimulálva-, a preparátumok fejjel lefelé történő beállítása mellett végeztük.

## 3.5.2 Az MKM és a képrács beállításai

A pásztázás során 24x16-os méretű képrácsot alkalmaztunk. 16 felvétel készült függőleges és 24 pedig vízszintes elmozdítás során. A pásztázás eredményeképpen 384 felvételt készítettünk. A pásztázási tartomány mind függőleges, mind vízszintes irányban kb. 45-45 fok volt, mely hozzávetőlegesen megfelel a műtéti betekintési irányok terjedelmének is. A szimulált műtéti fázisok szkennelése, lépésenként nagyságrendileg 120 percet vett igénybe. A képrács pontok fókuszponthoz viszonyított szögelfordulása hozzávetőleg 2-3 fok volt a pásztázás során.

## 3.5.3 A disszekció

A feltárás első fázisában a bőrt távolítottuk el a preparátum frontolaterális felszínén. A bőrmetszést temporálisan, ívelten egészen az os temporale processus zygomaticusáig vezettük közvetlen a fül trágusa előtt. A preparációt az operációs mikroszkóp nagyítása alatt végeztük úgy, hogy a musculus temporális fasciája felett elhelyzekedő zsírpárnában felületessé váló nervus facialis perifériás ágai ne sérüljenek. Ebben a rétegben azonosítottuk

az arteria temporalis superficiálist, melynek főtörzse előtt kereszteződő nervus auriculotemporálist is láthatóvá tettük. (17. Ábra)



17. Ábra. Felvétel a 2. rétegről. A kép jobb oldali frontolaterális irányból ábrázolja a műtéti helyzetet (fejjel lefelé) és mutatja a bőrréteg eltávolítása utáni állapotot. A bőrt a zygoma alatt vízszintesen átvágtuk. Jól láthatóak a nervus facialis (N.f.) musculus temporalis fascia feletti zsíszövetben haladó, majd felületessé váló, perifériás rostjai, valamint az arteria temporalis superficialis (A.t.s.) és a rajta kereszteződő nervus auriculotemporalis (N.a).

A következő lépésben a fenti képleteket eltávolítottuk, szabaddá tettük a musculus temporalis izomrostjait, az os frontale squamaját, az os frontale supraorbitális peremét. Az arcus zygomaticust megtisztítottuk a musculus masseter eredésének kötőszövetes elemeitől és a csonthártyától. (18. Ábra)


18. Ábra. A kép a 3. réteget mutatja. Látható a musculus temporalis izomrostja (M.t.), a processus zygomaticus (P.z.), a musculus masseter (M.m.) és az os zygomaticum (O.z.).

A felvételek elkészítését követően, eltávolítottuk a musculus temporálist a csonthártyával együtt és szabaddá tettük az os temporale squamáját, bemutattuk a pterion helyzetét, mely az egyik legfontosabb tájékozódási pont a frontotemporális csontablak kialakítása során. (19. Ábra)



19. Ábra. A 4. rétegben a pteriont helyzetét (P) mutatjuk be.

A szkennelést követően a pterion körül csontfúró segítségével ablakot nyitottunk a kálvárián, melyet mind temporális, mind a frontális irányban kiterjesztettünk. Ennek hatására az os ethmoidale kisszányának laterális része is láthatóvá vált. A kisszárny pereme fontos tájékozódási elem, mely mentén lejuthatunk a processus clinoideus anteriorhoz és a nervus opticus és az arteria carotis interna által kialakított szöglethez. (20. Ábra)



20. Ábra. Az 5. réteg a csontablak kialakítását személteti. Látható a dura mater (D.m.) és az ékcsont kisszárnya.

A következő lépésben a kemény agyhártya eltávolításával szabaddá tettük a temporális és a frontális lebeny felszínét és látótérbe hoztuk a Sylvius árkot. Látható a két lebenyt összekötő arachnoidális agyhártya réteg. (21. Ábra) Az arachnoidális szálagok oldásával a két lebeny sérülésmentesen szétválasztható.



21. Ábra. 6. réteg. A felvétel a kemény agyhártya eltávolítása utáni helyzetet mutatja, amint a frontális (L.f.) és a temporális lebeny (L.t.) részei megjelennek a Sylvius árokkal. (S.)

A Sylvius árkot borító arachnoidális agyhártya szétválasztását követően a frontális és a temporális lebenyt fokozatos elemeltük egymásról, majd az arteria cerebri media másodlagos ágait követve eljutottunk az arteria cerebri média főtörzsének oszlásáig. Ettől a ponttól a disszekciót az arteria cerebri media főtörzse mentén, proximális irányban folytattuk. A Sylvius árok teljes feltárásával látótérbe hoztuk a jobb oldali nervus opticust és az arteria carotis interna supraclinoidális szakaszát. A temporális lebeny pólusát Leila tartóba helyezett lapoccal emeltük el, hogy látótérbe hozzuk az ékcsont kisszárnyának egész terjedelmét. A mélyben láthatóvá tettük a nervus oculomotoriust és az incisurát. (22. Ábra)



22. Ábra. A 7. réteg a Sylvius árok megnyitását mutatja be, amint az arteria cerebri media proximális főtörzse és distálisabb ágai (M.1 és M.2) láthatóvá válnak. Jól látható a jobb oldali nervus oculomotorius (N.o.) és az incisura. (I.)

A következőkben frontolaterális irányból, a bázis síkjával párhuzamosan egy másik lapocot is behelyeztünk. A lapoc végét a nervus opticusok síkja fölé vezettük. Ebben a pozícióban enyhe retrakcióval a frontomediális állományt (gyri orbitales) és a trigonum olfactoriumot elemeltük. (23. Ábra)



23. Ábra. 8. réteg. A kép mutatja amint a frontális lebeny elemelésével láthatóvá válik a jobb oldali nervus opticus (N.o.), az arteria carotis interna és a processus clinoideus anterior (P.c.a.).

Következő lépésben az orbita felső és laterális falát szabaddá tettük, a csonthártyát eltávolítottuk, láthatóvá téve a foramen supraorbitalét és az orbita tartalmát a csontról elemelve. (24. Ábra)



24. Ábra. 9. réteg. Az orbita felső és oldalsó falának szabaddá tételével jól láthatók az os frontale (O.f.) és az os zygomaticum (O.z.) csontrészei.

A preparáció következő lépésében a kisszárny laterális részét egészen a fissura orbitalis superiorig eltávolítottuk. (25. Ábra)



25. Ábra. 10. réteg. A kisszárny laterális részének eltávolításával láthatóvá válik a jobb oldali nervus opticus (N.o.), az arteria carotis interna (A.c.i.) és a nervus oculomotorius (N.occ.).

Csontfúró segítségével az orbitozygomatikus csontegyüttest eltávolítottuk, melynek következtében az orbita tartalma jól megközelíthető. (26. Ábra)



26. Ábra. 11. réteg. A kép az orbitozygomatikus csontrész kiemelése utáni állapotot mutatja. Az orbita tartalma is jól látható. (O.)

Következő lépésben a frontális lapocot egy szélesebb lapocra cseréltük. A frontobasális állomány eltartása mellett oldottuk a fissura interhemispherialis felett a két frontális lebeny basális és mediális felszínét összekötő arachnoidális szálagokat. Ennek következtében a két oldali gyrus rectus elválaszthatóvá vált egymástól. Az azonos oldali gyrus rectus eltartása mellett látótérbe hoztuk a jobb oldali arteria cerebri anterior lefutását az arteria communicans anteriorig. A feltárás után a munkaterület hátsó falát az ellenoldali gyrus rectus képezi a fissura interhemispherialis túlsó "partján". (27. Ábra)



27. Ábra. Az utolsó 12. rétegben a szélesebb lapocot mélyebbre helyezve, a fissura interhemispherialis feltárását követően, jól látható az arteria cerebri anterior (A.c.a.), az arteria communicans anterior (A.Co.a.), az interhemipheriális hasadék és az ellenoldali gyrus rectus (G.r.).

# 3.6 A fossa interpeduncularis szimulációs moduljának elkészítése

# 3.6.1 A preperátum beállítása

A fossa interpeduncularis boncolásához a preparátum beállításával célunk egy olyan látószög kialakítása volt, melyből jól szemléltethetőek a koponyabázis képletei. A rendszer optikai gyújtópontját a fossa interpeduncularis előtt az infundibulumra és a nervus opticusok vidékére helyeztük úgy mint az előző preparátum esetében. A pásztázás függőleges és vízszintes tartományait megtartottuk. (13. Ábra) Ez a beállítás olyan látószöget eredményezett melyből széles betekintés nyerhető a munkaterületre. A feltárásból jól látható a két oldali nervus opticus, a hypophysis nyele, az agytörzs, az agytörzset körülölelő artériás rendszer és az ellenoldali szimmetrikus struktúrák is. A disszekció legmélyebb rétegében az arteria basilarisra is rálátás nyílik. A preparátumot műtéti beállítást szimuláló hanyatfektetve rögzítettük, jobb oldali frontolaterális megközelítéshez.

## 3.6.2 Az MKM és a képrács beállításai

A szimulált feltárás pásztázásához egy 10 x 20-as méretű képrácsot alkalmaztunk. 10 felvétel készült a függőleges oszlopokban, míg 20 a vízszintes sorokban, melynek eredményeképpen egy pásztázás alatt 200 nagy felbontású kép készült. Egy réteg szkennelése hozzávetőleg 120-140 percet vett igénybe. A képrács pontok között a robotmikroszkóp a forgatás fókuszpontja körül, minden irányban, hozzávetőleg 4 fokonként mozgatta a fényképezőgépet.

# 3.6.3 A disszekció

A disszekciót egy olyan preparátumon végeztük, melynek frontotemporális csontozatát az orbita oldalsó és felső falával együtt már korábban eltávolítottuk, azzal a céllal hogy a formalinban törékennyé váló agyszövet a feltárás során minimálisan sérülhessen az eltartás miatt az anatómiai struktúrák preparálása közben. Az első fázisban a frontális és temporális lebeny részletei láthatóak műtéti helyzetben az arachnoidális borítékkal. A frontális és temporális lebeny anterolaterális határán láthatóvá tettük a Sylvius árok arachnoidális borítékát és az ékcsont kisszárnyát. (28. Ábra)



28. Ábra. 1. réteg. A kezdeti helyzetben látható: frontális (lobus frontalis: L.f.) és temporális (lobus temporalis: L.t.) lebeny, a Sylvius árok (S.) az arachnoidális borítékkal, az ékcsont kisszárnya, a könnymirigy (glandula lacrimalis, G.l.) és az orbita tartalma. (O.)

A következő lépésben megnyitottuk a Sylvius árok proximális részét fedő arachnoidát és lapoccal elemeltük a frontális állományt. A látótérben megjelent a jobb oldali nervus opticus és a planum sphenoidale. (29. Ábra)



29. Ábra. A 2. rétegben a Sylvius árok feltárását követően a jobb oldali frontobasalis agyállomány elemelésével láthatóvá tettük a jobb oldali nervus opticust (N.o.).

Az arachnoidális réteg szétválasztását követően a lapocot mélyebbre süllyesztve- az eltartás fokozásával-, látótérbe hoztuk a jobb oldali arteria cerebri media főtörzsét. (30. Ábra)



30. Ábra. A 3. réteg. A Sylvius árok proximális részét fedő arachnoidális szálagok oldásával láthatóvá válik az arteria cerebri media főtörzs. (A.c.m.)

A következő lépésben a Sylvius árok arachnoidális rétegének oldása és a temporális lebeny pólusának eltartása látható. (31. Ábra)



31. Ábra. A 4. réteg. Az arachnoideális réteg oldásával mind a frontális lebeny basalis felszíne, mind a temporális lebeny pólusa eltartható. A Sylvius árokban futó jobb oldali arteria cerebri media (A.c.m.) mellett megjelenik az arteria carotis interna (A.c.i.) és az arteria cerebri anterior is (A.c.a.).

A feltárás során a frontális és a temporális lebenyek erőteljes eltartása mellett mind az elülső, mind a középső koponyagödör nagy terjedelemben látótérbe hozható. A nagyítás növelésével, elénk tárul a regio interopticalis, a supra- para- és retroselláris régió, a jobb oldali nervus oculomotorius és az arteria carotis interna által határolt szöglet. Jól látható a Liliequist membrán és egyidejűleg egyes ellenoldali struktúrákra is rálátás nyílik. (32. Ábra)



32. Ábra. 5. réteg. A Sylvius árok arachnoidea oldásával és a lebenyek erőteljesebb eltartásával széles panoráma nyílik a koponyabázisra. A felvételen látható a jobb oldali nervus oculomotorius (N.occ.), a chiasma opticum (Ch.), a Liliequist membrán (L.), a lamina terminalis (L.t.), az ellenoldalon pedig a nervus opticus (N.o. l.s.), az arteria carotis interna (A.c.i. l.s.) és a nervus oculomotorius. (N.occ. l.s.)

A következő lépésekben fontos struktúrák eltávolításával célunk a bonyolult anatómiai helyzet bemutatása volt, ezek a disszekciós lépések nem műtéttechnikai megoldásokat szemléltettek. A jobb oldali arteria carotis interna, arteria cerebri anterior és media egy részének eltávolításával az arteria communicans posterior és az arteria choroidea anterior eredését és perforátor hálózatát mutattuk be. A Liliequist membrán megnyitását követően betekintést nyertünk a hátsó koponyagödörbe is. (33. Ábra)



33. Ábra. 6. réteg. A felvétel az arteria carotis interna és a Liliequist membrán megnyitása után, a jobb oldali arteria communicans posterior (A.Co.p.) és az arteria choroidea anterior (A.Ch.a.) eredését mutatja. Ezzel a disszekciós lépéssel, a behatolás során rejtett helyzetben eredő, kicsiny artériák anatómiai helyzetének bemutatása volt a célunk. A mélyben az arteria basilaris (A.b.) is jól látható.

Az arteria communicans posterior perforátor és az arteria choroidea anterior ágrendszerének teljes eltávolításával láthatóvá tettük az arteria basilaris csúcsát, láthatóvá vált mindkét oldali arteria cerebelli superior és arteria cerebri posterior. (34. Ábra)



34. Ábra. 7. réteg. Az arteria communicans posterior perforátor ágrendszerének, valamint az arteria choroidea anterior eltávolításával láthatóvá tettük az arteria basilárist (A.b.), annak csúcsát és láthatóvá vált mindkét arteria cerebelli superior (A.ce.s.) és arteria cerebri posterior (A.c.p). Az arteria basiláris mögött megfigyelhető az agytözs állománya.

Utolsó lépésben eltávolítottuk a jobb oldalon a nervus opticust és feleztük a chiasma opticumot betekintést nyerve a III. agykamra aljába. A kamra elülső-alsó falát képező lamina terminalis is megfigyelhető. Megjelenítettük a hypophysis nyelét, a nyél mögött az ellenoldali arteria communicans posteriort és a hypothalamust. (35. Ábra)



35. Ábra. 8. réteg. A jobb oldali nervus opticus eltávolítása után jól látható a hypothalamus (H.) és a hypophysis nyél az infundibulum (H.ny.), a chiasma opticum (Ch.), mely felett megnyílt a III. agykamra. A hypophysis nyelén látható az arteria hypophysealis superior a kép jobb oldalán pedig az uncus. (U.)

# 3.7 A sinus cavernosus és a selláris régió szimulációs moduljának elkészítése

# 3.7.1 A preparátum beállítása

A fej-nyak preparátum beállítása során egy olyan pásztázási felületet alakítottunk ki, a korábbi beállításokhoz hasonlóan, melynek gyújtópontja a sella vidékére esett a középvonalban, megjelenítve a régiót mind felül- mind oldalnézetben. A disszekció során célunk nem a műtéttechnikai lépések bemutatása volt, hanem az orbitozygomatikus feltárás által kialakított, a munkaterület alját képező sinus cavernosus és sella vidék mikosebészeti neuroanatómiai viszonyainak szemléltetése.

# 3.7.2 Az MKM és a képrács beállításai

12 x 10-as méretű képrácsot alkalmaztunk. 12 felvétel készült a függőleges oszlopokban és 10 felvétel a vízszintes sorokban. Összesen egy pásztázás alkalmával 120 magas felbontású fényképet készítettünk. Egy-egy réteg szkennelése hozzávetőleg 80-100 percet vett igénybe. A képrács pontok fókuszponthoz viszonyított szögelfordulása 4 fok volt mind a függőleges mind a vízszintes elmozdulás során.

# 3.7.3 A disszekció

A fej-nyak perparátum jobb oldali hemispheriumának eltávolításával kellő teret nyertünk a szkennlési tartomány kialakításához egy olyan virtuális gömbfelszín cikkely mentén, melyből a sinus cavernosus és a sella vidéke felül-, oldal-, és elölnézetében jól bemutatható műtéti betekintési irányokból. (36. Ábra)



36. Ábra. 1. réteg. A korábbiakban is bemutatott jobb oldali anterolaterális műtéti helyzetben jól látható a középső koponyagödör, az ékcsont kisszárnya, jobb oldali sinus cavernosus, az arteria carotis interna (A.c.i.) , a nervus oculomotorius (N.occ.), a nervus

opticus (N.o.), a nervus trochlearis (N.t.), a nervus trigeminus (N.tr.) és a hypophysis nyele az infundibulum (H.ny.).

Első lépésben a sinus cavernosus falát alkotó dura mater kettőzet eltávolításával láthatóvá tettük a jobb oldali nervus trigeminus 2. és 3. ágát. (37. Ábra)



37. Ábra. 2. réteg. A felvétel bemutatja a dura mater kettőzet eltávolításával láthatóvá tett jobb oldali nervus trigeminus nervus mandibuláris (N.tr.3.) és nervus maxillaris ágát (N.tr.2.). A dura kettőzetben jól megfigyelhető a nervus trochlearis (N.t.) hátsó belépése és lefutása a sinus cavernosusban. A kék festék anyag a sinus cavernosus vénás rendszerét tölti ki. A nervus trochlearis alatt felsejlik az arteria carotis interna.

A kisszárny csontos peremének elfúrását követően látótérbe hoztuk a processus clinoideus anteriort, kipreparáltuk a nervus trochleárist és a nervus trigeminus maxilláris ágát. (38. Ábra)



38. Ábra. 3. réteg. A felvételen látható a kisszárny egy részének eltávolítása után a nervus trochlearis (N.t.) lefutása, a nervus trigeminus 1. ága (N.tr.1.) és a nervus abducens. (N.a.)

A boncolást a nervus oculomotorius megjelenítésével folytattuk, mely során a durális kettőzetben bemutattuk az agyideg belépési pontját (39. Ábra), a nervus trochlearist, a nervus trigeminus első ágát és a a nervus ophtalmicust.



39. Ábra. 4. réteg. Ebben a disszekciós fázisban felsejlik az arteria carotis interna a nervus oculomotorius (N.occ.) és a nervus trochlearis cavernosus lefutása alatt.

Következő lépésben eltávolításra került a nervus ophtalmicus és a nervus trochlearis cavernosus lefutása, melynek következtében láthatóvá vált az arteria carotis interna oldalán lefutó nervus abducens is. Megfigyelhető amint a nervus abducens és a nervus oculomotorius lefutása konvergál mielőtt belépnek az orbitába a fissura orbitalis superioron keresztül. (40. Ábra)



40. Ábra. 5. réteg. A nervus trochlearis és a nervus ophtalmicus eltávolítása után a nervus abducens (N.a.) lefutása jól látható.

A nervus abducens és a nervus oculomotorius eltávolításával megjelenítettük az arteria carotis interna cavernosus és petrosus lefutását, valamint az arteriát gallérszerűen körülölelő proximális és distalis durális gyűrű kettőzetet. (41. Ábra)



41. Ábra. 6.réteg. A nervus oculomotorius és a nervus abducens eltávolítása után jól látható az arteria carotis interna (A.c.i.) intracavernosus és közvetlen utána annak rövid clinoidális szakasza is a proximális (P.d.gy.) és distális (D.d.gy) durális gyűrűvel. A duraszél elvétele után megjelent a processus clinoideus posterior. (P.c.p.)

Mindkét durális gyűrű eltávolításával és a canalis opticus megnyitásával láthatóvá tettük az arteria ophtalmica kezdeti lefutását az orbitában. (42. ábra)



42. Ábra. 7. réteg. A proximális és distális durális gyűrű eltávolítása, valamint a canalis opticus megnyitása után jól látható az arteria ophtalmica kezdeti szakasza, mely követhető az orbitában. (A.opht.)

Az arteria carotis interna eltávolítása után a sinus cavernosus mediális falán keresztül megnyitottuk a sinus sphenoidálist. A nervus opticus elemelésével az arteria ophtalmica lefutását jelenítettük meg. (43. Ábra)



43. Ábra. 8. réteg. Az utolsó rétegben a nervus opticus elemelésével bemutattuk az arteria ophtalmica (A.opht.) eredését. A sinus cavernosus mediális csontos falának eltávolításával pedig a sinus sphenoidalis (S.sph.) üregébe tekinthetünk be. Az arteria carotis interna mellett elhelyezkedő hypophysis (Hy.) is látótérbe került.

# 4 Eredmények

A mikrosebészeti neuroanatómiai disszekciók elvégzése során, az interaktív modulok többrétegű képrácsszerkezetének elkészítéséhez az MKM robotmikroszkópot használtuk. A preparátumokat Mayfiled fejtartóban elmozdulásmentesen rögzítve minden műtéti fázist egy-egy pásztázás során örökítettünk meg. A berendezés vezérlését úgy programoztuk, hogy az optikai fókuszpont és a fókusztávolság megtartása mellett egy virtuális gömbfelszín mentén haladjon miközben a felvételeket elkészíti.

A felvételeket egy új, erre a célra kifejlesztett számítógépes program (MIGRT) segítségével rekonstruáltuk és jelenítettünk meg. Létrehoztuk az orbitozygomatikus feltárás, az fossa interpeduncularis és a sinus cavernosus-sella régió szimulációs oktatómoduljait. A modulok segítségével bemutattuk a szimuláció jelentőségét és alkalmazását fontos műtéttechnikai kérdések vizsgálatában.

# 4.1 Az elforgatás és a térélmény

A 2-dimenziós képek szemléltetése során, akár anatómiai rajz, fénykép akár egy CT/MR felvétel, mélységérzet nem alakul ki. Az egymáshoz képest szintkülönbségben elhelyezkedő anatómiai struktúrák lefutása, egymáshoz viszonyított térbeli helyzete a rávetülés miatt sokszor pontosan nem ítélhető meg. A modern képalkotó diagnosztikai berendezések már rendelkeznek 3-dimenziós rekonstrukciós megjelenítés lehetőségével. Az ilyen fajta térbeli megjelenítés előnye a 2-dimenziós megjelenítéssel szemben, hogy a képanyag elforgatásával (ami nem más mint apró szögelfordulásokban rekonstruált felvételsorozat ugyarról a fókuszpontról) mélységérzett keletkezik, így a kiforgatás segítségével takarásban elhelyezkedő részletek is bemutathatóak. A CT, MR vagy DS angiográfiás képalkotás 3-dimenziós megjelenítés egyre szélesebb körben elterjedt a diagnosztikában.

A képrácsszerkezet egyes pontjai ilyen szögelfordulásokban elkészített fényépek halmaza, melyek sorozatban történő bemutatása térhatást képes előidézni. Az elforgatással, a betekintési irány változtatásával, lényegesen több információ nyerhető a 2-dimenziós megjelenítéshez képest. (7. Ábra)

64

# 4.2 A rétegváltás mint a disszekció szimulációja

A képrácsszerkezet rétegei közötti váltás, két felvétel között hirtelen bekövetkező változás (esetünkben egy struktúra eltávolítása) olyan vizuális élményt nyújt, mely segítségével jobban érthető a térbeli felépítés. (44. Ábra) A struktúra az egyik pillanatban látható, majd közvetlen eltávolítása után már az alatta, fedésben, elhelyezkedő képlet válik láthatóvá. A rétegváltás az anatómiai szerkezet bemutatásán túl különösen alkalmas eszköznek bizonyult műtéttechnikai lépések ( például az agy eltartása, csontfúrások), anatómiai disszekció menetének bemutatására, szimulációjára.



44. Ábra: A kép a rétegváltást szemlélteti. A képeken egy többrétegű képrács azonos látószögben készült felvételeit mutatjuk be a disszekció egy másik fázisában. A felületesebb rétegben (bal oldali kép) látható a nervus opticus majd annak eltávolításával (jobb oldali kép), az ideg mögött elhelyezekedő, hypophysis nyél is megjeleníthető.

# 4.3 Az orbitozygomatikus feltárás szimulációs vizsgálata

Az orbitozygomatikus feltárás összesen 12 rétegben 24 x 16 képrácsméret mellett végzett pásztázás rekonstrukciójának eredménye. Összesen 4608 felvétel készült, melyet a MIGRT szoftverben rekonstruáltunk.

Az orbitozygomatikus modul segítségével megvizsgáltuk a munkacsatorna kialakításának lépéseit, a preparátum elforgatásával, különböző látószögekből szemléltettük a fontos képletek elhelyzekedését. Az elforgatás és rétegváltás segítségével vizsgáltuk a behatolás irány változtatásának struktúrák láthatóságára kifejtett hatását és bemutattuk a munkacsatorna kialakítás lépéseit.

A feltárást közvetlenül a fül tragusa előtt fa homlok irányába vezetett ívelt bőrmetszéssel kezdtük. A subcutisban végzett disszekció során a bőrlebenyt leválasztottuk, a musculus temporalis fasciáját láthatóvá tettük. Ebben a rétegben azonosítottuk az arteria temporalis superficiálist. Ugyanitt rétegváltással mutattuk be a nervus facialis és a nervus auriculotemporalis ágait. (45. ábra)



45. Ábra. A feltárás lépései rétegváltással szemléltetve. Az első kép a jobb fül tragusát (T.) mutatja műtéti helyzetben jobb oldalon. A második képen a bőrréteg eltávolítása után az arteria temporalis supreficialis (A.t.s.) frontális és parietális ága látható. Az artéria felett, a nervus auriculotemporálist (N.a.) figyelhetjük meg, míg a musculus temporalis fasciája felett a nervus facialis (N.f.) ágrendszere látható. A harmadik képen a fascia leválasztását követően előtűnik a processus zygomaticus (P.z.) és a rajta tapadó musculus masseter (M.m.) és a musculus temporális. (M.t.) A rétegváltás lehetővé teszi a struktúrák bőr réteghez és a fül trágusához viszonyított helyzetének bemutatását.

A boncolás következő rétegében a musculus temporalis superficiális izomzatának leválasztását követően a squama temporalist és a pteriont mutattuk be, mely a sutura sphenoparietalis és sutura squamosa találkozási pontja által meghatározott fontos tájékozódási pont. (46. Ábra) A pterion jelöli ki az ékcsont kisszárnyának helyzetét amely körül alakítjuk ki a csontablakot.



46. Ábra. A pterion helyzetének bemutatása rétegváltással. A bőr és a fascia eltávolítása után, látható a musculus temporalis izomlebenye majd a squama temporalis a pterionnal. Rétegváltással ez esetben is jól szemléltethető a pterion (P) a tapintható tájékozódási pontokhoz képest, mint a járomív, az orbita laterális éle vagy a fül trágusa.

A következő rétegekben a csontfelszínnek és az ékcsont kisszárnyának a temporális és frontális lebenyhez való viszonyát vizsgálhatjuk. A csontablak kialakítása után, a dura máter eltávolításával a temporalis és a frontális lebenyt bemutatható. A disszekció ezen lépései rétegváltással jól szemléltethetőek. A pterion körül kialakított csontablak elvételével látótérbe hozható a kemény agyhártya és az ékcsont kisszárnyának laterális része. A kemény agyhártya eltávolítása után megjeleníthető a frontális és temporális lebeny a Sylvius árokkal. (47. Ábra)



47. Ábra. A kisszárny helyzetének bemutatása rétegváltással. A csontablak megnyitásával és a kemény agyhártya eltávolításával a kisszány pterionhoz (P) és a járomcsonthoz viszonyított helyzete vizsgálható. A dura mater eltávolításával a Sylvius árok (S.) helyzete, lefutása, a frontális (L.f.) valamint temporális lebeny (L.t.) elhelyezkedése bemutatható.

Az ékcsont kisszárnya fontos tájékozódási pont az ilyen irányú behatolások során, melyet laterális irányból mediálisan követve, eljuthatunk a fissura orbitalis superiorhoz,

majd még mélyebben a processus clinoideus anteriorhoz, ahol a nervus opticus, az arteria carotis interna és az incisura által kialakított háromszög található. A frontális és temporális lebeny határán a Sylvius árok arachnoidális borítéka látszik, mely szorosan "összeragasztja" két lebenyt. A lebenyek lapoccal történő szétválasztása és elemelése utat nyit a mélyben elhelyezkedő strukúrák felé. (48. Ábra) A kisszárny pereme elvezet a processus clinoideus anteriorig. A feltárás lépései rétegváltásokkal kiválóan szemléltethetők.



48. Ábra. A Sylvius árok megnyitásának és temporális lebeny pólusánal elemelése rétegváltással bemutatva. A képsorozat a temporalis lebeny elemelését és a frontális lapoc behelyezésének módját mutatja a frontálisan megnövelt csontablakban. Figyeljük meg, ahogyan a temporális lebeny elemelése felfedi a kisszárnyat egészen az arteria carotis interna (A.c.i.) és a nervus opticus (N.o.) szögletéig. A második lapoc frontális bázissal párhuzamos síkban történő behelyezése és a frontobazális agyállomány elemelése láthatóvá teszi a nervus opticus (N.o.).

A következő rétegekben már jól szemléltethető a kiforgatás hatása is, mely kifejezetten a mélyben elhelyezkedő struktúrák megjelenítésére alkalmas, szűk csatornán keresztül történő betekintés során. A látószög változtatásával a munkacsatorna más és más része válik láthatóvá, melynek mélyén feltárul a nervus opticus is. (49. Ábra)



49. Ábra. A képsorozat az elforgatás által nyújtott többlet információt mutatja. Míg az első képen többnyire csak a Sylvius árok (S.) egy része látható a frontális (L.f.) és temporális (L.t.) lebennyel, addig kifordított helyzetben a kisszárny egész terjedelme megjeleníthető a jobb oldali nervus opticusszal (N.o.) és az arteria carotis internával (A.c.i.).

A kisszány laterális részének elfúrásával a munkacsatornát kiszélesíthető, így a mélyben megbújó struktúrák, mint a jobb oldali nervus opticus, az arteria carotis interna supraclinoidális szakasza és a nervus oculomotorius is látótérbe hozható. (50. Ábra)



50. Ábra. A felvételpár rétegváltással mutatja be a kisszárny élrész eltávolításának jelentőségét. A Sylvius árok (S.) feltárásával és a kisszárny egy részletének elfúrásával látótérbe hozható a nervus opticus (N.o.) és az arteria carotis interna supraclionidális szakasza az elágazásig (A.c.i.) A frontális (L.f.) és a temporális lebeny (L.t.) eltartása mellett a nervus oculomotorius (N.occ.) is látható.

A következő rétegben az orbita felső és oldalsó csontfelszínét fedő periosteum eltávolítása után az orbita fala eltávolítható, melynek következtében a lapocokkal kiszélesített munkacsatornában biztonságosabbá válik a manipuláció és az orbitába terjedő folyamatok is hozzáférhetővé válnak. (51. Ábra)



51. Ábra. A felvételsorozaton az orbita oldalsó és felső falának eltávolítása látható rétegváltáson keresztül. A csont eltávolítása eredményeképpen a munkacsatorna kiszélesíthető, az orbitába terjedő folyamatok is hozzáférhetőek.

Rétegváltás segítségével bemutatható hogy az orbitozygomatikus feltárás egy tisztán pterionális (az orbita csontos falát megőrző) feltáráshoz képest kiszélesített munkacsatornát és az orbitában elhelyezkedő folyamatok megközelítésének lehetőségét nyújtja.

# 4.4 A fossa interpeduncularis szimulációs vizsgálata

A modul segítségével a fossa interpeduncularis és a suprasellaris régió anatómiai viszonyai vizsgálhatóak. Az alábbiakban bemutatjuk hogy a behatolási irány változtatásával, hogyan változik a munkaterületben elhelyezkedő anatómiai képletek láthatósága műtétek során leginkább alkalmazott frontális és fronto-laterális betekintési irányból. Az elforgatás segítségével a fejhelyzet beállítás, a betekintési irány változtatása míg rétegváltással a munkacsatornában helyetfoglaló anatómiai struktúrák egymáshoz viszonyított elhelyezkedése vizsgálható.

Első lépésben, a frontobasalis állomány lapoccal történő elemelésével bemutatható, hogy a fej elforgatásával hogyan változik a nervus opticus láthatósága, mely a behatolási irány lateralizációjával eltűnik a Sylvius árok vetületében. (52. Ábra)



52. Ábra. A felvételpár a betekintési irány változtatását szimulálja frontális és frontolaterális irányból. Subfrontalis megközelítés során a lapoc behelyezés után a jobb oldali nervus opticus (N.o.) látható, mely elfogatás során a Sylvius árok (S.) rávetülése miatt alig észrevehető.

A következő lépésekben azt vizsgáltuk, hogy a Sylvius árok megnyitása után az agy mely részének elemelésével hozható látótérbe az arteria carotis interna és az arteria cerebri media. A frontobasalis lebeny fokozott eltartása mellett a carotis-opticus szöglet feltárható. (53. Ábra)



53. Ábra. Rétegváltással a Sylvius árok mély részeinek megnyitását és a frontobasalis lebeny elemelésének hatását szemléltettük. A frontális lebeny erőteljesebb elemelésével, a lapoc mélyebbre helyezésével, a frontobasalis agyállomány kikerül a látótérből, felfedve a nervus opticus (N.o.) és az arteria carotis interna (A.c.i.) supraclinoidális szakaszát, az arteria carotis interna elágazódását és az arteria cerebri mediát. (A.c.m.)

A következőkben rétegváltással azt szemléltettük hogyan hozható lártótérbe a frontobasalis állomány és a carotis-opticus szöglet a temporális pólus további elemelésével. (54. Ábra)



54. Ábra. Rétegváltással bemutatható a frontalis és temporalis lebeny eltartásával kialakítható munkacsatorna. A lapoc mélyebbre helyezésével a frontobasális állomány (L.f.) egy részét eltartva, a Sylvius árok arachnoidea oldása után, a temporális lebeny (L.t.) eltartásával a carotis-opticus szöglet megjeleníthető.

A preparátum elforgatásával azt szemléltettük, hogy a behatolás irányának változtatásával (műtéti helyzetben) az agy egyes részeinek eltartása mellett, hogyan hozható látótérbe a Sylvius árokban elhelyzekedő arteria cerebri media és annak ágrendszere. (55. Ábra)



55. Ábra. Elforgatással megvizsgálhatóak a munkaterületben helyet foglaló struktúrák frontális és frontolaterális irányból. Míg laterális betekintésből a nervus opticuszt (N.o.), az
arteria carotis internát (A.c.i.) látjuk, addig a frontális irányú betekintésből a Sylvius árokban az arteria carotis interna elágazása és az arteria cerebri media (A.c.m) főtörzse a korai temporális lelépő ággal (E.t.) megjeleníthető.

A következő lépésekben a nagyítás fokozásával apróbb részleteket is megfigyelhetünk mint az interoptikális téret, a carotis-opticus szögletet, az opticus mögött megbúvó hypophysis nyelet vagy a temporomediális régiót. Az előbb említett struktúrákat és területeket elforgatással hozhatjuk látótérbe. (56. Ábra)



56. Ábra. A felvételpár a betekintési irány változtatásának szimulációját adja elforgatással. Az első nagyított képen a jobb oldali nervus opticus (N.o.), az arteria carotis interna (A.c.i.) elágazása, a jobb oldali nervus oculomotorius (N.occ.) és az uncus látható. (U.) A látószög oldalirányú beállításával frontolaterális betekintés mellett az oculomotorius-carotis szöglet, az interoptikális tér, a hypophysis nyél (H.ny.) a Liliequist membránnal megjeleníthető. Az ellenoldalon az arteria carotis interna (A.c.i. l.s.) is felsejlik.

A preparátum függőleges irányú elforgatásával a koponyabázison helyet foglaló struktúrák megjelennek, míg a bázissal párhuzamos betekintés mellett az interoptikális tér kerül látótérbe. (57. Ábra)



57. Ábra. A felvételpáron demonstráljuk a preparátum függőleges irányú elforgatása mellett megjeleníthető struktúrákat. Az első képen -a koponyabázis síkjával inkább párhuzamos betekintés mellett-, jól látható a két nervus opticus a chiasma opticum és a lamina terminalis (L.t.), az arteria cerebri media (A.c.m.) és az arteria cerebri anterior (A.c.a). A második képen, a bázisra történő "rátekintés" mellett, a jobb oldali nervus opticus (N.o.) látható amint belép a canalis opticusba, az arteria carotis interna (A.c.i.), illetve a mellette laterálisan haladó nervus oculomotorius (N.occ.) ábrázolódik a durális belépésével, mellette az uncus figyelhető meg. (U.)

A boncolás során a továbbiakban nem a műtéttecnikai lépések szemléltetése volt célunk, hanem az egyes struktúrák rezekciójával rétegváltásokon keresztül mutattuk be a környező anatómiai viszonyokat.

A következő rétegváltással a feltárás során az arteria carotis interna takarásában elhelyezkedő hypophysis nyél lefutását vizsgáltuk meg. A rétegváltás lehetővé teszi fedésben lévő anatómiai struktúrák megjelenítését is.



58. ábra. A képen rétegváltással és az arteria carotis interna eltávolításával a hypophysis nyele (H.ny.) bemutatható.

Ugyanebben a rétegben a preparátum elfordításával látótérbe hozható a betekintésből az arteria carotis interna mögött eredő arteria choroidea anterior és az arteria communicans posterior és perforátor ágrendszere. (59. Ábra)



59. Ábra. A képsorozat frontális betekintésből szemlélteti rétegváltással a carotis-opticus és az oculomotorius-carotis szögletét. Az első képen jól látható a jobb oldali arteria carotis interna (A.c.i.) és ágai: az arteria cerebri anterior (A.c.a.) és media (A.c.m.). A második képen rétegváltást követően feltűnik az arteria communicans posterior (A.co.p.), az arteria choroidea anterior (A.ch.a.) eredése és perforátor ágrendszere, a jobb (N.o.) és a bal oldali nervus opticus (N.o.l.s.), valamint temporomediálisan az uncus. (U.)

A jobb oldali arteria carotis interna, arteria communicans posterior és az arteria choroidea anterior perforátor ágrendszerének eltávolításával az artéria basiláris is látótébe hozható. A jobb oldali nervus opticus eltávolításával célunk a feltárás során rejtett helyzetben lévő hypophysis nyelének bemutatása. (60. Ábra)



60. Ábra. A disszekció végső lépésében, az 59. Ábra folytatásaként, rétegváltással szemléltettük a perforátor ágrendszer eltávolításával látótérbe kerülő arteria cerebri posteriort (A.c.p.). Ezután a jobb oldali nervus opticus (N.o.) eltávolításáal és a chiasma opticum felezésével megjelenítettük a hypophysis nyelét. (H.ny.) Jól látható a jobb oldali nervus oculomotorius (N.occ.) kilépése az agytörzsből, az arteria cerebelli superior (A.c.s.) és az arteria cerebri posterior (A.c.p.) között és az arteria basilaris csúcsa is megjelenik. (A.b.)

### 4.5 A sinus cavernosus és a sella vidékének szimulációs vizsgálata

A szimulációs modul elkészítésével célunk egy olyan interaktív szemléltető eszköz kifejlesztése volt, mely lehetőséget nyújt a sinus cavernosus és a sellaris régió anatómiai viszonyainak vizsgálatára különböző műtéti behatolási irányoknak megfelelően.

A disszekció első lépésében a dura eltávolításával (62. Ábra) rétegváltáson keresztül láthatóvá tettük a nervus mandibularis intracavernosus helyzetét, amint a koponyabázison halad kilépési pontja felé. Ebben a rétegben jól vizsgálható a nervus oculomotorius és nervus trochlearis belépési pontjai a dura kettőzetbe. A következő rétegben az orbita felső és oldalsó falának eltávolításával megvizsgálhatóak a benne futó fontos neurovascularis struktúrák. A sinus cavernosust kitöltő, vénás vért reprezentáló, kék ragasztóanyag eltávolításával látótérben hozható a nervus maxillaris és a nervus ophtalmicus lefutása, mely utóbbi az orbitában is követhető. A rétegváltás a processus clinoideus anterior helyzetét is bemutatja mind frontális, mind frontolaterális betekintésből.



62. Ábra. A felvételsoron a sinus cavernosus vizsgálható műtéti beállításokban, jobb oldalon frontális vagy frontolaterális betekintésekből . A jobb oldali agyféltekét a jobb láthatóság miatt eltávolítottuk. Rétegváltásokkal a dura mater alatt láthatóvá tettük a nervus trigeminus három ágát. Ugyanebben a rétegben jól vizsgálható a nervus oculomotorius (N.occ.) és a nervus trochlearis (N.t.) durális belépési pontjai. Jól látható a hypophysis nyele (H.ny.) amint a diaphragma sellae-én keresztül halad a hypophysishez. Újabb rétegváltással az orbita oldalsó fala eltávolítható, így látótérbe hozható a trigeminus első ága (V.1.) a nervus ophtalmicus, a nervus trochleáris intraorbitális lefutása és a musculus rectus lateralis (M.r.l.), mely alatt felsejlik a nervus abducens is. Lobus frontalis: L.f., N.o.: Nervus opticus, O.: Orbita, V.2.: A nervus trigeminus 2. ága a nervus maxillaris, V.3.: A nervus trigeminus 3. ága a nervus mandibularis, A.t.: Agytörzs, P.c.a.: Processus clinoideus anterior.

A szimulációs modul következő rétegeinek váltásával bemutatható a nervus trochlearis és a nervus opthalmicus helyzete, mely utóbbi eltávolításával megjeleníthető a nervus abducens teljes lefutása is. A nervus abducens és a nervus oculomotorius eltávolításával bemutatható a processus clinoideus anterioron tapadó proximális és a distális durális gyűrű, melyek anatómiai ismerete és klinikai jelentősége az intra és extracranialis aneurysmák elkülönítésében jelentős. A proximális gyűrűtől distális nyakeredéssel bíró érzsákok intracraniálisak, így subarachnoidális vérzést okozhatnak, ellátásuk szükséges.(63. ábra)



63. Ábra. A képeken a sinus cavernosus disszekciójának különböző fázisai végezhetők el rétegváltással. A nervus trochlearis (N.t.) és a nervus ophtalmicus eltávolításával megjeleníthető a nervus abducens (N.a.), majd a nervus oculomotorius és a nervus abducens (N.a.) eltávolításával feltárul a carotis interna (A.c.i.), intracavernosus lefutása, a proximális (P.d.gy.) és a distális durális gyűrű. (D.d.gy.)

A disszekció utolsó lépésében a nervus opticus elemelésével megvizsgálhatjuk az arteria ophtalmica eredését, a nervus abducens lefutását a Dorello csatornától az orbitáig. A feltárás legutolsó rétegében feltárhatjuk a hypoophysist és a sinus sphenoidalis üregét oldalirányból. (64. Ábra)



64. Ábra. A sinus cavernosus modul végső rétegeinek váltásával megjeleníthetjük az arteria carotis interna cavernosus lefutását, megvizsgálhatjuk az arteria ophtalmica (A.o.) rejtett eredését a nervus opticus alatt és lefutását a canalis opticusban (C.o.) megjeleníthetjük a sellában helyetfoglaló hypophysist (Hy.) és megnyithatjuk a sinus sphenoidalis (S.sph.) üregét is.

## 5 Megbeszélés

Az orvostanhallgatók oktatásának és a sebészképzés fontos eszköze a bonctermi gyakorlat és a kadaveren végzett szimulációs gyakorlat, melynek célja az emberi test szerkezetének minél szemléletesebb bemutatása és ritkán alkalmazott műtéttechnikai lépések elsajátítása. (42,43)

A műtétek tervezése, a betegségek által torzított anatómiai viszonyok közötti tájékozódás, a feltárások elvégzése, rengeteg tapasztalatot és pontos anatómiai ismeretet igényel. A speciális műfogások elsajátítása számtalan műtét elvégzésével lehetséges melyet a kadaveren végzett mikrosebészeti gyakorlat facilitál. A kadaver kurzusokon lehetőség nyílik új sebészeti tehnikák elsajátítására, eszközük használatára, bonyolult feltárások szimulációjára. Az ilyen gyakorlatok növelik a sebészi kompetenciát és alkalmat nyújtanak "kitekintésre" a megszokott műtéti "útvonalról letérve" a környező anatómiai viszonyok feltérképezésére.

A bonctermek és a szimulációs kadaver laborok fenntartása, a tetem kezelésének és tárolásának költsége jelentős. Bonctermek és szimulációs laborok többnyire a nagy egyetemeken hozzáférhetőek csak. Részben ennek köszönhetően egyre több nyugat-európai és amerikai egyetem mond le a humán morphológia oktatásának e gyakorlati modalitásáról. A bonctermi gyakorlatok általában zsúfoltak, a sebészi szakmák számára rendszeresített kadaver kurzusok rendkívűl drágák, kevés jelentkező számára biztosítanak lehetőséget.

Maga a kadaver szövet sokszor csak egyetlen lehetőséget nyújt, a "boncolást" követően irreverzibilis károsodásokat szenved, további gyakorlat számára már nem alkalmas. Ennek megfelelően a boncolás folyamata nem reprodukálható.

A számítástechnika fejlődése, az internet elterjedése, valamint a fent részletezett korlátok eredményeképpen egyre nagyobb számban jelennek meg alternatív oktató és szemléltetőeszközök a továbbképzésben is.

A hallgatók és orvosok többsége manapság napi szinten használ számítógépet és rendelkezik haladó szintű számítástechnikai ismeretekkel. A számítástechnika, azon belül is a modern képrekonstrukciós és képalkotó eljárások robbanásszerű fejlődése, új alkalmazások megjelenését eredményezte. Segítségükkel az emberi test felépítése, egy-egy kórfolyamat megjelenítése, lényegesen érthetőbbé vált. A legtöbb interaktív oktatóprogram

azonban mind a mai napig többnyire képeket és illusztrációkat tartalmaz. Interaktivitásuk legtöbbször kimerül a kezelőfelületen biztosított alapvető funkcionalitásokban, mely többnyire a képek megnyitását, a nagyítását vagy videók, animációk lejátszását jelenti. A képanyag leggyakrabban 2-dimenziós, nem manipulálható, térhatást nem biztosít.

Az interaktív animációk biztosították a térhatású szimuláció olyan formáját, mely alkalmazást nyert az orvosképzésben és a sebészek továbbképzésében. (44-47) Mára a műtéti szimulátorok egyre hatékonyabb segítséget nyújtanak az ismeretanyag elsajátításában. (48-52)

Az animáció azonban megrajzolt, a képtartalom hátránya, hogy nem tükrözi a valós fény, szín, textúra és árnyék viszonyokat. A részletek bemutatását illetően az animációk felbontása messze elmarad a fényképes megjelenítéstől. A sebészképzés céljára a valós anatómiai viszonyokat és kadaveren végzett szimulációs műtétek technikai lépéseit bemutatni képes, fénykép-alapú megjelenítés a legalkalmasabb.

A volumetrikus adathalmaz rekontrukcióján alapuló CT vagy MR képalkotás vitathatatlanul a legfontosabb morphológiai vizsgálómódszer és diagnosztikai eszköz. A nagy teljesítményű berendezésekkel végzett vizsgálatok 3-dimenziós rekonstrukciója pontos képet szolgáltat egyes betegségek megjelenéséről és környezetéhez való viszonyáról. (53,54) Ezek a képalkotó eljárások korábban a patoanatómia viszonyok térbeli viszsgálatát csak korlátozott mértékben tették lehetővé. A többnyire kereszt- és hosszmetszeti képekből, melyeket ezek a viszgálómódszerek kínáltak lényegesen nehezebb volt rekonstruálni a struktúrák 3-dimenziós felépítését képzelőerőnkre hagyatkozva. A 3-dimenziós megjelenítés, térhatást biztosítva, lényegesen több információt szolgáltat betegségekről, anatómiai viszonyokról.

A képanyag elforgatásával elérhető térhatás rejtett részletek vizsgálatára is alkalmas. Gondoljunk arra, hogy a korábban konvencionális 2-dimenziós érfestéses viszgálatok idején mekkora kihívást jelentett az érstruktúra és az azon elhelyezkedő kóros képletek vizsgálata. Térhatás hiányában más fősíkokban (oldal, AP, ferde) történő leképezések elkészítésére is szükség volt a térbeli alakzat elképzeléséhez. A rávetülések következtében az erek lefutása, érmalformációk, érzsákok pontos helyzete, alakja, eredésének viszonya egyetlen nézetben nehezen vagy egyáltalán nem volt megítélhető. A 3-

dimenziós rekonstrukcióban, a elforgatással létrehozott térhatásban a rávetülések következtében rejtve maradó fontos részletek is megjeleníthetőek lettek, döntő adalékot szolgáltatva a sebészi vagy az endovascularis kezelési modalitások kiválasztásában.

Az ezredforduló tájékán jelentek meg közlemények az interaktív térhatást biztosító fotórekonstrukció oktatási célú felhasználásáról. A preparátumokat eleinte egy fényképezőgép előtt elforgatva, lineáris fotósorozatban rekonstruálták. Az újszerű QTVR (QuickTime Virtual Reality) fotorekonstrukció ígéretes eszköznek bizonyult az anatómia oktatás és sebészeti képzés területén, miután az elforgatás lehetőségét és térhatás élményét nyújtotta mint a modern a 3-dimenziós CT, MR rekonstrukció, de fényképes környezetben. A felhasználó -más és más látószögekbe fordítva a preparátumot-, rejtett részleteket is tanulmányozhatott. (55,56) Az eljárás hátránya volt, hogy az idő múlását, így műtéttechnikai részleteket, műfogásokat, anatómiai boncolások folyamatát nem mutatta be.

Az MKM robotmikroszkóp használata és a képrács szerkezet kialakítása nagy előrelépést jelentett az interaktív térhatást biztosító képrekonstrukció területén. Miután a robotmikroszkóp egy virtuális gömb felszín mentén készítette a felvételeket, a képrács szerkezetben nemcsak a horizontális elforgatás, de a preparátum függőleges irányú mozgatása is lehetővé vált. (57,58)

Az MKM-QTVR technológia intraoperatív körülmények között, műtéti helyzetek szimulációjára, mély agyi struktúrák, patológiás elváltozások bemutatására is alkalmassá vált. (35)

Az interaktív térhatású megjelenítés újabb mérföldkövét, az általunk kifejlesztett, többrétegű képrács rekonstrukció bevezetése jelentette, mely a preparátum akár függőleges, akár vízszintes elforgatása mellett a disszekciók, műtéttechnikai lépések bemutatására is alkalmassá vált. A 4-dimenziós megjelenítésben a térhatást az elforgatás biztosította, míg a negyedik dimenziót az idő hozzárendelése jelentette.

A preparátum helyzetének megtartása mellett, a boncolás újabb és újabb lépéseinek pásztázásával egy többrétegű képrács szerkezetet alakítottunk ki. A képrács szerkezet minden felvétele ugyanabban a látószögben, a beavatkozás más és más állapotát mutatta be. (15. Ábra) Az új eljárás képi megjelenítése céljából új számítógépes programot fejlesztettük

ki (MIGRT: Multilayer Image Grid Reconstruction Technology), melyben a preparátum nemcsak elforgatható, de a rétegváltással a boncolás folyamata is bemutatható lett.

A korábbiakhoz hasonlóan a képek elkészítéséhez az MKM robotmikroszkópot használtuk, gömbfelszín mentén pásztázva. A robotmikroszkóp rendkívűli súlya miatt azonban speciális kialakítású helyiséget, bonyolult vezérlése miatt szakképzett személyzetet igényelt. A pásztázások a képrács méretének függvényében sokszor órákon keresztül tartottak. Miután a robotmikroszkóp mozgatása 6 szabadsági fok mentén a függőleges tengelytől minden irányban hozzávetőleg 40-45 fokos szögtartományban egy gömbfelszín cikkely mentén volt lehetséges, ennek következtében a rekonstrukció is csak

A robotmikroszkóp lassú, így az egyes fázisok szkennelése sokszor 120-180 percet is igénybe vett. A jövőben a technika továbbfejlesztéseként - a preparátumok akár 360 fokos bejárásának biztosítása céljából-, egy olyan berendezés megépítése szükséges, mely lehetőséget biztosít a preperátum 360 fokos bejárására rövid szkennelési idő mellett is.

A képrekonstrukciós eljárásunk másik kulcsa a preparátum elmozdulásmentes rögzítése volt. A rétegváltással létrehozott különleges vizuális élmény eléréséhez, mellyel a boncolás lépései szimulálhatóak, a felvételeket pontosan ugyanabban a térbeli helyzetben és ugyanabból az irányból kellett elkészíteni. A preparátum elmozdulásmentes rögzítését - a műtétek során is alkalmazott-, Mayfield fejtartó segítségével oldottuk meg. A Mayfield fejtartó rigid rögzítést biztosított, ugyanakkor a preparátum kivétele után annak precíz visszahelyezést már nem tette lehetővé. Két műtéti lépés között a preparátum elmozdulásából származó hiba a képrácsszerkezet "megbomlását" ereményezi, mely végső soron a képek között elmozduláshoz vezet. Miután a felvételek egy ilyen elmozdulás esetén nem kerülnek "fedésbe", a rekonstrukcióban a rétegyáltások során zavaró mozgatási műtermék, vibrációs élmény keletkezik, mely megnehezíti az anatómiai viszonyok vizsgálatát. A beállítás eredményeképpen a hosszú és megterhelő boncolásokat sokszor egy ülésben a preparátum eltávolítása nélkül kellett elvégezni. Ez növelte a bonyolult technika vezérlése közben ejtett hibák számát és megterhelő fizikai kihívást jelentett a boncolást végző személy részére. Egy olyan befogó szerkezet kialakításával, mely biztosítja a preparátum elmozdulásmentes visszahelyezését, a disszekció akár több "ülésben" is

elvégezhető. Ezáltal az eljárás alklamassá tehető extenzív beavatkozások de akár az egyész emberi test szerkezetének vizsgálatára is.

A többrétegű interaktív képrekonstrukciós eljárás alkalmazásának bemutatásaként létrehoztuk az orbitozygomatikus feltárás és a feltárásból elérhető fossa interpeduncularis és sinus cavernosus-sella vidék szimulációs moduljait. A oktatóeszköz segítségével bemutattuk a módszer előnyeit és szemléltettük a "kiforgatás", mint betekintési irány, valamint a "rétegváltás" mint a disszekció szimulációjának hatását rejtett anatómiai struktúrák, műtéttechnikai lépések vizsgálatában.

Az orbitozygomatikus feltárást azért választottuk, mert ez a megközelítés lehetőséget biztosít a legtöbb középső és az elülső koponyagödörben kialakuló elváltozás biztonságos megközelítésére, egyúttal rajta keresztül jól szemléltethetők az idegsebészeti műtéttan jellegzetes kérdései. (59-61) A feltáráson keresztül megközelíthető a laterális-felső agytörzsi régió, a temporomediális struktúrák, mint az uncus, a hippocampus, a temporális kamraszarv, az amygdala és az incisura. A megközelítés optimális behatolást nyújt a frontális állomány, a fossa interpeduncularis, a supra-, para- és retrosellaris régió, az interoptikális tér, a sella, a hypophysis, a sinus cavernosus, az orbita, az ékcsont kis és nagyszárnya, a planum spehnoidale, az interhemispheriális hasadék, a Willis kör ágrendszere, a petroclivaris, az artéria basilaris csúcs és az orbita vidék eléréséhez.

A széles munkacsatornában a csontrészletek kiemelésével a manipulációs tér megnövelhető, az agy eltartásának szükségessége csökkenthető. Az agyeltartás helyének és mértékének bemutatását azért tartottuk szükségesnek, mert a műtétek során a lapocok nyomásából származó súlyos szövődmények alakulhatnak ki. Létrejöhet agyszövet kontúzió, intracerebrális vérzés, thrombózis és vénás keringészavar is. Ezért az idegsebészeti műtétek során a lapoc használatát igyekszünk a minimális, de szükséges szinten tartani. A szimulációs modul segítségével szemléltettük, hogy a feltárás során az agy mely részeinek és milyen mértékű eltartása szükséges az optimális munkaterület kialakításához. Bár az idegsebészeti gyakorlatban a pterionalis feltárás legtöbbször elégséges a fenti régiók megközelítéséhez, azonban számos intézetben alkalmazzák az orbitozygomatikus feltárást, mely a pterionális feltárás kiterjesztése, és amely lehetővé teszi az orbitába is terjedő folyamatok biztonságos megközelítését az agyállomány eltartásának

minimalizálása mellett. Az orbitozygomatikus feltárás során a pterionalis craniotómia csontablakát az orbita tető, az ékcsont és a járomcsont egy részének eltávolításával egészítettük ki. (65. Ábra)



65. Ábra: A kép a pterionális és az orbitozygomatikus feltárás közötti különbséget mutatja. Az orbitozygomatikus feltárás során a pterionalis csontablakot az orbita tető, az ékcsont kisszárnyának és a járomcsont nyúlványának rezekciójával egészítjük ki. A "C" kép

szemlélteti az orbitozygomatikus egység csontos elemek átvágásának vonalát. A feltárás egy lényegesen szélesebb munkacsatornát biztosít minimális agyállományi eltartás mellett, lehetőséget teremtve az obitába terjedő folyamatok eléréséhez. Carlos A. David, MD, Robert F. Spetzler, MD Petroclival Meningiomas. Barrow Quarterly - Volume 15, No. 2, 1999

Tekintettel az extenzív, agy- és arckoponya csontot is érintő rezekcióra, a csontfúrás bonyolult vonalvezetésére, a beavatkozás pontos anatómiai ismeretet és kellő tapasztalatot igényel. (62) A szimulációs eszközök létjogosultsága ebben a vonatkozásban sem elhanyagolható.

Az orbitozygomatikus feltárás és a két régió interaktív rekonstrukciójában elforgatással szimuláltuk a preoperatív fejhelyzet beállítását vagy a betekintési irány változtatását és rétegváltással mutattuk be a mikrosebészeti disszekció stádiumait és a műtéti lépéseket. Elforgatással és a rétegváltások alkalmazásával megvizsgáltuk, hogy a betekintési irány változtatása hogyan befolyásolja a munkaterületben helyet foglaló struktúrák láthatóságát és a főbb műtéttechnikai lépések milyen hatást fejtenek ki a munkacsatorna kialakítására.

A bőrréteg eltávolítását rétegváltással szimulálva bemutattuk a nervus facialis ágainak és nervus auriculotemporalisnak a fül trágusához viszonyított helyzetét, valamint a bőrmetszés vezetésének helyes vonalát a mimikai-motoros és sensoros funkciót ellátó idegek megőrzése érdekében. A fascia eltávolításával szemléltettük a musculus temporalis tapadását, majd az izomszövet leválasztásával bemutattuk a pterion helyzetét. A pterion jelzi az ékcsont kisszárnyának helyzetét, mely fontos tájékozódási pont a craniotomia elkészítésekor. A kisszárny széle különös jelentőséggel bír a feltárás során, miután a csontszél mentén juthatunk el a fissura orbitalis superiorig, majd mélyebben, a processus clinoideus anteriorig. Kiforgatással szemléltettük a kisszárny láthatóságát különböző behatolási irányokból, és bemutattuk miért szükséges a behatolási irány lateralizációja a carotis-opticus szöglet, de még inkább az interopticális tér megközelítése során. A frontotemporális feltárások során a kisszárny fontos tájékozódási pont a Sylvius árok

azonosításában is. Rétegváltásokkal szemléltettük a Sylvius árok arachnoidális rétege oldásának hatását a temporális és frontális lebeny szétválasztásában.

Rétegváltással bemutattuk a frontális és temporális lebeny eltartásának optimális helyét, a lapoc behelyezés irányát. Az agy eltartásával, elforgatással mutattuk be, hogyan változik a munkaterületben feltárt carotis-opticus szöglet láthatósága a behatolási irány változtatásával. A kisszárny laterális részének eltávolításával azt demonstráltuk, hogy mekkora további terület nyerhető a munkacsatornában akár egy kicsiny csontrészlet elfúrásával, és az hogy növeli a mélyben elhelyezkedő nervus opticus és arteria carotis interna láthatóságát. Az orbitozygomatikus egység eltávolításval bemutattuk, hogyan tehető hozzáférhetővé az orbitalis kompartment és hogyan tárhatóak fel az itt megjelenő betegségek.

Az fossa interpeduncularis és a sinus cavernosus-sella vidék szimulációs moduljainak létrehozásával olyan oktatóeszközöket szándékoztunk előállítani, amelyek lehetővé teszik sebészek és rezidensek számára a feltárásból elérhető, koponyabázis közeli régiók anatómiai viszonyainak vizsgálatát. A modulok segítségével a fejbeállítás és a betekintési irány változtatás szimulálható. Az interakció segítségével a régióban elhelyzekedő anatómiai struktúrák láthatósága megvizsgálható a betekintési irány változtatásával.

A koponya bázisa, a fossa interpeduncularis és a környékén elhelyezkedő elokvens régiók anatómiai képletekkel zsúfoltak. Az itt megjelenő elváltozások és a régió delikát struktúráinak sérülése súlyos idegrendszeri tüneteket alakíthatnak ki akár távolhatási tünetek formájában is. Itt haladnak az agytörzsből kilépő agyidegek, az artéria carotis interna proximális ágrendszere előtte helyezkedik el a sella turcica és a hypophysis, melyek idegsebészeti vonatkozásai jelentősek. A régió hátsó kompartmentjében elérhető az agytörzs az artéria basiláris és az a. cerebri posterior is. A régió képletei mellett meg kell említenünk, hogy a feltárásból elérhető az elülső és középső koponyagödör legnagyobb része is.

A szimulációs modulban kiforgatással és rétegváltással szemléltethetőek a régióban elhelyzekedő anatómiai struktúrák és régió biztonságos megközelítésének lehetőségei

supraorbitális subfrontális feltáráson keresztül de akár frontális vagy frontolaterális betekintésből.

Elemeztük a feltárás lépéseit, szemléltettük a lapoc behelyezés és az agyeltartás lehetőségeit a carotis-opticus szöglet feltárása céljából. Megvizsgáltuk a munkaterület láthatóságát frontális és frontotemporális behatolási irányokból. Bemutattuk, hogy a fej mekkora elforgatása szükséges takarásban lévő megjelenítéséhez. A fej frontális megközelítéséből inkább a Sylvius árok, az artéria cerebri media, míg a fej lateralizációval a carotis-opticus szöglet és az interoptikális tér tehető láthatóvá. Rétegváltásokkal mutattuk be, hogyan hozható látótérbe a nervus opticus és a nervus oculomotorius vagy a nervus opticusok és a chaisma opticum takarásában elhelyezkedő hypophysis nyél. Az arteria carotis interna eltávolítását rétegváltással szemléltettük, mely felfedte az arteria communicans posteriort és perforátor ágrendszerét, az arteria choroidea anteriort. Ez utóbbi két ér eredése, lefutása és ágrendszere műtéti körülmények között az artéria carotis interna takarásában csak nehezen vagy egyáltán nem hozható látótérbe. A szimulációs modul utolsó rétegeiben bemutattuk az arteria basilárist, az agytörzs ventrális felszínét, valamint elöl a jobb oldali nervus opticus eltávolításával és a chiasma opticum-lamina terminális felezésével betekintettünk a III. agykamrába, mely fontos mozzanat műtétek során liquor lebocsátás céljából. A szimuláción keresztűl bemutattuk, hogy az arteria basilaris megközelítéséhez egy frontálisabb, míg a nervus opticusok, az interopticalis tér, az arteria cerebri anterior és az arteria communicans anterior eléréséhez, egy oldalirányú, frontolaterális betekintés szükséges, melyet a fej kifejezettebb ellenoldali elfordításával, oldalirányú betekintéssel érhetünk el.

A sinus cavernosus-sella vidék képezi az orbitozygomatikus feltárás által kialakított munkaterület alját. A régió komplex anatómiai felépítésének ismerete egyaránt fontos a a műtéti feltárás megtervezéséhez. A modul felületesebb rétegeiben bemutattuk az arteria carotis interna proximális és distális durális gyűrűjét és a processus clinoideus anteriorhoz fűződő viszonyát, melynek ismerete a "carotid cave"-ben elhelyzekedő aneurysmák lokalizációjának megítélésében elengedhetetlen. A nervus opticus elemelésével és a processus clinoideus anterior elfúrásával demonstráltuk a nehezen hozzáférhető arteria ophtalmica eredését és lefutását. A modul további rétegeiben bemutattuk a sinus cavernosus

ideg- és érképleteit, tanulmányoztuk a struktúrák egymáshoz viszonyított helyzetét, lefutását és láthatóságát a feltárás által biztosított frontális és frontolaterális betekintési irányokból.

Rétegváltásokkal látótérbe hoztuk a sinus sphenoidálist és a hypophysist. Különös hangsúlyt fektettünk a nervus trigeminus ágrendszerének bemutatására, továbbá a nervus oculomotorius, trochlearis és opticus megjelenítésére. Rétegváltással bemutattuk a nervus oculomotorius és a nervus trochlearis durális belépési pontjait, az arteria carotis interna petrosus szakaszának lefutását, a mediális oldalon megnyitottuk a sinus sphenoidális üregrendszerét.

## 6 Következtetések

A kadaveren végzett gyakorló műtétek és az interaktív képrekonstrukció által biztosított szimuláció létjogosultsága az idegsebészetben vitathatatlan. Az idegsebészeti műtéttant szöveges tankönyvekből elsajátítani nem lehet. Az idegsebészet különösképpen az a speciális terület, ahol a biztonságos műtéttechnikai gyakorlat csak hosszas asszisztenciával és alapos anatómiai ismeretek birtokában sajátítható el.

Az idegsebészeti műtétek döntési algoritmusok mentén valósulnak meg. A műtéttechnikai lépések kadaveren jól gyakorolhatóak, azonban a kadaver disszekció rutinszerűen nem hozzáférhető. A műtéti élményt valósághűen rekonstruálni képes szimulátorok létjogosultsága vitathatatlan.

A többrétegű képrács rekonstrukciós eljárás hatékony szimulációs eszköz a mikrosebészeti eljárások és anatómiai disszekciók interaktív, térhatású megjelenítésére. A fénykép alapú megjelenítés a valós viszonyokat tükrözi a legnagyobb részletgazdagságában, az animációkés illusztrációk mesterséges, kétdimenziós, térhatást nélkülöző megjelenítésével szemben.

Az eljárás segítségével a kadaveren végzett szimulációs beavatkozások vizuális térélménye reprodukálható, bárhol elérhetővé számítógépeken.

Az interaktív képrekonstrució által fontos idegsebészeti műtéttani kérdések, mint a munkacsatorna kialakítás lépései, az egyes lépések munkaterület kialakítására kifejtett hatása, a műtéti fejhelyzet beállítás vagy az intaroperatív betekintési irány megválasztásának problematikája és betekintési irány változtatásának a munkaterületben elhelyezkedő anatómiai struktúrák láthatóságára kifejtett hatása elemezhető.

Az oktatóprogram a közeljövőben, az egész emberi testre kiterjesztett vizsgálatokkal kiegészítve, fontos eszközzé válhat az anatómiai oktatásban és a sebészi műtéttani képzés területén.

# 7 Összefoglalás

A műtéttechnikai jártasság megszerzésében a kadaveren végzett szimulációs műtétek rendkívűl hasznosak. A kadaver kurzusok alkalmával lehetőség nyílik mikrosebészeti jártasság megszerzésére, műfogások elsajátítására. A tetemhez való hozzáférés azonban korlátozott. A bonctermek fenntartása költséges, mely nagy terhet jelent az egyetemek számára. Miután a tetem felajánlások száma is jelentősen csökkent az elmúlt évtizedekben, megnőtt az igény alternatív oktató- és szemléltetőeszközök iránt. A jelenleg elérhető anatómiai és sebészi szimulátorok és diagnosztikus képalkotó eljárások képanyaga többnyire illusztrált, művi megjelenítést kínál, így a valós részleteket nem tükrözik.

Célunk egy olyan interaktív térhatást biztosító képi megjelenítés kidolgozás volt, mellyel a kadaveren végzett szimulációs mikrosebészeti eljárások rekonstruálhatóak. További célunk volt az orbitozygomatikus feltárás és a feltárásból elérhető fossa interpeduncularis és a sinus cavernosus-sella vidék szimulációs oktatómoduljainak elkészítése, melyek segítségével az idegsebészeti feltárások műtéttechnikai kérdései vizsgálhatóak.

Ennek céljából kidolgoztuk a többrétegű képrács rekonstrukciós eljárást és az interaktív térhatású megjelenítést biztosító MIGRT (Multilayer Image Grid Reconstruction Technology) számítógépes programot. Az eljárás segítségével létrehoztuk az orbitozygomatikus feltárás, a fossa interpeduncularis fossa és a sinus cavernosus-sella vidék szimulációs moduljait. Interaktív térhatásban megvizsgáltuk az régiókban elhelyezkedő anatómiai struktúrák láthatóságát a műtéti fejhelyzet beállítás, a betekintési irány változtatásának függvényében és az idegsebészeti feltárás szimulációján keresztűl megvizsgáltuk a feltárás fontosabb szempotjait.

A többrétegű képrács rekonstrukciós eljárás által nyújtott elforgatással és rétegváltással az idegsebészeti műtétek fontos lépései a műtéttan preoperatív kérdései mint a a fejhelyzet beállítás, behatolási irány megválasztása, a munkacsatorna kialakítás és a munkaterületben helyet foglaló struktúrák láthatósága jól vizsgálhatóak.

Az eljárás a kadaveren végzett mikrosebészeti neuroanatómiai disszekció valósághű szimulációját nyújtja.

## 8 Summary

Cadaver based dissection is a valuable tool to obtain dexterity and surgical competency. Hands-on courses offer manipulation experience by cadavers dissections and provide opportunity to simulate surgical techniques. Access to cadaver dissections is limited. The expense related to maintaining cadavers laboratories represents financial challenges for universities. As number of whole body donations have decreased recently access to cadaver have been further restricted. Therefore the need for alternative education tools has increased substantially. Animated imagery provided by recently available anatomical and surgical simulators offer artificial display of anatomy and doesn't reflect true appearance.

Our goal was to develop an interactive 3-dimensional photo reconstruction technique to simulate cadaver based microsurgical dissections on computer. Furthermore our goal was to create the simulation module of one of the most frequently applied surgical approach the orbitozygomatic exposure and interactive training modules of the interpeduncular fossa and the cavernous sinus-sellar region. Our goals were to create a tool that allows surgeons to examine intricate operative nuances of neurosurgical procedures.

We have developed multilayer image grid reconstruction technology and MIGRT software to simulate cadaver based microsurgical dissections. We also developed simulation modules of the orbitozygomatic approach, interpeduncular fossa and the cavernous sinus-sellar region. We have analyzed the visibility of structures located in working areas in relation to changes of preoperative head positioning, or intraoperative viewing angulation in interactive 3-dimensional environment.

Rotation and layering provided by multilayer image grid reconstruction technology is a powerful image manipulation tool to examine preoperative settings such head positioning or selection of angle of attack. Interactive features allow analyzing issues of important surgical nuances and visibility of various anatomical structures located in working areas related to changes in viewing angulation.

Interactive 3-dimensional image photoreconstruction provides realistic simulation of cadaver based microsurgical procedures.

# 9 Irodalom

- 1. Von Staden H. (1992) The discovery of the body: human dissection and its cultural contexts in ancient Greece. Yale J Biol Med, 65(3): 223–241.
- Aufderheide A. History of mummy studies. In: Aufderheide A (Eds), The Scientific Study of Mummies. Cambridge Univ Press, Cambridge, 2003:5.
- Toby E Huff. Dissection and the European universities. In: Toby E Huff (Eds), The rise of early modern science Islam China and the West. Cambridge Univ Press, Cambridge, 2003:195
- Philip Cheung. Atc of Parliament governing the study of anatomy. In: Philip Cheung (Eds), Public Trust in Medical Research? Radcliffe Publishing, Oxford, 2007:36
- Gregory D. Woods. English Reforms Adopted. Retreat of the death penalty. In: Gregory D. Woods (Eds), A History of Criminal Law in New South Wales: The Colonial Period, 1788-1900. Federation Press, Leichhardt, 2002:122
- 6. Hildebrandt S. (2008) Capital punishment and anatomy: history and ethics of an ongoing association. Clin Anat, 21(1):5-14.
- 7. Harris DF. (1920) History of the Events which led to the Passing of the British Anatomy Act, A.D. 1832. Can Med Assoc J, 10(3):283-284.
- 8. McLachlan JC, Bligh J, Bradley P, Searle J. (2004) Teaching anatomy without cadavers. Med Educ, 38(4):418–424.
- 9. Dohlman GF. (1969) Carl Olof Nylén and the birth of the otomicroscope and microsurgery. Arch Otolaryngol, 90(6):813-817.

- Mudry A. (2000) The history of the microscope for use in ear surgery. Am J Otol, 21(6):877-886.
- Selden NR, Barbaro N, Origitano TC, Burchiel KJ. (2011) Fundamental skills for entering neurosurgery residents: report of a Pacific region "boot camp" pilot course, 2009. Neurosurgery, 68(3):759-64; discussion 764.
- 12. Garment A, Lederer S, Rogers N, Boult L. (2007) Let the dead teach the living: the rise of body bequeathal in 20th-century America. Acad Med, 82(10):1000-1005.
- Dev P, Montgomery K, Senger S, Heinrichs WL, Srivastava S, Waldron K. (2002) Simulated medical learning environments on the Internet. J Am Med Inform Assoc, 9(5):437–447.
- Kuppersmith RB, Johnston R, Moreau D, Loftin RB, Jenkins H. (1997) Building a virtual reality temporal bone dissection simulator. Stud Health Technol Inform, 39:180–186.
- 15. Levrel JJ, Carsin-Nicol B, Louail-Tabourel C, Chabert E, Darnault P, Gibaud B, Dameron O, Morandi X. (2003) Electronic imaging with photo-realistic rendering for neuroanatomy teaching. Methods and preliminary results. J Neuroradiol, 30 (1):31–36.
- Stefanich L, Cruz-Neira C. (1999) A virtual surgical simulator for the lower limbs. Biomed Sci Instrum, 35:141–145.
- Temkin B, Acosta E, Hatfield P, Onal E, Tong A. (2002) Web-based three dimensional Virtual Body Structures: W3D-VBS. J Am Med Inform Assoc, 9(5):425–436.

- Thalmann NM, Thalmann D. (1994) Towards virtual humans in medicine: A prospective view. Comput Med Imaging Graph, 18(2):97–106.
- 19. Lemole GM Jr, Banerjee PP, Luciano C, Neckrysh S, Charbel FT. (2007) Virtual reality in neurosurgical education: part-task ventriculostomy simulation with dynamic visual and haptic feedback. Neurosurgery, 61(1):142-148; discussion 148-149.
- Brenton H, Hernandez J, Bello F, Strutton P, Purkayastha S, Firth T, Darzi A. (2007) Using multimedia and Web3D to enhance anatomy teaching. Computers & Education, 49(1):32-53.
- Anil SM, Kato Y, Hayakawa M, Yoshida K, Nagahisha S, Kanno T. (2007) Virtual
  3-Dimensional Preoperative Planning with the Dextroscope for Excision of a 4th
  Ventricular Ependymoma. Minim Invasive Neurosurg, 50(2): 65-70.
- Deutsch JC. (2006) Applications of the Colorado Visible Human Project in gastroenterology. Clin Anat, Special Issue: Visible Human Projects Special Issue, 19(3):254–257.
- 23. Ackerman MJ. (1991) The Visible Human Project. J Biocommun, 18(2):14.
- Spitzer V, Ackerman MJ, Scherzinger AL, Whitlock D. (1996) The visible Human Male: A Technical Report. J Am Inform Assoc, 3(2):118-130.
- 25. Jastrow H, Vollrath L. (2003) Teaching and learning gross anatomy using modern electronic media based on the visible human project. Clin Anat, 16(1):44-54.

- 26. Temkin B, Acosta E, Malvankar A, Vaidyanath S. (2006) An interactive threedimensional virtual body structures system for anatomical training over the internet. Clin Anat, 19(3):267-274.
- Kockro RA, Hwang PY. (2009) Virtual temporal bone: an interactive 3-dimensional learning aid for cranial base surgery. Neurosurgery, 64(5) Suppl.2: 216-229; discussion 229-230.
- Nieder GL, Scott JN, Anderson MD. (2000) Using QuickTime virtual reality objects in computer-assisted instruction of gross anatomy: Yorick - the VR Skull. Clin Anat, 13(4):287-293.
- 29. Trelease RB, Nieder GL, Dorup J, and Hansen MS. (2000) Going virtual with quicktime VR: new methods and standardized tools for interactive dynamic visualization of anatomical structures. Anat Rec, 261(2):64–77.
- 30. Nieder GL, Nagy F, Wagner LA. (2004) Preserving and sharing examples of anatomical variation and developmental anomalies via photorealistic virtual reality. Anat Rec B New Anat, 276(1):15-18.
- Gorman PJ, Meier HA, Krummel MT. (1999) Simulation and Virtual Reality in Surgical Education Real or Unreal? Arch Surg, 134(11):1203-1208.
- Hoffman H, Vu D. (1997) Virtual reality: teaching tool of the twenty-first century? Acad Med, 72(12):1076-1081.
- 33. Petersson H, Sinkvist D, Wang C, Smedby O. (2009) Web-based interactive 3D visualization as a tool for improved anatomy learning. Anat Sci Educ, 2(2):61-68.

- 34. Melin-Aldana H, Sciortino D. (2003) Virtual reality demonstration of surgical specimens, including links to histologic features. Mod Pathol, 16(9):958-961.
- 35. Balogh A, Preul CM, Schornak M, Hickman M, Spetzler RF. (2004) Intraoperative stereoscopic QuickTime Virtual Reality. J Neurosurgery, 100(4):591-596.
- 36. Gonzalez LF, Crawford NR, Horgan MA, Deshmukh P, Zabramski JM, Spetzler RF. (2002) Working Area and Angle of Attack in Three Cranial Base Approaches: Pterional, Orbitozygomatic, and Maxillary Extension of the Orbitozygomatic Approach Neurosurgery, Neurosurgery, 50(3):550-555. discussion 555-557.
- 37. Siwanuwatn R, Deshmukh P, Figueiredo EG, Crawford NR, Spetzler RF, Preul MC. (2006) Quantitative analysis of the working area and angle of attack for the retrosigmoid, combined petrosal, and transcochlear approaches to the petroclival region. J Neurosurg, 104(1):137-142.
- Figueiredo EG, Deshmukh P, Zabramski JM, Preul MC, Crawford NR, Siwanuwatn R, Spetzler RF. (2005) Quantitative Anatomic Study of Three Surgical Approaches to the Anterior Communicating Artery Complex. Neurosurgery, 56(2 Suppl):397-405.
- 39. Deshmukh VR, Figueiredo EGa, Deshmukh P, Crawford NR, Preul MC, Spetzler RF. (2006) Quantification and Comparison of Telovelar and Transvermian Approaches to the Fourth Ventricle. Neurosurgery, 58(4):ONS202-207.
- 40. Aboud E, Al-Mefty O, Yaşargil MG. (2002) New laboratory model for neurosurgical training that simulates live surgery. J Neurosurg, 97(6):1367-1372.
- 41. Balogh AA, Preul MC, Kutor L, Schornak M, Hickman M, Deshmukh P, Spetzler RF. (2006) Multilayer image grid reconstruction technology: four-dimensional

interactive image reconstruction of microsurgical neuroanatomic dissections. Neurosurgery, 58(1):ONS157-165; discussion ONS157-165.

- 42. Fitzpatrick CM, Kolesari GL, Brasel KJ. (2001) Teaching anatomy with surgeons' tools: Use of the laparoscope in clinical anatomy. Clin Anat, 14(5):349–353.
- 43. Robinson AG, Metten S, Guiton G, Berek J. (2004) Using fresh tissue dissection to teach human anatomy in the clinical years. Acad Med, 79(7):711–716.
- Auer LM, Auer DP. (1998) Virtual endoscopy for planning and simulation of minimally invasive neurosurgery. Neurosurgery, 43(3):529–537. Discussion 537-548.
- 45. Chaudhry A, Sutton C, Wood J, Stone R, McCloy R. (1999) Learning rate for laparoscopic surgical skills on MIST VR, a virtual reality simulator: Quality of human-computer interface. Ann R Coll Surg Engl, 81(4):281–286.
- 46. Kockro RA, Serra L, Tseng-Tsai Y, Chan C, Yih-Yian S, Gim-Guan C, Lee E, Hoe LY, Hern N, Nowinski WL. (2000) Planning and simulation of neurosurgery in a virtual reality environment. Neurosurgery, 46(1):118–135. Disccusion 135-137.
- Masutani Y, Dohi T, Yamane F, Iseki H, Takakura K. (1998) Augmented reality visualization system for intravascular neurosurgery. Comput Aided Surg, 3(5):239–247.
- Sutherland ML, Middleton FP, Anthony A, Hamdorf J, Cregan P, Scott D, Maddern JG. (2006) Surgical Simulation. A Systematic Review. Ann Surg, 243(3): 291–300.
- 49. Eshet-Alkali Y, Amichai-Hamburger Y. (2004) Experiments in digital literacy. Cyberpsychol Behav, 7(4):421–429.

- 50. Iseki H, Masutani Y, Iwahara M, Tanikawa T, Muragaki Y, Taira T, Dohi T, Takakura K. (1997) Volumegraph (overlaid three-dimensional image-guided navigation). Clinical application of augmented reality in neurosurgery. Stereotact Funct Neurosurg, 68:18–24.
- 51. Kawamata T, Iseki H, Shibasaki T, Hori T. (2002) Endoscopic augmented reality navigation system for endonasal transsphenoidal surgery to treat pituitary tumors: Technical note. Neurosurgery, 50(6):1393–1397.
- 52. Kikinis R, Gleason PL, Moriarty TM, Moore MR, Alexander E 3rd, Stie PE, Matsumae M, Lorensen WE, Cline HE, Black PM, Jolesz FA. (1996) Computer assisted interactive three-dimensional planning for neurosurgical procedures. Neurosurgery, 38(4):640–649. Discussion 649-651.
- 53. Kaminogo M, Hayashi H, Ishimaru H, Morikawa M, Kitagawa N, Matsuo Y, Hayashi K, Yoshioka T, Shibata S. (2002) Depicting cerebral veins by threedimensional CT angiography before surgical clipping of aneurysms. AJNR Am J Neuroradiol, 23(1):85–91.
- 54. Korogi Y, Takahashi M, Katada K, Ogura Y, Hasuo K, Ochi M, Utsunomiya H, Abe T, Imakita S. (1999) Intracranial aneurysms: Detection with 3D CT angiography with volume rendering–comparison with conventional angiographic and surgical findings. Radiology, 211(2):497–506.
- 55. Kling-Petersen T, Pascher R, Rydmark M. (1998) 3D-brain 2.0: Narrowing the gap between personal computers and high end workstations. Stud Health Technol Inform, 50:234–239.

- 56. Zito FA, Marzullo F D'ErricD, Salvatore C, Digirolamo R, Labriola A, Pellecchia A. (2004) QuickTime virtual reality technology in light microscopy to support medical education in pathology. Mod Pathol, 17(6):728–731.
- 57. Henn JS, Lemole GM Jr, Ferreira MA, Gonzalez LF, Schornak M, Preul MC, Spetzler RF. (2002) Interactive stereoscopic virtual reality: a new tool for neurosurgical education. Technical note. J Neurosurg, 96(1):144-149.
- 58. Bernardo A, Preul MC, Zabramski JM, Spetzler RF. (2003) A three-dimensional interactive virtual dissection model to simulate transpetrous surgical avenues. Neurosurgery, 52(3):499–505.Discussion 504-505.
- 59. Nutik LS. (1998) Pterional craniotomy via a transcavernous approach for the treatment of low-lying distal basilar artery aneurysms. J Neurosurg, 89(6):921-926.
- 60. Milenković Zoran, Gopić H, Antović P, Joviĉić V, Petrović B. (1982) Contralateral pterional approach to a carotid-ophthalmic aneurysm ruptured at surgery. Case report. J Neurosurg, 57(6):823-825.
- 61. Schaller C, Rohde V, Werner H. (1994) Microsurgical Removal of Olfactory Groove Meningiomas via the Pterional Approach. Skull Base Surg. 4(4):189–192.
- 62. Akira H, Shu-shan L, Nishimura S. (1986) The orbitozygomatic infratemporal approach: A new surgical technique. Surg Neurol, 26(3):271-276.

# 10 Saját publikációk jegyzéke

## 10.1 Disszertációhoz kapcsolódó közlemények

- Balogh A, Preul CM, Schornak M, Hickman M, Spetzler RF. (2004) Intraoperative stereoscopic QuickTime Virtual Reality. J Neurosurg, 100(4):591-596.
- Balogh AA, Preul MC, Kutor L, Schornak M, Hickman M, Deshmukh P, Spetzler RF. (2006) Multilayer image grid reconstruction technology: four-dimensional interactive image reconstruction of microsurgical neuroanatomic dissections. Neurosurgery, 58(1):ONS157-165; discussion ONS157-165.
- Balogh A, Czigléczki G, Pápai Zs, Preul MC, Banczerowski P. (2014) A frontotemporalis transsylvian feltárás szimulációja és alkalmazásának ismertetése. Ideggyogy Sz, 67(11-12):376-383.

# 10.2 Egyéb közlemények

- Padányi Cs, Misik F, Papp Z, Vitanovic D, Balogh A, Veres R, Lipóth L, Banczerowski P. (2015) Osteoporoticus kompressziós csigolyatörések kezelése PMMA-augmentált csavaros transpedicularis rögzítéssel. Ideggyogy Sz, 68(1-2):52-58.
- Vitanovic D, Bárány L, Papp Z, Padányi Cs, Balogh A, Banczerowski P. (2015) Role of modified open-door laminoplasty in the treatment of multilevel cervical spinal stenosis: A retrospective analysis of 43 cases. Ideggyogy Sz, 68(1-2):15-21.
- Janszky J, Balogh A, Hollo A, Szucs A, Borbely C, Barsi P, Vajda J, Halasz P. (2003) Automatisms with preserved responsiveness and ictal aphasia: contradictory lateralising signs during a dominant temporal lobe seizure. Seizure, 12(3):182-185.

- Balogh A, Czirják S, Bálint K. (1999) Postirradiációs meningeoma axialis glioma miatt operált betegünknél. Ideggyogy Sz, 52:(9-10) 356- 360.
- Borbély K, Balogh A, Donauer N, Nyáry I. (1999) Beszédaktivációs SPECT vizsgálatok a féltekei dominancia meghatározásában. Orv Hetil 140(50): 2805-2809.
- Balogh A, Donauer N, Vancsisin L, Miklósi M, Nyáry I. (2001) Hemisphaerialis dominancia és a kognitív működések lateralitási mintázata – tanulmány funkcionális transcranialis Doppler vizsgálattal. Ideggyogy Sz, 54:228-237.

# 11 Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni Dr. Robert F. Spetzler számára, aki mellett éveken keresztül dolgoztam az Egyesült Államokban. Köszönöm a sok ösztönzést, a rengeteg bizalmat és támogatást, amelyben munkám során részesített. Köszönöm a megtisztelő lehetőséget hogy a Barrow Neurological Institute világszínvonalú eszköztárát rendelkezésemre bocsátotta.

Köszönöm Dr. Mark Perulnak, a laboratórium igazgatójának, aki kutatásaimat irányította és aki rengeteg segítséget nyújtott a publikációk megírásában ösztöndíjam során.

Köszönöm Dr. Banczerowski Péter kollégámnak, aki témavezetőm volt és instrukciókkal látott el a disszertáció megírása során, aki konstruktív kritikai megjegyzéseivel segítette munkám.

Végül, és nem utolsósorban, szeretném megköszönni egész családomnak az önzetlen támogatást és az alkotó munkámhoz szükséges nyugodt hátteret, amelyet karrierem során biztosított.