

## RÉSZLETES BESZÁMOLÓ OTKA K 73441

Cím: **MORFOMETRIAI KUTATÁSOK AZ EMBERI ARC TÖRTÉNETI EMBERTANI, IGAZSÁGÜGYI ÉS GYÓGYÁSZATI CÉLÚ 3D REKONSTRUKCIÓJÁNAK FEJLESZTÉSÉHEZ**

Témavezető: **KUSTÁR ÁGNES**

### BEVEZETÉS

#### A rekonstrukció és fajtái

A „rekonstrukció” fogalmát több szakterület művelői is használják, és ki-ki másként értelmezi azt. A *radiológiai képalkotásban* a rekonstrukció a digitális *adatok* (pixel, voxel) 2D vagy 3D *leképezését* jelenti. Így pl. egy teljes koponya CT (amely átlagosan 600 szeletből áll) adatainak a képfeldolgozási eredményeként megkapjuk a koponya 3D rekonstrukcióját vagy virtuális térbeli modelljét. Ezzel szemben az *arcrekonstrukció területén* a rekonstrukció olyan *hiánypótló eljárást* jelent, amely során egy koponyából felépítjük a hiányzó arcot. Bár az arc rekonstrukciót a nemzetközi szakirodalomban különböző elnevezésekkel illetik (facial reconstruction/FR, craniofacial reconstruction/CFR, craniofacial approximation/CFA). ezek lényegében ugyanazt az adatpótlást jelentik, amely során a koponyára visszaépítik a hiányzó lágyrészeket (pl. igazságügyi személyazonosítás céljából). Adatpótló eljárásra épülnek azok a rekonstrukciós technikák is, amelyeket az orvoslásban és a virtuális antropológiában használnak hiányzó csontrészek pótlására (pl. állkapocs implantátum) vagy műtéti tervezésre (maxillofaciális sebészet, plasztikai sebészet).

#### Arcrekonstrukció

Az antropológiai és az igazságügyi *arc rekonstrukció készítés célja*, hogy a rekonstruált arc alapján *felismerhető legyen a koponya egykori tulajdonosa*. Ahhoz, hogy az arc rekonstrukció elérje célját, kulcsfontosságú, hogy hasonlítson a néhai személy arcára.

A rekonstrukció során visszaépítjük a csontokra az arc lágyrészeit az anatómiai törvényszerűségek és az átlagos lágyrész vastagsági adatok alapján. De *mitől lesz egyedi az arc?* Vajon mennyiben hasonlít a rekonstruált arc az egykor eleven – érző, mozgó, gondolkodó – ember arcára? Hogyan rekonstruálhatók azok a jellegzetes, csakis ránk jellemző egyedi “karakterisztikus vonások”, amelyek alapján rokonaink, ismerőseink vagy barátaink akár egymillió arc közül is ki tudják választani arcunkat?

#### Arcrekonstrukciós módszerek Magyarországon

Hazánkban jelenleg hagyományos *szobrászi- és rajzoló arc rekonstrukciós módszereket* alkalmaznak a rekonstruktőrök. Szobrászi módszerrel készülnek arc rekonstrukciók a Magyar Természettudományi Múzeum Embertani Tárának Arc rekonstrukciós Műhelyében (Kustár Ágnes PhD, antropológus vezetésével) és készültek korábban a Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Igazságügyi Orvostani Intézetében (Dr. Angyal Miklós igazságügyi orvos vezetésével). Rajzoló módszerrel készülnek művészi arc rekonstrukciók a Magyar Képzőművészeti Egyetem Művészeti Anatómia, Rajz és Geometria Tanszékén (Dr. habil, DLA König Frigyes egyetemi tanár, rektor, tanszékvezető vezetésével). Az arc rekonstrukciók kisebb részben *igazságügyi személyazonosítás* céljából, nagyobb részben *történeti embertani* bemutatás vagy illusztráció céljából készülnek.

*Magyarországon* – a média által sajnálatosan elterjesztett téves közhiedelemmel szemben – *jelenleg nem alkalmaznak számítógépes arc rekonstrukciós programot*. Bár az arc rekonstrukcióhoz kapcsolódó kutatás során természetesen használunk különböző számítógépes módszereket, hisz az adatgyűjtés, a képfeldolgozás, a képelemzés, az adatelemzés és a megjelenítés is számítógéppel történik, ám maga az arc rekonstrukció egyelőre nem számítógépes programmal készül. Az arc rekonstrukció abban a sajátos helyzetben van, hogy bár napjainkban az informatikai háttér már lehetővé tenné egy korszerű számítógépes módszer fejlesztését (pl. élethű, színes 3D megjelenítés vagy animáció lehetőségei), ám

hiányoznak azok az ismeretek, amelyekre a koponya alapján történő lágyrész pótló módszere épülhetne. A pontos morфомetriai összefüggések ismerete nélkül pedig aligha lehet pontos, felismerhető arcot rekonstruálni.

### A kutatás célkitűzései

Elsődleges cél, az arcreekonstrukció módszertani fejlesztéséhez szükséges nagyszámú, élő emberek arcáról- és koponyájáról történő 3D adatgyűjtés, az adatok feldolgozása- és adatbázisba rendezése. A kutatás hosszabb távú célkitűzése a meglévő virtuális antropológiai és elemzési módszerek (3D GMM) alkalmazása és bővítése az arcreekonstrukciós kutatás céljainak megfelelően. Több olyan új módszertani eszköz fejlesztését kezdtük el – pl. 3D platformon alkalmazható fél-automatikus landmark- és ív kijelölés, 3D felületre történő szabadkézi görbe rajzolás (elemezhető formátumban kiexportálható adatokkal), vagy 3D karakterisztikus háló létrehozása – amelyek befejezését egy következő, folytatató pályázatban szeretnénk majd megvalósítani.

A pályázat harmadik feladata, – kutatásunk jövőbe mutató célkitűzése, az arcreekonstrukció számítógépes módszerének létrehozása érdekében – az arcreszletek (különös tekintettel az orr-ra) 3D modellezése koncepciójának kidolgozása volt.

### A kutatás résztémái

1. Adatgyűjtés
2. Képfeldolgozás - 3D rekonstrukciós módszerek
3. Adatbázis létesítés – „FACE-R” Database
4. Adatelemzés
5. A karakterisztikus geometriai modell
  - 5.1. Szobrászi módszer
  - 5.2. A 3D képkalkotó- és képelemző módszerek
  - 5.3. A matematikai modellezés módszere
  - 5.4. Az anatómiai módszer
6. A 3D megjelenítés előkészítése

Az egyes fejezetekben kitértünk a kutatás *történeti embertani, orvosi- és igazságügyi-személyazonosítási* vonatkozásaira is.

## 1. ADATGYŰJTÉS

**Témafelelős: Dr. Bartha, Miklós** radiológus szakorvos (Vas Megyei Markusovszky Kórház Központi Radiológiai Osztály, Szombathely) és **Dr. Kalina Ildikó**, radiológus szakorvos (Semmelweis Egyetem Radiológiai és Onkoterápiás Klinika, Budapest). Dr. Kalina Ildikó utólag csatlakozott a kutatáshoz.

### Anyag és módszerek

#### CT adatgyűjtés

A teljes fej CT vizsgálatát a Semmelweis Egyetem Radiológiai és Onkoterápiás Klinikáján multislice spirál CT készülékkel végeztük el. A kutatás megkezdésekor és jelenleg is a klinikákon a legelterjedtebb a fekvő helyzetben felvételt készítő spirál CT készülékek használata. Bár a nemrégiben kifejlesztett conebeam CT (CB CT) álló helyzetben készít felvételt, alkalmazása még meglehetősen korlátozott mind látószög mind betegszám tekintetében (főként fogászati vizsgálatra használják magánklinikákon). Ezért a teljes koponyára kiterjedő nagyszámú adatgyűjtésre egyelőre nem alkalmas.

A vizsgálatok előkészítése során beszereztük a szükséges *TUKEB engedélyt*, megszerkesztettük a „*Beteg beleegyező nyilatkozatot*” és egy színes, közérthető „*Beteg Tájékoztató*” anyagot a vizsgálatról. A radiológus szakorvosok összeállították az arcreekonstrukciós kutatási „*CT vizsgálati protokollt*”.

Az adatgyűjtéshez olyan vizsgálati anyagot választottunk, amely lehetővé teszi egyazon élő személy koponyájának- és arcának vizsgálatát. Erre legalkalmasabbnak azok a klinikai páciensek kínálkoztak, akiket orvosaik diagnosztikai célból CT vizsgálatra utaltak be. Élő személyek vizsgálata mellett kis számban cadaverekről és múmiák fejről is készítettünk CT felvételt, részben anatómiai vizsgálat, részben arcreekonstrukció készítés céljából. A koponya felvételek elkészítéséhez speciális kutatási CT vizsgálati protokollt használtunk.

Az adatgyűjtés előkészítése, megszervezése és lebonyolítása számos radiológus orvos, asszisztens és operátor összehangolt munkájának köszönhető. Ezúton is köszönjük a SE Radiológiai Klinika igazgatójának, Dr. Bérczi Viktornak (PhD, az MTA doktora, igazgató), Dr. Karlinger Kingának (PhD, igazgatóhelyettes) és a CT Labor munkatársainak együttműködését.

Több esetben készítettünk arcreekonstrukciót valamilyen csontelváltozással járó betegségben szenvedő egyén koponyájáról (pl. egy középkori leprás férfi és egy idiopathiás scoliosisban szenvedő nő múmiája esetében), ahol a 3D radiológiai képalkotó módszerek nem csak pontos diagnózist, hanem RP technológia alkalmazásával a műanyag koponyamásolat elkészítését is lehetővé tették.

### **Fotogrammetria**

**Résztéma felelős: Fekete Károly PhD,** mérnök, térinformatikus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék.

**Eredmények:** Előzetes tanulmányokat folytattunk a humán környezetben történő optimális fotogrammetriai képalkotáshoz. Különböző optikai felvevő készülékek arcreekonstrukciós adatgyűjtésre való alkalmasságát teszteltük. Összehasonlítottuk a CT-vel és fotogrammetriával létrehozott 3D anatómiai modellek pontosságát. A 3D arcmodellek vizsgálata céljából pixel alatti pontosságú fotogrammetriai képfeldolgozó módszer kidolgozását kezdtük el. Meghatároztuk az arcól készült sztereofotó mérési pontjainak optimális sűrűségi- és eloszlási paramétereit.

**Problémák, akadályok:** A tervezett fotogrammetriai mérések helyett 3D arc-szekennerrel végeztük az arc-adatgyűjtést, mert nem állt rendelkezésre a 3D modellek létrehozásához szükséges automatikus képfeldolgozó program. A bérelt arcszkennerről a tervezett 4 klinikai helyszín helyett, csak 1 helyszínen mértünk, ezért a tervezettnél kevesebb egyént tudtunk megvizsgálni.

### **Arcszkennelés**

**Résztéma felelős: Vári Barnabás,** gépészmérnök, 3D mérnök (Tondó SP1 Kft., Miskolc)

Az arcfelszín 3D adatainak rögzítésére speciális, külön erre a célra kifejlesztett Breuckmann FaceScan (-III-180)-t használtunk. Az arcszkennert 8 hónapra kölcsönöztük a Breuckmann GmbH-től (Németország). Ez alatt az időszak alatt – változó számú és állapotú betegek kerültek a klinikára – összesen 425 beteget tudtunk mérni.



Az arcszkennerek többek között abban különbözik a tárgyszkennerektől, hogy a felvétel készítése sokkal rövidebb, így elkerülhető az esetleges bemozdulás (ami a felvételeket értékelhetetlenné teszi). A fizikai beállítások állandóak voltak, csupán a kamerák magasságát kellett manuálisan beállítani. Azonos műtermi megvilágítás mellett az OPTOCAT®2009 software-t (Version 8.00.17 – 1503) is azonos beállítási értékek mellett tudtuk használni. A két arcfél összeállításához manuális regisztrációs módszert használtunk 0,35 mm-es átlagos illesztési pontosság mellett.

### **Az adatgyűjtés menete**

A klinika CT laborjában a Tondó SP1 Kft. munkatársai (Fazekas Ferenc és Vári Barnabás 3D mérnökök) közreműködésével előzetesen kialakítottuk a szkennelő helyiséget, ahol a méréseket standard körülmények között zökkenőmentesen folytathattuk.

A vizsgálatban résztvevő CT operátorokat előzetesen kiképeztük a szkennerek használatára, az elektronikus adatrögzítésre és az antropológiai mérésekre.

A Tondo SP1 Kft. 3D mérnökei távfelügyelettel látták el az arcszkennerek működtetését és szükség szerinti karbantartását, továbbá online módon segítették az operátorok tevékenységét. A laborba telepített webkamerák segítségével, távoli asztal eléréssel és skype kapcsolaton keresztül szinte folyamatos volt a kommunikáció az adatfelvevő helyszín és a Tondo mérnöki iroda között. Az adatok továbbítását a szkennelő laborba telepített PC serveren keresztül oldottuk meg internet kapcsolattal. Így a nyers szkennelt adatok gyorsan és közvetlenül elérhetővé váltak az utómunkát végző szakemberek számára. A CT adatokat az operátorok a klinika szerverén rögzítették, amelyről az adatokat időszakosan külső tároló helyre mentettük és elszállítottuk az MTM Embertani Tárába, ahol az adatbázis szerveren archiváltuk.

A rendszeres adatfeltöltést és adatmentést Makra Szabolcs, könyvtáros asszisztens végezte. A betegek személyes adatait titkosan kezeljük, az adatbázisban minden egyén a CT szoftver által generált ötjegyű szám (study identity number/ STID) alatt szerepel.

A betegek a tájékoztatást követően aláírták a beleegyező nyilatkozatot, majd először a CT vizsgálaton estek át. Ezt követően a szkennelő laborban az operátorok felvették és elektronikus adatlapon rögzítették a személyes adataikat, megmérték testméreteiket, majd elvégezték az arc szkennelést és elmentették az adatokat.

### **Eredmények és jelentőségük**

Az arcreekonstrukciós kutatások egyik legnagyobb hiányossága a megfelelő kutatói adatbázisok hiánya. Megfelelő adatbázisnak tekinthető az, amely tartalmazza ugyanannak az egyénnek a koponyájáról és arcáról készült 3D felvételeket, és amelyek vizsgálhatók, mérhetők és az adatok statisztikai módszerekkel elemezhetők. Az adatbázisok hiányának részben technikai, részben etikai okai vannak.

A legtöbb klinikán már rendelkezésre állnak azok a korszerű radiológiai képalkotó eszközök (CT), amelyek alkalmasak a koponya 3D megjelenítésére is. A káros sugárterhelés miatt azonban az egészséges önkéntes vizsgálati alanyok koponya CT vizsgálata tudományos etikai előírásokba ütközik. Ezért jelentős eredmény, hogy a Semmelweis Egyetem Radiológiai és Onkoterápiás Klinikájával együttműködve meg tudtuk szervezni és lebonyolítani a 3D adatgyűjtést, olyan klinikai pácienseken, akik diagnosztikai célból amúgy is CT vizsgálatra érkeztek.

**Elkészült dokumentációk:** Honlapot hoztunk létre a kutatással kapcsolatos információk megosztására, közzétételére ([www.face-r.com](http://www.face-r.com)). CT vizsgálati protokoll. Szkennelési útmutató az operátorok számára. Beteg beleegyező nyilatkozat. Beteg tájékoztató. Elektronikus űrlapok a beteg adatok rögzítésére.

**Képzés:** A SE Radiológiai Klinikáján a CT operátorok részére megszerveztük az arcszkennerek használatának betanítását, gyakorlását.

### **Közlemények témák szerint:**

#### *Fotogrammetria*

FEKETE K., SCHROTT P.: *Qualification of optical capturing devices for data gathering phase of the face reconstruction process*. Third Hungarian Conference On Biomechanics. Research Center for Biomechanics Budapest University of Technology and Economics, Budapest. pp. 83–88., 2008 Konferencia közlemény

MOLNÁR B., SCHROTT P., FEKETE K.: *Comparative accuracy survey of 3D medical models made by photogrammetric, CT and scanning methods*. Third Hungarian Conference On Biomechanics. Research Center for Biomechanics Budapest University of Technology and Economics, Budapest. pp. 211–216., 2008 Konferencia közlemény

SCHROTT P., FEKETE K.: *Subpixel accuracy photogrammetric evaluation methods for face reconstruction purpose*. Third Hungarian Conference On Biomechanics. Research Center for Biomechanics Budapest University of Technology and Economics, Budapest. pp. 309–314., 2008 Konferencia közlemény

VARGA E., HEGEDŰS I., FÖLDVÁRY L.: *Optimization of density and distribution of stereophotograph measurement points for a face*. Third Hungarian Conference On Biomechanics. Research Center for Biomechanics Budapest University of Technology and Economics, Budapest. pp. 387–394., 2008 Konferencia közlemény

*Radiológiai képalkotó módszerek alkalmazása az antropológiában*

KRISTÓF, L. A., RIEDL, E., LAKI, A., BARTA, H. M., POLÁNYI, A., TÓTH, E., FORRAI, G., PÁLFI, GY., SZIKOSSY, I., KUSTÁR, Á. & PAP, I.: **Radiology in the historical anthropology.**, In: A PENA P., R MARTÍN C., M Á R RODRIGUEZ (eds): *Mummies and Science. World Mummies Research. Proc. VI. W Congr Mummy Studies. Santa Cruz de Tenerife*, pp. 453–461., 2008 Konferencia közlemény

KRISTÓF, L.A., RIEDL, E., PAP, I., BARTA, H. M., LAKI A., POLÁNYI, A., SZIKOSSY, I., KERÉNYI, T., FORRAI, G., KUSTÁR, Á., TÓTH, E., RÁBAL, E. & PÁLFI, GY.: *Paleopathology and paleoradiology.*, In: A PENA P., R MARTÍN C., M Á R RODRIGUEZ (eds): *Mummies and Science. World Mummies Research. Proc. VI. W Congr Mummy Studies. Santa Cruz de Tenerife*, pp. 655–665., 2008 Konferencia közlemény

KRISTÓF, L. A., SZIKOSSY, I., FORRAI, G., BARTA, H. M., RIEDL, E., POLÁNYI, A., PÁLFI, GY. & PAP, I.: **Baroness Antonia Tauber. The reconstructed life-story of a nun in the Habsburg Empire in the 18th century.** International Congress, Biomedical Sciences in Archaeology, Heraklion-Greece, 24–26 September 2008, p. 38., 2008 absztrakt

VÉGVÁRI ZS., FAZEKAS F., TÓTH G., KUSTÁR Á.: **Facial Reconstruction of a Mummified Nun from the 18th Century Vác, by the 3D Printed Skull Derived from CT Data.**, Symposium Mumien und Museen, Reiss-Engelhorn-Museen Mannheim, 7–9. Februar 2008., egyéb

## 2. KÉPFELDOLGOZÁS - 3D REKONSTRUKCIÓS MÓDSZEREK

**Témafelelős:** Honti Szabolcs, térinformatikus (Hermann Ottó Múzeum, Miskolc), Makra Szabolcs, könyvtáros (MTM Embertani Tár, Bp.), Vári Barnabás, gépészmérnök, 3D mérnök (Tondó SP1 Kft., Miskolc). Honti Szabolcs és Vári Barnabás utólag csatlakoztak a kutatáshoz.

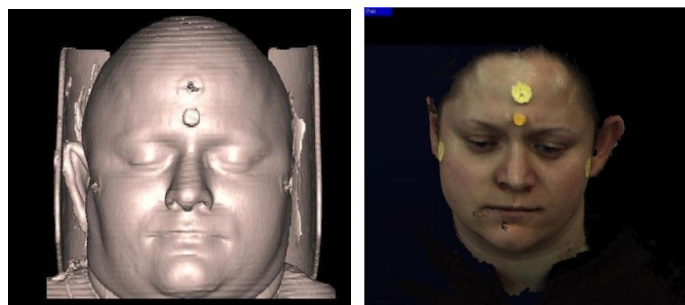
### Célkitűzés, módszerek

**Nyers adatokból 3D rekonstrukció:** A képi adatok feldolgozásának első fázisában kikísérleteztük a nyers (2D) CT adatokból történő 3D rekonstrukció előállítás legmegfelelőbb módját. Ehhez a RAPIDFORM2006 SP2® és a Geomagic Studio®10 softwar-eket használtunk. “Rekonstrukciós és tisztítási protokoll”-t készítettünk, az összes adat – beleértve a cadaver és történeti embertani adatokat is – egységes feldolgozására. A mérési eredmények pontosságának ellenőrzésére az elkészült 3D modelleken többféle szempont szerinti tesztet végeztünk.

### Tesztek

**Résztéma felelős:** Martin Friess PhD, antropológus, morfometrikus (Muséum national d'Histoire naturelle Département Hommes, Nature, Sociétés, Paris, FR), Honti Szabolcs térinformatikus (Hermann Ottó Múzeum, Miskolc). Martin Friess utólag csatlakozott a kutatáshoz.

**3D CT- és arcszken mérési adatok összehasonlítása:** Mivel a CT felvételek fekvő helyzetben készültek, az arc lágyrészei a gravitáció következtében elmozdultak, megváltoztatva ezzel az arc természetes nyugalmi alakját. A lágyrész elmozdulás miatt a testesebb egyének esetében szinte felismerhetetlen a fekvő helyzetben készült arc.



*Fekvő helyzetben CT-vel (bal), és ülő helyzetben arcszkennerrel (jobb) készült 3D arcfelszín rekonstrukciók ugyanarról a személyről*

A torzulás miatt a CT-ből készült 3D arcfelszín rekonstrukció nem alkalmas az arc alakelemzésére. Adatgyűjtési módszerünk és a FACE-R adatbázis újdonsága, hogy kiegészítő adatgyűjtési eljárással, ülő helyzetben elkészített arcszken elkészítésével ki tudtuk küszöbölni a gravitációs hatás problémáját. Így a végső 3D modellünket kétféle adatból (koponya CT és arcszken) állítottuk össze. Az illesztett modell alkalmazása egy újabb módszertani kérdést vet fel: Vajon összehasonlíthatók-e a különböző mérési technikával készült koponya- és arc modellek? A kérdés megválaszolására egyszerű mérési tesztet végeztünk egy gipsz fejszobor segítségével. Mivel a gipsz szobor esetében nem merül fel a gravitációs lágyrész elmozdulás, ezzel a hiba forrást kiküszöböltük. A két mért felszín pontjai közti átlagos eltérés elhanyagolható volt.

### A 3D CT- és arcszken modellek illesztési tesztje

**Célkitűzés:** A CT- és szken arcmodellek legoptimálisabb illesztési módszerét megelőző kísérletekkel dolgoztuk ki Geomagic Studio®10 szoftverrel.

**Módszerek:** A végleges illesztési mód kidolgozására számos variációt próbáltunk ki különböző arcrészletek fedésbe hozása alapján. A modellek optimális felületének kialakítására (az ún. digitális zaj kiküszöbölésére) simítási eljárást alkalmaztunk. Elkészítettük az „Illesztési és zajcsökkentési tesztek” dokumentációját és az Illesztési protokoll-t.

**Eredmények és jelentőségük:** A nemzetközi szakirodalomban már korábban is szerepeltek többnyire kis elemszámú CT adatbázisok, ám eddig nem jelent meg a FACE-R-hez hasonló olyan adatbázis, amely ugyanazon személyek illesztett 3D koponya CT- és szkennelt arc modelljeit tartalmazza nagy esetszámban. Bár megfelelő trashold értékekkel a CT felvételtől is rekonstruálható a 3D arcfelszín, a fekvő helyzetből adódó gravitációs lágyrész elmozdulás miatt azonban a bőrfelszín rekonstrukció nem (vagy csak korlátozott mértékben) használható antropológiai mérésekre. A FACE-R adatbázis jelentősége, hogy az arcszkenner használatával ülő helyzetben készült arcmodellekkel helyettesítettük a CT felvétel torzult bőrfelszín modelljeit. Így a 3D alakelemzés módszereivel (geometrikus morfológia/GMM) pontos térbeli információt nyerhetünk a modellekről, és elemezhetjük az alakzatok geometriai összefüggéseit, amely elengedhetetlen az arc pontosabb rekonstrukciójához.

Az elkészült 12 db arcreekonstrukció közül hetet a koponya CT-ből előállított virtuális 3D modellről rapid prototyping (RP) technológiával nyomtatott 3D koponyamásolatra készítettünk el. Négy esetben dokumentáltuk 3D tárgyszkennerrel az arcreekonstrukció készítés közbülső fázisait.

**Elkészült dokumentációk:** 3D rekonstrukciós- és tisztítási protokoll. 3D koponya- és arcmodellek illesztési protokollja. Gipsz szobor CT/arcszkenner mérési teszt dokumentációja. Illesztési- és zajcsökkentési tesztek dokumentációja. 3D rétegmodellek az arcreekonstrukció egyes fázisairól (4 rekonstrukció esetében).

### Közlemények témák szerint

#### *Radiológiai adatok képfeldolgozása*

FEKETE K., BORBÁS L., KISS, R. M., SCHROTT P., BALOG G.: *X-ray image processing by direct linear transformation*. Third Hungarian Conference On Biomechanics. Research Center for Biomechanics Budapest University of Technology and Economics, Budapest. pp. 75–81. 2008 Konferencia közlemény.

#### *A 3D rekonstrukciós módszerek alkalmazása a történeti embertanban és az arcreekonstrukcióban*

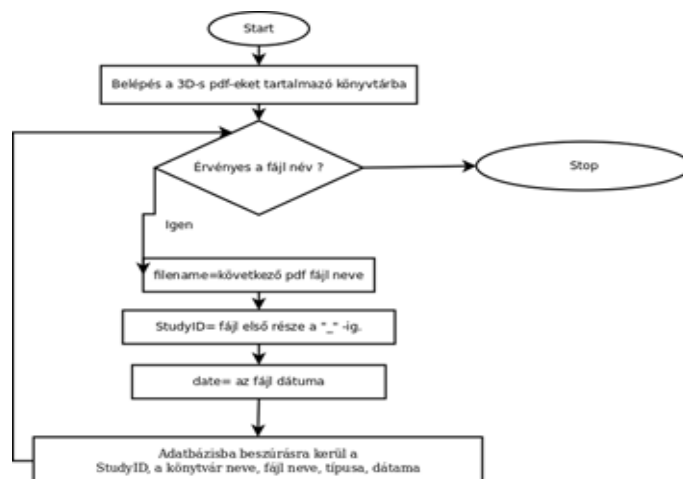
PAP, I., KARLINGER, K., KOVACS, B., RIEDL, E., KRISTOF, L.A., PALFI, GY. & KUSTÁR, Á.: *Reconstruction d'image et reconstruction de vie. Image reconstruction and reconstruction of life*. In: PÁLFI, GY., MOLNÁR, E., BERECSKI, ZS. & PAP, I.: Des Lésions du Passé aux Diagnostics Modernes/From Past Lesions to Modern Diagnostics. Pré-actes – Abstract Book and P 2009 absztrakt

KÖMEZEI Á., KARLINGER K., KUSTÁR Á. & KALINA I.: *Koponya CT és 3D szkennelt adatok alkalmazása az arcreekonstrukciós kutatásban*. A Magyar Radiológusok Társaságának XXV. Kongresszusa. Kaposvár, 2010. június 1-3. Absztraktok. Magyar Radiológia 84 (2): 93. 2010 absztrakt

### 3. ADATBÁZIS LÉTESÍTÉS – “FACE-R” DATABASE

**Témafelelős:** Forró László, informatikus (Grescom Institute), valamint Gerendás Zoltán, informatikus, programozó (Linux Akadémia, Budapest), aki utólag csatlakozott a kutatáshoz.

**Az adatbázis formája, struktúrája és célja:**



A FACE-R adatbázis dokumentációs, archiválási és keresési célokat szolgál. A könyvtár szerkezet az adatfeldolgozás lépéseinek megfelelően épül fel – a nyers CT-és szkenn adatokból kiindulva a végleges normált 3D objektum fájlokig –, és tárolja a fájlokat. A teljes adatbázis MySQL adatbázisban tárolódik. Az adatfeldolgozás első fázisában az adatok SQLite adatbázisba kerültek, amit teljes egészében MySQL adatbázis alá migráltunk. A MySQL adatbázisban kereshető módon tároljuk a feltöltött állományok adatait, valamint ezen felvételek feldolgozása során nyert plusz információkat. Az adatbázis másolatot készít a fájlok tartalmáról, tárolja az adminisztratív információkat és a páciensek biológiai adatait (úgy mint: életkor, nem, BMI, orvosi beavatkozások, stb...). A relációs adatbázisba kerülnek az egyes feldolgozási fázisok eredményei, pl. a virtuális antropológiai adatgyűjtés során nyert 3D landmark koordináták (IGS formátumban), amelyek alapján a bőr- és csontfelszín közt fennálló alaki összefüggések elemzését végezzük. A kutatói MySQL adatbázis tartalmazza az összes beérkezett adatot, valamint a feltöltött illetve elkészített 3D PDF állományokra mutató hivatkozásokat.

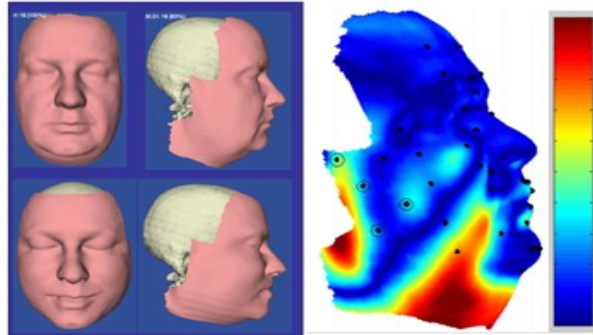
**Publikus megjelenés:** A fenti adatbázisnak egy kivonata került át publikus (webes) megjelenítést biztosító portál saját MySQL adatbázisába. A feltöltött 3D-s pdf állományok adatai “files adatbázisba” kerülnek. A publikus adatbázisba kerülnek a következő adatok: StudyID, Sex, Age/Year, SCAN\_project, CT\_3D, SCAN\_3D, Face oriented to skull (FO\_S), Skull 3D Image, CT project, Comments. A fenti adatokat a “Patient” tábla megfelelő mezői adják.

**Adatvédelem megvalósítása:** A szerverhez a távoli hozzáférés SSH kulcsokkal történik. SSH hozzáférése csak az adatbázis adminisztrátoroknak van. A fel- és letöltés FTP alkalmazásával lehetséges.

**Adatmentés és adatbiztonság:** Az adatok épségét RAID-1 rendszeren történő tárolás biztosítja, külső USB-s diszke történő adatmentéssel kiegészítve. Külső adatmentésre adatfelvételkor, valamint adatbázis módosításkor kerül sor.

**Elérés, hozzáférés:** A FACE-R adatbázis jelenleg a MTM honlapján érhető el (<http://193.224.72.252:26985/>). A hozzáférési feltételeket külső felhasználók számára a MTM Kutatási szabályzata szerint alakítottuk ki. FACE-R adatbázis működtetője a MTM. Az adatokat Linux szerveren tároljuk. A rendszergazdai feladatokat Gerendás Zoltán, a rendszer adminisztrátori teendőket Makra Szabolcs látja el rendszerszerűen.

**A gravitációs hatás korrigálása:** Az arc felemelése fekvőből – ülő helyzetbe (Facial uplifting: supine to upright correction for gravitational effects). Alakelemzésen alapuló alaktranszformációt végeztünk a leuveni egyetem orvosi képfeldolgozó kutató mérnökeivel együttműködésben (Prof. dr. ir. Dirk Vandermeulen, Dr. ir. Peter Claes és Ir. Bart. Dedobbelaer, Medical Imaging Research Center at the University Hospitals Gasthuisberg, Leuven, Belgium).



3D arc ülő helyzetben (bal, felső sor). Ugyanaz az arc fekvő helyzetben (bal alsó sor)  
Színkóddal jelölt különbség mm-ben (jobb oldal)

**Eredmények és jelentőségük:** A „FACE-R” arcreekonstrukciós kutatói adatbázis nemzetközi viszonylatban az első olyan adatbázis, amely 1) statisztikai elemzésre kellően nagy elemszámú (N=425), 2) ugyanazon élő személyek koponya- és arc 3D adatait tartalmazza, 3) az arcról ülő helyzetben készült felvételeket tartalmaz. Jelentősége, hogy kiküszöböltük a fekvő helyzetben készült koponya CT felvételek arcfelszínén jelentkező gravitációs torzulást, amely miatt korábban a CT arcfelszín adatai alakelemzésre nem voltak alkalmasak. Ezen túlmenően a FACE-R adatbázis fekvő és ülő helyzetű 3D arcmodelljeinek elemzése nyomán a korábban létesített CT adatbázisok arcmodelljeit is fekvő helyzetből ülő helyzetűvé tudjuk transzformálni, így alakelemzésre alkalmassá tenni. Ez a projekt nagyban hozzájárul a legkorszerűbb arcreekonstrukciós módszer létrehozásához, hisz kiszámíthatóvá és ezzel együtt megszüntethetővé válik az összes eddigi (CT és MRI) adatbázison jelentkező gravitációs torzulás.

**Elkészült dokumentációk:** Adatbázis specifikáció, Adatbázis üzemeltetési dokumentáció.

### Közlemények

KUSTÁR Á., FORRÓ L., KALINA I., FAZEKAS F., HONTI SZ., MAKRA SZ., FRIESS M.: „**FACE-R**” **3D Database and morphometrics for facial reconstruction**. Eds: Melero, J., Cano, P., Revelles, J.: Fusion of Cultures. Abstracts of the XVIII. Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. 2010 extended absztrakt

Á. KUSTÁR, Z. GERENDÁS, I. KALINA, F. FAZEKAS, B. VÁRI, SZ. HONTI, SZ. MAKRA: **FACE-R – 3D Database** <http://193.224.72.252:26985/>, 2013 egyéb

Á. KUSTÁR, Z. GERENDÁS, I. KALINA, F. FAZEKAS, B. VÁRI, SZ. HONTI, SZ. MAKRA: **FACE-R – 3D skull- and face database for virtual anthropology research**. – Annales historico-naturales Musei nationalis hungarici Studia historico-anthropologica hungarica, 2013 folyóiratcikk

Á. KUSTÁR, Z. GERENDÁS, I. KALINA, F. FAZEKAS, B. VÁRI, SZ. HONTI, SZ. MAKRA: **FACE-R – 3D skull- and face research database for craniofacial identification**. – Forensic Science International-be szánt kézirat 2013. egyéb

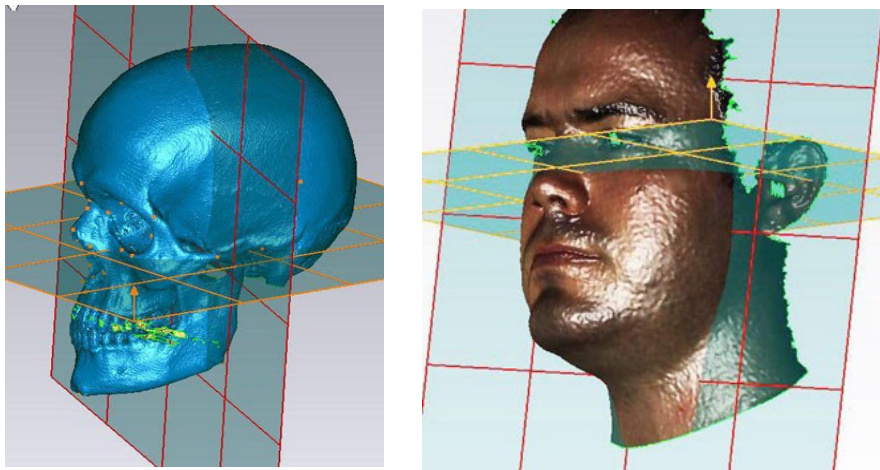
MAERTENS A., WOUTERS W.: **Facial uplifting – supine to upright correction for gravitational effects**. Project design – Master course in Biomedical Technology, Course H03I7A “Design in Medical Technology”, Medical Imaging Research Center at the University Hospitals Gasthuisberg, Leuven, Belgium. 2012. szakdolgozat

#### 4. ADATELEMZÉS

**Rész téma felelős: Martin Friess PhD**, antropológus, morfometrikus (Muséum national d'Histoire naturelle Département Hommes, Nature, Sociétés, Paris, FR), **Kustár Ágnes PhD**, antropológus (MTM Embertani Tár).

##### Virtuális antropológia

A mérésekhez Landmark vs. 3.0 és Geomagic Studio®10 szoftvereket használtunk. Előzetesen kidolgoztuk a 3D landmark kijelölési protokollt (definiálva a landmarkok helyét és sorszámát) külön a koponyára- és arcra az antropológiai gyakorlat szerint. Az arcreekonstrukciós formaelemzéshez olyan változó szettre volt szükségünk, amelyek 1) homológ módon jelölhetők ki a minta minden egyedén, 2) az arcon- és a koponyán kijelölt mérőpont párok egymásnak megfeleltethetők. Mivel az arc hagyományos antropometriai (anatómiai) mérőpontjai nem mindig esnek egybe az arcreekonstrukciós szempontból mérni kívánt pontokkal, ezért új módszertani megoldást kerestünk arra, hogy a csontfelszínen kijelölt landmarkok párját az arcra is pontosan át tudjuk vetíteni (projected landmarks). Így megkaptuk a kovariancia elemzéshez szükséges csont- és bőrfelszín pontpárokat.



*A csontfelszínről a bőrfelszínre kivetített landmarkok kijelölése merőleges síkok segítségével.*

##### Alakelemzés geometrikus morfometriával (GMM)

A GMM olyan módszerek összessége, amelyek alkalmasak a 3D alakzatokon kijelölt landmarkok statisztikai elemzésére. A különböző egyéneken kijelölt landmarkok elemzéséhez először normáltuk az alakzatokat a helyzet (position), az elforgatás (rotation) és a méretezés (scaling) szempontjából. A normálást Generalizált Procrustes Szuperimpozíció-val (GPA) végeztük. A normálást követően a landmarkok közt fennmaradó különbségek már tisztán a formai különbséget (arányokat ill. alakot) fejezik ki. Az alakzatok és a köztük lévő eltérések vizuálisan is megjeleníthetők. A fennmaradó különbség (residual error) elemzéséhez főkomponens-, diszkriminancia- ill. kovariancia analízist (2BPLS) alkalmaztunk. Az elemzéshez a Landmark 3.0 szoftvert használtuk.

Kovariancia analízissel összehasonlítottuk két változó szettet, azaz a koponya- és az arc landmark koordinátáit. Az elemzés célja az volt, hogy meghatározzuk azt a landmark konfigurációt, amely lehetővé teszi a koponyaformából az arcformára történő következtést.

Az ívek elemzése részletesebb alakelemzést tesz lehetővé, mint az egyedi landmark elemzés. Elliptikus Fourier analízissel (EFA) elemeztük az orrüreg és a külső orr kontúrját és körvonalaztuk a variabilitás főbb aspektusait. Megoldandó módszertani feladat az íveket definiáló homológ landmarkok kijelölési módja.

**Eredmények és jelentőségük:** Elsőként alkalmaztunk 3D GMM módszereket a hazai embertani kutatásban. A GMM alkalmas a 3D alakzatok geometriai leképezésére, ill. elemzésére és vizuális megjelenítésére. Előnye a hagyományos antropometriával (lineáris méretek elemzésével) szemben,

hogy a landmark koordináták térben definiálják az alakzatok geometriáját, így alakelemzésre is alkalmasak. Ezért hasznos lenne a korszerű virtuális antropológiai módszerek (GMM) bevezetése és ahazai történeti embertani kutatásokba is. A rendelkezésre álló virtuális antropológiai eszközök segítségével speciális módszert dolgoztunk ki a módszertani problémák megoldására, nevezetesen a landmarkok kivetítés útján történő kijelölésére (csontfelszínről a bőrfelszínre kivetített landmarkok). Kisebbs mintán előzetes adatfeltáró elemzést végeztünk, amely eredményeként számos korrelációt tártunk fel a csontos és a lágyrész alakzatok között (Pilot Study).

#### Elkészült dokumentációk:

Virtuális antropológiai protokoll. GMM elemzés dokumentációja. EFA elemzés dokumentációja.

#### Közlemények:

KUSTÁR Á., KALINA I., FAZEKAS F., FRIESS M.: *A new approach to facial reconstruction based on 3D morphometrics.*, 79th Annual Meeting of American association of Physical Anthropologists, April 14-17, Albuquerque, New Mexico. Meeting abstracts, pp. 163–164., 2010 egyéb

KUSTÁR Á., KÖVÁRI I., KALINA I., FRIESS M.: *A new approach to facial reconstruction based on 3D morphometrics.*, 79th Annual Meeting of American association of Physical Anthropologists, April 14-17, Albuquerque, New Mexico. Meeting abstracts, pp. 163–164., 2010. <http://physanth.org/>, 2010 absztrakt

KUSTÁR Á., FORRÓ L., KALINA I., FAZEKAS F., HONTI SZ., MAKRA SZ., FRIESS M.: *FACE-R – 3D database of 400 living individuals' full head CT- and face scans for craniofacial reconstruction*, Journal of Forensic Sciences, The official journal of the American Academy of Forensic Sciences. Elfogadott, megjelenés 2013-ban várható: [www.blackwellpublishing.com](http://www.blackwellpublishing.com), 2013 folyóiratcikk

KUSTÁR Á., GERENDÁS Z., KALINA I., FAZEKAS F., VÁRI B., HONTI SZ., MAKRA SZ., FRIESS M.: *FACE-R – 3D koponya- és arc adatbázis morfometriai elemzése arcreekonstrukciós fejlesztés céljából*, Antropológiai Közleményekbe szánt kézirat, 2013 egyéb

#### Tanulmányutak/workshopok:

Négy külföldi tanulmányúton vettünk részt virtuális antropológiai és geometrikus morfometriai alapismeretek szerzése és szakmai kapcsolatok/együttműködések kialakítása céljából.

- 2008.03.21.: Department of Anthropology, University of Vienna – Virtual Anthropology. Találkozás az European Virtual Anthropology Network (EVAN) kutatóival, (Bécs, Ausztria)
- 2008. 07. 6.–10.: EVAN Summer School – Multivariate techniques for Growth and Evolution of form. University of Vienna, Bécs.
- 2009.03.11–13: Bécsi Egyetem Antropológia Tanszékén megrendezett „Morphometric Data Acquisition and Analysis” című workshop-on.
- 2008.10.22–24: Geometric morphometrics workshop: An introduction for biologists. – Hull York Medical School, University of Hull York, (York, UK).

Két GMM témájú **workshopot rendeztünk** a Budapesten a MTM Embertani Tárában.

- 2010.05.04–06. DR. DENNIS E. SLICE PHD (Florida State University, The College of Arts and Sciences, Dept. of Scientific Computing, Tallahassee, Florida): Modern Morphometrics in Physical Anthropology. – Arcreekonstrukciós Kutatócsoport Workshop a MTM Tetőtéri Előadótermében. 2009. 05.04–06., Budapest.
- 2009.05.24–31. DR. MARTIN FRIESS PHD (Musée de l'Homme, Laboratoire d'Anthropologie, Paris): Craniofacial shape analysis using 3D morphometrics. – Arcreekonstrukciós Kutatócsoport Workshop a MTM Embertani Tárában. 2009.05.24-31., Budapest.

## 5. A KARAKTERISZTIKUS GEOMETRIAI MODELL

**Célkitűzés:** A jelenlegi számítógépes módszerrel készült arcreekonstrukciók végtermékei nem egyediek, hanem átlagosak, ezért a rekonstruált arcok többnyire nem felismerhetők. Ezért a rekonstrukció nem éri el célját, pl. az igazságügyi személyazonosítási esetekben a felismertetést. Ennek oka, hogy a koponya- és az arc egyediségéért felelős karakterisztikus vonások korrelációi nem ismertek kellőképpen. A felismerhetőbb arcreekonstrukció készítés céljából a koponya- és az arc karakterisztikus formai összefüggéseinek 3D statisztikai módszerekkel történő elemzése szükséges.

**Hipotézis:** Számítógépes alkalmazással létrehozható egy olyan 3D kiindulási „karakter modell”, amely geometriai térhálójára pontosabban építhetők fel az egyedi arcvonások. Ez esetben egy egyedi karakterisztikus térháló adja a formakialakítási keretet. A „*karakterisztikus geometriai modell*” lényegében egy a koponyáról „levett” térháló, amely leképezi a koponya- és az arc egyedi karaktervonásait és lehetővé teszi azok formaelemekre (síkidomokra) bontását a szobrászi szempontú „formai változások” alapján. Ez egyben egy olyan 3D „*referencia rendszer*”, amelyben több száz koponya- és arc jellemezhető geometriai paraméterekkel (x, y, z koordináták által leírható landmarkokkal). A landmarkok által definiált alakzatok statisztikai módszerekkel elemezhetők vagy alakmódosítással más alakzatokká transzformálhatók.

A karakterisztikus geometriai modell létrehozására négy féle megközelítési módot alkalmaztunk: 1) szobrászi módszer, 2) 3D képelemzés és regisztrációs módszerek, 3) matematikai modellezés és 4) anatómiai módszer.

### 5.1. SZOBÁRSZI MÓDSZER

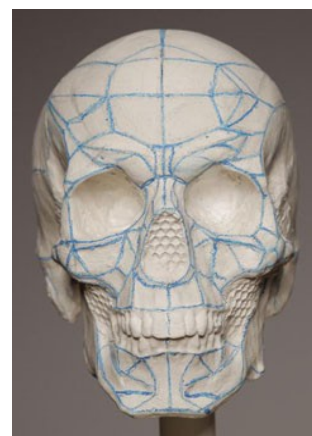
#### „Karakterisztikus térháló” létrehozása gipszkoponyán és arcreekonstrukción

**Résztéma felelős:** Kustár Ágnes PhD, antropológus (MTM Embertani Tár, Budapest) és Vollmuth Krisztián, képzőművész-szobrász (MKE Budapest, PhD hallgató)

A MTM Embertani Tár történeti embertani anyagának koponyái és a FACE-R adatbázis számos 3D koponyájának előzetes tanulmányozása nyomán létrehoztunk egy olyan „szobrászi formaváltozási térképet”, amely segítségével pontosabban és egyszerűbben értelmezhetők a karaktert meghatározó formák. Ez lényegében egy egyedi térháló, amely egyszerű formaelemekre bontja a koponyát, kiemelve annak egyedi jellegzetességeit. A kutatási időszakban készült arcreekonstrukciókat a szobrászi formaváltozási térkép segítségével építettük fel (ld. alább az „Elkészült arcreekonstrukciók”-at).

**Karakter-rekonstrukció:** A történeti embertani anyagon szerzett arcreekonstrukciós tapasztalatok segítségével a „karakterisztikus térháló” alapján elkészítettük egy recens férfi arcreekonstrukcióját. Így lehetőségünk nyílt az arcreekonstrukció és a célszemély arcának objektív 3D összehasonlítására. A koponya CT-felvétele alapján RP eljárással elkészítettük a koponya pontos műanyag mását, amelyet előkészítettünk arcreekonstrukcióra. A szobrászi formaváltozások alapján megrajzoltuk a koponya „karakterisztikus térhálóját”.

Ezt követően a térháló csúcspontjaiban meghatároztuk azokat a karakterisztikus pontokat, amelyeken rögzítettük az arc lágyrész vastagságát jelölő markereket (jelölő tűskék). Az így elhelyezett markerek végpontjai kijelölték a majdani bőrfelületen az arc karakterisztikus térhálóját. Az előkészített koponyamásolatra szobrászi módszerrel elkészítettük az arcreekonstrukciót. A csontfelszín- és a tűskékkel kijelölt bőrfelület között plasztilinnel megmintáztuk a hiányzó lágyrészeket. Ebben a kísérleti fázisban a formaalakítást a csontfelszínről (a jelölő tűskék által a bőrfelületre) kivetített formaelemek határozták meg, az izmok lefutásának figyelembevételével. Az elkészült arcreekonstrukción kezdetben meghagytuk az arc karakterisztikus hálóját, hogy elemezhessük a koponya- és arc formaelemei közti összefüggéseket.











*Arcrekonstrukció és 3D szkennelt arc fotója*

**Illesztési teszt:** A 3D tárgy-szekennerrel beszkenneztük mind az arcreekonstrukciót mind a rekonstruált személy arcát, majd illesztettük a 3D modelleket, és elemeztük az arcreegiók közti eltéréseket. Az első kísérlet meglepően pontos eredményhez vezetett.

**Elkészült arcreekonstrukciók:** A karakterisztikus hálót a szobrászi arcreekonstrukciók készítése során szerzett tapasztalataink alapján fejlesztettük ki. A pályázat időszakában összesen 12 arcreekonstrukciót készítettünk különböző történeli korokból és lelőhelyekről származó koponyák alapján. Ezek közül mutatunk be néhányat az alábbiakban.

	
<p><i>Hun-kori férfi (IV-V. század) torzított koponyájáról készült arcreekonstrukció, Ptuj (Szlovénia) lelőhelyről. (elhelyezve: MTM Embertani Tár)</i></p>	<p><i>Réz kori férfi (badeni kultúrkör), Balatonőszöd lelőhelyről. (elhelyezve: MTM Embertani Tár)</i></p>

	
<p><i>Janus Pannonius (1434-1472), humanista költő, püspök (Pécsi székesegyházból exhumálva). (elhelyezve: Janus Pannonius Múzeum, Pécs)</i></p>	<p><i>„Név Nélküli” recens férfi (2007-ben elhunyt férfi, Tatabányáról). (elhelyezve: MTM Embertani Tár)</i></p>
	
<p><i>Báró Tauber Antónia, angolkisasszony (XVIII. sz.) múmiájának arcreekonstrukciója (a váci Domonkos templom kriptájából). (elhelyezve: MTM Embertani Tár)</i></p>	<p><i>Lászlófalva-Szentkirály lelőhelyről származó (XI. sz.) fiatal leprás férfi arcreekonstrukciója. (elhelyezve: Ópusztaszer, „Őseink arca” c. kiállításon)</i></p>

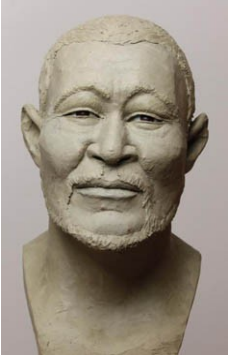



A világon elsőként készítettünk arcreekonstrukciót, egy lepra tüneteit („*facies leprosa*”) mutató férfi koponyájáról (Ópusztaszer, Történeti Embertani Kiállítás).

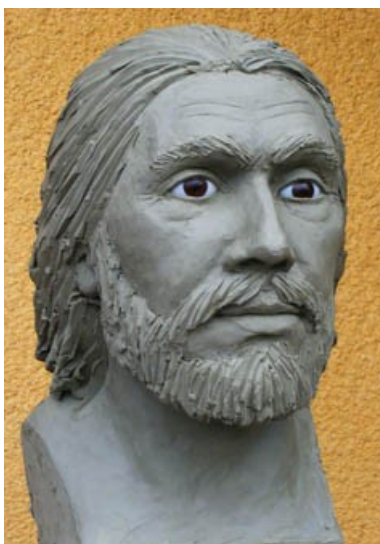


*„Steve” – egy recens nyugat-európai férfi koponyája alapján készült arcreekonstrukció.*

Részt vettünk a „Comparative Study” nemzetközi arcreekonstrukciós módszertani kísérletben. A résztvevők ugyanannak az élő személynek a koponya CT-jéről (RP eljárással) készített műanyag másolatra készítették el az arcreekonstrukciót, különböző módszerekkel. Az elkészült arcreekonstrukciókat 3D morfometriai módszerrel elemezték, a különböző rekonstrukciós technikák hatékonyságának tesztelése céljából.

Az eredményeket még nem publikálták. (A Comparative Study koordinátora Dr. Caroline Wilkinson PhD, University of Dundee, Centre for Anatomy and Human Identification, United Kingdom, Dundee).

	
<p><i>Abül Khair (XVI-XVII. sz.) kazak kán (balra) és egy feltehetően egy rangos idős férfi (jobbra) a Khan Molasy (Kazahsztán) lelőhelyről. (elhelyezve: Társaság az Aktöbe Régió Történeti Kutatásaiért Közhasznú Egyesület, Aktöbe, Kazahsztán)</i></p>	
	
<p><i>Hortesznaht nevű, fiatal egyiptomi nő múmiájának arcreekonstrukciója. (Ptolemaioszi kor, Kr. e. 332-30; Akhmim lelőhelyről, Egyiptom). (elhelyezve: Szépművészeti Múzeum, „Múmiák testközelben” c. kiállításán)</i></p>	<p><i>Recens magyar férfi arcreekonstrukciója, a FACE-R adatbázisból származó koponya alapján. A rekonstrukció a CT-ről RP technológiával nyomtatott 3D koponyamásolatra készült. (elhelyezve: MTM Embertani Tár)</i></p>



*Szent László, magyar király (1046-1095) arcreekonstrukciója a Győri Székesegyház Hédervári Kápolnájában őrzött hermában elhelyezett koponyaereklye alapján. A rekonstrukció a CT-ről RP technológiával nyomtatott 3D koponyamásolatra készült. (elhelyezve: Győri Egyházmegyei Kincstár és Könyvtár, Zichy Ferenc látogatóközpont, [www.kaptalandomb.hu](http://www.kaptalandomb.hu))*

**Arcreekonstrukciók 3D szkennelése:** Arcreekonstrukció módszerének szemléltetése és későbbi virtuális antropológiai mérések céljából 4 esetben szkenneltük be 3D tárgyszkennerrel az arcreekonstrukció készítés közbülső fázisait. Az adatokat feldolgoztuk, és 3D rétegmodelleket készítettünk a rekonstrukció egyes fázisairól (Janus Pannonius, ismert recens férfi, középkori leprás férfi és Szent László király esetében).

**Elkészült dokumentációk:** „Karakterisztikus térháló” létrehozásának szobrászi koncepciója. 12db arcreekonstrukció készítési fázisainak dokumentációja. Karakterisztikus háló alapján készült arcreekonstrukció és 3D arcszken illlesztési tesztje.

**Workshop:** Részt vettünk a Craniofacial Reconstruction (CFR) International Network to Facilitate Collaboration, Communication and Interaction workshop munkájában. Centre for Anatomy and Human Identification, College of Life Sciences, University of Dundee, (Dundee, UK). 2011.07.20–21.

## Közlemények témák szerint

### Történeti embertani arcreekonstrukciók

HORVÁTH T., KÖHLER K., KUSTÁR, Á., RÉTI ZS.: *The Baden Age Man. Anthropological Features and Habitude in the Culture.* The 14th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists. Szeptember 16–21, Málta. p. 178., 2008 absztrakt

KUSTÁR Á.: *Arcok a múltból – a Kárpát-medence történeti népeinek arcreekonstrukciói. Faces from the Past – Facial reconstructions of historic populations of the Carpathian Basin.* A magyarság és a kelet, II. Östörténeti Konferencia. Budapest – Kunszentmiklós – Ópusztaszer, 2008. augusztus 16–20., pp., 2008 absztrakt

KUSTÁR Á.: *A Kárpát-medence történeti népeinek arca arca – Arcreekonstrukció Magyarországon.* Magyar Biológiai Társaság XVII. Vándorgyűlés Előadások összefoglalói. Budapest, pp 7–14., 2008 absztrakt

KUSTÁR Á., ÁRPÁS K.: *Facial reconstructions of the 18th century mummies from Vác, Hungary.* In: A PENA P., R MARTÍN C., M Á R RODRIGUEZ (eds): *Mummies and Science.* World Mummies Research. Proc. VI. W Congr Mummy Studies. Santa Cruz de Tenerife, pp. 487–495., 2008 Konferencia közlemény

KUSTÁR Á., KRISTÓF L., KÖVÁRI I., GUBA ZS., FEKETE K., KOCZKA GY.: *Az arcreekonstrukció módszertani problémái és fejlesztésének koncepciója.* The 14th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists. Szeptember 16–21, Málta. p. 178., 2008 absztrakt

KUSTÁR Á., KRISTÓF L., KÖVÁRI I., GUBA ZS., FEKETE K., KOCZKA GY.: *Az arcreekonstrukció módszertani problémái és fejlesztésének koncepciója.* Third Hungarian Conference On Biomechanics. Research Center for Biomechanics Budapest University of Technology and Economics, 4–5 July, 2008, Budapest., 2008 egyéb

KUSTÁR Á., PAP I., SZIKOSSY I., RIEDL E., TÓTH G., KRISTÓF L.: *Facial Reconstruction of a Mummified Nun from the 18th Century Vác, by the 3D Printed Skull Derived from CT Data.* Symposium Mumien und Museen, Reiss-Engelhorn-Museen Mannheim, 7–9. Februar 2008., 2008 egyéb

HORVÁTH T., KÖHLER K., KUSTÁR Á.: *Életmód és habitus a késő rézkori Badeni – kultúrában régészeti és antropológiai adatok alapján.* Medinától Etéig. Régészeti tanulmányok Csalog József születésének 100. évfordulójára. Szerk.: Bende L. és Lőrinczy G. Koszta József Múzeum, Szeged. pp. 269–281., 2009 Konferencia közlemény

KUSTÁR Á., ÁRPÁS K.: *Janus Pannonius arcreekonstrukciója*, Ikonográfia és arcreekonstrukció előadás sorozat. Régészeti Múzeum, Pécs., 2009 egyéb

PAP I., KUSTÁR Á., GUBA Zs., SZIKOSSY I.: *Face to face with the long passed relatives – Research on the Vác mummies.*, in: Wiczorek A., Rosendahl W., Wiegand H. (eds), *Mumien und Museen.* Mannheimer Geschichtblätter Sonderveröffentlichung 2. Rheiss-Engelhorn-Musen, Mannheim, pp. 105–112., 2009 könyvfejezet

PAP I., SZIKOSSY I., KUSTÁR Á., BAJZÁTH J.: *Behind the curtain: Secrets, Fates, MUMMIES – Temporary exhibition of the Hungarian Natural History Museum*, Budapest, in: Wiczorek A., Rosendahl W., Wiegand H. (eds), *Mumien und Museen.* Mannheimer Geschichtblätter Sonderveröffentlichung 2. Rheiss-Engelhorn-Musen, Mannheim, pp. 57–60., 2009 könyvfejezet

HORVÁTH, T., KÖHLER, K. & KUSTÁR, Á.: *Lifestyle and habit of the Late Neolithic Baden Man in the mirror of archaeological and anthropological data.*, *European Journal of Arch.*, 2010 folyóiratcikk

KUSTÁR Á., ÁRPÁS K.: *Janus Pannonius új arca – A koponyától a kész arcreekonstrukcióig.*, MBT Embertani Szakosztályülés, 2009. november 23., Janus Pannonius születésének 575., pécsi püspökké választásának 550. évfordulóján, 2010 egyéb

SZIKOSSY, I., KUSTÁR, Á., GUBA, ZS., KRISTOF, L.A. & PAP, I.: *Mummies from Hungary. Naturally Mummified corpses from the Dominican Church of Vác, Hungary.*, In: WIECZOREK, A., ROSENDAHL, W. (eds), *MUMMIES of the World.* American Exhibition, Reiss-Engelhorn-Museum, Mannheim/Prestel/Munich/Berlin/London/New York, pp. 160–171., 2010 könyvfejezet

BERNERT, ZS., BÍRÓ, A. & KUSTÁR, Á.: *178 nekropolja Kan molaszű: Kratkij otcet po antropologiceszkomy issledovaniju.*, In: Aral-Caspian region in history and culture of Eurasia. Proceedings of the II<sup>nd</sup> international scholarly conference dedicated to the 20th independence anniversary of the, 2011 konferenciakikk.

KUSTÁR Á.: *A 1106. Gödörben feltárt 27. Rézkori férfi szobrászi arcreekonstrukciója.*, In: Balatonöszöd-Temetői dűlő – A középső és késő rézkori, valamint kora bronzkori településrészek. Szerk: Horváth Tünde. <http://real.mtak.hu/2959/>, 2012 könyvfejezet

ÉVINGER S., BERNERT ZS., BÍRÓ A., VOLLMUTH K., KUSTÁR Á.: *Abul Khair (1693-1748) kazak kán földi maradványai nyomában: a Khan Molacy lelőhelyen feltárt két lehetséges jelölt csontvázának általános antropológiai vizsgálata és szobrászi arcreekonstrukciója.*, *Folia Anthropologica*-ba szánt kézirat, 2013

ÉVINGER S., BERNERT ZS., BÍRÓ A., VOLLMUTH K., KUSTÁR Á.: *In search of the skeletal remains the Kazakh khan Abul Khair (1693-1748): General anthropological examination and craniofacial reconstruction on two possible candidates excavated from Khan Molacy site.*, *Annales historico-naturales Musei nationalis hungarici Studia historico-anthropologica hungarica*, 2013 folyóiratcikk

*Igazságügyi személyazonosításhoz kapcsolódó arcreekonstrukciók*

MAGYAR L., KELLER É.: *Digital video-superimposition technique for the testing of face reconstruction methods.*, Third Hungarian Conference On Biomechanics. Research Center for Biomechanics Budapest University of Technology and Economics, Budapest. pp. 183–186., 2008 Konferencia közlemény

MAGYAR L.: *Janus Pannonius személyéhez fűződő festmények szuperimpozíciós vizsgálata*, MBT Embertani Szakosztályülés, 2009. november 23., Janus Pannonius születésének 575., pécsi püspökké választásának 550. évfordulóján., 2010 egyéb

KUSTÁR Á., ÁRPÁS K., SZENTMÁRTONI SZ. G., MAGYAR L.: *„Janus igazi arca” – Janus Pannonius szobrászi arcreekonstrukciója és művészi ábrázolásai.*, *Antropológiai Közleményekbe* szánt kézirat, 2013 egyéb

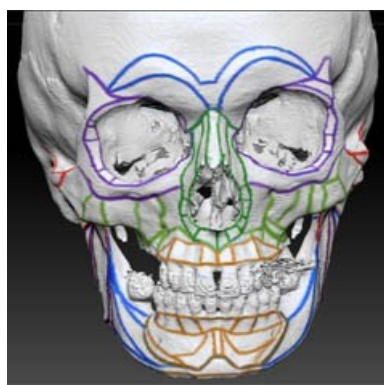
*Gyógyászathoz kapcsolódó arcreekonstrukció*

PÁLFI, GY., MOLNÁR, E., MARCSIK, A., BERECHKI, ZS., PAP, I., FÓTHI, E., KUSTÁR, Á., MENDE, B.G., MINNIKIN, D.E., LEE, O.Y., BESRA, G.S., SPIGELMAN, M., O'GRADY, J., DONOGHUE, H.D.: *Mycobacterium tuberculosis – Mycobacterium leprae coinfections from Hungary: osteological and*

*biomolecular findings.*, In: PÁLFI, GY., BEREZKI, ZS., MOLNÁR, E., DUTOIR, O. (szerk) Program and Abstracts of the 2012 TB Evolution Meeting, University of Szeged, Hungary, 22nd–25th March 2012., 2012 könyvfejezet

## 5.2. A 3D KÉPALKOTÓ- ÉS KÉPELEMZŐ MÓDSZEREK

**Résztéma felelős:** JUHOS István PhD, matematikus, informatikus, Kvaterno R&D Kft. (Szeged), Vollmuth Krisztián, képzőművész-szobrász (MKE Budapest, PhD hallgató). Juhos István utólag csatlakozott a kutatáshoz.



**„Karakterisztikus görbék” rajzolása 3D modelleken:** A virtuális 3D „karakterisztikus geometriai modell” létrehozása fontos módszertani feladat, mert nagyszámú koponyát- és arcot csak megfelelő bázis modell segítségével lehetséges elemezni. Az elemzés feltétele a karakterisztikus görbék (által határolt formaelemek) homológ módon történő kijelölése a virtuális modelleken. A bázismodell kialakítása összetett feladat, mert a modellnek 1) hordoznia kell az egyedi karakterisztikus vonásokat, 2) ugyanakkor elég általánosnak is kell lennie ahhoz, hogy a sokaság minden egyedére „ráhúzható” legyen.

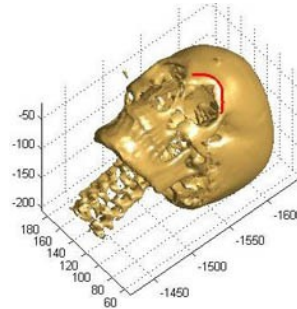
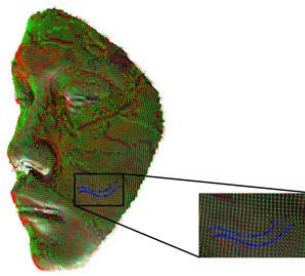
**Cél:** A landmark kijelölés automatizálása a gyorsaság, az objektivitás, és az egyértelmű definiálhatóság (a sokaság minden egyedén) szempontjainak figyelembevételével.

**Probléma 1:** A 3D felületen az elemzésre kiválasztott görbék kijelöléséhez olyan 3D szoftverre van szükség, amely lehetővé teszi a megrajzolt görbék matematikailag értelmezhető formátumú kiexportálását. Különböző kereskedelmi szoftverekkel kísérleteztünk a 3D felületen történő görbék kijelölésére (pl. ZBrush, Cinema4D, Leonar3Do, MashLab), de önmagában egyik szoftver sem bizonyult minden szempontból megfelelőnek.

**Probléma 2:** A GMM elemzések egyik alapvető módszertani nehézsége a manuális landmark kijelölésből adódik. Ez nem csak időigényessége, hanem a szubjektivitása miatt is problematikus. Tekintve, hogy nem anatómiai landmarkokról van szó, szinte lehetetlen nagyobb számú landmark helyét olyan pontosan definiálni, hogy az a sokaság minden egyedén konzekvensen (homológ módon) kijelölhető legyen.

**Módszer:** Ezért módszertani fejlesztésbe kezdtünk, melynek célja a „Minimum - és maximum görbületi irányú görbék rajzolása 3d-s modell felületére”.

**Eredmény:** A felületre görbék rajzolásához minimum és maximum görbületi irányoknak megfelelően a Matlab programot és az ehhez fejlesztett graph toolbox-ot használtuk. Első lépésben a compute\_curvature függvény segítségével a diszkrét felület összes pontjára kiszámoltuk a görbület nagyságát és a minimum- és maximum görbületi irány vektorokat. Ezután már tudunk kalkulálni és görbék rajzolni manuálisan kijelölt pontok között. A „karakterisztikus geometriai háló” 3D felületen történő kijelölése a görbék alkotó pontok (landmarkok) kijelölésén alapszik.



Ábra: Minimum - és maximum görbületi irányú görbék rajzolása 3d-s modell felületére

## A 3D Regisztrációs módszerek alkalmazása

### Hiánypótlás statisztikai becsléssel hiányos régészeti koponyákon

**Probléma:** 2012 szeptemberében a Győri Egyházmegyei Kincstár és Könyvtár új kiállításához készülő Szent László arcreekonstrukció céljából felnyitották a Győri Székesegyház Hédervári Kápolnájában őrzött Szent László hermát, és mód nyílt a koponyaereklye természettudományos vizsgálatára. A koponyáról CT felvétel készült, amely alapján RP eljárással műanyag másolatot készítettünk, majd az MTM Embertani Tárában elkészítettük a lovagkirály szobrászi arcreekonstrukcióját. Mivel az állkapocs nem volt sem a hermában, sem más fellelhető helyen, az állkapocsot pótolnunk kellett.



**Módszer:** Statisztikai úton virtuális állkapocs rekonstrukciót készítettünk a leuveni orvosi egyetem képfeldolgozó mérnökök kutatócsoportjával együttműködésével (Prof. Dirk Vandermeulen vezetésével – Universitair Ziekenhuis Gasthuisberg; K.U.Leuven, Faculty of Engineering Department of Electrical Engineering; SATCenter for Processing Speech and Images; PSIMedical Imaging Research Center). A statisztikai alapú állkapocs rekonstrukcióhoz szükséges koponya adatbázist részben a leuveni kórház férfi betegeiről készült koponya CT felvétele biztosította, részben a MTM Embertani

Tár gyűjteményének X-XI. századi történeti embertani anyaga. Az adatbázist geometrikus morfolometriai módszerekkel elemezve létrehoztuk a szükséges transzformációs algoritmusokat, amelyek segítségével a koponyához illő állkapocsot elkészítettük. A virtuális állkapocs modelltől 3D nyomtatási eljárással (RP) műanyag másolatot kaptunk, amelyet a koponyához illesztettünk, majd elkészítettük a szobrászi arcreekonstrukciót.

Bár a fenti vizsgálatot tisztán történeti embertani rekonstrukció céljából végeztük, az eredmény technikai és módszertani tanulságai gyógyászati felhasználás céljára is alkalmazhatók (pl. a maxillofaciális sebészet vagy arcrendellenességek gyógyítása területén).

**Elkészült dokumentációk:** Karakterisztikus geometriai háló létrehozásának koncepciója tesztkoponyákon (FACE-R adatbázisból). „Minimum - és maximum görbületi irányú görbék rajzolása 3D-s modell felületére”.

**Egyéb:** Virtuális 3D állkapocsreekonstrukció Szent László, magyar király koponyaereklyéje alapján (arcreekonstrukció készítés céljából).

## Közlemények

### 3D Képelemzés és regisztrációs módszerek

GEUKENS L, BRAEKEN AK: *Estimating missing parts from incomplete archeological skulls*. Project design – Master course in Biomedical Technology, Course H03I7A “Design in Medical Technology”, Medical Imaging Research Center at the University Hospitals Gasthuisberg, Leuven, Belgium. 2012. (szakdolgozat)

KUSTÁR Á., VOLLMUTH K., BALIKÓ A., PAP I., PÁLFI GY., MOLNÁR E., VANDERMUELEN D., CLAES P: *Szent László, magyar király virtuális állkapocs rekonstrukciója és szobrászi arcreekonstrukciója*, Antropológiai Közleményekbe szánt kézirat, 2013 egyéb

KUSTÁR Á., VOLLMUTH K., BALIKÓ A., PAP I., PÁLFI GY., MOLNÁR E., VANDERMUELEN D., CLAES P: *Craniofacial reconstruction and virtual mandible reconstruction of St. László, the Hungarian king from the 11th Century*, Journal of Anatomy folyóiratba szánt kézirat, 2013 egyéb

**Tanulmányutak/workshopok:** Három **tanulmányúton** vettünk részt szakmai együttműködés kialakítása céljából

- 2012.05.21–23.: Universitair Ziekenhuis Gasthuisberg, Leuven, Belgium. Téma: „Virtual Bio-anthropometrics” c. kutatási együttműködés kidolgozása. Fogadó fél: Prof. dr. ir. Dirk Vandermeulen, K.U.Leuven - Faculty of Engineering Department of Electrical Engineering – ESAT. Center for Processing Speech and Images – PSI, Medical Imaging Research Center, Leuven, Belgium.
- 2012.09.16–24. : BNU, Peking. Téma: “Developing 3D Craniofacial Reconstruction (CFR) methods”. Fogadó fél: Prof. Zhou Mingquan, head of department. Collage of Information Science and Technology, Beijing Normal University. 19. Xijiekouwai Street, Beijing, 100875, P.R., China
- 2012.09.16–24. : BUT, Peking. Téma: „3D registration methods in Craniofacial Reconstruction (CFR) research”. Fogadó fél: Prof. Baocai Yin, head of department. Collage of Computer Science and Technology, Beijing University of Technology. 100 Pingleyuan, Chaoyang District, Beijing 100124, China

Két **workshopot szerveztünk** meghívott külföldi résztvevőkkel a karakterisztikus geometriai modell koncepciójának kidolgozására Budapesten, a MTM Embertani Tárában.

- 2011.10.16–17.: Prof. Douglas Ubelaker, PhD, (Department of Anthropology, Natural History Museum, Smithsonian Institution, Washington D.C., USA) – Craniofacial Reconstruction and Forensic Identification – Research project plan.
- 2011.10.22–23.: Prof. Dirk Vandermeulen, PhD; Peter Claes, PhD és Sarah Shrimpton, dr. , Universitair Ziekenhuis Gasthuisberg, Leuven, Belgium – „FACE-R” 3D Database And Morphometrics For Facial Reconstruction” – Collaboration plan.

**Eltérés a tervtől:** *Vis maior* miatt elmaradt a 15th IACI konferencia Kínában. A “15th scientific meeting of International Association for Craniofacial Identification (IACI)” c. konferenciát sajnálatos módon *vis maior* következtében törölték (a rendező fél politikai okok miatt “elveszítette” pozícióját és ebből adódóan a konferencia megrendezés jogát). Miután erről a résztvevőket egyáltalán nem tájékoztatták (ill. későn értesültünk róla, informális úton), az utazást csak nagy veszteség árán tudtuk volna visszamondani. Ezért kutatócsoportunk a veszteségek (lefoglalt repülőjegyek, szállás) elkerülése végett mégis a kiutazás mellett döntött, s kapcsolatba lépve két pekingi egyetem arcreekonstrukciós kutatócsoportjával, és tanulmányutunkon sikeres szakmai együttműködéseket kezdeményeztünk.

## 5.3. A MATEMATIKAI MODELLEZÉS MÓDSZERE

**Résztéma felelős:** Koczka György dr., matematikus, BME Fotogrammetria és Térinformatika tanszék (Budapest), Juhos István PhD, matematikus, informatikus, Kvaterno R&D Kft. (Szeged).

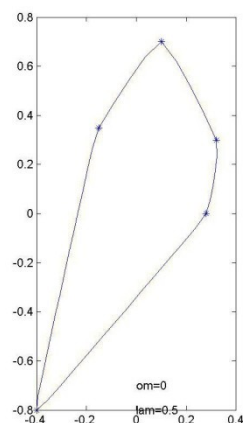
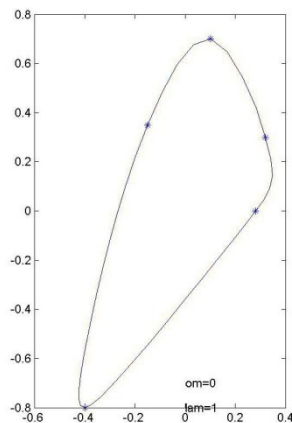
**Célkitűzés:** Egy koponya adataiból (geometriai méretek, egyéb osztályozási tényezők, típusok, stb.) megbecsüljük a hozzá tartozó arcot.

### Az alak modellezés lépései

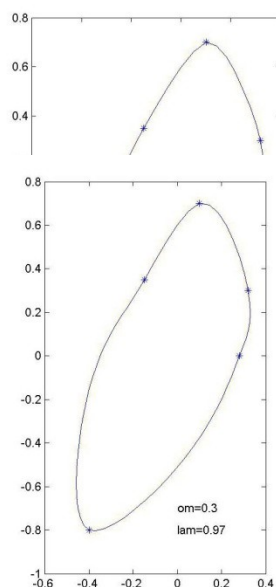
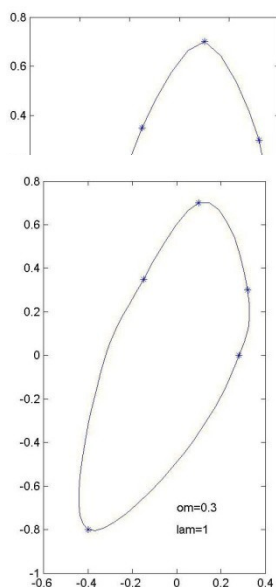
**A normalizálás/illesztés:** Két alakzatot eltolással, forgatással, kicsinyítéssel, nagyítással fedésbe hoztunk. Az alakzatokon kijelölt kulcspontok (markerek) segítségével hasonlósági transzformációkat végeztünk, a legjobb illeszkedés elérése céljából. A transzformált geometriai modelleket egyenméretűnek és további feldolgozásra alkalmasnak tekintettük.

**Alakmodellezés vázlata:** Kiindulási adatok: Adottak a koponyák és hozzájuk tartozó arcok mérésfájai. Ezek export mentésfájai adják számunkra azok geometriai modelljét. Ez háromszögek (összekötés módja), illetve csúcspontjaik (pontfelhő) megadásából áll. Markerek definiálása: Egyedileg, manuálisan. Csoportok kialakítása: Antropológiai sajátosságok szerint. A referencia arc kijelölése: Egy-egy csoportból célszerű egy "jól sikerült" modellt kiválasztani, ahol pl. a markerek jól kijelölhetők, stb. Az illesztési transzformáció mátrixainak meghatározása: A csoportok összes alakzatának markereivel el kell végezni az illesztést, ami darabonként egy transzformációs mátrix meghatározását jelenti. A geometriai modellek transzformálása: Az illesztési transzformációk mátrixaival elvégezhetők a modellek pontjainak normalizálása.

Új mért adatok képzése: További markerek és görbék kijelölése, vastagsági adatok mérése összetartozó koponya-arc páron. Statisztikák, regressziós összefüggések: Törvényszerűségek keresése a markerpontokban. A fő cél, hogy legyen egy pontkoordináta – vastagság függvénykapcsolat. A törvényszerűségek kiterjesztése: A markereken kívüli pontokhoz is szükséges egy koordináta – vastagság összefüggés. Becslések, jóslások: Koponya csoportbeli besorolása. Adott koponyához (pontfelhőhöz) vastagsági adatok számítása – arc jóslása. Modellezési kísérletek teszt adatokkal: Melyek azok a fontos geometriai pontok (kulcspontok), amelyek a modellezéshez szükségesek?



*Variációk orrlyuk modellezésére 5 kulcsponttal*



**Elkészült dokumentációk:** Normálás elve és algoritmus. Illesztés elve és algoritmus. Alakmódosítás elve és algoritmus tesztadatokkal. 3D felületre fél automatikus görbe rajzolásának elve és algoritmus.

**Eredmények és jelentőségük:** A „*karakterisztikus geometriai modell*” kidolgozása hiánypótló az arcreekonstrukciós kutatásban, mert jelenleg a koponya- és az arc egyedi karakterjegyeinek összefüggéseiről nem eléggé behatóak az ismeretek. A „*karakterisztikus geometriai modell*” lényegében a koponyára- és az arcra illesztett térháló, amely leképezi az egyedi karaktervonásokat. Egyben egy olyan 3D „*referencia rendszer*”, amelyben bármely koponya és arc geometriája leírható 3D landmark koordináták által. A landmarkokkal leírt alakzatok paramétereik alapján statisztikai módszerekkel elemezhetők és más alakzatokká transzformálhatók (alakmódosítás). Jövőbeni számítógépes arcreekonstrukciós módszertani fejlesztésünk a koponya- és az arc „*karakterisztikus geometriai modell*”-jének kidolgozására épül. A karakterisztikus geometriai háló segítségével öt lépésben valósítható meg az arcreekonstrukció módszertani fejlesztése: 1) koponya- és arc alakzatok geometriai paraméterekkel való definiálása, 2) a karakterisztikus alakzatok 3D GMM módszerekkel történő elemzése, osztályozása, 3) az elemzésből feltárt statisztikai összefüggések alapján matematikai jósló modellek felállítása, 4) a karakterisztikus alakzatok módosítása alak transzformációval, 5) 3D megjelenítés. (Az eredményeket még nem publikáltuk.)

A „*karakterisztikus háló*” elve alapján 12 db arcreekonstrukciót készítettünk el hagyományos szobrászi módszerrel, köztük olyan nevezetes történelmi személyekét, mint Szent László, magyar király; Janus Pannonius humanista költő, püspök; Abül Khair kazak kán és nagyvezére és egy egyiptomi múmia a ptolemaioszi korból. Betegségek megjelenítésére elsőként rekonstruáltuk egy leprás férfi arcát a középkorból. Igazságügyi személyazonosítási szempontok figyelembevételével készült egy ismeretlen és két ismert férfi arcreekonstrukciója utólagos összehasonlítás és elemzés céljából. Az elemzések fényt deríthetnek az alkalmazott módszerek előnyeire és hátrányaira.

Kidolgoztuk a *landmark kijelölés automatizálásának* elvét a gyorsaság, az objektivitás, és az egyértelmű definiálhatóság szempontjainak figyelembevételével. A függvényeket sikeresen alkalmaztuk tesztmodelleken egy-egy 3D felületre görbék rajzolására minimum és maximum görbületi irányoknak megfelelően.

Kidolgoztuk az *alakmodellezés lépéseit*. Elvégeztük a 3D koponya és arc alakzatok normalizálását és illesztését bázismodell alapján. Modellezési kísérleteket végeztünk teszt adatokkal, a modellezéshez szükséges kulcspontok definiálására.

Belga együttműködésben elkezdtük a „*rugalmas regisztrációs módszerek*” (non rigid registration methods) alkalmazását alakelemzésre ill alakmódosításra. A belga fejlesztésű „*elasztikus antropometriai maszk*”-ot (*Elastic Anthropometric Mask*= *AM*) leképeztük a FACE-R adatbázis 3D arc- és koponya modelljeire (*mapping techniques*). Az *AM* olyan rugalmas regisztrációs eljárás, amely alkalmazása lehetővé teszi a 3D modellek 10.000 pontjának homológ pontként, azaz landmark-ként való értelmezését és felhasználását. Az elasztikus maszkon tetszőlegesen kijelölhetők azok a pontok, görbék vagy felületek, amelyeket elemezni vagy módosítani kívánunk, s a regisztrációs algoritmus segítségével homológ módon átvihetők a vizsgált minta további egyedeire.

A „*rugalmas regisztrációs módszerek*” alkalmazása ígéretes további kutatási irány az automatikus landmark kijelölésre, 3D morfometria elemzésre az arc- és koponya összefüggéseinek feltárására, ill. 3D alakmódosításra. A *virtuális állkapocs rekonstrukció* eredménye, technikai és módszertani tanulságai történeti embertani, igazságügyi és gyógyászati célra (pl. a maxillofaciális sebészet vagy arcrendellenességek gyógyítása területén) egyaránt alkalmazhatók.

A karakterisztikus geometriai modell létrehozásához és az elemzésekhez számos módszertani fejlesztésre volt szükség, amelyeket jelen kutatás keretei között csak részben tudtunk elvégezni.

## 5.4 AZ ANATÓMIAI MÓDSZER

Anatómiai szempontból az arcot, egy szilárd csont-alapra épült rugalmas rétegekből álló „építménynek” tekintjük. A koponya formája és arányai alapvetően meghatározzák a ráépülő izomrétegek alakját, karakterét, ám az arcizmok működése is visszahat a csontépítmény alakjára. Ebből adódik, hogy a csontos alap és a lágyrészek között formai összefüggés van. Míg a nagyobb tömegű izmok (rágóizmok, gyűrűs izmok vagy a pofa izmai) az arcfelszín „domborzatának” kialakításában jelentősek, az apróbb – néha jelentéktelennek tűnő – mimikai izmok is fontosak, hisz a kommunikáció változékonyságának megfelelően a finoman összehangolt mozgásokat végzik és ezzel közvetlenül a bőr alatt alakítják, redőzik az arcfelszínt (*SMAS – subcutan musculo-aponeurotic system*). Az arckarakter egyediségéhez hozzájáruló mimikai izmok megjelenési formáiról, variációiról vajmi kevés ismeretünk van.

Anatómiai kutatásunk **hipotézise**, hogy a csont- és lágyrész morfológiai variációk nem véletlenszerűen kombinálódnak. A karakterisztikus változók mérhetők, együttes előfordulásuk valószínűsége biometriaival módszerekkel elemezhető, s amennyiben ismerjük a fontos karakterisztikus változókat és azok együttes előfordulásának természetét, pontosabban következtethetünk a csontok alaki sajátágaiból a lágyrészek egyedi alakjára.

**Célkitűzés:** Adatgyűjtés az arc anatómiájának „arcrekonstrukciós szempontú” megközelítéséhez, amely a hagyományos orvosi- vagy képzőművészeti anatómia atlaszokból hiányozó új összefüggéseket tár fel és mutat be.

Különböző eszközökkel történő adatgyűjtés az arc egyedi karakterét meghatározó alaki variációkról (CT, 3D Scan és 2D fotó).

Az alaki variációk definiálása és mérése virtuális antropológiai módszerekkel.

Az alaki variációk elemzése geometrikus morfometriai módszerekkel (GMM). Az elemzés célja a formai összefüggéseken alapuló osztályozás.

Az alaki variációk osztályozása a karakterisztikus változók morfometriai korrelációi alapján.

**Anyag és módszerek:** Az anatómiai adatgyűjtést mind élő vizsgálati személyeken mind kadáver preparátumokon végeztünk. Előtanulmányokat folytattunk élő vizsgálati személyeken, mely során különböző orvosi képalkotó eszközökkel (Rtg, CT, MRI) megfigyeltük a porcos orr vázának finomabb struktúráit, különös tekintettel az orrcsúcsi porcok (*cartilago alaris major*) alakulására. Mivel a fenti radiológiai képalkotó eljárások segítségével nem sikerült a porcokat egyértelműen elkülöníteni a hasonló denzitású szomszédos szövetektől (kötőszövettől), az adatokat nem tudtuk elemezni. Mivel kadáver preparátumokhoz csak korlátozott számban férünk hozzá, az adatgyűjtést élő klinikai páciensekre is kiterjesztettük. Az orrplasztikai sebészi beavatkozás során a teljes porcos orrváz feltárul, így az orrporcok finomabb részletei *in situ* megfigyelhetők és dokumentálhatók. Ezért az orrporcok vizsgálatához szükséges adatgyűjtést részben 1) élő betegeken „in situ” műtéti beavatkozások során, részben pedig 2) fixált anatómiai preparátumokon végeztük.

### Anatómiai adatgyűjtés sebészi intervenció során

**Résztéma felelős:** Dr. Rezek Ödön, fül-orr-gégész, plasztikai sebész (SE Fül-orr-gégészeti és Fej-Nyaksebészeti Klinika, Budapest).

**Adatgyűjtés módszere:** A Semmelweis Egyetem Fül-orr-gégészeti és Fej-Nyaksebészeti Klinikáján élő betegeken orrplasztikai műtéti beavatkozások során készítettünk fotósorozatot a külső orr-ról 1) a műtéti beavatkozást megelőző állapotban, 2) a műtét során, majd 3) az azt követő állapotban. Megfigyeltük és dokumentáltuk az orr porcos vázának finom szerkezetét, az orrporcok anatómiai variációit.

Az adatgyűjtés fő szempontja, hogy a külső orr és a porcos orrváz variabilis részeiről – orrgyök (*radix nasi*), csontos orrhát, porcos orrhát (*dorsum nasi*), orrcsúcs (*apex nasi*), orrgyök (glabellához viszonyított mélysége; szemhez viszonyított magassága), orrszárnyak és részeik (*ala nasi*), orralap,



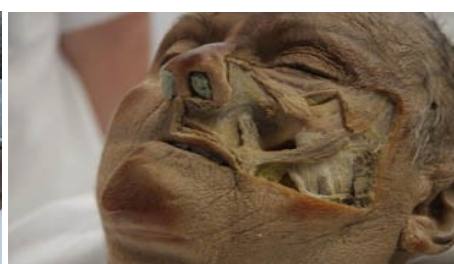
orrsővény (*pars mobilis septi nasi*), orrlyukak (nares) – nagy számú adatot gyűjtünk, későbbi elemzés céljából. A vizsgálati személyek egy részéről röntgen illetve CT felvétel is készült.

### Anatómiai adatgyűjtés fej-nyak cadaver preparátumokon

**Résztéma felelős:** Dr. Baksa Gábor, anatómus (SE ÁOK I. Anatómiai, Szövet- és Fejlődéstani Intézet) és Dr. Magyar Lóránt, igazságügyi orvos (SE ÁOK Igazságügyi és Biztosítás-orvostani Intézet).

Összesen 5db (3 fixált és 2 friss) fej-nyak anatómiai preparátumon végeztünk morfometriai adatgyűjtést a Semmelweis Egyetem ÁOK I. Anatómiai, Szövet- és Fejlődéstani Intézetében és az Igazságügyi és Biztosítás-orvostani Intézetében.

**Preparálás:** A preparátumokon az előzetesen elkészített preparálási forgatókönyv szerint, főbb régióként tártuk fel az arc anatómiai rétegeit. A preparálás tervezésének főbb szempontjai az arc rekonstrukcióhoz szükséges formai összefüggések megfigyelése volt a cél. A régiók feltárásánál a formai változásokra fókuszáltunk. Az egyes anatómiai rétegek eltávolítása után a felszíni formákat kialakító nagyobb tömegű lágyrészek (főként zsír és izom) térbeli viszonyait tártuk fel és standard módon dokumentáltuk. A preparálás nem terjedt ki olyan finomabb anatómiai képletek (erek, idegek) feltárására, amelyek nem játszanak szerepet a felszíni formák kialakításában. Az ún. „ablakos preparálással” érintetlenül hagytuk a környező arcfelszínt, amely így a későbbi 3D mérések viszonyítási környezetéül szolgált.



**2D dokumentáció:** A fej-nyak anatómiai preparátumokról *in situ* állapotban majd a preparálás során, fotódokumentációt készítettünk az egyes anatómiai rétegekről. A dokumentációt a későbbiekben az elemzéshez, osztályozáshoz, és illusztrációk készítéséhez kívánjuk felhasználni.

**3D koponya és arc-anatómiai modellek létrehozása:** A preparálást megelőzően CT felvételt készítettünk a koponyákról. A koponya CT felvételeket feldolgoztuk, és 3D rekonstrukció készült a teljes csont- és bőrfelszínről. Így a 3D mérésekhez rendelkezésre áll a „legkülső és a legbelső” anatómiai réteg 3D modellje, amelyen a jövőben virtuális antropológiai módszerrel méréseket végzünk (pl. lágyrész vastagsági mérések).

A „közbülső” anatómiai rétegekről 3D tárgyszkennerrel felvételeket készítettünk, majd az adatokat feldolgoztuk, és 3D rétegmodelleket készítettünk a preparálás egyes fázisairól. Az anatómiai rétegmodelleken a jövőben virtuális antropológiai méréseket és morfometriai elemzést tervezünk.

**Eredmények és jelentőségük:** Adatgyűjtést végeztünk az arc anatómiájának „arcrekonstrukciós szempontú” vizsgálatához, a 3D virtuális antropológiai mérésekhez és GMM módszerekkel való elemzéséhez. Az anatómiai fej-nyak preparátumokon és élő vizsgálati személyeken orr plasztikai műtét során gyűjtött 2D és 3D adatok alkalmasak a csont-és lágyrészek közti új karakterisztikus formai összefüggések feltárására. A 3D modellek egyben kiindulási modellként is szolgálnak a jövőbeni számítógépes arcprekonstrukciós módszer fejlesztéséhez.

**Elkészült dokumentációk:** 2D fotódokumentáció anatómiai fej-nyak preparátumokról és anatómiai rétegekről (5 egyénről). 2D fotódokumentáció sebészeti intervenció során (50 egyénről). Koponya CT nyers adatok, és 3D csont- és bőrfelszín rekonstrukció (5 egyénről). Szkennelt 3D anatómiai rétegmodellek (5 egyénről). Orr morfológiai vizsgálati lapok. „Arcépítés Atlasza” c. kézikönyv vázlata.

#### Közlemények

SCHROTT P.: *Geometric data gathering from cadaver human head. Third Hungarian Conference On Biomechanics.*, Third Hungarian Conference On Biomechanics. Research Center for Biomechanics Budapest University of Technology and Economics, Budapest. pp. 301-308., 2008 Konferencia közlemény.

#### 6. A 3D MEGJELENÍTÉS ELŐKÉSZÍTÉSE

**Résztéma felelős:** Vári Barnabás, gépészmérnök, 3D mérnök (Tondo SP1 Kft, Miskolc) és Vollmuth Krisztián, képzőművész-szobrász (MKE Budapest, PhD hallgató)

**Célkitűzés:** Az arcprekonstrukció módszertani fejlesztésére és jövőbeni számítógépes alkalmazásának kifejlesztésére vásároltuk meg a magyar fejlesztésű 3D „Leonar3Do” szoftvert (<http://leonar3do.com/en/>). A „Leonar3Do” olyan 3D platform, amely a későbbiekben kutatási igényeink szerint továbbfejleszthető, és arcprekonstrukció készítés céljára specializálható. A Leonar3Do International PLC-vel együttműködésben megvalósíthatónak tartjuk a szükséges módszertani fejlesztéseket, amelyek segítik a 3D modellek morfometriai elemzését (pl. a 3D felületre



történő rajzolást) vagy a virtuális szobrászi eszköz arcprekonstrukció készítésre való alkalmazását.



Jelen kutatás keretei közt tanulmányoztuk a LeoWorld alkalmazási és fejlesztési lehetőségeit. Az arcreekonstrukciós alaputatóban tervezett alkalmazási feladatok:

- 3D koponya- és arcmodellek felületére karakterisztikus görbék rajzolása szabadkézzel (modellek előkészítése a GMM elemzésekhez). Az adatok kiexportálása obj formátumban.
- Fej poligon létrehozása: a koponyára táblázati értékek szerint megadott eltérő hosszúságú jelölőtövis (markerek) illesztése, majd a tövisek végpontjainak összekötése és sík lappokkal való „befedése/kitöltése”. Eredmény a koponya legfontosabb karakterjegyeit tükröző „kubista” (szögletes) arcmodell (ami nem más mint az arc karakterisztikus geometriai hálóját). Ezzel az eljárással a FACE-R adatbázis koponyái alapján teszt arcreekonstrukció sorozat elkészítését tervezzük Leonar3Do-val, melynek célja 1) rekonstruált karakterisztikus arcmodellek összehasonlítása az eredeti szkennelt arcmodellel, 2) más arcreekonstrukciós módszerekkel történő összehasonlítás.
- Prezentáció készítése 3D-ben

### **BASIC Fejlesztési terv - elemek négy fejlesztési feladatra**

*Elem 1 – Pontos méretek bevétele:* Ezáltal méretezhetőek lesznek a tárgyak minden irányban.

*Elem 2 – Lock pozíció funkció:* A felületre rajzoláskor és a landmarkok elhelyezésekor előfordulhat, hogy elmozdulhat a lágyszövet és a koponya pozíciója.

*Elem 3 – Több millió polygon:* 64 bites LeoWorld változat készítése és a LeoWorld megjelenítő átprogramozása, így nagyobb objektumokat lehet beimportálni és elmenteni (nagyobb memóriacímzés miatt). A 6 millió polygon kezeléséhez hardverfejlesztés is szükséges, fps sebességének növeléséhez és a nagy adat kezeléséhez (memória és videokártya bővítés megvizsgálása).

*Elem 4 – Polyline exportképesség:* Polygon alapú vonalak kiexportálása obj formátumban a további felhasználás céljából.

**Eredmények:** A FACE-R adatbázis teszt koponya- és arcmodelljeivel teszteltük a Leonar3Do szoftver megoldott funkcióit: Koponya- és arc mesh beimportálása ugyanabban a pozícióban. Landmark tűske elhelyezése a felület vertex (csúcs) pontjai alapján (tűske végleges helyre rögzítése/lockolás nem megoldott). Tűske irányának megadása (nem normál irányban, hanem manuálisan, szemre). Landmark tűske méretének meghatározása x, y, z koordináták alapján (manuálisan, szemre). Landmark tűskék méreteinek kiírása (leolvasható módon). Landmark tűskék méreteinek megadása manuálisan (a „madár” mozgatóval, megközelítő pontossággal). Animáció készítése prezentációhoz: mozgatás, forgatás (kamera/object).

**Probléma:** A módszertani fejlesztést forrás hiányában jelen pályázat keretei közt nem tudtuk megvalósítani, mert a tervezett új funkciók csak nagyobb volumenű fejlesztéssel egybekötve valósíthatók meg. A jövőben folytatott pályázat keretében tervezzük a fejlesztések megvalósítását.

**Eredmények és jelentőségük:** A FACE-R adatbázis 3D koponya- és arc modelljein alkalmaztuk a Leonar3Do szoftver megoldott funkcióit, és teszteltük az arcreekonstrukciós módszertani fejlesztés megvalósítási lehetőségét.

A fejlesztés megvalósulása esetén a Leonar3Do alkalmas lesz arra, hogy 1) az arcreekonstrukciós projekt elindulhasson alap funkcionálissal, 2) konferencián prezentáció bemutatására, 3) opcionálisan előadás tartására full 3D-ben, a LeoConf Projektor Kit bérlése révén, papír szemüvegekkel, akár több száz résztvevővel. Fontos előrelépés, hogy jelen pályázat keretei között kapcsolatba kerültünk a magyar Leonar3Do International PLC fejlesztőivel, és ígéretes együttműködésbe kezdünk egy jövőbeni számítógépes arcreekonstrukciós szoftver közös létrehozása érdekében.

**Elkészült dokumentációk:** Fejlesztési terv Leonar3Do arcreekonstrukciós alkalmazására.