

# A VOXEL-MAN Tempo 3D virtuálisvalóság-szimulátor alkalmazása a sziklacsontr sebészetében

Perényi Ádám dr.<sup>1\*</sup> ■ Posta Bálint dr.<sup>1\*</sup> ■ Szabó Linda dr.<sup>1</sup>  
Tóbiás Zoltán dr.<sup>1</sup> ■ Dimák Balázs<sup>1</sup> ■ Nagy Roland<sup>1</sup> ■ Jónás Gyöngyi<sup>2</sup>  
Bere Zsófia dr.<sup>1</sup> ■ Kiss József Géza dr.<sup>1</sup>  
Rovó László dr.<sup>1</sup> ■ Csanády Miklós dr.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Szegedi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Fül-Orr-Gégészeti és Fej-Nyaksebészeti Klinika, Szeged

<sup>2</sup>Szegedi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Orvosi Készségfejlesztési Központ, Szeged

**Bevezetés:** Az emberi sziklacsontr a halántékcsontr része, egy bonyolult és változatos anatómiai felépítésű struktúra. A sziklacsontron végzett beavatkozások előtt, a műteti szövödmények megelőzése érdekében, nélkülözhetetlen a biztos anatómiai tudás és kézügyesség megszerzése, valamint az egyes műteti lépések és mozdulatok begyakorlása. A VOXEL-MAN Tempo 3D fül-orr-gégészeti szimulátor a virtuális valóság és a robotika alkalmazásával nyújt gyakorlási lehetőséget.

**Célkitűzés:** A Szegedi Tudományegyetem 2019-ben VOXEL-MAN fül-orr-gégészeti szimulátort helyezett üzembe az Orvosi Készségfejlesztési Központban. A cikk fül-orr-gégész szakorvos szerzői a VOXEL-MAN Tempo szimulátor megismerését követően bemutatják a készüléket, és megfogalmazzák a szimulátorral végzett beavatkozásokkal szemben támasztott igényüket.

**Módszer:** A szerzők a megfogalmazott szempontoknak megfelelően értékelik a VOXEL-MAN Tempo szimulátort, és meghatározzák, milyen szerepet szánnak neki a gyakorlati képzésben.

**Eredmények:** A szimulátor virtuálisan, mégis valóságként mutatja meg a sziklacsontr anatómiai viszonyait, a fontos anatómiai struktúrák valós térbeli elhelyezkedését és egymástól, illetve a sebési eszköztől mért távolságát. A rendszer lehetővé teszi a fülműtétek valósághű elvégzését (kétkézes csontmunka fúróval és szíróval, vérzés szimulálása) taktilis visszacsatolással. Az egy- vagy kétkézes feladatokkal fejleszthetjük a sebési készségeket. A fülműtétek csontmunkája reprodukálható módon elvégezhető valódi beteg halántékcsontrjáról készített rutin, nagy felbontású komputertomográfiás vizsgálat anyagából.

**Következtetés:** Tapasztalataink alapján a szimulátor kiválóan alkalmas az egyes műteti lépések begyakorlására. A jövőben fontos szerepet szánunk a virtuális rendszernek a fül-orr-gégészeti graduális és a fülbébszeti posztgraduális képzésben.

Orv Hetil. 2021; 162(16): 623–628.

**Kulcsszavak:** virtuális valóság, műteti szimulátor, érzés és látvány megjelenítése, halántékcsontrfúrás, gyakorlat, tanulási ütem, műteti tervezés

## Application field of VOXEL-MAN Tempo 3D virtual reality simulator in surgery of pars petrosa of temporal bone

**Introduction:** The pars petrosa of the human temporal bone is a structure of complex and diverse anatomy. Prior to surgical interventions, in order to prevent surgical complications, it is essential to acquire sound anatomical knowledge and dexterity as well as to practice each surgical step and movement. The VOXEL-MAN Tempo 3D simulator uses virtual reality and robotics to provide an opportunity to practice.

**Objective:** In 2019, the University of Szeged installed a VOXEL-MAN Virtual Reality simulator at the Medical Skills Development Center. After learning about the VOXEL-MAN Tempo simulator, the authors present the device and articulate their need for interventions with the simulator.

**Method:** The VOXEL-MAN Tempo simulator is evaluated according to the formulated criteria and the role assigned to it in the practical training is determined.

\*Mindkét szerző azonos mértékben vett részt a közlemény elkészítésében.

**Results:** The simulator shows the anatomical structure of the temporal bone virtually, yet realistically, the real spatial location of the important anatomical structures and their distance from each other and from the surgical instrument. The system allows ear surgery to be performed realistically (two-handed bone work with a drill and suction) with tactile (vibration) and visual (bleeding) feedback. One can improve surgical skills with one- or two-handed tasks. Bone work in ear surgeries can be performed in a reproducible manner from routine, high-resolution computer tomography of the temporal bone of a real patient.

**Conclusion:** With reference to our experience, the simulator is excellent for practicing each surgical step. In the future, we intend to use this virtual system in undergraduate and postgraduate training in otolaryngology.

**Keywords:** virtual reality, surgical simulator, haptic and visual rendering, temporal bone drilling, training, learning curve, preoperative planning

Perényi Á, Posta B, Szabó L, Tóbiás Z, Dimák B, Nagy R, Jónás Gy, Bere Zs, Kiss JG, Rovó L, Csanády M. [Application field of VOXEL-MAN Tempo 3D virtual reality simulator in surgery of pars petrosa of temporal bone]. *Orv Hetil.* 2021; 162(16): 623–628.

(Beérkezett: 2020. szeptember 10.; elfogadva: 2020. november 3.)

### Rövidítések

3D = (three-dimensional) háromdimenziós; CT = (computed tomography) komputertomográfia; EFOP = Emberi Erőforrás Fejlesztési Operatív Program; MRI = (magnetic resonance imaging) mágnesesrezonancia-képalkotás; SZTE = Szegedi Tudományegyetem

Az emberi sziklacson (a halántékcsontrésze, pars petrosa ossis temporalis) anatómiája rendkívül bonyolult és változatos. A sziklacsonon végzett beavatkozások, mint amilyenek a középfülműtétek is, súlyos szövődmenyekkel járhatnak. Ezért nélkülözhetetlen a biztos anatómiai tudás, a finommotoros kézügyesség és az egyes műtéti lépések és mozdulatok begyakorlása. Mindezek hiányában akár életveszélyes szövődmenyt (a sinus sigmoideus falának jelentős vérzéssel járó sérülése vagy a tegmen mastoideum agyvízcsorgást vagy koponyaűri fertőzést okozó sérülése) vagy olyan szövődmenyeket okozhat az operáló orvos, amelyek átmenetileg vagy tartósan és jelentős mértékben ronthatják az életminőséget: létrejöhet az arcideg perifériás részének bénulása, a chorda tympani ízérzékszavart okozó sérülése, a halló- és egyensúlyszerv szédülést és/vagy sensorineuralis hallásvesztést okozó sérülése, a hallócsontok vezetékes hallásvesztést okozó sérülése. A páciensek biztonságos és a lehető legjobb eredményt célzó ellátása érdekében a képzőhelyeknek magas színvonalú elméleti és gyakorlati képzést kell biztosítaniuk orvosgyakornokaik számára, mielőtt azok a műtéti tevékenységüket kezdetben felügyelettel megkezdhetik, majd önállóan végezhetik.

A fülsebészeti gyakorlatok arany standardjának a human kadáver sziklacsonon végzett gyakorlatokat tartjuk [1, 2]. Hagyományos kadávergyakorlatok esetén az elhunytból eltávolított és formalinban tartósított vagy friss halántékcsonton a műtőben használatos kéziműszerek és -fűró alkalmazásával végezhetünk csont- és lág-

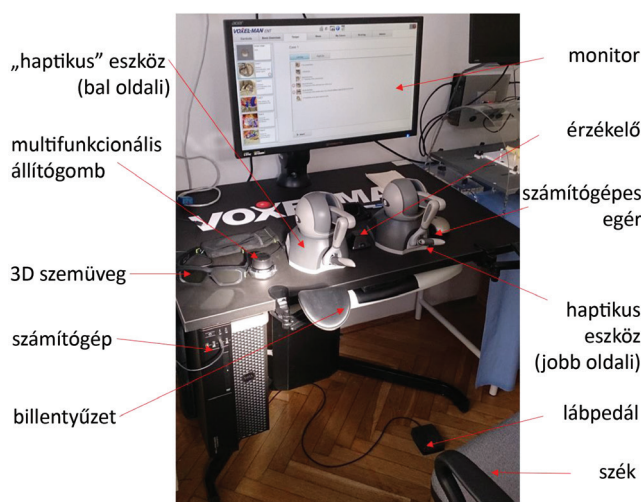
rész-munkát mikroszkópos vagy endoszkópos vizualizáció mellett. Friss fagyasztott kadáverfejen a laterális koponyaalapi műtétek is gyakorolhatók. Ugyanakkor az etikai előírások miatt korlátozott számban lehet hozzájutni a kadáveranyagokhoz [2], az eszközök és a tanfolyamok költségesek, nem zárható ki az átvitt fertőzések lehetősége, és egy anyagon egy bizonyos műtétet csak egyszer lehet kipróbálni.

A fentiek miatt célszerű olyan alternatívát találnunk, amely etikai szempontból nem aggályos, könnyen, több alkalommal, rendszeresen és tervezhetően hozzáférhető, költsége vállalható és kiszámítható mértékű, és valóság-hűen modellezi a valóságos viszonyokat és az élő páciensen végzett beavatkozásokat.

A műanyagokból készült – nyomtatott vagy öntött – 3D modellek [3] mellett ilyen lehetőség még a szimulátor, amely lehetőséget kínál fülműtétek (például mastoidectomy, cochlearis implantáció) virtuális elvégzésére 3D-ben [2].

### Anyag és módszer

A gyakorlati képzés segítésére a Szegedi Tudományegyetem 2019-ben az „EFOP-4.2.2-16-2017-00001: Skill laborok fejlesztése” projekt keretében VOXEL-MAN fül-orr-gégészeti szimulátort helyezett üzembe az Orvosi Készségfejlesztési Központban. A cikk fül-orr-gégész szakorvos szerzői a graduális és posztgraduális képzés oktatói, és különböző szintű gyakorlati tapasztalattal rendelkeznek a fülsebészeti beavatkozások terén. A szerzők a VOXEL-MAN Tempo szimulátor megismerését követően bemutatják a készüléket, és megfogalmazzák a szimulátorral végzett beavatkozásokkal szemben támasztott igényüket. A megfogalmazott szempontoknak megfelelően értékelik a VOXEL-MAN Tempo szimulátort, és meghatározzák, milyen szerepet szánunk neki a gyakorlati képzésben.



1. ábra | A VOXEL-MAN 3D szimulációs eszköz részei

## Eredmények

A VOXEL-MAN szimulátort a hamburgi Hamburg-Eppendorf Egyetemi Klinikai Központ VOXEL-MAN Munkacsoportja alkotta meg és fejleszti. 2005-ben került bevezetésre a TempoSurg szimulátor, majd 2011-ben bemutatták a VOXEL-MAN Tempo nevű csontfűrő második generációját [4]. A szimulátor fülsebészeti (Tempo) és orrmelléküreg-sebészeti (Sinus) alprogramokból áll.

A VOXEL-MAN Tempo alprogram fő részei (1. ábra):

1. számítógépasztal, számítógép, monitor, billentyűzet, egér;
2. két darab kartámasz;
3. két darab, ún. haptikus eszköz;
4. lábpédál;
5. multifunkciós állítógomb;
6. érzékelő;
7. 3D szemüveg.

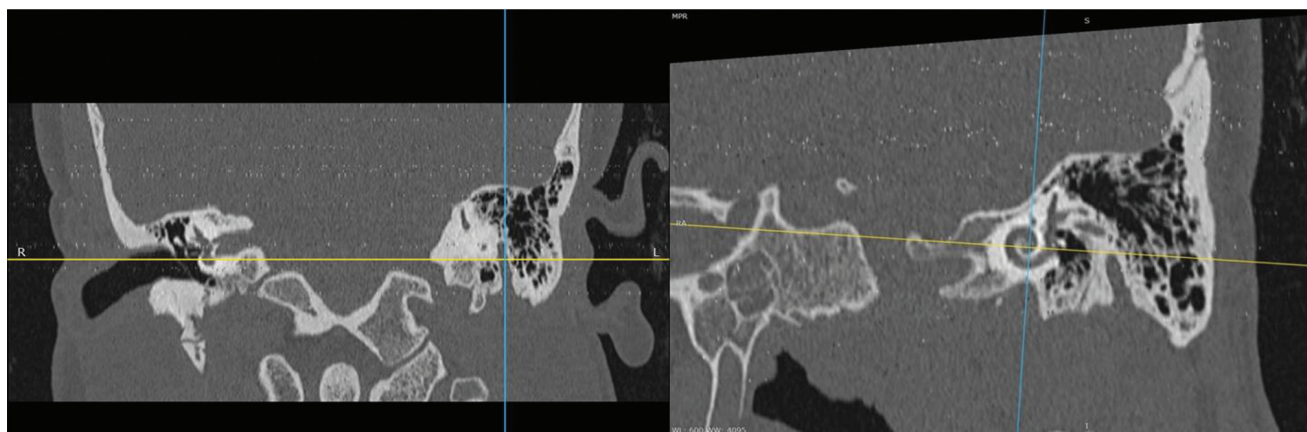
## Munkamenet

A számítógépasztalhoz ülve néhány lépésben, az egér és a billentyűzet segítségével kiválasztjuk a kívánt gyakorlóprogramot, vagy betöltjük saját esetünk képanyagát, és belőle 3D modellt készítünk, amelyet a monitoron jelenítünk meg. Kiválasztjuk, hogy a gyakorlatot végző jobb- vagy balkezes. Az előre telepített gyakorlóprogramok között valódi beteg nagy felbontású CT-vizsgálatából (2. ábra) készített 3D modelleket választhatunk. Kiválaszthatjuk, hogy jobb vagy bal oldali, jól fejlett vagy scleroticus középfül-üregrendszerű vagy cholesteatomás esetben szeretnénk-e gyakorolni [5]. Az előre definiált esetekben a nemes képleteket (például arcideg, chorda tympani, sinus sigmoideus, dura mater, hallócsontok) különböző színekkel jeleníti meg a program (3. ábra).

A gyakorlófeladatokhoz szöveges és képi instrukciót kapunk, és a program mintaként megmutatja, hogy egy gyakorlott fülsebész milyen végeredményt ért el (4. ábra). Alkarunkat egy-egy alkartámasszal támasztjuk alá, így gyakoroljuk a kényelmes és biztonságos műtéti kéz- és kartartást. A multifunkciós állítógomb segítségével a kívánt mikroszkópos nagyítással a kívánt állásba hozzuk a sziklacsontot (3. ábra). Az eszköztárból kiválasztjuk a használni kívánt sebészeti eszközöket, amelyeket a két haptikus eszközzel kezelünk (1. ábra).

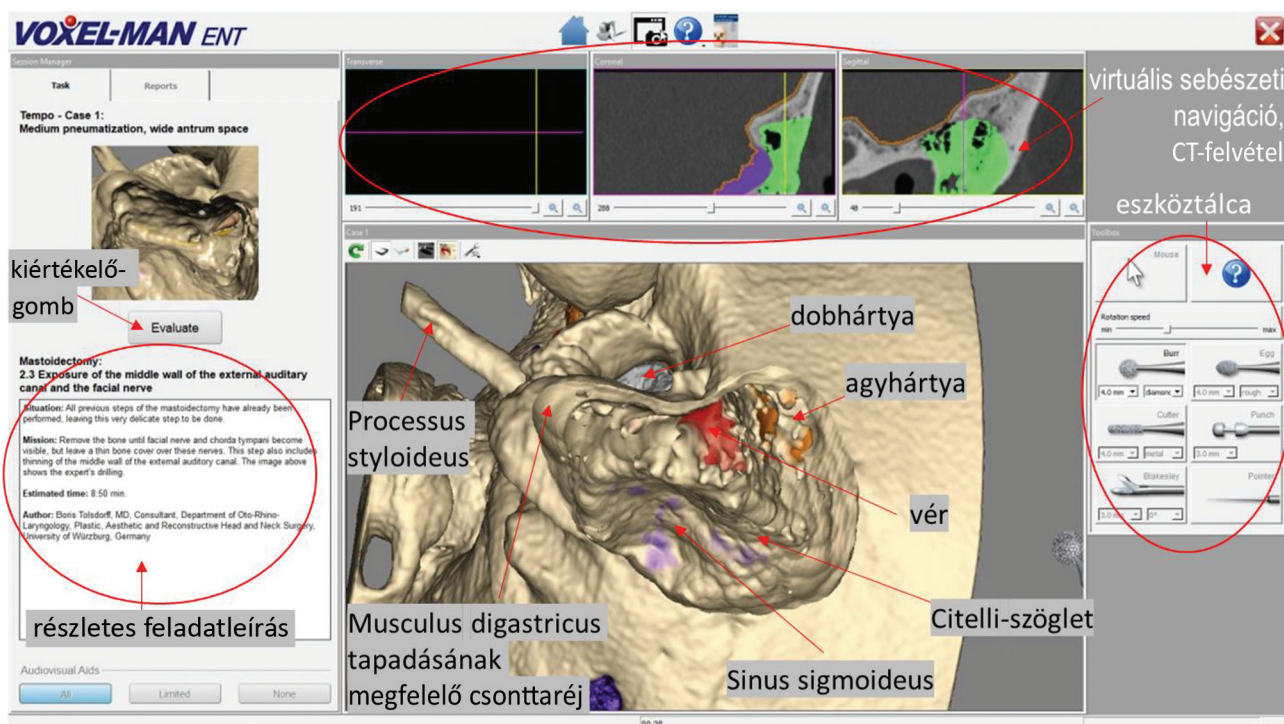
A haptikus eszközök olyan kézi darabok, amelyek érzékeltetik a fizikai ellenállást. Szabadon mozgathatók a térben. Fúráskor és szíráskor a valódi sziklacsonton történő fúráshoz hasonló érzést biztosítanak a leadott rezgés és az ellenállás által. Segítségükkel a sziklacsontnak még az egészen kis méretű struktúráit is érzékelhetjük [5].

A sebészeti eszköztálcán különböző méretű (0,8–7 mm) és fajtájú (vágó és gyémánt) virtuális fúrók állnak rendelkezésre, amelyeket az egyik kezünkben tartunk (3. ábra). A másik kézben tartott virtuális szívó segítségével gyakorolható a kétkezes munka. A virtuális szívó folyamatosan működik, míg a fúró a lábpédállal hozzuk



2. ábra | A betegek CT-felvétele betölthető a virtuális sebészeti rendszerbe, és a műtétet így egyénre szabottan, feldolgozás után a szimulátoron végezhetjük el  
CT = komputertomográfia





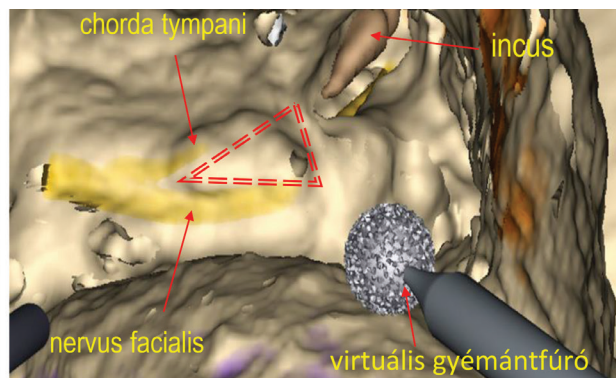
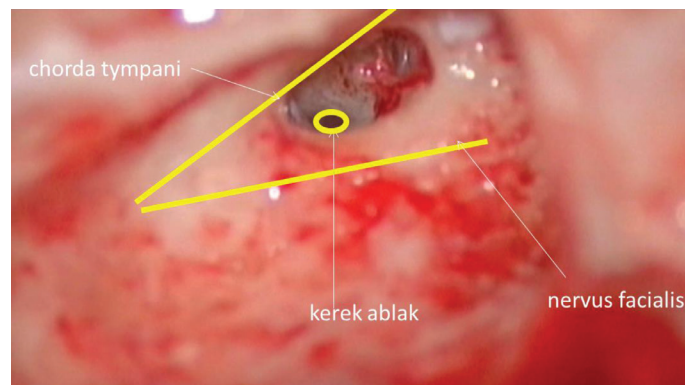
3. ábra Bal oldali sziklacsonton végzett mastoidectomiás üreg. A kép közepén a mastoidectomiás üreget és szkeletonizált határait (agyhártya, sinus sigmoideus, Citelli-szöglet, a musculus digastricus tapadásának megfelelő csonttaréj) látjuk. A kép jobb oldalán az eszköztálca (fűrők, fogók, tűk) látható. A kép felső részén a virtuális navigációs rendszer CT-képei. A kép bal oldalán, a kiértékelés parancsikonja alatt a gyakorlófeladat részletes leírását, instrukciókat találunk

CT = komputertomográfia

működésbe. A beavatkozás során bármikor megállhatunk. A műteti területet bármilyen szögből, makroszkópos méretben és mikroszkópos nagyításban is szemügyre vehetjük. A virtuális navigációs rendszer a háttérben folyamatosan működik, így a műszerek a CT-felvétel három ortogonális síkjában mindvégig követhetők a képernyő felső sávjában [5]. Ha manipulációnk kapcsán egy nemes képletet veszélyeztetünk vagy sértünk, arra a szimulátor hangjelzéssel és feliratokkal figyelmeztet: megjelenik a képernyőn a képlet neve, valamint az eszköz és a képlet távolsága milliméterben.

A szerzőknek a szimulátorral végzett beavatkozásokkal szemben támasztott igénye:

- 1) A fülműtétek, így a cochlearis implantáció csontmunkája reprodukálható módon elvégezhető a beteg halántékcsontról készített rutin, nagy felbontású CT birtokában.
- 2) Segíti és megtanítja a tájékozódást a sziklacsont bonyolult anatómiai viszonyai között.
- 3) A sziklacsontot és a benne lévő képleteket virtuálisan, mégis valóságként mutatja meg.
- 4) Lehetővé teszi a fülműtét valóságként elvégzését.



4. ábra Mastoidectomiát követően végzett posterior tympanotomia a valóságban és a szimulátoron: mikroszkópos műteti kép (5×-os nagyítás). A recessus facialis a nervus facialis és a chorda tympani által bezárt háromszög, melynek cranialis szára az incus rövid nyújtványa. A minimálisan invazív cochlearis implantáció során az elektródasor bevezetése a cochlea kerek ablakán keresztül történik

## Megbeszélés

A virtuális sebészeti szimulátorok új lehetőséget jelentenek a kompetencia- és készségfejlesztés-központú képzésben, mivel ezen eszközök – mindamellett, hogy fejlesztik a kezűgyességet és a térlátást – segítséget jelenthetnek a szakspecifikus műtéttípusok lépéseinek elsajátításában és a műtéti anatómiai ismeretek elmélyítésében, valódi anatómiai preparátum nélkül [6, 7]. A VOXEL-MAN Tempo szimulátor lehetőséget nyújt valóság-hű modellek és műszerek használatára. Valós páciens nagy felbontású halántékcsont-CT-vizsgálatának adataiból és a kiválasztott műszerekből számítógép készít nagy felbontású modellt, amelyet 3D képernyőre vezetünk ki, így virtuális 3D modellt kapunk. A virtuális valóság és a robotika technikájának alkalmazása a valós beavatkozást megközelítő, hasonló látványt és érzetet biztosít [5].

A munkaállomás (a készülék és a szék) helyigénye kb. 4 m<sup>2</sup>, így kis helyiségben is elhelyezhető. Használata sem különleges előkészületet, sem higiénés védőfelszerelést nem igényel. A program lehetővé teszi fülműtétek virtuális elvégzését taktilis visszacsatolással. Az anatómiai képletek egymástól való távolságának mérését és vizualizálását is biztosítja. A VOXEL-MAN Tempo több, előre definiált feladatot kínál, például a sinus sigmoideus és a nervus facialis szkeletonizálását, illetve az incus vizualizálását. Az automatizált értékelőrendszer gyorsan és objektíven értékeli a gyakorlatot végző munkáját, miáltal célzottan fejleszthetők a gyakorlatot végző készségei, és objektívizálható a fejlődés. A gyakorlómunka rögzíthető videófelvételen is, így a gyakorlatot végző és a mentor lépésről lépésre visszanezézheti a gyakorlatot, azonosíthatják a hibás mozdulatokat, végül pedig megállapíthatják a fejlődés menetét („learning curve”) [5].

A szimulátor segít a műtét megtervezésében és javítja a sebész gyakorlatát, hiszen ugyanazon az anyagon több alkalommal is elvégezhető ugyanaz a műtét. A virtuális műtét összevethető a betegen végzett műtéttel anatómiai és műtéti szempontok alapján, illetve tudományos publikációk céljából (4. ábra).

Korábbi közleményeinkben már rámutattunk arra, hogy az életkori sajátágok és azon belül az egyéni eltérések miatt kiemelt jelentőséggel bír a preoperatív képalakítás [8, 9]. A jó minőségű, részletgazdag CT- és ’cone-beam’ (kúpsugaras) CT-vizsgálat képanyagának alapos áttanulmányozásával a fülsebész átgondolja az egyén anatómiai viszonyait, és műtéti tervet állít fel, melynek célja a gyors, célratoró, szövődménymentes és a lehető legkisebb megterheléssel járó beavatkozás.

A szimulátor jelentősége, hogy egy beteget a preoperatív CT-képsor betöltésével virtuálisan akár többször is megoperálhatunk az „éles” műtét előtt, ami különösen a rendellenes anatómiai felépítésű esetekben kiemelt jelentőségű. Előre telepített oktatóprogramokkal segíti az egyes sebészeti lépések, műtéti típusok gyakorlását, továbbá az oktatók saját maguk is létrehozhatnak gyakorlófel-

adatokat, amelyeken a saját virtuális preparátumukat mutatják be. Megjegyezzük, hogy a virtuális szimulátor kizárólag a csontmunka gyakorlására alkalmas, lágyrész-munka gyakorlására nem.

A speciális műtéti technikák – mint például a cochlearis implantáció – szükségessé teszik a mastoid üreg feltárása után a posterior tympanotomia (a recessus facialisban készített ablak, amelyen keresztül feltárjuk a dobüreg) elvégzését, és az implantátum aktív elektródájának a cochleába juttatását a kerek ablakon vagy a cochlea falán készített ablakon (cochleostomán) keresztül. Különös gondot kell fordítanunk ezen műtéti lépések begyakorlására annak érdekében, hogy kellően nagy feltárást biztosítsunk az elektróda bevezetésének a scala tympaniba, ugyanakkor megőrizzük az arcideget és a chorda tympanit, és ne okozunk sérülést a kengyelen sem (4. ábra).

A fülműtétek elsajátítására, begyakorlására és a különböző esetek anatómiai és patológiás eltéréseinek megítélésére jelentős gyakorlati időt kell szánni, melyben a tanulási fázisok szerinti elméleti képzésnek és gyakorlati oktatásnak fontos a szerepe.

A gyakorlat megszerzése érdekében kezdetben a nem betegen végzett, megfelelő számú, virtuális 3D szimulátoron végzett műtéteknek, majd a 3D nyomtatott sziklacsonton [10] és a kadaversziklacsonton történő sebészeti beavatkozásoknak van a legnagyobb jelentősége [4], csak ezután kerülhet sor a humán műtéti gyakorlat megkezdésére. A 3D virtuális sebészet és a 3D nyomtatás technikai fejlődésével, ezek igen valóság-hű megjelenésével és manuális kivitelezési opcióval, a gyakorlati sebészeti sziklacsontmunka elvégzése megközelíti a kadáveren, valamint a betegen történő műtéti beavatkozást.

Komplex, intenzív fülészeti kurzusok tartására nyílik lehetőség a virtuális sebészeti, szimulátoros 3D technika segítségével, melyet az SZTE-n a közeljövőben rendelkezésre álló 3D nyomtatóval előállított sziklacsonton végzett műtéttel gyakorolhatunk a kadáverműtétek előtt – melyekre egyre kevesebb lehetőség adódik – a minél precízebb technika elsajátítása céljából.

Távlati lehetőségként felmerül a telemedicina, mivel az napjainkban a gyors informatikai fejlődésnek és a széles sávú internetelérhetőségnek köszönhetően egyre nagyobb teret nyer az egészségügyi ellátásban. Fülsebészeti szempontból ideális telemedicinális lehetőség a betegről készült leletek, radiológiai képfelvételek (CT, MRI) előzetes referálása a szakcentrumok felé, amelyekkel már a személyes találkozás előtt is megállapítható a szükséges beavatkozás jellege és az ellátás időtartama [10].

Ezen telereferáló rendszerek új irányát és kiegészítését jelenthetik a virtuális sebészeti szimulátorok is. Mivel a távdiagnosztikával készült leleteket felhasználva előzetesen, virtuálisan megtervezhetjük és elvégezhetjük a műtéteket, a fülsebészek – akár kezdők, akár rutinosak – is előre felkészülhetnek egy-egy esetre.

*Arora és mtsai* tanulmányukban kadaversziclacsontokról készült CT-felvételek alapján készítettek virtuális modelleket, majd ezek előzetes operációja után végezték el a valóságos beavatkozást. Kutatásaikban úgy találták, hogy ez a metodika javítja az egyénre szabott ellátást, a műtéti tervezést, és segíti a sebészi képzést [11].

## Következtetés

A sebészeti virtuálisvalóság-szimulátorral szerzett első tapasztalataink szerint a VOXEL-MAN Tempo 3D teljesíti a szerzőknek a szimulátorokkal szemben támasztott igényeit:

1) A fülműtétek, így a cochlearis implantáció csontmunkája reprodukálható módon elvégezhető a beteg halántékcsontról készített rutin, nagy felbontású CT birtokában. 2) Feliratokkal és hangjelzés leadásával segíti a tájékozódást a sziclacsont bonyolult anatómiai viszonyai között, továbbá megadja a sebészi eszköz és a szövőd-mény szempontjából fontos, az eszköz közelében lévő képlet távolságát, illetve anatómiai képletek távolságának mérését és vizualizálását is. A műtéti területen történő tájékozódást virtuális navigációs rendszer segíti a CT-vizsgálat három ortogonális síkjában. 3) A sziclacsontot és a benne lévő képleteket virtuálisan, ugyanakkor valóság-hűen mutatja meg. 4) A rendszer lehetővé teszi a fül-műtét valóság-hű elvégzését (kétkezes csontmunka fűró-val és szívóval, vérzés szimulálása) taktilis „feedback” lehetőségével. 5) Lágyszövet-munka gyakorlására nem alkalmas.

Mindezek alapján a Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Karán rendelkezésre álló virtuális rendszernek a fül-orr-gégészeti (fülészeti) graduális és a posztgraduális képzésben is fontos szerepet szánunk.

**Anyagi támogatás:** A közlemény megírása, illetve a kapcsolódó kutatómunka anyagi támogatásban nem részesült.

**Szerzői munkamegosztás:** P. Á., P. B., Cs. M.: A szakirodalom áttekintése, kigyűjtése, elemzése, a szimulátor kipróbálása. Sz. L., T. Z.: A szimulátor kipróbálása. J. Gy., D. B., N. R.: A szakirodalom áttekintése, a kézirat meg-

szövegezése. B. Zs., K. J. G., R. L.: A kézirat szakmai véleményezése. A cikk végleges változatát valamennyi szerző elolvasta és jóváhagyta.

**Érdekltségek:** A szerzőknek nincsenek érdekltségeik.

## Irodalom

- [1] George AP, De R. Review of temporal bone dissection teaching: how it was, is and will be. *J Laryngol Otol*. 2010; 124: 119–125.
- [2] Frithioff A, Sørensen MS, Andersen SA. European status on temporal bone training: a questionnaire study. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2018; 275: 357–363.
- [3] Rose AS, Kimbell JS, Webster CE, et al. Multi-material 3D models for temporal bone surgical simulation. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2015; 124: 528–536.
- [4] Leuwer R, Petersik A, Pflesser B, et al. VOXEL-MAN Tempo-Surg – a virtual reality temporal bone surgery simulator. *J Jpn Soc Head Neck Surg*. 2007; 17: 203–207.
- [5] Voxel-Man Tempo. June 1, 2020. Available from: <https://www.voxel-man.com/simulators/tempo/> [accessed: November 1, 2020].
- [6] Kashikar TS, Kerwin TF, Moberly AC, et al. A review of simulation applications in temporal bone surgery. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*. 2019; 4: 420–424.
- [7] Frithioff A, Frendø M, Mikkelsen PT, et al. Ultra-high-fidelity virtual reality mastoidectomy simulation training: a randomized, controlled trial. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2020; 277: 1335–1341.
- [8] Posta B, Jarabin JA, Perényi Á, et al. Pediatric hearing rehabilitation with the Baha® Attract implant system. [Fiatalkori hallásrehabilitáció Baha® Attract implantátumrendszerrel.] *Orv Hetil*. 2017; 158: 304–310. [Hungarian]
- [9] Perényi Á, Jóri J, Csanády M, et al. Dimensions of the human temporal bone that are relevant to cochlear implantation surgery in infants and toddlers: a clinical-radiological study. [Az emberi halántékcsontról a csecsemő- és kisgyermekkorban cochlearis implantáció szempontjából kiemelkedően fontos dimenziók. Klinikoradiológiai vizsgálat.] *Orv Hetil*. 2019; 160: 936–943. [Hungarian]
- [10] Kokesh J, Ferguson AS, Patricoski C. Preoperative planning for ear surgery using store-and-forward telemedicine. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2010; 143: 253–257.
- [11] Arora A, Swords C, Khemani S, et al. Virtual reality case-specific rehearsal in temporal bone surgery: a preliminary evaluation. *Int J Surg*. 2014; 12: 141–145.

(Posta Bálint dr.,  
Szeged, Tisza Lajos krt. 111., 6725  
e-mail: [posta.balint@med.u-szeged.hu](mailto:posta.balint@med.u-szeged.hu))