

## A 8. MAGYAR BIOMECHANIKAI KONFERENCIA ABSZTRAKTJAI

S.sz.	Oldal	Cím
A-0003	7	Magyar néptáncosok biomechanikai vizsgálata: fáradás hatása a kalocsai mars táncra
A-0004	8	Az emberi nyaki gerinc modellezése mechanikai hatásokra
A-0005	9	Kopás mértékének csökkentése mesterséges ízületekben
A-0006	10	Posturalis instabilitás évekkal a stroke kialakulása után
A-0007	11	Dekompresszív kraniektómia optimalizációja az agyszövet biomechanikai viselkedése alapján
A-0008	12	A traumás agysérülés kritériumrendszerének valószínűségelméleti felülvizsgálata
A-0009	13	Okosteleszfonos goniométer applikáció használatának lehetősége a mozgásszervi rehabilitációban
A-0010	14	Stabilometriai mérőszámok alkalmazása rúdegyensúlyozásra
A-0011	15	Huple mozgásfejlesztő eszköz dinamikai vizsgálata
A-0012	16	Gördülő egyensúlyozó deszkán való egyensúlyozás modellezése
A-0013	18	Preventív vertebroplasztika és kifoplasztika összehasonlító biomechanikai elemzése párosított nyomóteszt alapján
A-0014	19	Kutya járásvizsgálat fejlesztése hámoz hatásának vizsgálatához
A-0015	21	A rotátorköpeny állapotának hatása a scapula mozgására és a propriocepcióra - metodika bemutatás
A-0016	22	Egyszerűsített Hill-izommodell használata tömeg-rugó modellel - lehetséges az aszimptotikus stabilitás?
A-0017	23	Csontritkulásos lumbális gerinc stabilizálása – Hagyományos PEEK és injektált PMMA cement távtartók összehasonlító végelelemes vizsgálata
A-0018	25	Latest Markerless Motion Capture Methods – an approach combining different Methods in one Algorithm
A-0019	25	Komplex válaszüző mérő berendezés bevezető tesztjei
A-0020	27	Áramlás módosító sztentek számítógépes modellezése
A-0021	28	Nyaki verőér műtét hatásának 1-dimenziós áramlási tanulmány vizsgálata
A-0022	30	Biomechanikai mutatószámok a gyorsuló és lassuló futás megkülönböztetésére
A-0023	31	A rugalmas falú artéria és az áramló vér kölcsönhatása - Numerikus szimulációk
A-0024	32	Quantification of multi-segmental spine kinematics: the reliability and outcomes of a new protocol
A-0025	34	Evaluation of spine stability following treatment of degenerated intervertebral discs with discoplasty
A-0026	35	A nem specifikus derékfájdalom hatása stabilizációs gyakorlatokban
A-0027	36	Gyógytornász hallgatók egyensúlytartásának és járásának vizsgálata
A-0028	37	Az ellenoldali és azonosoldali támbot használatának hatása járására
A-0029	39	Ferde laterális intervertebrális fűzőknél (OLIF) használatos implantátumrendszerek stabilitásának vizsgálata fiziológiai, illetve osteoporotikus csontminőség esetén végelelem analízis segítségével
A-0030	40	Lumbális gerinc végelelem modell létrehozása és validálása
A-0031	42	Gyermekkori radius törést stabilizáló, standard tűzési technikák összehasonlító biomechanikai vizsgálata 3D nyomtatott műcsonton.
A-0032	43	A tárolás és a sterilizáció hatása a húzó rugalmassági modulus értékeire 5 és 6 hónapig tárolt ínak esetében
A-0033	44	Szinkronkorcsolyázók egyensúly-visszanyerési eredményessége forgásos fárasztás után
A-0035	46	Térdprotézisek számítógépes kopásvizsgálata
A-0036	46	Mozgásszabályozás vizsgálta virtuális tesztkörnyezetben.
A-0037	47	Gerincvelői izomsorvadásban szenvedő gyerekek gerincdeformitásának modellezése
A-0038	48	A dinamikus térd valgus mérése Kinect Azure kamera alapú mozgáselemző rendszerrel
A-0039	50	Birkózók mozgásának kinematikai elemzése
A-0040	51	Biomechanical comparison of Roof Step Cut technique and Radojević technique for dysplastic acetabular roof reconstruction
A-0041	52	Titanium implantátumokban alkalmazandó különböző rácsalakok csontbenövésének vizsgálata push-out tesztekkel
A-0042	53	Scoliosis klasszifikáció szemléltetése 3D nyomtatással előállított modellgyűjteménnyel
A-0043	54	Egyedi 3D modellek előállítása CT felvételek alapján

## MAGYAR NÉPTÁNCOSOK BIOMECHANIKAI VIZSGÁLATA: FÁRADÁS HATÁSA A KALOCSAI MARS TÁNCRA

Molnár Cecília<sup>1</sup>, Pálya Zsófia<sup>1</sup>, Kiss Rita<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

---

### BEVEZETÉS

A táncosok ízületeit nem hétköznapi terhelés éri. Célszerű a terhelés csökkentése, amelyhez eszközfejlesztés szükséges. A mozgásvizsgálat és egyensúlyvizsgálat eszközei egyaránt alkalmasak lehetnek annak megállapítására, milyen terhelés éri az egyes ízületeket egyes mozgások közben. Dolgozatom célja a magyar néptáncosok mozgáselemzése kalocsai mars tánclépés közben. A mérési eredményekből biomechanikai jellemzőket számítottam, melyek statisztikai elemzése után következtetéseket vontam le a táncosok mozgásáról és a mozgás közben őket érő terhelésről.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A kutatás során 10 fiatal (átlagéletkor: 21,2 év) felnőttet, 5 nőt (22,6 év, 165,4 cm, 56,6 kg) és 5 férfit (21,6 év, 180,2 cm, 70,2 kg) vontam be, akik legalább 10 éve néptáncolnak minimum hetente egyszer 2 órát. A kutatás során egy kalocsai mars tánclépést kellett végrehajtaniuk, ötször, 30 másodperc időtartamú táncolások során. Az optikai alapú mozgásvizsgáló rendszerrel (OptiTrack, Naturalpoint Inc, Oregon, USA) az alsó végtagra helyezett 16 db marker térbeli helyzetét rögzítettem. Ezekből az adatokból az ízületi szögeket, mint vizsgált mozgásparemetereket számoltam. A méréseket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mechatronika Optika és Gépészeti Informatika Tanszékén található Mozgáslaboratóriumban végeztem. Az eredmények kiértékelése során ismétlődő mérések varianciaelemzését (repeated measures ANOVA) végeztem. Nullhipotézis: a fáradás hatására a biomechanikai paraméterek 95%-os konfidencia szinten megváltoznak.

### EREDMÉNYEK

A térdízület szögeinek mozgásterjedelmének interkvartilis terjedelme az ötödik táncolás során az elsőhöz képest lejjebb helyezkedik el. A jobb térdízület szögének mozgásterjedelmének relatív szórásának interkvartilis terjedelme az ötödik táncolás során az elsőhöz képest feljebb helyezkedik el, valamint nő is. A bal térdízület szögének mozgásterjedelmének relatív szórásának interkvartilis terjedelme az ötödik táncolás során az elsőhöz képest szélesebb intervallumot foglal magában. Feltételezhetően a táncosok nagy része az ötödik táncolása során kisebb térdízületi mozgásterjedellel lépte ki a tánclépést, de jelentősen csökkent mindkét térd által végzett mozdulat szabályossága. A medence billentésének a mozgásterjedelmének interkvartilis terjedelme szintén csökken az ötödik táncolás során. Ez azt jelenti, hogy az utolsó táncolás során a medence kevésbé billegett, vagyis sokkal feszebben tartották. A medence billentésének a mozgásterjedelmének relatív szórásának interkvartilis terjedelme csökken az ötödik táncolás során, valamint feljebb helyezkedik el az elsőhöz képest. Ez azt jelenti, hogy jelentősen csökkent a medence mozgásának szabályossága. Ennek ellenére nincs szignifikáns különbség a mozgásterjedelmek átlagértékei, sem relatív szórás értékei között a fáradás hatására.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Feltételezhetően a mozgásterjedelmek csökkenése azt jelenti, hogy a fáradás hatására a táncosok mozdulatai kevésbé kötöttek, és hanyagabbak. A mozgásterjedelmek relatív szórásának növekedése mutatja, hogy fáradás hatására kevésbé tudják ugyanúgy táncolni a mozdulatot. Ez sérülés szempontjából kockázatos, ugyanis a néptánc kifejezetten kötött táncforma, ahol fontos a mozdulatok pontos letáncolása. Ha a mozdulat nem megfelelően kivitelezett a táncosok fáradása miatt, megnő a sérülés kockázata. Ennek ellenére fáradás szignifikánsan nem változtatja meg a mozgásparamétereket. Ez azzal magyarázható, hogy a táncosok gyakorlottságuk miatt kellőképp figyelnek a mozgásukra, és a jelenlegi mérési összeállítás nem volt elegendő ahhoz, hogy kellően elfáradjanak.

## AZ EMBERI NYAKI GERINC MODELLEZÉSE MECHANIKAI HATÁSOKRA

Danka Dávid<sup>1</sup>, Bojtár Imre<sup>1</sup>, Nyáry István<sup>2</sup>, Szloboda Péter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

<sup>2</sup>Észak-Közép-budai Centrum, Új Szent János Kórház és Szakrendelő

## BEVEZETÉS

A nyaki gerinc fő funkciói közé tartozik a gerincvelő védelme, ezért kiemelten fontos szerepe van. A nyakat ért sérülések nem a leggyakoribbak ugyan, de bizonyos esetekben igen súlyos következményekkel járnak: csökkent idegi kontrollal, bérulással vagy halállal.

Tudomásunk szerint eddig még nem alkottak meg egy olyan biofizikai/matematikai modellt, amely a nyaki gerinc összes – egyenként is meglehetősen komplex – belső felépítő elemét, illetve ezek kölcsönhatását figyelembe venné.

Munkám első lépéseként egy anatómiailag helyes, kezdeti modell megalkotása és működőképességének bizonyítása volt a célom. Egy lényegesen összetettebb és pontosabb modell a következő, második fázis, ennek a modellnek a kidolgozása is elkezdődött. Végző célom ezen az összetett modellen vizsgálni a koponya/gerinc rendszerét érő dinamikus hatásokból fellépő károsodásokat.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Az emberi koponyáról és a nyaki gerinc felső részéről készült háromdimenziós végeeselemes modell jelenti a vizsgálatok alapvető eszközét az első lépésben. Ez a modellt változtat a koponyából, a felső három nyaki csigolyából, a második és harmadik nyaki csigolya közti porckorongból, az erősebb szalagokból és néhány mélyizomból áll. A koponya, a csigolyák és a porckorongok modellezése háromdimenziós végeeselemekkel, a szalagoké és izmoké pedig csak húzási hatásokat felvenni képes, kábel jellegű végeeselemekkel történik. Megjegyzem, hogy ebben a változatban minden figyelembe vett élettani rész anyagmodellje lineárisan rugalmas viselkedést feltételez.

Az első modellnél az egyes végeeselemes futtatások peremfeltételei hasonlóak voltak: a harmadik csigolya csigolyatestjének inferior felszíne befogott, illetve a terheket a koponya superior részén, felületi megoszló erők jelentették. Az egyes teheresetekhez tartozó megoszló erők eredői rendre a három anatómiai tengely irányába mutatnak, a dinamikus terhek időbeli lefutása pedig lökészerű hatást modellez.

## EREDMÉNYEK

A kiindulási modellváltozattal két futtatás-sorozatot végeztem el, amelyek között a C1 és C2 csigolya közti kontakt viselkedése volt különböző: az első esetben elválás- és elcsúszásmentes érintkezést állítottam be, míg a másik esetben súrlódásmentes kontaktot. Ezek összehasonlító eredményeit az előadás bemutatja.

A különbségek igen jelentősek mind a csigolyákban, mind a puha szövetekben ébredő feszültségek tekintetében. A valóságot jobban közelíti az utóbbi modell, ez az eredményekben is látszódt.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az első lépésben használt numerikus szimulációk tapasztalatait felhasználva fejlesztettem tovább a gerinc biomechanikai modelljét. Ennek alapvető iránya, hogy mind a hét nyaki csigolyát, illetve a gerinc viselkedését jelentősen befolyásoló szalagokat és izmokat be kell építeni a modellbe. A numerikus modellezés külön kérdése a puhaszövetek geometriai és anyagi nemlineáris mechanikai viselkedésének. Figyelembe kell venni azt is, hogy a szalagok és izmok teljesen soha nem terheletlenek, hanem időben változó feszítettségű állapotban vannak. A harmadik jelentős feladat a gerinc/koponyarendszer olyan jellegű rugalmas megtámasztásának modellezése, ami közelíti a törzs megtámasztó hatását. Ahogy említettem, végső célként modellezni kívánom a szalagok, illetve izmok szakadását, illetve az egyes csontrészek törését.

## JÖVŐBENI TERVEK

Előadásom az eddig elvégzett numerikus szimulációk mellett bemutatja a „Következtetések” pontban említett modellkorrekció során eddig elvégzett munkámat is. Az eddigiekben egy 21 éves férfiről készült CT felvételsorozat segítségével már létrehoztam a koponya, az összes nyaki csigolya és a hozzájuk csatlakozó valamennyi porckorong végeselemes modelljét, és ezen a rendszeren már elvégeztem az alapvető numerikus ellenőrző szimulációkat. Jelenleg a szalagok és izmok modellezésén dolgozom, előadásomban kitérek az ezzel kapcsolatos előrehaladásra is.

---

## KOPÁS MÉRTÉKÉNEK CSÖKKENTÉSE MESTERSÉGES ÍZÜLETEKBE

Ureczki Ágnes<sup>1</sup>, Kocsis György<sup>2</sup>, Nyáry István<sup>2</sup>, Szabó Gábor<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék

<sup>2</sup> Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Ortopédiai Klinika

<sup>3</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Biomechanikai Kooperációs Kutatóközpont

---

## BEVEZETÉS

Endoprotézisek esetében a mozgások ismétlődő jellegéből adódóan az érintkező felületek jelentős koptató igénybevételnek vannak kitéve. A könyökprotézisek esetében a mesterséges ízületi felszín fém-polimer anyagú. A polimer alkatrészek kopása során képződő szemcsék az implantátum élettartamát csökkenthetik. Az UHMWPE (ultranagy-molekulatömegű polietilén) szem-

csék méretükből adódóan a szervezet immunrendszerét aktiválják, így a RANK ligand útvonal osteoclastokat aktivál, amelyek lokálisan a csont elbontásában vesznek részt, ami osteolysishez vezet. Az UHMWPE betétek primer kopása során kialakuló méretcsökkenés és deformáció következtében továbbá nem kívánt fém-fém érintkezés jön létre, ami abrázíós kopáshoz vezet, így elsősorban a betétek kopásának minimalizálása a cél. A Ti-6Al-4V és UHMWPE anyagpárosítás esetén a kopás mértéke nagyobb, mint CoCrMo ötvözet esetén. Az inferior kopásállóság ellenére a titán ötvözeteket előszeretettel használják implantátumok anyagaként a kobalt ötvözetekhez viszonyított jobb biokompatibilitás, nagyobb korrózióállóság és alacsonyabb rugalmassági modulus miatt.

## MÓDSZEREK

Ízületi implantátumok esetén a kopás alapvetően két módszerrel csökkenthető: az implantátum geometriai módosításával (pl. az érintkező felület növelésével, optimális kialakításával) vagy az anyagok megfelelő változtatásával, kezelésével. Kutatásunk során mindkét megközelítést alkalmaztuk. Újszerű implantátumokat fejlesztettünk ki a kontaktfelület növelése és végeeselemes számításokra alapozott optimálása segítségével, valamint módosítottuk a titán-UHMWPE csúszópár felületét annak érdekében, hogy a polimer kopásállóbb legyen, valamint optimális kenésállapotot hozunk létre a csúszófelületek között. A készített implantátumokat a könyök mozgását mintázó, valós anatómiai terhelést biztosító ízületi szimulátorokon, a módosított anyagú mintákat pedig pin-on-disc tribométeren végzett kopatatóvizsgálatok segítségével jellemeztük. A kopott implantátumokat és próbatesteket optikai és elektronmikroszkóppal vizsgáltuk, megfigyelve a kopatás hatását, definiálva a referenciacsúszófelületekhez képesti változásokat.

## EREDMÉNYEK

A vizsgálati eredmények biztatóak lettek. A módosított geometriájú implantátum esetében a kopás és a kúszás jelentősen csökkent az elterjedten használt referencia implantátumhoz képest. A tribológiai tulajdonságaikban módosított minták esetén a súrlódási tényező és a kopás is kedvezőbb képet mutatott a hosszabb távú mérések esetén is.

---

## POSTURALIS INSTABILITÁS ÉVEKKEL A STROKE KIALAKULÁSA UTÁN

Halmi Zsófia<sup>1</sup>, Stone W. Trevor<sup>2</sup>, Dinya Elek<sup>3</sup>, Málly Judit<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Testnevelési Egyetem

<sup>2</sup> Institute of Neuroscience, University of Glasgow

<sup>3</sup> Digital Health Department, University of Semmelweis

<sup>4</sup> Institute of Neurorehabilitation, Sopron

---

## BEVEZETÉS

A kutatáshoz vezető eddigi adatok: stroke után a posturalis instabilitás fokozódik és a posztstroke állapot kísérője, annak ellenére, hogy az izomerőben, a testsúlymegoszlásban jelentős javulás következik be.

A vizsgálat célja volt, hogy több évvel a stroke után - amikor a mozgásban a javulás teljes volt - meghatározzuk a posturalis instabilitást. Vizsgáltuk a statikus és dinamikus poszturográfiával a különbséget 65 év alatt és felett, kontroll csoporttal összehasonlítva.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Statikus (nyitott, csukott szem) és dinamikus poszturográfia (különböző súlyú labdákkal körzés a test körül 1 percig). Huszonkilenc beteget vontunk be Hatvanöt év alatt  $3 \pm 2,4$  év,  $> 65$  év felett  $4,7 \pm 3,3$  év volt a betegség fennállta. Harmincnyolc kontrollal vetettük össze őket.

## EREDMÉNYEK

A fiatalabb csoportban dinamikus poszturográfiával a sebesség és megtett út szignifikánsan megnőtt ( $p < 0,05$ ). Az idősebb csoportban mind a statikus ( $p < 0,01$ ) mind a dinamikus poszturográfiával ( $p < 0,05$ ) szignifikáns emelkedést észleltünk a fenti paraméterekben.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A paresis teljes javulása mellett is fennáll az egyensúlyzavar. Az életkor szerinti bontásban a statikus poszturográfiában különböztek egymástól a betegcsoportok.

---

## DEKOMPRESSÍV KRANIEKTÓMIA OPTIMALIZÁCIÓJA AZ AGYSZÖVET BIOMECHANIKAI VISELKEDESE ALAPJÁN

Hazay Máté<sup>1</sup>, Tóth Péter József<sup>2</sup>, Büki András<sup>2</sup>, Bojtár Imre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

<sup>2</sup> Pécsi Tudományegyetem, Idegsebészeti Tanszék

---

## BEVEZETÉS

Az agyi ödéma miatt megnőtt intrakraniális nyomás mérséklésére az idegsebészek gyakran az ún. dekompresszív kraniektómia műtéti eljárást alkalmazzák. Ennek a műtétnek az optimális végrehajtási módja a koponyamegnyitás helyére és méretére vonatkozóan jelenleg nem ismert. Ez részben abból adódik, hogy az orvosi szempontokon túl olyan biomechanikai változók is kulcsfontosságúak, mint a lágyszövet nyúlásai és nyomásai. Kutatásunk célja egy olyan optimalizációs eljárás kidolgozása, mellyel biomechanikai szempontok alapján meghatározhatjuk egy adott betegnél a legkisebb károsodással járó műtéti megoldást.

## MÓDSZEREK

Nagyszámú végeseleemes szimulációval virtuális kísérleteket végeztünk, hogy feltérképezzük az agyszövet biomechanikai viselkedését. A tapasztaltak alapján matematikai célfüggvényeket konstruáltunk, melyekkel elvégeztük a többcélfüggvényes optimalizálást. Ezt követően egy ugyancsak nagyszámú paraméteres vizsgálat keretén belül adtunk becslést arra, hogy általában milyen koponyamegnyitás tekinthető optimálisnak.

## EREDMÉNYEK

Eredményeink azt mutatják, hogy a műtét utáni nyomás jó közelítéssel lineáris kapcsolatban áll mind a megnyitás méretével, mind pedig a műtét előtti nyomás értékével, míg a károsodásnak kitett agytérfogat nemlineáris tendenciát mutat. A paraméteres vizsgálat átlagolt eredményei alapján az optimális koponyamegnyitás általában meghaladja a 130 négyzetcentimétert, ez alátámasztja a jelenlegi orvosi szakirodalomban elérhető ajánlásokat. Az optimális koponyamegnyitás beteg-specifikus, és számtalan tényezőtől függhet.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A most bemutatott eljárásrendszer a szükséges bemenő adatok ismeretében képes arra, hogy – a biomechanikai szempontokat figyelembe véve – ajánlást adjon a műtét végrehajtási módjára, ezzel párhuzamosan a paraméteres vizsgálataink eredményei egy általánosságban is alkalmazható közelítést adnak.

---

## A TRAUMÁS AGYSÉRÜLÉS KRITÉRIUMRENDSZEREINEK VALÓSZÍNŰSÉGMÉLETI FELÜLVIZSGÁLATA

Hazay Máté<sup>1</sup>, Bojtár Imre<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

---

## BEVEZETÉS

Az autóbalesetek az egyik fő kiváltó okai a traumás agysérüléseknek. A gépjárművek biztonsági rendszereinek tervezésére különböző kritériumrendszerek találhatók az ipari alkalmazásokban, azonban ezeknek a megbízhatósága kérdéses. Kutatásunk célja, hogy valószínűségelméleti módszerekkel felülvizsgáljuk mind a jelenleg szabványos, mind pedig az irodalomban javasolt új kritériumrendszerek megbízhatóságát.

## MÓDSZEREK

Ennek érdekében egy megbízhatósági analízisen alapuló eljárással becsültük a traumás agysérülések bekövetkezési valószínűségét. Az agyszövetnek a balesetek során bekövetkező mechanikai viselkedését frontális törésszettek végeselemes rekonstrukciójával végeztük el. A megfigyelt szövet-szintű hatások és ellenállások ismeretében Monte-Carlo-szimulációval határoztuk meg a sérülés valószínűségét, majd az így kapott valószínűségek alapján függvényillesztéssel kockázati görbéket konstruáltunk.

## EREDMÉNYEK

Eredményeink azt mutatják, hogy a sérülés valószínűsége számottevően nagyobb annál, mint amit a szabványos mérőrendszerek előre jeleznek. Az érzékenységvizsgálat eredményei rámutattak arra, hogy az eltérés elsődleges oka az, hogy szabvány a szöggyorsulásoknak, valamint a szövet-szintű bizonytalanságoknak elhanyagolja a hatását. Az utóbbi években közzétett mérő-

rendszerek közül az ún. Brain Injury Criteria adta a legerősebb korrelációt az agyszövet viselkedésével. Az ehhez elérhető diffúz axonális károsodásra vonatkozó kockázati görbéket pontosítottuk, valamint új kockázati görbéket is konstruáltunk, amelyeknél már további sérüléstípusok is figyelembe vettünk.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen megfigyeléseink erősítik azt a kételyt, miszerint a jelenleg alkalmazott biztonsági szabványok kritériumrendszere nem kellően megbízható, akár számottevően alábecsülheti a súlyos agysérülések valószínűségét, így a gyakorlati alkalmazásoknál nagy bizonytalanságok lépnek fel, melyek számottevően befolyásolják a kockázati görbék alakulását. Az újabban javasolt mérőrendszerek már sokkal jobb korrelációt mutatnak a szövet mechanikai viselkedésével. Vizsgálataink során a Brain Injury Criteria – a most bemutatott megbízhatósági alapú kockázati görbékkel kiegészítve – bizonyult az elérhető legmegbízhatóbb mérőrendszernek a traumás agysérülések előrejelzésére vonatkozóan.

## OKOSTELEFONOS GONIOMÉTER APPLIKÁCIÓ HASZNÁLATÁNAK LEHETŐSÉGE A MOZGÁSSZERVI REHABILITÁCIÓBAN

Zsarnóczky-Dulházi Fanni<sup>1</sup>, Kopper Bence<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Testnevelési Egyetem, Kineziológia Tanszék

## BEVEZETÉS

Az új típusú koronavírus megjelenése és a WHO által pandémiának nyilvánítása óta bevezetett állami intézkedések és kihirdetett nemzetközi ajánlások az élet minden területére hatással van a gazdaságon át az egészségügyön keresztül az élsportig. Az elmúlt időszakban az egészségügyi technológiák szélesebb körű megismerése és felhasználása indult meg, továbbá új fejlesztési irányok körvonalazódtak, melyek a jövőben is támogathatják az ellátás hatékonyságát. Magyarországon sajnos a pandémia előtt is látható és érezhető volt, hogy az állami intézményekben aktívan dolgozó rehabilitációs szakemberek száma nem fedezi a páciensek igényeit, különösen az ország peremterületein, ezért rendkívüli jelentőségű olyan könnyen elérhető és rendelkezésre álló technológiák bevonása, melyek az otthoni rehabilitációt segíthetik.

## MÓDSZEREK

Az okostelefonok potenciális megoldást kínálhatnak, hiszen gyárilag beépített érzékelőkkel számos egészséghez, testmozgáshoz kapcsolatos adatot képesek gyűjteni, azt követően pedig feldolgozni, értelmezni, majd statisztikákat, ajánlásokat megfogalmazni a felhasználók számára. Korábbi kutatásokban igazolták, hogy a gyakorlatok helyes végrehajtása érdekében a vizuális visszajelzés rendkívül fontos, kutatásunkhoz okostelefonra tölthető goniométer applikációt és laptopot használunk, úgynevezett mirroring technikával, mely által az okostelefon kijelzője nem csak megjelenik, kezelhetővé is válik a laptop kijelzőjén keresztül. Vizsgálati protokollunk szerint a résztvevők könnyen elsajátítható, otthon végezhető gyakorlatokat vé-

geznek az általunk meghatározott ízületi szöghelyzetek pontos betartásával. Az első nap kivétéssel ellenőrzik és memorizálják a kívánt szöghelyzeteket, majd a következő 14 napban kivétel nélkül gyakorlatoznak. A 15. napon a vizsgálni kívánt testrésze rögzített okostelefon és a goniométer alkalmazás segítségével egy segítő leolvassa és feljegyzi az applikáció által kijelzett fok értékeket. Ezt követően a résztvevők következő 14 napon keresztül kivétéssel végzik a gyakorlatokat, mely során képesek ellenőrizni és kontrollálni az általunk előre meghatározott ízületben történő szögelfordulás mértékét. A 15. napon egy ismételt kivétel nélküli és segítő általi szöghelyzet leolvasás történik, mely adatok összehasonlításra kerülnek a 2 héttel korábban történt mérési eredményekkel.

## EREDMÉNYEK

Hipotézisünk szerint a résztvevők szignifikánsan pontosabban képesek végrehajtani a gyakorlatokat, a második hét után, mint előtte. Összehasonlításunkkal szeretnénk rávilágítani arra, hogy egy mindenki számára könnyen hozzáférhető eszköz is képes lehet arra, hogy segítse az otthoni rehabilitációt és edzés közbeni monitorozást.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A gyakorlatban ez a módszer alapjául szolgálhat nem csak a mozgásszervi rehabilitációt igénylő páciensek otthoni helyes gyakorlat kivitelezéséhez, hanem az élsportolók propriocepciójának fejlesztéséhez, mely hozzájárulhat a teljesítménynövekedéshez. Egy olyan applikáció, mely hangjelzés kiadására is képes a kívánt testhelyzet elérésekor tovább segítheti a nehezebb, csukott szemmel történő ízületi helyzetérzékelés pontosabb adaptációját.

## STABILOMETRIAI MÉRŐSZÁMOK ALKALMAZÁSA RÚDEGYENSÚLYOZÁSRA

Nagy Dalma J.<sup>1,2</sup>, Bencsik László<sup>2,3</sup>, Insperger Tamás<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

<sup>2</sup> MTA – BME Lendület Emberi Egyensúlyozás Kutatócsoport

<sup>3</sup> MTA – BME Gépek és Járművek Dinamikája Kutatócsoport

## BEVEZETÉS

Az emberi egyensúlyozás folyamatát a rúdegyensúlyozás példáján keresztül vizsgáljuk, amely ugyan egyszerű egyensúlyozási feladatnak számít, de mégis tartalmazza az egyensúlyozást jellemző legfontosabb tényezőket, mint például az egyensúlyozó személy ügyessége, gyakorlottsága, reakciókésése. Emellett a rúd hosszával és tömegével a feladat nehézségi fokát is lehet változtatni. Egy helyben állás során az egyensúlyozást hagyományosan a talpnyomásközépponthoz rendelt stabilometriai mérőszámokkal vizsgálják, amely mérőszámok egy része némi módosítással alkalmazható rúdegyensúlyozás vizsgálatához is.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Jelen kutatásban gyakorlott és kezdő egyensúlyozó személyekkel végzett mérések stabilometriai analízisét végeztük el, ahol arra kértük a személyeket, hogy inkrementálisan csökkenő hosszúságú rudakat egyensúlyozzanak. Az egyensúlyozott rudat egy lineáris vezetéken mozgó kiskocsihoz rögzítettük, így a rúd csak síkmozgást végzett a feladat során. A személyek a kiskocsi mozgásával egyensúlyozták a rudat az instabil függőleges egyensúlyi helyzet körül. A mért adatok elemzésekor a rúd szögének és a kiskocsi pozíciójának szórását, átlagos frekvenciáját, frekvenciaszórását és frekvenciasávok közötti teljesítmény-arányait határoztuk meg és hasonlítottuk össze a személy gyakorlottságának és a rúd hosszának függvényében.

## EREDMÉNYEK

A rúd szögének szórása a rúdhossz csökkenése mellett növekvő tendenciát mutatott. Exponenciális görbét illesztve a szórásadatokra a rúd szögének esetében az exponenciális kitevő a legtöbb személyre negatív értékű. A kiskocsi pozíciójának szórása esetében azonban számos személyre pozitív exponenciális kitevőt kaptunk. Ebből arra következtetünk, hogy a kiskocsi szabályozása csak akkor válik hangsúlyosabbá, ha közel kerül a lineáris vezeték széléhez, ekkor a vizsgálat alanyok igyekeznek visszahúzni a kiskocsit a vezeték középső tartományába. Azonban mindaddig, amíg kellő szakasz áll rendelkezésre a lineáris vezetéken az egyensúly fenntartásához, a kiskocsi pozícióját kevésbe vagy egyáltalán nem szabályozzuk. Nem tapasztaltunk különbséget az átlagos frekvencia és a frekvenciaszórás esetén a személyek gyakorlottságának függvényében, tehát ezek a stabilometriai mérőszámok nem változnak a feladat tanulása, gyakorlása során. A kiskocsi pozíciójának az alacsony frekvenciasávra meghatározott teljesítmény-arányában feltűnő különbséget tapasztaltunk gyakorlott és kezdő rúdegyensúlyozók között. A gyakorlott személyek esetében a teljesítmény-arány közel 100% ebben a tartományban, míg a legtöbb kezdő személynél az érték 90% alatti.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredmények arra utalnak, hogy a gyakorlottak alacsonyabb frekvenciával mozgatják a kiskocsit egyensúlyozás közben, míg a kezdők jellemzően gyorsabb, rángató mozdulatokat alkalmaznak.

## HUPLE MOZGÁSFEJLESZŐ ESZKÖZ DINAMIKAI VIZSGÁLATA

Bencsik László<sup>1</sup>, Szalai Judit<sup>2</sup>, Zelei Ambrus<sup>1</sup>, Nagy Dalma<sup>1</sup>, Schultheisz Judit<sup>2</sup>,  
Inesperger Tamás<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MTA – BME Lendület emberi egyensúlyozás kutatócsoport

<sup>2</sup> Gézegyáz Alapítvány

## BEVEZETÉS

A korai mozgásfejlesztés egyik jól bevált eszköze a magyar fejlesztésű Huple, mely egy hosszú kíséreltetési folyamat eredménye. A Huple egy gömbhéj, melyben a gyerekeknek különböző fejlesztő, egyensúlyozási feladatok kell végrehajtaniuk. Mechanikai szempontból az állás egy instabil

helyzet körüli egyensúlyozással modellezhető. A Huple eszköz alkalmazásával az instabil mechanikai rendszer szabadsági fokait növeljük, míg a beavatkozási lehetőségek nem változnak, így az emberi szabályozás még nehezebbé válik. Azonban ez a nehézség feltételezhetően stimulálja, edzi a szabályozót ezáltal gyorsíthatja az egyensúlyozási képesség fejlődését. Jelen kutatás célja, hogy a biomechanika eszköztárával igazoljuk az eszköz egyensúlyozási képességre gyakorolt hatását.

## MÓDSZER

Ehhez a vizsgált gyermekek mozgását OptiTrack mozgáskövető rendszerrel rögzítjük. A mérések során az eszközre és a vizsgált személyekre rögzített markerek pozícióját követjük különböző egyensúlyozási feladatok során. Lehetőségünk volt nyomon követni hét hemiparetikus gyermek terápiáját. Az egyensúlyozó képességet különböző tesztekkel mértük, ilyen volt a Hupleban való egy-helyben állás és ülés, illetve az egyensúlyi helyzetből kitértett eszköz lengésének megállítása.

## EREDMÉNYEK

A mérések teljes egészében igazodtak a terápia protokolljához, a mért gyermekeknek nem kellett plusz feladatot végrehajtania. Az általunk kapott eredményeket a gyógytornászok megfigyelései is validálták. A méréseink matematikai és statisztikai kielemezése után megállapítható, hogy az eszköz szögkitérése jelentősen csökken a tréning hatására. Tovább a klasszikus egyensúlyozási képesség mérő mutatószámokban (Berg-scale) is egyértelműen kimutatható a fejlődés.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Előadásunk célja, hogy mérnöki eszközökkel is bemutassuk azt, hogy a Huple-val végzett gyakorlatok milyen jótékony hatással vannak az egyensúlyozási képességre.

---

## GÖRDÜLŐ EGYENSÚLYOZÓ DESZKÁN VALÓ EGYENSÚLYOZÁS MODELLEZÉSE

Molnár Csenge Andrea<sup>1,2</sup>, Zelei Ambrus<sup>3</sup>, Insperger Tamás<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Műszaki Mechanikai Tanszék

<sup>2</sup> MTA – BME Lendület Emberi Egyensúlyozás Kutatócsoport

<sup>3</sup> MTA – BME Gépek és Járművek Dinamikája Kutatócsoport

---

## BEVEZETÉS

Idősödő társadalmunkban egyre több egyensúlyvesztéshez köthető baleset történik, ezért egyre fontosabbá válik az emberi egyensúlyozás kutatása. Az egyensúlyozás dinamikai szempontból megfelel az emberi test egy instabil helyzet körüli stabilizálásának, amely modellezhető egy, a központi idegrendszer által végzett szabályozási folyamatként. A központi idegrendszer működés-

dése nagyon hasonlít az ipari szabályozókéhoz. A különböző érzékszervek receptorai „méri” az emberi test környezethez viszonyított helyzetét, sebességét, gyorsulását, ezen információk alapján az agy meghatározza az egyensúly megtartásához szükséges beavatkozást, amelyet az izomzat végrehajt. Az idegrendszer sajátosságaiból adódóan a folyamatban elkerülhetetlenül jelen van valamennyi időkézés. Az egyensúlyvesztést gyakran a reakcióidő megnövekedett értéke okozza. Az egyik legalapvetőbb, mindennapokban megjelenő egyensúlyozási feladat az egy helyben állás. Ha a nyugvó talaj helyett egy instabil felületre, például egy egyensúlyozó deszkára állunk, a feladat elvégzése nehezebbé válik. Kutatásunkban az egyensúlyozó deszkán való egyensúlyozás feladatán keresztül vizsgáltuk a központi idegrendszer működését és az emberi test mozgását.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Az alkalmazott egyensúlyozó deszka egy falapból és két félkör alakúra kivágott falemezből (kerék) áll, a deszka ezeken gördül a talajon. A kerekek többféle sugárral készültek és a kerekek oldalán lévő furatok segítségével változtatható a talaj és a lap közötti távolság, így befolyásolható az egyensúlyozási feladat nehézsége.

Önkéntes alanyokkal végzett előzetes kísérleti tapasztalatoknak megfelelően felépítettük az egyensúlyozó deszkán való egyensúlyozás szagittális síkra érvényes mechanikai modelljét. A modell két merev testből, az egyensúlyozó deszkából és a hozzá csuklóval kapcsolódó inverz ingából áll. A vizuális és a vestibuláris rendszerek receptorai mérik az emberi test és az egyensúlyozó deszka környezethez viszonyított szögét és szögsebességét, és a bokánál ébredő nyomatókat időkéleltetett proporcionális-differenciáló (PD) szabályozással modelleztük. Az egyszerűség kedvéért a különböző érzékszervek által szolgáltatott információk időkézését nem különböztettük meg, egy ún. kombinált, egyenértékű időkézésenként vettünk figyelembe. Feltételezhető, hogy az emberi test paramétereit rögzítve minden keréksugár-lapmagasság kombinációra létezik egy kritikus időkézés: a kritikusnál nagyobb időkézésre nem léteznek stabilizáló szabályozó paraméterek. Ezt gyakorlati szempontból azt jelenti, hogy az adott személy csak azokon az egyensúlyozó deszkákon képes egyensúlyozni, amelyekhez nagyobb kritikus időkézés tartozik, mint a vizsgálati alany egyenértékű reakcióideje. Szemidiszkrétizáció segítségével meghatároztuk az egyes keréksugár-lapmagasság kombinációkhoz tartozó kritikus időkézést, majd 15 fiatal, egészséges felnőtt bevonásával méréseket végeztünk, amelyeket OptiTrack mozgáskövető rendszerrel rögzítettünk. A mérésen meghatároztuk minden személynél azokat a keréksugarat legalsó, illetve legfelső lapbeállítás mellett, amelyeken sikerült egy percig egyensúlyozni. A sikeres és sikertelen egyensúlyozási kísérletek és a számított kritikus időkézések összehasonlításából becsültük a résztvevők reakcióidejét. Mind a számítások, mind a kísérletek azt adták eredményül, hogy a keréksugár változtatása nagyobb változást eredményez az egyensúlyozási feladat nehézségében, mint a lapmagasság változtatása.

## EREDMÉNYEK

Egy pedálos reakcióteszt segítségével mértük a 15 vizsgálati alany vizuális reakcióidejét is. A becsült egyenértékű reakcióidő és a mért vizuális reakcióidő közötti korrelációs együttható 0,85, amely arra enged következtetni, hogy a vizuális visszacsatolás jelentős szerepet játszik egyensúlyozás közben és az egyensúlyozó deszkán mutatott teljesítmény összefüggésben van a reakcióidővel.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A két változtatható paraméterrel rendelkező gördülő egyensúlyozó deszka és az elvégzett stabilizálhatósági számítások alkalmasak az egyensúlyozási képesség értékelésére és az egyenértékű reakcióidő becslésére.

## PREVENTÍV VERTEBROPLASZTIKA ÉS KIFOPLASZTIKA ÖSSZEHASONLÍTÓ BIOMECHANIKAI ELEMZÉSE PÁROSÍTOTT NYOMÓTESZT ALAPJÁN

Kurutz Márta<sup>1</sup>, Varga Péter<sup>1</sup>, Jakab Gábor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

## BEVEZETÉS

Csontritkulás következtében megroppant gerincscsigolyák alternatív megerősítő cementezési technikája a vertebroplasztika (VP) és a kifoplastika (KP). VP esetén a cementet befecskendezik a megroppant csigolyatestbe, de a cement kifolyhat a környező szövetekbe, és a csigolya eredeti magassága sem nyerhető vissza. E hátrányok elkerülésére jött létre a KP, amelynél előzőleg egy ballont nyomnak be a csigolyatestbe, felfújják, megemelik a törött csigolya magasságát, a ballont kihúzzák, és a cementet az elkészített üregbe injektálják. Azonban röviddel mindkét fajta műtét után repedés jelenik meg a környező, legtöbbször a szomszédos csigolyákban. Ennek megelőzésére a műtéttel egyidőben cementet fecskendeznek a szomszédos ép csigolyákba is. A megelőzés biomechanikai vizsgálatával mindössze egy-két tanulmány foglalkozik, azonban a kétféle cementezési eljárás preventív potenciáljának biomechanikai összehasonlítása nem található a nemzetközi szakirodalomban.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

24 donor gerincből alternatív módon vett 38-38 VP és KP mintadarab-párt vetettünk alá nyomás-vizsgálatnak a törésig, és CT-képelemzést végeztünk a műtét előtt, a műtét után, és a nyomóteszt után. A törőerőt, a merevséget és az összenyomódást regisztráltuk az életkor, csontsűrűség, a csigolyák geometriája és a cement elhelyezkedése függvényében. Párosított statisztikai elemzést végeztünk. A számos adat és eredmény között meg kellett találnunk azt az egyetlen paramétert, amelynek alapján a kétféle, gyökeresen különböző technikájú cementezési eljárásnál alkalmazandó preventív cementezés potenciálkülönbsége kimutatható. Ez a paraméter a cementfelhők és a véglemezek érintkezési számaként adódott. Ennek függvényében markánsan eltérő eredményt kaptunk a kétféle, alapvetően különböző preventív cementezési technikára.

## EREDMÉNYEK

A preventív VP szignifikánsan nagyobb merevséget, azonos törőerőt és nem szignifikánsan kisebb törési összenyomódást adott, mint a KP. A törőerő azonban szignifikánsan nőtt a cementvéglemes érintkezések számával a VP, és csökkent a KP esetén. A gyökeres különbség oka az

alapvetően különböző teherátadó mechanizmusban rejlik. Míg VP-nél az ép, de csontitkulásos csigolyákban a cement bejut a csontgerendák közötti térbe, és mintegy diffúz cementfelhőt alkotva folyamatos teherátadást biztosít, KP-nél éppen ellenkezőleg, a cementfelhő bent marad az előre elkészített üregben, megtartva a cement mechanikai tulajdonságait, és így egy lokalizált csont-cement-csont teherátadó rendszer jön létre feszültségcsúcsokkal. Ezt bizonyítja a CT-képeken látható diffúz, a teljes csigolyaszélesség mentén haladó képlékeny tönkremeneteli zóna a cement alatt VP esetén, míg KP esetén a tönkremeneteli zóna a cementfelhők közötti és körüli tartományban van. Ugyancsak ezt bizonyítja KP esetén a törőerő erős szignifikáns pozitív korrelációja a csigolyák geometriai adataival és a csontsűrűséggel, hiszen a fix cementtérfogat miatt a cement-véglemez érintkezések száma a csigolyák geometriájának függvénye, míg VP-nél ez nem áll fenn. Eredményeink VP esetén hasonlóak a biomechanikai szakirodalom vége-selemez és kísérleti eredményeivel, míg KP esetére nem találtunk eredményeket a szakirodalomban.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A preventív cementezés célja, hogy a teherbírás a merevség túlzott növekedése nélkül emelkedjék a szomszédos ép csigolyáknál, hiszen a szomszédos csigolyák megrepedését az okozza, hogy a törés után cementezett csigolyák merevsége a környezethez képest túlzottan megnő. Vizsgálataink eredménye szerint mind VP, mind KP alkalmas a preventív cementezésre azonos technika mellett, de VP esetén a cement-véglemez érintkezések számának növelésére, KP esetén a csökkentésére, az érintkezés nélküli cementezésre érdemes törekedni a szomszédos ép csigolyák preventív cementezése esetén.

## KUTYA JÁRÁSVIZSGÁLAT FEJLESZTÉSE HÁMOK HATÁSÁNAK VIZSGÁLATÁHOZ

Rácz Kristóf<sup>1</sup>, Pálya Zsófia<sup>1</sup>, Nagymáté Gergely<sup>1</sup>, Kiss Rita M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

## BEVEZETÉS

A kutyahámok egyre népszerűbbek a kutyatulajdonosok körében, azonban potenciális hátrányuk nem egyértelmű. A legtöbb gazda nem veszi észre az állat mozgásában bekövetkező apró változásokat, amelyek a sérülések kialakulásának kockázatát megnövelhetik. A hámok hatásával foglalkozó szakirodalom kicsi, és a témával foglalkozó tanulmányok csak egy-egy mozgást leíró paramétert vizsgálnak. Tanulmányunk célja egy olyan mérés fejlesztése volt, amely lehetővé teszi kutyák szabadon vagy hámokban való mozgásának vizsgálatát.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A mérések során négy, eltérő fajtájú és testtömegű, rövidszőrű kutya futópádon való mozgását vizsgáltuk. A méréseket kutyánként több kondícióban végeztük: szabad mozgás esetén (nincs hám vagy nyakörv), és hámoként csak a hámmal, illetve hámmal és porázzal (összesen négy

különböző hám szerepelt a vizsgálatban, de nem minden kutyára volt jó minden hám). A kutyákat előzetesen 4-6 hét alatt szoktatták a futópadon való mozgáshoz. A mérés során a kutya gazdája választotta ki a futópád sebességét, majd a futópád előtt guggolva időnként jutalomfalattal motiválta az állatot a mozgásra. Az értékelés során két jutalomfalat közötti homogén járáskép került feldolgozásra, ami 20-30 lépésciklust tartalmaz.

Az OptiTrack mozgásvizsgáló rendszer mozgás közben a kutyán előre meghatározott elrendezés szerint 25 passzív fényvisszaverő jelölő térbeli koordinátáit rögzíti. A jelölők koordinátái a mozgáskövető rendszerből való exportálás után MatLab-ban kerültek feldolgozásra. A mozgáskövető rendszer által mért jelölő koordináták szűrése 20 Hz vágási frekvenciájú, hatodrendű zero-phase Butterworth aluláteresztő szűréssel történt. Az adatok alapján lépésciklusonként 18 ízületi szög lépésciklusra normalizált lefutása és 53 skaláris paraméter (35 távolság-idő és 18 ízületi szög mozgástartomány) számítható, továbbá bármely jelölő mozgásának kétdimenziós vetülete ábrázolható. A skalár paramétereket az Anderson-Darling próbával normalitásra teszteltük. Az összetartozó, különböző kondíciókban való mozgások (szabad járás, járás adott hámban és járás adott hámban és pórázal) esetén a mért paraméterek eloszlásának egyezését Kolmogorov-Smirnov próbával vizsgáltuk. Az egyes ízületi szög görbék különböző kondíciók mellett mért eltéréseit RMS hiba számításával jellemeztük.

## EREDMÉNYEK

Az Anderson-Darling teszt eredménye alapján a támasz- és lendítőfázisok időtartamain és arányain kívül az kondíciók többségében 95%-os konfidencia mellett a paraméterek eloszlásai megfelelnek a normális eloszlásnak (összesen 28 kondíció volt). A Kolmogorov-Smirnov teszt alapján minden esetben a hám jelenléte a legtöbb mozgásparamétert (95%-os szignifikancia szint mellett) befolyásolja. A póráz és hám használata ugyan ezt a hatást eredményezi a csak hám kondíciókhoz képest. Az ízületi szögek RMS hibáiból egyértelműen látszik, hogy a hámok főleg a mellső végtagok mozgását befolyásolják.

A normalitás teszt alapján nem egyértelmű, hogy egy adott paraméter mindenképpen normális eloszlást követ. A lendítő- és támaszfázisokhoz kapcsolódó paraméterek nem normális eloszlása a mozgásvizsgáló rendszer relatíve alacsony, 120 Hz-es mintavételezéséből származtatható. A kutyák gyors lépései miatt a lendítőfázis hosszának variációja csupán pár képkocka, így a paraméterek eloszlása diszkrét jelleget mutat.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A Kolmogorov-Smirnov tesztek alapján a hámok között általános sorrend nem állítható fel, kutyákra lebontva azonban kiválasztható az adott állatnak legmegfelelőbb hám. Feltételezhető, hogy ez felhasználási körülmények szerint is változhat, más hám lesz ideális a városi pórázos sétához, mint az erdőben való kiránduláshoz. A mérések megmutatták, hogy a módszer működik eltérő testméretű és fajtájú rövidszőrű kutyák esetében, különböző kialakítású hámoknál is.

## A ROTÁTORKÖPENY ÁLLAPOTÁNAK HATÁSA A SCAPULA MOZGÁSÁRA ÉS A PROPRIOCEPCIÓRA - METODIKA BEMUTATÁS

Nyőgér Zoltán<sup>1</sup>, Szakály Norbert<sup>2</sup>, Terebessy Tamás<sup>3</sup>, Kővári Tamás<sup>4</sup>, Várnagy Anna<sup>3</sup>, Skaliczki Gábor<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Petz Aladár Egyetemi Oktató Kórház, Ortopédiai Osztály, Győr

<sup>2</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék, Budapest

<sup>3</sup> Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Ortopédiai Klinika, Budapest

<sup>4</sup> Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Budapest

### BEVEZETÉS

A vállsebészeti gyakorlatban sok esetben látjuk, hogy a rotátorköpenyben észlelt azonos szakadási minták ellenére eltérő mozgáskészség jelentkezik a betegeknél. A vizsgálat célja megtalálni azokat a lapockamozgásban és válltáji izomaktivitásban rejlő különbségeket, melyek ezeket az eltéréseket létrehozzák.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Az adatrögzítés egy 6 infra kamerából álló Vicon Nexus mozgásrögzítő rendszer segítségével történik, a mérési adatokat egy U.L.E.M.A. nevű programmal dolgozzuk fel. A páciensek kijelölt testrészeire fixen rögzített markercsoportokat ragasztunk fel. Az anatómiai pontokat egy mutató pálcával jelöljük ki a kalibrációs eljárás során. Az izomműködések szelektív vizsgálata (musculus deltoideus, musculus trapezius 3 szára, musculus latissimus dorsi, musculus serratus anterior, musculus pectoralis major) vezetékmentes felületi EMG-vel történik. A vizsgálat során 3 betegcsoportot különítünk el, mindegyikben 10-10 főt vizsgálunk. Az első csoportba válltáji panaszok nélküli egészséges embereket sorolunk, akiknél ultrahang vizsgálattal igazoljuk a rotátorköpeny épségét. A második csoportba olyan betegeket sorolunk, akiknél 1-3 cm méretű szakadást találunk a supraspinatusban, melyet MR vizsgálat igazolt és akiknél konzervatív (műtét nélküli) kezelést tervezünk. A harmadik csoportba sorolt betegnél szintén MR vizsgálattal igazolt 1-3 cm közötti szakadást észleltünk a supraspinatusban, de ezeknél a betegeknél műtéti ellátást (arthroscopos rotátorköpeny varrat) tervezünk. A műtétes csoportban preoperatíván és a műtét után 6 hónappal is végzünk méréseket. Ebben a csoportban a műtét előtti vizsgálat során a natív vizsgálat mellett a subacromialis térbe adott Lidocain 1%-os injekció adása után is elvégezzük az elemzéseket, arra keresve a választ, hogy a fájdalom csökkentése milyen mértékben változtatja meg a mozgásmintákat és a mozgástartományt. A vizsgálatok lezárultát követően összehasonlítjuk a 3 betegcsoportban kapott eredményeket.

### KÖVETKEZTETÉSEK

Az előadás célja egy jelenleg még nem túl széles körben elterjedt mozgáselemző rendszer (program) bemutatása, mely révén a felső végtagi összetett mozgások is megfelelő alapossggal és hatékonysággal értékelhetők. Vizsgálatunk segíthet a felső végtagi dyskinesisek részletesebb megérté-

sében, valamint ezen keresztül a műtét technika és a rehabilitációs kezelések további fejlődésében.

## EGYSZERŰSÍTETT HILL-IZOMMODELL HASZNÁLATA TÖMEG-RUGÓ MODELLEL - LEHETSÉGES AZ ASZIMPTOTIKUS STABILITÁS?

Patkó Dóra<sup>1</sup>, Zelei Ambrus<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

<sup>2</sup> MTA – BME Gépek és Járűvek Dinamikája Kutatócsoport

### BEVEZETÉS

Az emberi egyensúlyozás, járás, futás, szökdelés vizsgálata egy izgalmas multidiszciplináris probléma, melyhez biológiai, fizikai, mechanikai, matematikai háttérismeretek szükségesek. A szakirodalomban sokféle mechanikai modellt alkottak annak érdekében, hogy jobban megértsük, mi befolyásolja a stabilitást mozgás közben, mekkora az energiafelhasználás, milyen szabályozás áll legközelebb az emberi mozgásszabályozáshoz. A mechanikai modell megválasztása függ attól, a futás melyik jellemzőjét szeretnénk vizsgálni elsősorban, és a megszerzett ismereteket mely területen szeretnénk hasznosítani; például robotika, orvoslástan, egyensúlyozást segítő termékek tervezése stb.

### MÓDSZEREK

Munkánk során egy kibővített tömeg-rugó inverzinger modell (spring loaded inverted pendulum) használtunk. Ez a mechanikai modell az egyik legegyszerűbb, széles körben kutatott modellje az emberi ugrálásnak, futásnak. A modellben található tömeg nélküli rugót lecseréltük egy invertált egyszerűsített Hill-féle izommodellre. Az invertálás azt takarja, hogy az izommodell nem húzóerőt, hanem nyomóerőt fejt ki, hiszen a támaszfázis második szakaszában szükséges az aktivációja, mikor a tömegpont felfele mozdul. Az egyszerűsített kifejezés arra utal, hogy az izommodell csupán az összehúzó elemet tartalmazza esetünkben.

Az összehúzóelemet általában egy maximálisan kifejezhető erő, az aktivációs szint, illetve hossz-erő és sebesség-erő karakterisztika jellemezi. Mivel mi a sebesség-erő karakterisztikát konstansnak vettük, így az aktivációs szintet is tudtuk végig konstansnak tekinteni, hiszen a mechanikai modell konzervatív. A hossz-erő karakterisztikát háromféle komplexitásban szokás alkalmazni, mi is ezekkel dolgoztunk; feltételezhetünk konstans, lineáris, illetve nem-lineáris Hill-féle kapcsolatot. A kutatás során azt vizsgáltuk, lehetséges-e ilyen körülmények között a mechanikai modell orbitális aszimptotikus stabilitása, illetve amennyiben igen, mi ennek a feltétele.

### EREDMÉNYEK

Mindhárom hossz-erő karakterisztika esetében találtunk olyan periodikus pályákat, melyek feltételelesen orbitálisan aszimptotikus stabilisak voltak a konstans sebesség-erő feltétel mellett is. Függőleges ugrálás során ez nem lehetséges, ott legalább lineáris sebesség-erő összefüggés szükséges ehhez. Azt találtuk, hogy aszimptotikusan stabilis periodikus pályák egy mechanikai

energiatartományon belül léteztek, és minden mechanikai energiaszinten volt instabil párjuk is. Az instabil ugrálást jellemezte a lassabb haladási sebesség a két periodikus mozgás közül.

### KÖVETKEZTETÉSEK

A fentiek értelmében elmondható, hogy a vízszintes irányú sebesség stabilizáló hatással bír a mechanikai rendszerre. Habár a rendszer konzervatív, azáltal, hogy haladó mozgást végez a modell, képesek vagyunk úgy megzavarni, hogy a mechanikai energiaszintje ne változzon. Amennyiben zavarás során mégis megváltozik a rendszer mechanikai energiaszintje, de az a „megengedhető” tartomány belül marad, ahol még léteznek stabil periodikus pályák, akkor marad egy el nem tűnő hiba a megvalósuló és az eredeti trajektória között.

## CSONTRITKULÁSOS LUMBÁLIS GERINC STABILIZÁLÁSA – HAGYOMÁNYOS PEEK ÉS INJEKTÁLT PMMA CEMENT TÁVTARTÓK ÖSSZEHASONLÍTÓ VÉGESELEMES VIZSGÁLATA

Kurutz Márta<sup>1</sup>, Lakatos Éva<sup>1</sup>, Nédli Péter<sup>1</sup>, Csákány Tibor<sup>2</sup>, Varga Péter<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

<sup>2</sup> Országos Gerincgyógyászati Központ

<sup>3</sup> AO Research Institute Davos

### BEVEZETÉS

A gerincsigolyák közé elhelyezett távtartók a károsodott porckorongok pótlásának hatékony eszközei. Mivel a porckorong károsodásához rendszerint csonttritkulás is társul, emiatt a csigolyák közti tér szabálytalanul deformált, ezért a hagyományos, előregyártott távtartók elhelyezése nehézkes, a távtartók besüllyednek a meggyengült véglemezekbe. Mindez a gerinc instabilitásához és fájdalomhoz vezet. Ennek elkerülésére csontcementet injektálnak az eltávolított porckorong helyére távtartóként, azonban ezt mindeddig csak a nyaki gerincszakaszon alkalmazták. Kivételt képez az Országos Gerincgyógyászati Központ, ahol mintegy 15 éve sikeresen alkalmazzák a cement távtartót lumbális gerinc stabilizálásánál is, azonban a módszer teljeskörű biomechanikai igazolására mindeddig nem került sor. Kutatócsoportunk elvégezte egy hagyományos D-alakú előregyártott PEEK távtartó és az injektált PMMA cement távtartó összehasonlító biomechanikai vizsgálatát kadáver lumbális gerinc-szegmentumok laboratóriumi nyomókísérletei alapján. A jelen tanulmány a kísérleti vizsgálatok végeeselemes szimulációja útján mutatja be a kétféle távtartó biomechanikai összehasonlítását, a szegmentum belsejében lejátszódó jelenségek mélyebb feltárását tűzve ki célul.

### MÓDSZEREK

A végeeselemes modellezés számára a nyomótesztnél használt mintadarabokat vettük alapul. Ezekről a gerinc-szegmentumokról műtét előtt, műtét után és a törés után QCT felvételek készültek. A műtét utáni felvételek alapján készítettük el a szegmentumok geometriai, majd

végeselemes modelljét. A CT-specifikus végeselem-modell szivacsos és kortikális csontja inhomogén, ortotrop, lineárisan rugalmas-képlékeny anyagának anyagjellemzőit a szürkeárnyaltos CT felvétel sugárgyengítési értékei alapján kaptuk meg. A többi szerkezeti elem izotrop, lineárisan rugalmas anyagmodellt kapott. A peremfeltételek a kísérleti elrendezésnek megfelelő megtámasztásokat tükrözték. Az alsó ágyazat alulso felülete fix megtámasztást kapott, a felső ágyazat felső felületét pedig függőleges elmozdulásterher terhelte. A nemlineáris végeselemes szimulációk Abaqus v6.10 és ANSYS v14.0-19.0 környezetben készültek. Az elemzés során összehasonlítottuk a kísérleti és végeselemes teher-elmozdulás diagramokat, majd meghatároztuk mindazon állapotváltozók belső megoszlását, amelyek a kísérletekből nem állapíthatók meg.

## EREDMÉNYEK

A végeselemes szimuláció alapján megállapítottuk, hogy a cement távtartó esetén a cement kitölti a deformálódott véglemez egyenetlenségeit, ezáltal egy erős cement-véglemez kapcsolat alakul ki, amely egyenletes, feszültségcsúcsok nélküli teherátadást biztosít. Továbbá, mivel a cement-véglemez kapcsolat erősebb, mint a csigolyák leggyengébb középső ritkult szivacsos rétege, ezért a szegmentum tönkremenetele a csigolyák középső, leggyengébb régiójában alakul ki, nyomásjellegű diffúz károsodási zóna formájában. Ezzel szemben a PEEK távtartónál a távtartó kis érintkező felülete és fogazata mentén feszültségcsúcsok keletkeznek, a távtartó jelentősen besüllyed a meggyengült véglemezbe, azt át is törheti, és a távtartóval való érintkezés kis környezetében a szivacsos csont is károsodik, így itt egy nyírás-jellegű lokális tönkremeneteli zóna alakul ki. A teherátadás és a képlékeny tönkremenetel módja a spacer elhelyezésétől nagymértékben függ.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az előregyártott PEEK távtartók esetén a teherátadás feszültségcsúcsokkal, a véglemekbe való nagy besüllyedéssel, lokálisan megy végbe. A távtartó elhelyezése rendkívüli pontosságot igényel, kis eltérés is nagy különbségeket eredményez az erőjátékban és a károsodásban. Ugyanakkor cement távtartónál a teherátadás és a tönkremenetel is egyenletes megoszlást mutat, a spacer nem károsítja a véglemez, a képlékeny alakváltozások által kimutatott tönkremenetel nem a véglemez mentén, hanem a csigolyák leggyengébb, középső régiójában játszódik le, és a cement elhelyezése a csigolyaközi térbe egyszerű. Csontritkulással együtt jelentkező porckorong-degeneráció esetén tehát a lumbális gerinc stabilizálásánál célszerű PMMA cement távtartót alkalmazni.

## LATEST MARKERLESS MOTION CAPTURE METHODS – AN APPROACH COMBINING DIFFERENT METHODS IN ONE ALGORITHM

Thomas Hock<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Simi Reality Motion Systems GmbH, Germany

The acquisition of human movement in the context of sports biomechanics and rehabilitation has made considerable progress in recent decades. The development of movement analysis systems that record accurate kinematic data in a timely, reliable and valid manner is currently the focus of many developments. To achieve this goal, various computer vision methods have been developed which, together with artificial intelligence methods, make the acquisition of kinematic parameters easier than ever before. In short, these methods are called Pose Estimation, the detection of human poses and their underlying mechanics using biomechanical models. Currently, there are three different methods, the skeleton-based, contour-based, and volume-based approach. Each of these methods has advantages and disadvantages. In this presentation, a possibility is presented that combines these three methods, with the aim of achieving a robust capture of human kinematics in various scenarios.

## KOMPLEX VÁLASZIDŐ MÉRŐ BERENDEZÉS BEVEZETŐ TESZTJEI

Zana Roland Reginald<sup>1</sup>, Zelei Ambrus Miklós<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

<sup>2</sup> Magyar Tudományos Akadémia

### BEVEZETÉS

A reakcióidő, amire az irodalomban reflex késésként is tekintenek, az emberi egyensúlyozás egy fontos összetevője, hiszen a reakcióidő jelentősen befolyásolja az ember poszturális stabilizációjának képességét. A megnövekedett reakcióidő késés az idősebb emberek gyakoribb elesését okozhatja. A reakcióidő függ az életkortól, egészségi állapottól, mindennapi tevékenységektől, az általános és aktuális fizikális és mentális állapottól és a környezeti jellemzőktől.

Az emberi egyensúlyozás agyi folyamatainak számos matematikai modelljében a reakcióidőt egy paraméternek tekintik. Gyakran előnyös a reakcióidőt kísérleti-mért eredmények alapján becsülni. Az érzékszervek és motoros szervek reakcióidő mérés céljából történő különböző párosításakor az eredmények nagymértékben különböznek.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Ebben a munkában a komplex válaszigő mérő berendezésünk prototípusa kerül bemutatásra. A berendezés újdonsága, hogy általa a válaszigő, számos érzékszerv – reakció kombinációjában mérhető. A válaszigő definíciója az az időtartam, amely az érzékszerv stimulációjának pillanata és a válasz – tipikusan gomb vagy pedálynomás például – megérkezésének pillanata között

mérhető. A válaszütdőből így a reakcióütdőre is lehet következtetni. További újdonság, hogy berendezésünkben a mérési folyamat, szemben a piacon elérhető eszközökkel, minden ismeretlen időkéséstől mentes. Hét különböző tesztfeladatot mértünk 10 önkéntes személy bevonásával (3 nő és 7 férfi, átlag életkor: 27,7 év, szórás: 2,2 év).

### EREDMÉNYEK

A következı teszteknel az alábbi átlag értékeket és szórásokat kaptuk másodpercben. Egyszerű reakció tesztek: 1) felvillanó fényforrásra adott gombnyomás válaszütdő: átlag: 0,192, szórás: 0,040, 2) felvillanó fényforrásra adott pedál nyomás válaszütdő: átlag: 0,268, szórás: 0,062, 3) sípoló hanghatásra adott gombnyomás válaszütdő: átlag: 0,157, szórás: 0,030, 4) sípoló hanghatásra adott pedál nyomás válaszütdő: átlag: 0,220, szórás: 0,061. Összetett/komplex reakció tesztek: 1) háromszínű felvillanó fényforrásra adott választásos gombnyomás válaszütdő: átlag: 0,456, szórás: 0,088; 2) három felvillanó fényforrásra adott választásos gombnyomás válaszütdő: átlag: 0,370, szórás: 0,070, 3) két felvillanó fényforrásra adott választásos pedál nyomás válaszütdő: átlag: 0,322, szórás: 0,095.

### KÖVETKEZTETÉSEK

Az emberi reakcióütdőt általában, tipikusan körülbelül 200 ms-nak tekintik. A legrövidebb hallás alapján mért reakcióütdő atléták esetében 85ms. A mi méréseinkben a legrövidebb reakcióütdő 97 ms volt, egyszerű reakcióütdő tesztekben az átlag pedig 190 ms. Így az általunk gyűjtött mérési eredmények összhangban vannak a szakirodalommal.

A tesztek közötti lineáris korreláció vizsgálat eredménye, azt mutatta: ha valaki ügyes/gyors egy fajta tesztben nem feltétlen lesz ügyes/gyors egy másik féle tesztben is. Azaz az egyes képességek külön-külön fejleszthetők csak. Az egyének közötti lineáris korreláció vizsgálat eredménye: ha valaki ügyes/gyors egy fajta tesztben és lassabb egy másik tesztben, valószínű, hogy egy másik egyed is hasonló teljesítményt fog nyújtani.

Előzetes eredményeink mutatják, hogy az eszköz a ritmuskövetés során fellépő negatív aszinkronitás jelenségének mérésére is alkalmas.

## ÁRAMLÁS MÓDOSÍTÓ SZTENTEK SZÁMÍTÓGÉPES MODELLEZÉSE

Csippa Benjamin<sup>1</sup>, Závodszy Gábor<sup>1,2</sup>, Gyürki Dániel<sup>1</sup>, Czencz Máté<sup>3</sup>, Kondor Máté<sup>3</sup>, Paál György<sup>1</sup>, Szikora István<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

<sup>2</sup> University of Amsterdam, Informatics Institute

<sup>3</sup> Országos Klinikai Idegtudományi Intézet, Neurointervenció osztag

### BEVEZETÉS

Az agyi aneurizmák kóros, zsák formájú értágulatok, amelyek az agyi artériákon alakulhatnak ki. Kezelésük kiemelkedően fontos, mivel kiszakadásuk esetén agyvérzést, akár strokeot is okozhatnak. A 2000-es évek után a nyílt koponyaműtéteket nagyobb részt felváltották az endovaszkuláris, katéterrel elvégezhető eljárások. Ilyen eljárásokhoz felhasznált eszközök közül az egyik az úgynevezett áramlásmódosító sztent. Az eszköz feladata, a szívkoszorúér sztentekkel ellentétben nem az értágítás, hanem egy hidrodinamikai ellenállás képzése az aneurizma zsák és a szülőér között. A feladatunk célja egy olyan szoftver elkészítése volt, amelyben mind a virtuális implantációt, mind annak hemodinamikai hatását vizsgálni tudjuk, mindezt klinikai használatban releváns időtartamon belül. Ezen kutatás célja a virtuális implantáció módszereinek bemutatása és annak validációja.

### MÓDSZEREK

Az áramlásmódosító sztent valóságos érmodellben történő virtuális elhelyezéséhez egy véges differenciák módszerén alapuló rugóhálózat-modellt fejlesztettünk, amit az eszközök mechanikai mérései alapján kalibráltunk. Az ezt követő numerikus áramlástan elemzéshez rács-Boltzmann alapú numerikus módszert építettünk a munkafolyamatba, amelyben a sztentet porózus anyagként modelleztük. A porózus anyagmodell hidrodinamikai ellenállás paramétereit az általunk fejlesztett mérőeszköz segítségével határoztuk meg. A virtuális sztent elhelyezés validációjának céljából 3D nyomtatással egy betegspecifikus érmodell állítottunk elő. Egy neurointervenció szakorvos, a valóságnak megfelelően katéteres úton áramlásmódosító sztentet helyezett el a modellben. Ezek után CT képfelvételeket készítettünk, amelyek szegmentálásával és feldolgozásával össze lehetett hasonlítani a numerikus megoldó által és a valóságban implantált eszköz alakját az érszakaszban.

### EREDMÉNYEK

A modell validációjához a neurointervenció szakember egy 4 mm nominális átmérőjű, 20 mm hosszú eszközt helyezett el a 3D nyomtatott aneurizma modellben, a tapasztalata alapján megfelelőnek vélt helyzetben. A sztentet úgy nyitotta ki, hogy az aneurizma nyakánál a lehető legjobb felfekvést biztosítsa. Ez úgy érhető el, ha az eszköz katéterből való kihúzása közben a katéter külső elemét megfelelő pillanatokban hátra húzza, vagy előre tolja (push-pull). Virtuálisan megvizsgáltuk az esetet, ahol nem volt és ahol volt alkalmazva hasonló technika. Továbbá szimuláltuk azt a lehetőséget, amikor egy 4 mm átmérőjű eszköz helyett, egy túlméretezett 5 mm-es eszközt

helyeznek el, ami nem szokatlan megoldás az ilyen terápiáknál. A nem túlméretezett eszköz esetében a „push-pull” technika alkalmazásával a szimulált és az implantált eszköz felülete közötti legnagyobb eltérés 0,25 mm-ről 0,19 mm-re csökkent. Ezen felül, a helyi hálósűrűség a duplájára nőtt és a sztent érfalhoz való felfekvése is növekedett. Hasonló eredményeket tapasztaltunk a túlméretezett esetben is, azzal a különbséggel, hogy helyi hálósűrűség a 4 mm eszközhöz képest csökkent, azonban a felfekvés tovább javult. Ez annak az eredménye, hogy a nagyobb átmérőjű eszköz ugyanannyi fonott szálból tevődik össze, mint a kisebb átmérőjű eszköz. Ezáltal a szálak kiinduló és implantált sűrűsége is kisebb lehet.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Szoftvert és modelleket fejlesztettünk egy, az agyi aneurizmák kezelésében használt áramlás-módosító eszköz numerikus vizsgálatára. A sztentek mechanikai modelljét egy 3D nyomtatott aneurizmába helyezett sztent segítségével validáltuk. A szimulációs eredmények jó egyezést mutattak a mérésekkel, így a módszer alkalmas virtuális kezelések kimenetelének vizsgálatára.

## NYAKI VERŐÉR MŰTÉT HATÁSÁNAK 1-DIMENZIÓS ÁRAMLÁSTANI VIZSGÁLATA

Gyürki Dániel László<sup>1</sup>, Halász Gábor<sup>1</sup>, Sótónyi Péter<sup>2</sup>, Paál György<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

<sup>2</sup> Semmelweis Egyetem, Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika

## BEVEZETÉS

A nyaki ütőér elágazásánál gyakori betegség az érfalon megjelenő lerakódás (plakk). A plakkok műtéti úton eltávolíthatók (carotis endarterektómia), azonban ehhez a belső nyaki főverőér elszorítása szükséges, ami az agy egyik legjelentősebb vérellátója. Egészséges agyi érhálózat (Willis-kör) esetén az ellenoldali főverőér és a gerincmenti verőerek pótolják a kiesett véráramot, de az emberek több mint 50%-ánál a kör egyes szegmensei alulfejlettek vagy teljesen hiányoznak, így az ellenoldali kompenzáció nem lehetséges. A kutatás során betegspecifikus artériás érhálózatban, egydimenziós áramlásszimulációval vizsgáltuk a műtét (verőér kirekesztés) hatását, összehasonlítva a szimulációs eredményeket intraoperatív nyomásmérésekkel.

## MÓDSZEREK

A műtét során két ponton (orsócsontütőér, nyaki ütőér) intraoperatív nyomásmérés eredményeit felhasználva, az artériás érhálózat egy egyszerűsített modelljét betegspecifikus paraméterekkel láttuk el. Ezt kiegészítettük a betegekről készült CT felvételekből kinyert Willis-köri érszakaszok adataiból, az esetleges alulfejlettséget vagy hiányt is figyelembe véve. Az így rendelkezésre álló, betegspecifikus érhálózatban egydimenziós áramlásszimulációkat végeztünk. A numerikus szimuláció a karakterisztikák módszerén alapul, a program viszkoelasztikus érfal-modellt és a perifériákon a mikrocirkulációt és a vénás érrendszert modellező ohmikus ellenállást tartalmaz. Minden beteg esetén két szimuláció készült; az első a kirekesztés előtti állapotot jellemzi, míg

a másik során a kirekesztett érszakaszokat a modellben is kizártuk. Az így készült szimulációk eredményeit összehasonlítottuk egymással, ezzel vizsgálva a kirekesztés hatását az agy egyes területeire jutó véráramokra. Továbbá a műtét során a kirekesztett belső nyaki főverőérben a visszaáramlás nyomása is mérve volt, ami összehasonlítható a szimulációból kapott eredménnyel.

## EREDMÉNYEK

A kutatás jelen fázisában 15 beteg számítása készült el. A leggyakoribb Willis-köri rendellenesség a vizsgált esetekben, hogy valamelyik, vagy mindkét hátsó összekötő artéria alulfejlett vagy akár teljesen hiányzik, így az elülső és hátsó agyi keringés teljesen elkülönül.

A teljes Willis-körrel rendelkező betegek esetében mind az ellenoldali nyaki verőérben, mind a gerincmenti verőerekben megnő a véráram, ezzel kompenzálva a műtött érszakasz kiesését. Amennyiben hiányoznak, vagy alulfejlettek az amúgy is vékonynak számító hátsó összekötő artériák, úgy a gerincmenti verőerek nem tudnak kompenzálni, csak az ellenoldali nyaki verőér látja el a középső és elülső részeit az agynak. Ennek köszönhetően a műtött oldali középső agyi verőér vérárama jelentősen csökken. A betegek között található még olyan, ahol az ellenoldali hátsó agyi verőér Willis-köri szakasza hiányzik. Ekkor a kirekesztés hatása a gerincmenti verőereken jelentős, hisz az ellenoldali nyaki verőér már alapból nagyobb területet táplál egy teljes Willis-körrel rendelkező beteghez képest.

A kirekesztés közbeni visszaáramlás mért nyomását összehasonlítottuk a szimuláció eredményével. A betegek nagy részénél az átlagos nyomásérték 5 mmHg-en belül volt a mért és a szimulált esetben. A mért és számított jelalak kevesebbszer egyezik, ami a mérés nehézségének tulajdonítható. Azokban az esetekben, amikor nagyobb a különbség a mért és a számított visszaáramlás között, rendszerint a számított jelalak az alacsonyabb.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredményekből következtethető, hogy az egydimenziós szimuláció a várthoz jellegre helyesen modellezi a kirekesztés hatását az agyi vérrellátás egyes elemeire. A pontos érték hiányát és a nem egyező visszaáramlási nyomást pedig a modell hiányosságai okozzák. Ilyen például az úgynevezett kollaterális erek megléte, melyekben főleg vészhelyzetben van véráram, mint például a kirekesztés. Ennek ellenére a modell eredményeiből jellegre helyes következtetéseket lehet levonni a kirekesztés agyi hatásairól.

## BIOMECHANIKAI MUTATÓSZÁMOK A GYORSULÓ ÉS LASSULÓ FUTÁS MEGKÜLÖNBÖZTETÉSÉRE

Zajcsuk Liliána<sup>1</sup>, Zelei Ambrus<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Műszaki Mechanikai Tanszék

<sup>2</sup> MTA – BME Gépek és Járművek Dinamikája Kutatócsoport

### BEVEZETÉS

A biomechanika napjainkban egyik legtöbbet kutatott területe az emberi futás dinamikája. Az idegi beavatkozás leírására számos modell létezik, de a szabályozás valódi működése napjainkig nyitott kérdés. Az agy eltérő célfüggvények segítségével optimalizálja a mozgást, ezáltal alkalmazkodik a változó körülményekhez. A célunk ennek a szabályozási módszernek a megértése, kísérleti eszközök és matematikai modellek segítségével. A kutatás során méréseket végeztünk, és az emberi futást kvantitatívan leíró paraméterek felderítését tűztük ki célul, valamint ezek változását vizsgáltuk gyorsítás és lassítás esetén. A célfüggvény ekkor könnyen beazonosítható: mozgási energia generálása, illetve annak elnyelése a cél. Az adatok elemzése során a szakirodalmi mérőszámokat vettük figyelembe, és ezek alapján kíséreltünk meg olyan mennyiségeket meghatározni, amelyek statisztikailag bizonyíthatóan leírják a különbségeket, korrelálnak a fenti célfüggvénnyel.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Mivel a szakirodalomban kevés adat áll rendelkezésre gyorsuló és lassuló futás vizsgálatával kapcsolatban, saját mérések elvégzése mellett döntöttünk. Nyolc rendszeresen edző résztvevő futását vizsgáltuk és hasonlítottuk össze. Az alanyok a megszokott cipőjüket viselték és öt különböző feladatot hajtottak végre: futás a) lassú, b) közepes és c) gyors tempóban illetve átmenet d) lassúból gyors majd e) gyorsból lassú futásba. Az elemzés során az ízületi szögek minimumát és maximumát, valamint a kezdeti érintkezés és a lábujj elemelkedésének pillanatában felvett értékeit hasonlítottuk össze egy-, valamint kétmintás t-próba segítségével. A futás kinematikáját az OptiTrack kamerarendszerrel, míg a reakcióerőket a Moticon Science talpnyomásmérő betétekkel rögzítettük.

### EREDMÉNYEK

Felderítettük az egyéni különbségeket, valamint a különböző típusú futásokat hasonlítottuk össze egymással. Az időfüggvények alapján meghatározhattuk a futók egyéni stratégiáját – bizonyos alanyok mindössze gyors futáskor és gyorsításkor érintkeztek először a talajjal a talpuk első részével, míg másik alanyok a lassítás kivételével minden esetben. A futástípusok összehasonlítását számszerűsített adatokkal végeztük, amelyeket a kezdeti érintkezés, illetve a láb elemelésének időpontjában vizsgáltunk. Összevetettük ezen kívül a szögek minimum és maximum-értékeit is, illetve a talpnyomásközéppont és a tömegközéppont egymáshoz képesti távolságát a futás irányában. A kétmintás T-próbához minden mérési adatot felhasználtunk, míg az egymintásban min-

den résztvevő egyéni átlagával dolgoztunk. Mindkét T-próba eredményei alapján a gyorsítás, illetve a lassítás hatása egyértelműen megjelenik a szegmensek mozgását leíró szögmenyiségekben.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A legmarkánsabb különbség, hogy gyorsulás során az alanyok minden esetben a lábfejük első részét érintették le, míg lassításkor a sarok ért el először. Továbbá a test előredőlésében is szignifikáns különbség adódott, a comb és a törzs szöge gyorsítás és lassítás esetén eltér a lassú, illetve normál tempójú futástól, mind a kezdeti érintkezéskor, mind a láb elemelésének időpontjában.

## A RUGALMAS FALÚ ARTÉRIA ÉS AZ ÁRAMLÓ VÉR KÖLCSÖNHATÁSA - NUMERIKUS SZIMULÁCIÓK

Magyar Huba<sup>1</sup>, Lakatos Éva<sup>2</sup>, Tóth Brigitta Krisztina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar

<sup>2</sup> BME Építőmérnöki Kar Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

## BEVEZETÉS

Az érfal mechanikai viselkedése kiemelt jelentőséggel bír az ér egészségének megőrzése szempontjából és nélkülözhetetlen információval szolgál az ereket érintő beavatkozások tervezése és kivitelezése során. A laboratóriumi kísérletek információt nyújtanak az érfal, mint nemlineárisan rugalmas, kompozit anyag agyagjellemzőivel kapcsolatban, de ily módon az érben áramló folyadék anyagi viselkedésre gyakorolt hatása nem vizsgálható megbízhatóan. Jelen munkánk témája a humán arteria carotis interna (ACI) mérettartományába eső erek mechanikai viselkedésének numerikus vizsgálata. A folyadékáram, azaz az érben áramló vér, nyomást, és/vagy termikus terhelést gyakorol az őt körülölelő vastagfalú csőszerkezetre, az artéria falára. Ezek a terhelések jelentős szerkezeti deformációt okozhatnak, mely a vérre visszahatva megváltoztathatja magát a folyadék áramlását is. Célunk egy olyan, az érfal és a vér áramlásának kölcsönösen egymásra gyakorolt viselkedését leíró modell megalkotása volt, amely ezidáig kevésbé kutatott területnek számít és élettanilag helyes fizikai modell megalkotását teszi lehetővé. Mérnöki szempontból ez egy nagyalakváltozásokat végző, hiperelasztikus, gumyszerű cső szilárdtestmechanikai vizsgálatának és a benne áramló vér folyadékdinamikai vizsgálatának két-irányú kapcsolását jelenti.

## MÓDSZEREK

A vizsgálataink elvégzésére a kontinuum alapú modellezést találtuk a legmegfelelőbbnek. Az ún. FSI (fluid-structure interaction) azaz a folyadék-szilárdtest kölcsönhatást vizsgáló eljárás egy olyan többfázisú rendszerek leírására alkalmas módszer, amely lehetőséget nyújt a folyadék és a szilárdtestek kölcsönhatásának numerikus vizsgálatára. A geometria kialakításánál a valós érfal mérettartományával megegyező méretbeli kialakításra törekedtünk, emellett MRI felvételek alapján szegmentálás útján valós geometriát állítottunk elő. Az ún. folyadékdinamikai, áramlás-tani szoftverek véges térfogatok analíziséhez az áramló vér fizikai jellemzőinek ismerete szüksé-

ges. A modell megalkotása során az áramlási tér tranziens fizikai jellemzőit a szakirodalomban fellelhető mérési eredmények alapján választottuk meg. Az áramlást időben és az érfalon belül pozíció szerint változó sebesség- és nyomásprofilokkal írtuk le. Az így nyert értékek numerikus implementációja révén – a paraméterek széleskörű változtatásával – számos numerikus szimulációt végeztünk az élettanilag helyes viselkedés közelítése céljából. A kutatócsoport tagjai által korábban végzett mérési eredményekre támaszkodva, az érfal, mint biológiai anyag mechanikai viselkedésének közelítésére többféle – lineáris és nemlineáris karakterisztikájú – anyagmodell alkalmaztunk. A numerikus eljárásaink során három különböző modellípust vizsgáltunk: merev falú cső tranziens tisztán áramlástan vizsgálat, illetve folyadék-szilárdtest-kölcsönhatás egy és két-irányú kapcsolt szimulációja.

## EREDMÉNYEK

A szimulációk segítségével nyert eredményeket a szakirodalommal összevetve jó egyezést tapasztaltunk mind a feszültségek, mind az alakváltozások eloszlása és nagysága szempontjából.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A szimulációk eredményei rávilágítottak arra, hogy a hemodinamikai vizsgálatok során széles körben és előszeretettel alkalmazott egyszerűsítések nem alkalmazhatóak, amennyiben nem elhanyagolható az érfal, mint rugalmas test viselkedése. Az folyadékkinamikai modell használatakor csak az áramlási térből számított fali csúsztatófeszültség értéke állapítható meg, míg kapcsolt modell esetén az eljárás figyelembe veszi a fal alakváltozását és mechanikai feszültségértékeit is. Ezen felül az érfal pulzáló jellegű viselkedésének pontosabb leírása céljából célszerű a kapcsolt modellek közül a két-irányú kapcsolást alkalmazni.

## QUANTIFICATION OF MULTI-SEGMENTAL SPINE KINEMATICS: THE RELIABILITY AND OUTCOMES OF A NEW PROTOCOL

Jennifer Fayad<sup>1,2</sup>, Peter Eltes<sup>2</sup>, Aron Lazary<sup>2</sup>, György Szőke<sup>3</sup>, Tamás Terebessy<sup>3</sup>, Luca Cristofolini<sup>1</sup>, Rita Stagni<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

<sup>2</sup>National Centre for Spinal Disorders, Budapest

<sup>3</sup>Department of Orthopaedics – Semmelweis University, Budapest

<sup>4</sup>Department of Electrical, Electronic and Information Engineering “Guglielmo Marconi”, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

## INTRODUCTION

Motion abnormalities have been found to impact the prevalence and recurrence of spine disorders; a better understanding of spine kinematics is necessary to improve treatment, surgical planning and assess the role of spine pathologies on activities of daily living (ADL). Several marker-based motion analysis protocols have been proposed however, assessment of the reliability and functional significance of the kinematic variables is lacking for healthy

and pathological cohorts. Additionally, the role of coordination between spinal segments, and with respect to other body segments is often disregarded. The aim of the present study is to fill this gap: to develop and validate a comprehensive protocol for spinal kinematics assessment that provides clinically significant data. This study included experimental assessment of methodological reliability, identification of kinematics reference patterns and timings during simple mobilization and ADLs.

## MATERIALS AND METHODS

The marker setup included 9 markers attached on the trunk at C7, T3, T7, T12, L3, clavicle, sternum, right and left acromia; to define four spine segments: upper thoracic (UT), lower thoracic (LT), upper lumbar (UL) and lower lumbar (LL) in addition to the pelvis. 3D angles between adjacent segments and in respect to the pelvis were quantified during standing, full flexion (FF), thoracic flexion (TF), lateral bending (LB), sit-to-stand, ball-lifting, and level walking. 19 healthy participants were recruited [10F, 9M; age:  $26.6 \pm 4$ ; height:  $175.6 \pm 7.4$  cm; weight:  $71.1 \pm 14.9$  kg]. Marker kinematics was acquired using stereophotogrammetry (VICON, UK). Two marker placement techniques were tested to quantify soft tissue artefact (STA) and marker misplacement. 3D angular data was normalised over task duration and synchronised with respect to key events identified in the motion to analyse segment coordination and event timing. Reference bands of motion were generated showing the median angle and the 25th-75th percentile range.

## RESULTS

Differences in intersegmental kinematics were found due to marker placement and STA accounting for a maximum of 25% change in the LT/UL angle during TF. The maximum difference in key event timings was equal to 5% change in the coronal plane during LB, changes in the sagittal plane were limited to < 2% for FF and TF. After event synchronization, angular intersegmental kinematics exhibited high inter- and intra- subject repeatability in both flexion/extension and lateral bending. Segmental coordination analysis showed differences in the timing of segments with UL/LL starting the motion before UT/LT during FF, the opposite was seen during LB. Differences in motion contribution were also seen, LT/UL contributed the most to the sagittal plane motions accounting for double the angle of motion detected at the UT/LT joint.

## CONCLUSION

The preliminary testing of the proposed protocol highlighted a repeatable approach for the characterisation of spine intersegmental kinematics. Marker misplacement and STA were found to influence intersegmental kinematics to a different extent for different segments. Based on the variability assessed in the study, the number of cohorts for the identification of significant reference bands will be increased and compared to pathological patient motion.

## EVALUATION OF SPINE STABILITY FOLLOWING TREATMENT OF DEGENERATED INTERVERTEBRAL DISCS WITH DISCOPLASTY

Chloé Techens<sup>1</sup>, Sara Montanari<sup>1</sup>, Ferenc Bereczk<sup>2</sup>, Peter Endre Eltes<sup>2</sup>, Aron Lazary<sup>2</sup>, Luca Cristofolini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Italy

<sup>2</sup>National Centre for Spinal Disorders - Budapest, Hungary

### INTRODUCTION

Spinal nerve compression is often due to stenosis of the foramen, associated with intervertebral disc degeneration. In ageing population minimal invasive surgical (MIS) solutions can reduce the complication and provide good outcome. Percutaneous cement discoplasty (PCD) is a MIS procedure, that has been recently developed for the polymorbid ageing population with vacuum disc degeneration. The mechanical impact of PCD on the spine stability and on the stress/strain in the surrounding tissues have not been investigated yet. A previous preliminary work on porcine spines demonstrated interesting trends and confirmed the potential benefits of discoplasty on degenerated discs. This study aimed at: (1) testing the stability of human spine segments after discoplasty by monitoring the disc height and the range of motion, (2) assessing the strains on the specimen surface for potentially dangerous peaks.

### MATERIALS AND METHODS

27 fresh-frozen human thoraco-lumbar FSUs were obtained from 15 cadaveric spines (35-86 y.o.). The soft tissues around the vertebral bodies were removed, leaving intact the ligaments. The specimens were aligned with the intervertebral disc horizontal; the extremities were potted with acrylic cement. In order to measure surface strains with Digital Image Correlation (DIC), a white water-based speckle pattern was sprayed on the specimens previously stained with methylene blue. The specimens were tested in flexion and extension under 50% body weight axial load combined to an offset. Images were analysed by a 3D-DIC system (Q400, Dantec) using optimized parameters.

The Range of Motion (ROM) and the Posterior Disc Height (PDH) were derived. The displacements and principal strains were also computed. Each specimen was sequentially tested under two conditions:

- Simulated degeneration: the intervertebral disc was manually emptied through a hole in the annulus.
- After acrylic cement (Mendec Spine, Tecres) injection (discoplasty).

### RESULTS AND DISCUSSION

The PDH was significantly restored by discoplasty for both flexion and extension, increasing by 41% and 35% respectively. The ROM was significantly reduced in flexion due to the action of the posterior elements, but not significantly in extension. First and second principal strain concentrations were located on the disc surface for both motions. Discoplasty decreased strain averages and concentrated first principal strain at the mid-height disc, while the second principal

strain was clearly located along the endplates. Additionally, strain peaks were smaller after discoplasty, reducing the risk of local tissue damage.

## A NEM SPECIFIKUS DERÉKFÁJDALOM HATÁSA STABILIZÁCIÓS GYAKORLATOKBAN

Úry Zsuzsanna<sup>1</sup>, Kondor Judit<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Testnevelési Egyetem, Kineziológia Tanszék

### BEVEZETÉS

A gerincbántalmakból eredő fájdalom világszerte az egyik legmeghatározóbb mozgásszervi panasz. Vizsgálatunk célja volt meghatározni, hogy a derékfájdalom milyen kompenzatorikus izomaktivációt hoz létre stabilizációs gyakorlatokban és milyen hatása van a gyakorlatokhoz adott instrukcióknak.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

N=24 (férfi (n=9), nő (n=15)) személyt vizsgáltunk elektromiográfias módszerrel (életkor: 35,1±10,6 év, testmagasság: 173±1 cm, testtömeg 69,8 kg±13,7 kg, a BMI 23,3±3,9). Felső- és alsó végtagi elektródákat alkalmaztunk, melyeket a SENIAM projekt ajánlásának megfelelően helyeztünk el a lumbális erector spinae, lumbális multifidus, gluteus maximus, gluteus medius, rectus abdominis, externus obliquus és az internus obliquus izmokon.

A vizsgálati személyek kitöltötték egy fájdalmat és egy fájdalom miatti funkcióvesztést becsülő kérdőívet. (Vizuális Analóg Skála, Oswestry Disability Index). A 10 fokozatú VAS skálán átlagosan 2±1,3 fájdalmat érzékeltek aznap a derékfájós vizsgálati személyek és 13,17±4,71 %-os funkciócsökkenést. A nem derékfájós csoportba kerültek a fájdalom- és tünetmentes alanyok (12 fő).

A vizsgálati személyek 4 gyakorlatot végeztek el: vállhíd, vállhíd karemeléssel, vállhíd lábemeléssel. A feladatokat először saját mozgásmintával, majd instrukcióval végezték el.

A felvett maximális izometriás kontrakció értékekre normalizáltuk a feladatok közben kapott értékeket (MVIC%). A statisztikai számítás során ismételt mérések varianciaanalízist alkalmaztunk (ANOVA). A vizsgálatban a szignifikanciaszintet  $p \leq 0,05$ -nél határoztuk meg.

### EREDMÉNYEK

A két csoportunk között nem találtunk jelentős különbséget az össz izomaktivációs szintben a feladatok elvégzése során ( $p=0,057$ ). A derékfájós csoportban szignifikánsan különböző izomaktivitást mértünk a hátizmokban, mint a kontrollcsoportnál. A multifidusok munkája meghaladta az erector spinae aktivitását a derékfájós csoportban. A has- és hátizmok és a hát- és farizmok szinergiájában is találtunk hasonló különbségeket.

Vizsgálatunkból kiderült, hogy az instrukciók szignifikánsan megnövelték az izomaktivációs szinteket. Hatására a hátizmok aktivációs szintje lecsökkent és a hasizmok aktivációja megnőtt vállhíd gyakorlatnál. A lábemeléses vállhídnál az összes izom aktivitása magasabb lett az instrukciók hatására.

Vizsgálatunkból kiderült, hogy az egy láb támaszos vállhíd szignifikánsan nagyobb izomaktivációs szintet követelt meg, mint a vállhíd gyakorlat, azonban, a karemelés nem okozott jelentős különbséget.

### KÖVETKEZTETÉSEK

Az instrukciók hatása azt mutatja, hogy a szegmentalításra, proximalitásra való figyelemirányítás megváltoztathatja az izmok bekapcsolódási sorrendjét és nagyságát.

A derékfájós csoport magasabb izomaktivációs szintje a szakirodalommal egybevágóan azt mutatja, hogy a mélyebben fekvő izmok stabilizációs képessége csökkent, melyet így kompenzálhatnak a felületesebb izmok. A kontrollcsoportnak kevesebb felületesebb izomaktiváció is elegendő a pozíció megtartásához, ami a stabilizáló izmok optimálisabb működéséről adhat számot.

A derékfájós csoportban jelenlévő jelentős különbség az erector és multifidus izmok között a nem megfelelő izomszínergiáról adhat számot. Ez a különbség a has-, és hátizmok és a hát-, és farizmok együttműködésénél is látszik.

Az eltérések instrukció és nehézségi szint hatására jelentősebbek lettek, amely a kinesztézia megromlására is utalhat.

## GYÓGYTORNÁSZ HALLGATÓK EGYENSÚLYTARTÁSÁNAK ÉS JÁRÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Törtei Tea<sup>1</sup>, Seregély Beáta<sup>1</sup>, Thaly Anna<sup>1</sup>, Zsombok Szilvia<sup>1</sup>, Wiesner Fanni<sup>1</sup>, Horváth Mónika<sup>1</sup>, Mayer Ágnes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Semmelweis Egyetem Egészségtudományi Kar Fizioterápiai Tanszék

### BEVEZETÉS

Gyógytornászok számára az emberi testen való tájékozódás kiemelt fontosságú. Egyrészt a kezelések, gyógytornaprogramok korrekt kivitelezése és ellenőrzése szempontjából, másrészt a páciensek számára való példamutatás érdekében. A gyógytornászképzés során számos olyan elméleti és gyakorlati ismeret sajátíthatunk el – anatómia, mozgásrendszer funkcionális vizsgálata, alapozó testképző gimnasztika – amelyek feltételezésünk szerint hatással vannak a mozgásra.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Adatokat gyűjtöttünk arról, hogy a vizsgált személyek hetente hányszor sportolnak. A Zebris FDM-T rendszerrel az egyensúlytartás és a járás egyes jellemzőit vizsgáltuk. Vizsgált személyeink 4 csoportba tartoztak: első (N=39) és negyedéves (N=57) gyógytornász hallgatók, valamint kontrollszemélyként első (N=33) és negyedéves (N=38), nem mozgással foglalkozó tudományterületen, felsőoktatásban tanuló hallgatók. Az adatelemzésben Statistica for Windows programot alkalmaztunk. Normalitás vizsgálatot követően varianciaanalízist végeztünk, majd az egyes csoportokat t-próbával hasonlítottuk össze. Az egyes változók közötti korreláció számítására Pearsons-féle korrelációs tesztet alkalmaztunk. A szignifikanciaszintet  $p < 0,05$  értékben határoztuk meg.

## EREDMÉNYEK

A negyedéves kontrollcsoport kevesebbet sportol, mint a gyógytornász hallgatók és az elsőéves kontrollcsoport. Az elsőéves kontrollcsoport és az elsőéves gyógytornász hallgatók ugyanannyit sportolnak. A gyógytornász hallgatók járását jellemző laterális szimmetria szórás értéke szignifikánsan kisebb, mint a kontrollcsoporté. A statikus egyensúlytartás jellemzői, a testlengés útja, sebessége és a lengés pályájára fektetett, az adatok 95%-t tartalmazó ellipszis területe nem különbözik a csoportok között. A sportolási szokások, valamint a laterális szimmetria szórásértéke és a testlengést jellemző ellipszis területe között elhanyagolható negatív korreláció van ( $r=-0,2$  és  $-0,15$ )

## KÖVETKEZTETÉSEK

Eredményeink alátámasztják azt a feltételezésünket, hogy a gyógytornászképzés során, a mozgással való fokozott foglalkozás segíti a harmonikus mozgás fenntartását.

## AZ ELLENOLDALI ÉS AZONOSOLDALI TÁMBOT HASZNÁLATÁNAK HATÁSA JÁRÁSÁRA

Seregély Beáta<sup>1</sup>, Horváth Mónika<sup>1</sup>, Kiss-Bálványossy Eszter<sup>1</sup>, Mayer Ágnes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Semmelweis Egyetem Egészségtudományi Kar Fizioerápiai Tanszék

## BEVEZETÉS

A gonarthrosis a térdízületet érintő degeneratív megbetegedés, mely az alsó végtagi mozgáslánc összes ízületének mozgását befolyásolja és hatással van a járás biomechanikájára. Idős korban a kezelés részeként leggyakrabban ajánlott segédeszköz az egyszerű támbot, használatának célja a fájdalom enyhítése, az érintett térd terhelésének csökkentésével, a funkció javítása és a járásbiztonság fokozása. A szokásos protokoll szerint a botot a fájdalmas alsó végtaggal ellentétes oldalon kell használni, a fizioiógias járásminta fenntartása érdekében. Ez az ajánlás a csípőízületi problémák esetében egybeesik a tehermentesítés szempontjából is ideális segédeszköz használatával, ám a térdízület esetében ez nem egyértelmű. Célunk a témával kapcsolatos kutatások kronológiai áttekintése.

## MÓDSZEREK

Irodalomkutatást végeztünk a Web of Science és a Pubmed adatbázisokban, a „cane”, „gait”, „knee”, „ipsilateral”, „contralateral” kulcsszavak különböző variációival. Beválasztási kritérium volt az angol nyelv és a járásvizsgálat elvégzése egy botal mindkét oldalon. Kizárási kritériumot nem határoztunk meg.

## EREDMÉNYEK

31 cikket tudtunk kiszűrni, amelyből kizárásra kerültek a duplikátumok, és a nem járásvizsgálatról szóló cikkek, így a végső áttekintésbe 12 cikk került. A 1940-es évek végétől több vizsgálatot is végeztek a támaszfázisban keletkező talajreakcióerők és a segédeszközre visszaható

erők szelektív mérésére. 1977-ben Ely és Smidt vizsgálta először ezeket a tényezőket egyidejűleg, majd 1979-es kutatásában Bennett és társai írták le azt a sejtésüket, hogy a csípő abduktorok szerepét csökkentheti az ellenoldali bot használata és segítheti a medence frontális síkú stabilizálását. Edwards vizsgálta először 1986-ban az ellenoldali és az azonosoldali bot használat hatásait az alsó végtagra. Egy 1992-es tanulmányban Vargo és munkatársa egészséges embereknél elektromiográfiával vizsgálta a térd körüli izomaktivitást azonos- és ellenoldali támbot használatakor. Arra a következtetésre jutott, hogy a térd körüli izomtevékenységek által generált erők nem csökkennek egységesen az ellenoldali botra való támaszkodáskor állás közben, sőt még meg is növekedhetnek. Fang 2014-ben arra jutott, hogy a térd tehermentesítése szempontjából az egyponos bot ajánlása és használata OA esetében támogatandó, ám nincs szignifikáns különbség a kétféle segédeszköz használati mód (azonos- és ellenoldal) között.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A térdízület mozgása és a rá ható erők nagyon összetettek és ezt a vizsgálatoknál is figyelembe kell venni. Ahhoz, hogy minél részletesebb eredményeket nyerjünk, a térbeli és időbeli járási adatokat 3D mozgáselemző rendszerrel érdemes felvenni a próbák során. A standardizálhatóság érdekében a járás térbeli és időbeli karakterisztikáját hat tényezővel jellemezzük, a sebességgel, az ütemmel, a lépéshosszal, a támaszfázis és a kettős támasz idejével, valamint a lépés szélességgel. A függőleges irányú talaj reakcióerők mérésére, futópadba épített, továbbá cipőbe és a bot alsó végébe helyezett erőmérő alkalmazását javasoljuk. Olyan megfigyeléseket is érdemes lenne elvégezni, amelyek figyelembe veszik az OA-ben szenvedő betegeknél az ízületek deformitásának, a megváltozott járásmintának egymásra és a segédeszköz használatára gyakorolt hatását.

## IRODALOM

1. Vargo MM, Robinson LR, Nicholas JJ. Contralateral v ipsilateral cane use. *Am J Phys Med Rehabil.* 1992 71: 170-176.
2. Fang MA, Heiney C, Yentes JM, et al. Effects of Contralateral versus Ipsilateral Cane Use on Gait in People with Knee Osteoarthritis. *PM R J.* 2014.
3. Inai T, Takabayashi T, Edama M, et al. Effect of contralateral cane use on hip moment impulse in the frontal plane during the stance phase. *Gait Posture* 2019; 70: 311–316.

## FERDE LATERALIS INTERVERTEBRALIS FÚZIÓKNÁL (OLIF) HASZNÁLATOS IMPLANTÁTUMRENDSZEREK STABILITÁSÁNAK VIZSGÁLATA FIZIOLÓGIÁS, ILLETVE OSTEOPOROTIKUS CSONTMINŐSÉG ESETÉN VÉGESELEM ANALÍZIS SEGÍTSÉGÉVEL

Bereczki Ferenc<sup>1,2</sup>, Turbucz Máté<sup>1,2</sup>, Kiss Rita<sup>3</sup>, Éltes Péter Endre<sup>1,4</sup>, Lazáry Áron<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Országos Gerincgyógyászati Központ, In Silico Biomechanikai Laboratórium, Budapest

<sup>2</sup> Semmelweis Egyetem, Rácz Károly Doktori Iskola, Budapest

<sup>3</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék, Budapest

<sup>4</sup> Semmelweis Egyetem, Gerincgyógyászati Tanszéki Csoport, Budapest

### BEVEZETÉS

Fejlett országokban megfigyelhető a társadalom elöregedése, mely a műtéti terhelhetőség, illetve a csontminőség csökkenésével jár. Az ágyéki gerinc degeneratív elváltozásainak műtéti terápiájában az elmúlt 15 évben váltak világszinten elfogadottá, és használttá ferde lateralis feltárásból elvégzett fúziós műtétek (OLIF). A stabilizáció eléréséhez számos konstrukció áll rendelkezésre, mint az oldalirányú önrögzítő távtartó rendszer (SA), az oldallemezes rögzítő (LPS), illetve a beteg intraoperatív forgatását igénylő két oldali hátulsó transzpediculáris rögzítő rendszerek (BPS). A beültetett implantátumok merevsége, mozgása, csontra kifejtett hatása fontos a műtét hosszútávú eredményességének, illetve biomechanikai hatásának szempontjából. Ezen tanulmány célja a három implantátumrendszer biomechanikai vizsgálata végeelem analízis segítségével, különböző csont anyagminőségek (fiziológias, osteoporotikus) mellett.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A kutatáshoz, két mozgásszegmentumból álló (LII-IV) végeelem modell lett létrehozva egy 24 éves férfi ágyéki gerinc CT vizsgálatának felhasználásával. A modell validálását követően, egy virtuális műtét során behelyezésre kerültek az LIII-IV mozgásszegmentumba az implantátumok CAD geometriái. Az önrögzítő (SA), illetve különálló (LPS) lemez minden esetben a mozgásszegmentum bal oldalára lett rögzítve. A három konstrukció 150 N verticalis előterhelést követően 10 Nm forgatónyomatékkal lett terelve hat különböző iránynak megfelelően (flexio, extensio, jobb/bal döntés, jobb/bal forgatás), 2 különböző csontanyagminőség mellett (fiziológias, porotikus).

### EREDMÉNYEK

Az operált mozgásszegmentumokban jobb oldalra hajlítás kivételével a BPS rendszernél volt a legkisebb elmozdulás megfigyelhető (intakt modell:  $4,450 \pm 1,580$  fiziológias csont/BPS/:  $0,370 \pm 0,110$ , osteoporotikus csont/BPS/:  $0,490 \pm 0,150$ ) anyagmodelltől függetlenül. Osteoporosis hatására mindhárom modellben növekedett a beültetett távtartó caudalis irányú (csontos véglemezbe történő) elmozdulása (fiziológias csont:  $0,06 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$ , osteoporotikus csont:  $0,106$

mm  $\pm$  0,07 mm) különös tekintettel jobb oldalra történő hajlításnál, ahol SA, LPS konstrukciók esetében az elmozdulás kétszeresére növekedett. Osteoporotikus anyagmodellnél a caudalis (LIV) csigolyában lévő csavarok elmozdulása átlagosan 59%-al (159,33%  $\pm$  21,53%) növekedett fiziológias csontállományhoz viszonyítva. A legnagyobb növekedés LPS-nél volt megfigyelhető rotációs mozgásoknál (200%) Kétoldali transpedicularis rögzítés esetén (BPS) a caudalis véglemezben mért feszültség jobban átvezetődik a trabekuláris állomány területére, mint a másik két oldalsó rögzítés esetében.

### KÖVETKEZTETÉSEK

Egy adott gerincsebészeti beavatkozás megtervezésénél az operáló orvosnak több szempontot is figyelembe kell vennie (beteg életkora, műtéti terhelhetősége, csont anyagi minősége). A különböző rögzítési rendszerek a csont minőségétől függően különböző stabilitást adnak a gerincnek, mely primeren és hosszútávon a csontos fúzió eredményességét befolyásolják. Az egyes rendszerek indikációs körét a jövőben a beteg csontminőségének függvényében kellene behatárolni. Ebben az egyénre szabott In Silico Medicina által kínált számítógépes modellek nyújtanak segítséget.

## LUMBÁLIS GERINC VÉGESELEM MODELL LÉTREHOZÁSA ÉS VALIDÁLÁSA

Turbucz Máté<sup>1,2</sup>, Pokorni Ágoston Jakab<sup>1</sup>, Kossa Attila<sup>3</sup>, Kiss Rita<sup>3</sup>, Lazáry Áron<sup>1,4</sup>, Éltes Péter Endre<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Országos Gerincgyógyászati Központ, In Silico Biomechanikai Laboratórium

<sup>2</sup> Semmelweis Egyetem, Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola

<sup>3</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

<sup>4</sup> Semmelweis Egyetem, Gerincgyógyászati Tanszéki Csoport

### BEVEZETÉS

A gerinccel kapcsolatos megbetegedések az egész társadalmat érintő problémát jelentenek. Az utóbbi évtizedekben a gerinccel kapcsolatban számos olyan kutatás, tanulmány született, ahol a vizsgálat alapját a végeelem analízisre épülő szimulációs eredmények adták. A klinikusok, kutatók és mérnökök számára kiemelt jelentőséggel bír az egyes szervek, szervrendszerek, így a gerincnek megfelelő komplex végeelem modellek által szolgáltatott eredmények. Kiemelten fontos, hogy e szakemberek ismerjék a módszer limitációit, valamint átlássák a klinikai kontextust melynek tükrében a modell eredményei értelmezhetőek. Kutatásunk célja egy munkafolyamat kidolgozása volt, amelynek segítségével egyéni geometriának megfelelő lumbális gerinc végeelem modellt hoztunk létre a klinikai képfeldolgozástól a szimulációs eredmények posztprocesszáálásáig.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A vizsgálatban használt modell geometriája egy 24 éves egészséges férfi komputertomográfiai képanyagának feldolgozásán alapul, szegmentálási eljárás segítségével Mimics Innovation Suite v23 (Materialise, Leuven, Belgium) szoftver felhasználásával. Az eljárás pontosságát a Dice Similarity Index értékével határoztuk meg. A CT felvételekből szegmentálással előállított modellen elkülönítettük a különböző anyagi jellemzővel rendelkező egységeket. A csigolyát felosztottuk a hátsó posterior elemekre, valamint az anterior csigolyatestre, amelyen belül a corticalis, illetve a trabecularis csontállományt megkülönböztettük. A csigolyák véglemezeinél külön csontos, illetve porcos véglemez került kialakításra. A kisízületek felszínét egy 0,25 mm-es porcfel-szín borítja, amelyek között egy minimum fél milliméteres rést alakítottunk ki. A porckorong kialakítása során, a nucleus pulposus-t összenyomhatatlan anyagként, míg az annulus fibrosus-t kompozitként modelleztük, mely az alapállományból, illetve a kollagén rostokból állt. Az alapállomány hat koncentrikus rétegében a kollagénrostok +30, illetve -30°-ot zártak be a porckorong hosszanti középsíkjaival (Altair HyperWorks 2020.1, Troy, Michigan, Amerikai Egyesült Államok). A rostok alapállományhoz viszonyított térfogati aránya a porckorong közepétől kifelé haladva nőtt. A modell tartalmazta a szalagrendszer és az ízületi tokokat. A szalagok modellezése nemlineáris karakterisztikával rendelkező sorosan, illetve párhuzamosan kapcsolt rugó elemekkel történt. A szimulációkat az Abaqus (Dassault Systèmes, Providence, Rhode Island, Amerikai Egyesült Államok) végelem szoftverrel végeztük egy 256 GB RAM-os memóriával, valamint Intel Xeon Gold 6134 processzorral rendelkező munkaállomáson.

## EREDMÉNYEK

A szegmentálási eljárás ellenőrzésére meghatározott Dice Similarity Index 0,95 értéket adott, ami kiemelkedően precíz geometria meghatározásnak felel meg. A szimulációk eredményeit a teljes modell (L1-L5) valamint az L4-L5 mozgásegmentumra vonatkoztatva értékeltük, és összehasonlítottuk a nemzetközi irodalomban található modellek eredményeivel. Az L4-L5 mozgásegmentum mozgástartományának értékei előre-, illetve hátra hajlításra 6.11° és -3.61°-ot adott 10 Nm-es hajlítónyomaték ellenében. A mozgástartomány-nyomaték görbe előállítás és elemzése azt mutatta, hogy a vizsgálat eredménye mind végértékében, mind jellegében megegyezik a korábbi tanulmányokban szereplő görbékkel.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A bemutatott végelem modell validációját az eredmények egyezése szolgáltatja. A validált végelem modell felhasználható későbbi összehasonlító végelem vizsgálatokhoz, valamint a lumbális gerincet érintő műtétek tervezése során. A létrehozott modell azonban kiemelt jelentőséggel bírhat az oktatásban, orvosok és mérnökök számára egyaránt.

## GYERMEKKORI RADIUS TÖRÉST STABILIZÁLÓ, STANDARD TŰZÉSI TECHNIKÁK ÖSSZEHASONLÍTÓ BIOMECHANIKAI VIZSGÁLATA 3D NYOMTATOTT MŰCSONTON

Lamberti Anna Gabriella<sup>1,2</sup>, Józsa Gergő<sup>1</sup>, Lőrincz Aba Tamás<sup>2</sup>, Told Roland<sup>3</sup>, Maróti Péter<sup>3</sup>, Mendler János<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PTE KK Gyermekgyógyászati Klinika Manuális Tanszék

<sup>2</sup> PTE-ÁOK Transzlációs Medicina Intézet Termofiziológiai Tanszék

<sup>3</sup> PTE 3D Nyomtatási és Vizualizációs Központ

### BEVEZETÉS

A disztális alkar- és csuklótáji törések a gyermekkor leggyakoribb törései. A radius disztális dia-metafizis (átmeneti zóna) töréseinek operatív kezelési lehetőségei közül, napjainkban a tűződrótos fixáció a legszélesebb körben alkalmazott módszer. A drótok számában és bevezetési pontjaiban azonban jelenleg is sok az ellentmondás a nemzetközi irodalomban.

### CÉLKITŰZÉS

A gyermekkori radius disztális átmeneti zóna töréseknél nincs egyértelmű ajánlás, hogy milyen módon történjen a tűződrótos rögzítés. Így kutatásunk célja a különböző tűzési technikák biomechanikai stabilitásának összehasonlító vizsgálata.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A csont kéregállományát PLA-ból készült, 3D nyomtatott radius törésmoделlekkel alakítottuk ki, amiket a szivacsos csontvelőt leképező, habosodó poliuretánnal öntöttük ki (Polyol: PN 013-80HM, Izocianát: ISO 30, keverés: 1:1 térfogat arány), majd 1,8 mm átmérőjű Kirschner-drótokkal rögzítettük. A tűzési technikák stabilitását hárompontos törésteszt segítségével mértük Zwick Roell Z100 típusú anyagvizsgáló gépen.

Kétféle tűződrótos oszteoszintézist rekonstruáltunk 36 darab 3D nyomtatott műcsonton, standardizált körülmények között. A tűződrótok be- és kivezetési pontjait a törési réstől 25 mm-re alakítottuk ki. A rögzítésekhez a modelleket egy 3D nyomtatott tartóba helyeztük, amit egy állványos fúróra csavarozva, a tűződrótokat tokmányba befogva végeztük el a tűzéseket.

Az 1. csoportban (n=18) a törés stabilizálása, egy radiális és egy dorzális irányból bevezetett tűződróttal történt. A 2. csoportban (n=18) a törést hasonlóan 2 db tűződróttal stabilizáltuk, azonban mindkét drót radiálról került bevezetésre.

A két csoport stabilitását vizsgáltuk lapszerinti, illetve oldal irányú terhelés esetén.

## EREDMÉNYEK

Az 1. csoportban a mérőfej 5 mm-es elmozduláshoz szükséges maximális erő (N) lapszerinti terhelés esetén átlagosan 249,49 N (231,61-272,27 N), míg oldalirányú terhelés esetén 355,89 N (336,37-380,99 N) volt.

A 2. csoportban ezek az adatok a következőknek adódtak: lapszerinti terhelés esetén 246,36 N (214,97-275,23 N), oldal terhelés esetén 308,27 N (291,16-328,36 N) volt.

A biomechanikai stabilitás összehasonlítása alapján az egy radiális és egy dorzális irányból bevezetett tűződrótos fixáció biztosította a stabilabb rögzítést.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredmények alapján egyértelmű ajánlás tehető a gyermekkori radius disztális átmeneti zóna törések kezelésére: a radiális, dorzális tűződrótos rögzítés nagyobb stabilitást biztosít, mint a kettős radiális tűzés.

---

## A TÁROLÁS ÉS A STERILIZÁCIÓ HATÁSA A HÚZÓ RUGALMASSÁGI MODULUS ÉRTÉKEIRE 5 ÉS 6 HÓNAPIG TÁROLT ÍNAK ESETÉBEN

Faragó Dénes<sup>1,2</sup>, Kiss Rita Mária<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

<sup>2</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Biomechanikai Kooperációs Kutatóközpont

---

## BEVEZETÉS

Az allográfok szerepe a szalagok pótlásában fokozatosan nő. Fontos kérdés azonban, hogy a sterilizáció és a tárolás hogyan befolyásolja a fizikai és a mechanikai tulajdonságokat. A mechanikai tulajdonságokat a statikus szakítóvizsgálattal a húzó rugalmassági modulus határozható meg. Jelen kutatás célja annak elemzése, hogy 2 különböző fajta ín ( 60 db tibialis anterior – TA és 60 db peroneus longus - PL) esetében a különböző sterilizációs módszerek (40-40-40 db) (fagyasztás, fagyasztás+ 21 kGy dózisos gamma sugárzás, fagyasztás+ 21 kGy dózisos elektron sugárzás) hogyan változtatják meg a statikus mechanikai vizsgálatból kapott húzó rugalmassági modulus értékeit.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A vizsgálatba 120 darab ínt vontunk be, 60 darabot 5 hónapig, a másik 60 darabot 6 hónapig tároltuk mélyfagyasztásban. A különböző féleképpen kezelt és tárolt ínak rugalmassági modulusait statikus húzóvizsgálattal határoztuk meg.

---

## EREDMÉNYEK

Tibialis anterior ín esetében a fagyasztott minták rugalmassági modulus eredményei érték el a legrosszabb eredményeket, 5 hónapos tárolás esetén 38,22 MPa, míg a 6 hónapos tárolás esetén 33,93 MPa eredményeket kaptunk. A 21 kGy dóziszú gamma sugárzással sterilizált 5 hónapos tárolási idejű mintái 206,27 MPa, míg a 6 hónapos tárolási idejű mintái 159,67 MPa eredményt. A 21 kGy dóziszú elektron sugárzással sterilizált 5 hónapig tárolt minták esetében az előbbinél kisebb, 141,58 MPa eredményt adtak, míg a 6 hónapig tárolt minták esetében a kapott érték 169,06 MPa volt.

A peroneus longusnál kapott eredmények eltértek a tibialis anterior inak eredményeitől. Mind az 5, mind a 6 hónapig tárolt minták esetében a fagyasztott mintáknál kapott értékek a nagyobbak, az 5 hónapig tárolt esetében 168,64 MPa, míg a 6 hónapig tárolt minták esetében 220,54 MPa. A 21 kGy dóziszú gamma sugárzás ennél az innál mind a két tárolási időnél jobb eredményeket ért el, az 5 hónapig tárolt minták rugalmassági modulus értéke 163,97 MPa, a 6 hónapig tárolt minták esetében 158,83 MPa. Az elektron sugárral kezelt ínknál az 5 hónapig tárolt minták 114,24 MPa, a 6 hónapig tárolt minták 117,37 MPa rugalmassági modulus értéket adtak.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A rugalmassági modulus értékei alapján megállapítható, hogy a 6 hónapig tárolt minták mechanikai tulajdonságai körülbelül 20%-kal rosszabbak az 5 hónapig tárolt minták eredményeitől. Az ín típusok közötti különbség összehasonlításakor megfigyelhető, hogy a peroneus longus ín mechanikai tulajdonsági értékei körülbelül 30%-kal maradnak el a tibialis anterior értékeitől. Sterilizációs módszerek összehasonlításakor elmondható, hogy nem kapunk egyértelmű választ. Legtöbb esetben a gamma sugárral sterilizált minták bizonyulnak jobbaknak.

---

## SZINKRONKORCSOLYÁZÓK EGYENSÚLY-VISSZANYERÉSI EREDMÉNYESSÉGE FORGÁSOS FÁRASZTÁS UTÁN

Megyik Orsolya Anna<sup>1</sup>, Pálya Zsófia<sup>1</sup>, Petró Bálint<sup>1</sup>, Kiss Rita Mária<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

---

## BEVEZETÉS

A szinkronkorcsolyázó sportolók edzése és versenyprogramja hasonló a többi jeges sportokhoz (műkorcsolya, jégtánc), így speciális egyensúlyozási képességekre tesznek szert; gyakorlatukra a hosszan ismételt forgások, ugrások és érkezések jellemzőek. Jelen kutatásunkban először az egyensúly-visszanyerési tesztek szinkronkorcsolyázókkal és kontrollcsoporttal pihent állapotban végeztük, majd ezen méréseket forgásos fárasztás után megismételtük.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A mérésekbe összesen 12 lány szinkronkorcsolyázó versenyzőt ( $20,7 \pm 3,1$  év,  $59 \pm 6$  kg,  $166 \pm 4$  cm), valamint 12 nem korcsolyázó, egészséges lányt vontunk be ( $21,5 \pm 1,2$  év,  $61 \pm 5$  kg,  $171 \pm 4$  cm). Az egyensúly-visszanyerés jellemzésére a hirtelen irányváltoztatási tesztet végeztük a PosturoMed eszköz (Haider Bioswing, Németország) használatával, ami egy rugókra felfüggesztett, vízszintes síkban mozgó merev platform. A rögzítő szerkezet váratlan felengedése után a platform hirtelen elmozdul és lengő mozgást végez. A feladat az egyensúlyi állapot gyors visszanyerése; a teszt sikeres, ha a lap mozgását sikerül megállítani.

A hirtelen irányváltoztatási tesztet pihent állapotban mindkét lábon, jobb és bal lábon állva is háromszor végeztük el (alpmérés).

Ezután a szárazedzéseken is használatos forgástréner eszközön állva kellett tízszer körbe fordulnia a résztvevőnek, az általa preferált lábon. Közvetlenül a forgások után megismételtük a hirtelen irányváltoztatási teszt bal lábon, jobb lábon és mindkét lábon állva (visszamérés). Ezután a forgást és visszamérést az előbbi módon megismételtük.

A platform mozgását egy 18 kamerás optikai mozgáskövető rendszerrel (OptiTrack, Oregon, USA) 100 Hz frekvencián rögzítettük. Feljegyeztük a tesztek sikerességét; a lap mozgásából számítottuk a platform megállításáig eltelt időt, a lengőmozgás csillapítási tényezőjét, valamint a platform által bejárt pálya alakját jellemző irányultsági arányszámot. A két csoport közti összehasonlításhoz a paramétereket Wilcoxon-féle rangösszeg-próbával teszteltük. A fárasztás hatását személyen belüli elrendezéssel, a pihent állapotot a legvégső állapottal összehasonlítva, Wilcoxon-féle előjeles rangpróbával teszteltük.

## EREDMÉNYEK

Pihent állapotban a sikerességi arányok közel azonosnak adódtak (korcsolyázók: 90% preferált láb, 97% nem-preferált láb; kontroll: 88% preferált láb, 90% nem-preferált láb; mindkét láb: 100% mindkét csoportban). Az egyensúlyozás hatékonyságát és a mozgáspályát jellemző paraméterekben sem volt szignifikáns különbség.

A fárasztás után a tesztek sikeressége egy lábon állva kismértékben csökkent (korcsolyázók: 86% preferált láb, 92% nem-preferált láb; kontroll: 86% preferált láb, 86% nem-preferált láb). Mindkét csoportnál a preferált láb esetén a hatékonyság szignifikánsan romlott, amelyet a megállítási idő szignifikáns növekedése és a csillapítási tényező szignifikáns csökkenése mutat. A bejárt pálya alakja szintén jelentősen változott: a résztvevők felénél sokkal vonalasabb, másik felénél sokkal körkörösebb lett.

A nem-preferált láb esetén általában a megállási idő és a csillapítási tényező romlott, de egyes személyek esetén ezek az értékek jelentősen javultak. Náluk a forgásos feladat az egyensúlyozóképesség élénkítését segíthette. Erre utal az is, hogy náluk a mozgáspálya alakja kisebb mértékben változott, mint a preferált lábon.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A feltételezésünkkel ellentétben pihent állapotban a két csoport között sem az egyensúly-visszanyerés hatékonyságában, sem annak módjában nem volt különbség. Ennek lehetséges oka, hogy a korcsolyázók esetében a vestibuláris rendszer fejlődik kiemelkedően, így egyszerűbb

egyensúlyozási feladat során a látórendszerükre hagyatkoznak, vélhetően nem választanak szignifikánsan eltérő mozgásstratégiát, mint a kontroll csoport. Ugyanakkor a korcsolyázók a nem-preferált lábukon kiemelkedően sikeresebbek voltak a kontrollhoz és saját preferált lábukhoz képest is, tehát nehezebb körülmények között a különbség már detektálható.

## TÉRDPROTÉZISEK SZÁMÍTÓGÉPES KOPÁSVIZSGÁLATA

Fekete Gusztáv<sup>1</sup>, Jánosi Endre<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem

A kopás, amelynek lefutása nagyban függ a térdízület helyi kinematikájától, az egyik fő mechanikai tényező, amely a térdprotézisek tönkremenetelét okozza. Ebben az előadásban egy analitikai kopásmodellt egy többtest-dinamikai modellel kapcsolunk össze, hogy a kopáseloszlást a különböző protézisek laterális és mediális platóján vizsgálhassuk. A fő cél annak elemzése volt, hogy a platókon a kopás eloszlása jelezheti-e a megnövekedett tibio-femorális tengelyek szögeltérését, ami gyors protézis tönkremenetelhez vezethet. A többtest-dinamikai szimulációkhoz több kereskedelmi és egy prototípus protézis geometriát használtunk fel. Mozgásként a guggolást vizsgáltuk, mivel mind a sportban, mind a mindennapi életben betöltött jelentősége miatt. Következtetésként bevezettünk egy új paramétert, amelyet kopásegyensúly-hiánynak neveztünk el. Ez a paraméter jelzi, hogy egy adott térdprotézis, geometriai jellemzői miatt, hajlamos-e fokozott kopásra és ebből adódóan gyorsabb tönkremenetelre.

## MOZGÁSSZABÁLYOZÁS VIZSGÁLTA VIRTUÁLIS TESZTKÖRNYEZETBEN.

Kovács Balázs András<sup>1</sup>, Insperger Tamás<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai tanszék, BME-Lendület Emberi egyensúlyozás kutatócsoport

### BEVEZETÉS

Az emberi mozgásszabályozás egy meglehetősen összetett folyamat, így a vizsgálata is nehézkes a jelenlegi mérnöki ismeretekkel. A probléma megkerülése érdekében lehetőség van egy virtuális teszt környezet használatára. Egy helyben álláskor az ember sok különböző érzékszervből jut információhoz testének a pozíciójáról, míg egy tárgy kézben egyensúlyozásakor valamennyivel kevesebb információ alapján történik az egyensúlyozás. A kutatás keretein belül létrehoztunk egy tesztkörnyezetet, ami számítógép segítségével emulálja a valóságot. A szoftver lehetőséget biztosít különböző dinamikai modellek alkalmazásához, mellyel az esetlegesen betanult mozgásformák is kiszűrhetők.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A modell alapján szisztematikus méréseket végeztünk 27 tesztalannyal, akiknek a feladata az volt, hogy minél rövidebb ingát egyensúlyozzanak egy megadott időkésés (nehezítés) mellett. Az eredmények alapján megállapítható egy adott tesztalany egyensúlyozási készsége, valamint becslés adható a bizonytalanság mértékére. Az összehasonlítás érdekében készletetett arányos-derivált (PD) visszacsatolást vettünk alapul. A matematikai modellezés során több hatás is figyelembe vehető, ami befolyásolja az egyensúlyozás minőségét. Jelen esetben a fő figyelem az időkésésre (reakció idő), valamint egy robusztussági definíció alapján megalkotott bizonytalansági tényezőre irányult.

## EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A tesztalanyok eredményit értékelve és a robusztussági definíciót használva meghatározható az összesített bizonytalanság, adott személynek. Az eredmények és a módszer felhasználható lehet eszközök tervezésénél, ahol a gép és ember közötti interakciónak nagy szerepe van. Ezenfelül alkalmas lehet gyors tesztlesekre nagy koncentrációt igénylő feladatok elvégzése előtt, megakadályozva az alkalmatlan személyt a feladat elvégzésében/veszély elhárításában.

## GERINCVELŐI IZOMSORVADÁSBAN SZENVEDŐ GYEREKEK GERINCDEFORMITÁSÁNAK MODELLEZÉSE

Horváth Andrea Anikó<sup>1,2</sup>, Molnár-Hevér Dalma<sup>2</sup>, Terebessy Tamás<sup>2</sup>,  
Kiss Rita M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem; Gépészmérnöki Kar; Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

<sup>2</sup> Semmelweis Egyetem; Általános Orvostudományi Kar; Ortopédiai Klinika

## BEVEZETÉS

A gerincvelői izomsorvadást a progresszív izomgyengülés mellett az életkorral folyamatosan romló gerincferdülés jellemzi. Az utóbbi években nagy áttörést jelentett a betegség gyógyszeres kezelése, amelynek következtében a betegség kimenetele megváltozott, így a gerincdeformitás progressziójának megítélése és követése előtérbe került. A gerincgörcsület súlyosságának meghatározására a klinikumban a Cobb-fok mérés az általánosan használt módszer, amely megfelelő megbízhatóságú és reprodukálható, azonban a gerincdeformitás 3D struktúrájáról és a progresszióról nem szolgáltat információt. Kevés tanulmány foglalkozott a számítógéppel támogatott digitális radiográfiai mérések alkalmazásával és a digitális 3D modellalkotással.

Előadásunk célja egy lehetséges 3D modellalkotás első lépésének bemutatása: a hagyományos Cobb módszerrel történő mérés intraobserver és interobserver megbízhatóságának meghatározása, és ennek összevetése egy újonnan fejlesztett számítógépes gerincgörcsület meghatározással.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A vizsgálatban 18 személy vett részt (életkor:  $8,9 \pm 5,0$  év), a Semmelweis Egyetem Ortopédiai Klinika betegek, akik genetikailag igazolt gerincvelői izomsorvadásban szenvednek. Kizárási kritérium volt, ha a gyermek már átesett gerincstabilizáló műtéten. A digitális, anterior-posterior irányú röntgenfelvételeken három, egymástól független vizsgáló, összesen 5 alkalommal Cobb-fok mérést végzett. A röntgenképeken a gerinc összes frontális síkú görbülete meghatározásra került.

RadiAnt DICOM Viewer és egy MATLAB (The MathWorks Inc., Mass., USA) környezetben írt, saját fejlesztésű program segítségével a frontális gerinc alakjából egy síkgörbét hoztunk létre, majd a program spline érintővonal módszerrel meghatározta a deformitás nagyságát jellemző szögeket. A számított görbületi szögeket összevetettük a Cobb-fokokkal. A kapott eredményekből korrelációs együtthatót, konfidencia intervallumot és lineáris regressziót számítottunk, valamint Bland Altman ábrát készítettünk.

## EREDMÉNYEK

A vizsgálói és a vizsgálók közötti megbízhatóság mindhárom szög esetén kiváló volt, ami egyezik a korábbi tanulmányokban található eredményekkel. A fejlesztett programunk és a vizsgálók eredményei a cervico-thoracalis, a thoracalis és a thoracolumbalis görbület esetén is magas vagy kiváló korrelációt mutatott, a korrelációs együtthatók rendre 0,887-0,893; 0,955-0,963; 0,936-0,973. A lineáris regresszió eredménye azt mutatja, hogy a program által számolt szögeket ábrázolva a vizsgálók által mért értékek függvényében a kapcsolat egyhez közeli. A program a szögeket a vizsgálókhoz képest enyhén túlbecsüli, a túlbecslés nagysága átlagosan  $1^\circ$  és  $4,5^\circ$  közé tehető.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A spline érintő vonali módszer alkalmas a scoliosis görbület nagyságának meghatározására és a betegség utánkövetésre egyaránt. Oldalirányú gerincfelvételek mérésével 3D görbe hozható létre, térbeli gerincmodell kialakítására. További vizsgálatok szükségesek ahhoz, hogy a térbeli gerincmodell segítségével miként becsülhető a gerincvelői izomatrófiában szenvedő gyermekek gerincferdülésének romlása.

## A DINAMIKUS TÉRD VALGUS MÉRÉSE KINECT AZURE KAMERA ALAPÚ MOZGÁSELEMLŐ RENDSZERREL

Uhlár Ádám<sup>1</sup>, Ambrus Míra<sup>1</sup>, Lacza Zsombor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Testnevelési Egyetem

## BEVEZETÉS

A dinamikus térd valgus fontos hajlamosító tényező az elülső keresztszalag szakadás és az osteoarthritis kialakulásában. A térd valgus a térd medial irányú bedőlését jelenti terhelés alatt, melynek oka visszavezethető beidegzési és izomerő okokra is. Az egy-lábás guggolás mint mozgásminta szűrő teszt a sportban széles körben elterjedt tesztelési eljárás az alsó végtagi sérülési rizikó értékelésében. Kutatásunk célja az volt, hogy egy Kinect Azure kamerán alapuló, mesterséges intelligenciát használó mozgáselemző eszközt hozzunk létre, mely segítséget nyújt a mozgásszerui aránytalanságok detektálásában és számszerűsítésében.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Kutatásunkban 22 fő (nő=9;  $24,5 \pm 10$ ) egészséges, fizikailag aktív felnőtt személy vett részt. A vizsgált személyek egy Kinect Azure kamera előtt hajtottak végre jobb és bal lábon egy lábás guggolásokat. A Kinect marker-less technológián alapuló kamera révén automatikusan felismeri az emberi test ízületi pontjait. Az egy lábás guggolások során az alanyok medencéjének függőleges mozgását, valamint a térdük oldalirányú mozgását elemeztük. A térd oldalirányú kitérését (befelé billenését) az alsó végtag hosszának százalékában fejeztük ki. Az alanyok értékeit egymáshoz, valamint jobb és bal lábás eredményeit önmagukhoz viszonyítottuk. A Kinect kamera pontosságát az egy lábás guggolás teszt esetében az OptiTrack és Xsens rendszerekkel validáltuk.

## EREDMÉNYEK

A Kinect kamera a másik két eszközzel összehasonlítva nagyon jó eredményt ért el marker less típusú eszközökhöz képest. A Kinect és az OptiTrack összehasonlításakor a medence függőleges mozgásában  $1,3 \pm 0,7$  cm átlagos különbséget, míg a térd oldalirányú mozgásában  $0,7 \pm 0,3$  cm átlagos különbséget tapasztaltunk. A Kinect és az Xsens között a medence mozgásban  $1,5 \pm 0,7$  cm különbséget, míg a térd esetében  $1,5 \pm 0,9$  cm különbséget tapasztaltunk. A térd helyzetének meghatározásakor a térd oldalirányú mozgását elemeztük, a centiméterben kapott eredményt az alsó végtag hosszának százalékában fejeztük ki. Ezzel összehasonlíthatóvá tettük az eltérő testmagasságú alanyok értékeit is. A térd valgus helyzetet a guggolás mélység 15 és 30 %-án vizsgáltuk. A 15%-os szinten mért átlagos valgus érték  $2,63 \pm 2,63$  volt, míg a 30%-os szinten átlagosan  $4,5 \pm 3,59$  volt a valgus érték. A két különböző szinten mért valgus értékeket egy-mintás t-próba segítségével összehasonlítottuk, melynek során a két szint között szignifikáns különbséget kaptunk ( $t(27) = 2,77, p = 0,01$ ). A guggolás mélység növekedésével a térd valgus irányú billenése is fokozódott.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Kutatásunk során egy mesterséges intelligenciát használó Kinect Azure kamerát alkalmaztunk az egy lábás guggolás teszt értékelésére. A kutatásunk során a medence függőleges, és a térd oldalirányú mozgását vizsgáltuk. A guggolás mélységet az alsó végtag hosszának százalékában fejeztük ki, és a valgus helyzetet 15 és 30 %-os guggolás mélységen értékeltük. A guggolás mélységhez kötött valgus helyzet értékelés lehetővé teszi az egyes alanyok összehasonlítását, valamint alsó végtagi sérülési rizikó szempontjából kockázati csoportba való sorolását. A sportéletben a keresztszalag sérülések legnagyobb része terhelés során, valgus helyzetben történik, így ennek a helytelen pozíciónak a korrekciója a sportfelkészítés lényegi részét kell, hogy képezze. Eszközünkkel olyan szűrővizsgálati protokoll kidolgozása a cél, amellyel időben hatékonyan mérhetővé válik az alsó végtagi sérülési kockázat mértéke, mely ezt követően a sportszakemberek számára kezelhetővé, korrigálhatóvá válik. A Kinect Azure kamera a mozgásminta szűrés terén hatékony eszköz lehet a prevenció és rehabilitáció folyamatában. Olcsó, könnyen használható, egyszerűen szállítható eszközként az edzőtermek állandó kellékeként funkcionálhat.

## BIRKÓZÓK MOZGÁSÁNAK KINEMATIKAI ELEMZÉSE

Manó Sándor<sup>1</sup>, Csámer Loránd<sup>1</sup>, Molnár Szabolcs<sup>1</sup>, Csernátony Zoltán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem ÁOK Ortopédiai Tanszék

---

### BEVEZETÉS

A United World Wrestling felkérésére a profi birkózókat érő biomechanikai hatásokat tanulmányoztuk az eddigieknél biztonságosabb birkózószőnyegek, illetve a rájuk vonatkozó követelményrendszer kidolgozása céljából.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A vizgálatsorozat alkalmával hétféle, két különböző szőnyegen, öt ismétléssel elvégzett mozgásforma felvétele és elemzése történt egy BTS Bioengineering Smart 400 hat infrakamerás mozgáselemző rendszerrel. A felvétel során kilenc marker került elhelyezésre a kitüntetett anatómiai pontokra. Az adatok elemzését a Smart Analyzer szoftverben és Excel segítségével végeztük. A szőnyegek összehasonlítása párosított T-próbával történt 5% szignifikanciaszinten.

### EREDMÉNYEK

A mért adatok alapján a két birkózószőnyegen mért gyorsulásértékek nem tértek el szignifikánsan egymástól. A legnagyobb gyorsulásértékeket a válldobásnál és a malom dobásnál mértük a lábszáron és a bokán, mintegy 14-16 g értékben. A gyorsulás mértékének sorrendje így alakult: fej, váll, csípő, lábszár, boka. Tehát lényegében felülről lefelé nőtt. A legérzékenyebb területet, a fejet érő legnagyobb gyorsulást a fejen átbillenés alkalmával tapasztaltuk, ami 5-6 g értékű volt. A sebességértékek szintén a lábszár és a boka esetén voltak a legmagasabbak, 7-8 m/s nagyságrendben.

### KÖVETKEZTETÉSEK

Sikerült egy olyan módszert kidolgozni, amelyet alkalmasnak tartunk a birkózók tipikus mozgáslatorainál az egyes testrészekre jellemző gyorsulások és becsapódási sebességek feltérképezésére. Az elvégzett konkrét mérések során megállapítottuk, hogy a két mért szőnyeg között nincs szignifikáns különbség a csillapítást illetően.

## BIOMECHANICAL COMPARISON OF ROOF STEP CUT TECHNIQUE AND RADOJEVIĆ TECHNIQUE FOR DYSPLASTIC ACETABULAR ROOF RECONSTRUCTION

Lei Zhang<sup>1</sup>, Sándor Manó<sup>1</sup>, János Szabó<sup>1</sup>, Zoltán Csernátony<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem Biomechanikai Laboratórium

---

### BACKGROUND

For hip dysplastic arthroplasty, it is more widely agreed that the cup should be put into the primary rotational center of the acetabulum. Based on this we have developed the Roof Step Cut technique which the acetabulum roof defect is fixed with an L-shaped autologous graft. Since the similar graft was also reported by Radojević before, aim of this study is to compare the biomechanical characteristics of these two techniques.

### METHODS

The study is divided into three parts: (1) Cadaver test. 10 models according to both techniques were prepared in the biomechanical laboratory of our university. Cranial force was applied on the grafts and the force required to drive 1.0 mm displacement was recorded by Instron 8874 system. (2) Stress distribution study. Vertical load (0-200N) was applied to the top border of each plexiglass model, through polarized light the fringe patterns which represented the stress distribution was observed by naked eye. (3) Finite element analysis. Subject-specific dysplastic hip was generated based on CT scan and finite element models were developed based on the two techniques. The total deformation and equivalent stress of the screws were compared under the same load.

### RESULTS

To produce 1.0 mm displacement of the graft, the mean compression force of the Radojević's technique was  $529.2 \pm 234.6$  N, and for Roof Step Cut technique it was  $419.0 \pm 69.13$  N ( $P=0.347$ ). The plexiglass models showed in Radojević's technique much more dense fringe patterns were observed at all contact areas, indicating more stress distribution. Finite element analysis showed that during the loading process, even though the RSC model generated more deformation, the stress level was much lower. The Radojević's model behaved very rigidly, the stress increase characteristic and its location on the screw showed potential problem for future stability.

### CONCLUSIONS

The Roof Step Cut technique showed more biomechanical advantages than Radojević's technique. With less stress between the graft and host bone, as well as on the screw, it may favor the general stability in the long run.

## TITÁN IMPLANTÁTUMOKBAN ALKALMAZANDÓ KÜLÖNBÖZŐ RÁCSALAKOK CSONTBENÖVÉSÉNEK VIZSGÁLATA PUSH-OUT TESZTEKKEL

Csámer Loránd<sup>1</sup>, Manó Sándor<sup>1</sup>, Kovács Ágnes Éva<sup>1</sup>, Csernátóy Zoltán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem ÁOK Ortopédiai Tanszék

### BEVEZETÉS

Egy konzorciumi GINOP pályázati projektnek köszönhetően a Debreceni Egyetem Ortopédiai Tanszékének közreműködésével hamarosan megteremtődnek egyedi titán implantátumok előállításának feltételei. Ennek egyik fontos eleme az implantátumnak a csonttal érintkező rácsos szerkezete. Kísérleteink során hat különböző alakú rácsos szerkezetet vizsgáltunk a csontbenövés mértéke szempontjából.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A kapcsolódó állatkísérletek során 15 juh 30 femur condylusába egyenként három, összesen 90 darab hengeres geometriájú implantátum került beültetésre egy-egy erre a célra készített furatba. A három hengeres implantátum közül két különböző rácsos szerkezetű és egy tömör volt. Az alkalmazott rács típusok 0,6 mm-es pórus- és 0,2 mm-es gerendaméret mellett a következők voltak: giroid, kocka, henger, tetraéder, kettős piramis, voronoi. A 15 állatot három csoportra osztottuk a leölések ideje alapján. Az első csoport 4, a második 8, a harmadik pedig 12 héttel a beültetést követően lett terminálva, majd a femur condylust eltávolították implantátumokkal együtt. A csontbenövés megítélésére az eltávolított femur condylusok egyik felét push-out teszteknek vetettük alá, a másik fele pedig hosszanti metszetek kialakításával szövettani feldolgozásra került.

A push-out tesztek végrehajtása során arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a különböző rács szerkezetű implantátumok milyen erő hatására tolhatók ki az eredeti helyükről. Hipotézisünk szerint minél nagyobb a kitoláshoz szükséges erő, annál nagyobbak feltételezhető a csontbenövés mértéke. A tesztek végrehajtása során egy acél tárcsával megtámasztottuk az implantátum feje körüli területet, és az implantátum másik végét Instron 8874 típusú anyagvizsgáló berendezés segítségével egy hengeres rúddal 50 mm/perc sebességgel kitoltuk, miközben regisztráltuk az ehhez szükséges erőt.

### EREDMÉNYEK

A 4. hét után eltávolított implantátumoknál a kitolási erő jelentősen elmaradt, mintegy harmada a 8. és a 12. héten mért értékekhez képest (átlag: 488 N). A 8. és 12. héten mért értékek között nem volt már ekkora különbség (1650 és 1310 N). Az egyes rács típusoknál azonban számottevő különbségek adódtak, az átlagos kitolási erő alapján a növekvő sorrend a következőképpen alakult: tetraéder, voronoi, kettős piramis, giroid, kocka, henger.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A push-out tesztek során megállapítottuk, hogy a csontbenövés mértéke a fenti konstellációban a 4. héten még nem jelentős, de a 8. hetet követően már nem javul. Ugyanakkor számottevő eltérések mutatkoztak az egyes rács típusok esetén, melyek közül a szabályos kocka és henger alakú rácsnál mutatkozott a legjelentősebbnek a csontbenövés mértéke, így ezek alkalmazása javasolt a későbbiekben.

---

## SCOLIOSIS KLASSZIFIKÁCIÓ SZEMLELTETÉSE 3D NYOMTATÁSSAL ELŐÁLLÍTOTT MODELLGYŰJTEMÉNNYEL

Kovács Ágnes Éva<sup>1</sup>, Manó Sándor<sup>1</sup>, Csámer Loránd<sup>1</sup>, Somoskeőy Szabolcs<sup>2</sup>, Csernátony Zoltán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Debreceni Egyetem ÁOK Ortopédiai Tanszék

<sup>2</sup> Pécsi Tudományegyetem ÁOK Ortopédiai Klinika

---

## BEVEZETÉS

A 3D nyomtatás az új digitális technológiákhoz tartozik, de ma már rengeteg felhasználási területe létezik. Felhasználási területei között a mozgásszervi sebészetben is fontos, hogy a módszer az egyedi igényeket is ki tudja szolgálni. A módszer ezen előnyét kihasználva munkánk során Lawrence Lenke által kidolgozott scoliosis klasszifikáció 3D nyomtatással való modellezését tűztük ki célul.

## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A modellgyűjtemény létrehozása a Pécsi Tudományegyetemen üzemelő EOS röntgenberendezéssel készült 3D csigolya- és medencemodellek adatain alapult. A berendezés saját szoftverével (SterEOS programcsomag) exportált adatokat a Materialise 3-matic Medical segítségével feldolgozva az Autodesk Inventor Professional rendszerrel történt a porckorongok szerkesztése, majd ismét a 3-matic képességeit kihasználva készült el a 3D nyomtatáshoz szükséges fájlformátum. A folyamat utolsó lépése a modellek nyomtatása és egy fali tartóban való összerendezése volt. A modellek a Polyjet technológiával dolgozó Stratasys Connex 260 3D nyomtatóval állítottuk elő, amely lehetővé tette, hogy a csontok és a porckorongok különböző színű és különböző keménységű anyagként jelenjenek meg.

## EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

A Debreceni Egyetem Biomechanikai Laboratóriumában egy példányban elkészült a Lenke-féle scoliosis klasszifikáció kézzel fogható modellekből álló gyűjteménye, amely mind a kezelőorvosok, mind az orvostanhallgatók, mind a betegek számára rendkívül hasznos és hiánypótló is egyben. Kiemelt jelentőségét látjuk a gerincferdülés, mint térbeli elváltozás megértése szempontjából.

---

Laboratóriumunkban a fentiekhez hasonló módon, különböző más területeket érintő elváltozásokat szemléltető további anatómiai modellsorozatok létrehozásán is dolgozunk, melyek közül a boka deformációit szemléltető modellsorozat már elkészült, a Paprosky-féle csípőízületi vápade-fektus klasszifikáció pedig megvalósítás alatt van.

## EGYEDI 3D MODELLEK ELŐÁLLÍTÁSA CT FELVÉTELEK ALAPJÁN

Soósné Horváth Hajnalka<sup>1</sup>, Manó Sándor<sup>1</sup>, Csernátony Zoltán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Debreceni Egyetem ÁOK Ortopédiai Tanszék

### BEVEZETÉS

A Debreceni Egyetem Ortopédiai Tanszék Biomechanikai Laboratóriumában több mint 15 éve foglalkozunk anatómiai 3D modellek CT felvételek alapján történő rekonstrukciójával. A folyamat a szoftveres környezettől is nagyban függ, azonban számos problémával találkozhatunk, amely megnehezíti a feldolgoást.

### ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Laboratóriumunk kezdetben a Materialise Mimics 10.1 verzióját használta a CT felvételek DICOM fájljai alapján történő rekonstrukcióra, de 2018-ban a Mimics Innovation Suite újításait és új funkcióit is használatba vettük.

Az előadás alkalmával medence és boka modellek példáján keresztül szeretnénk bemutatni a folyamatot, hogyan valósul meg egy letisztult 3D modell megalkotása a CT felvételek nyers adataiból kiindulva. A folyamat lépéseinek bemutatása mellett a modellalkotást nehezítő problémákra is szeretnénk rávilágítani, és megoldási módszereket kínálni.

### EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

Az egyedi anatómiai 3D modellek elkészítése során elengedhetetlen a valós struktúrákról készült digitális adatsorozat, amely mozgásszervek, csontok esetén tipikusan a CT felvételt jelenti. A nyers DICOM adatok feldolgozásához azonban a legtöbb esetben a megfelelő szoftveren túl elegendő gyakorlatra is szükség van.