

Zárójelentés

a 2004. január 1. - 2008. november 30. között végzett munkáról

Nyilvántartási szám: T-046755

Cím: A lumbális gerinc kísérleti és numerikus biomechanikai vizsgálata

Témavezető: Kurutzné Kovács Márta

Futamidő: 2004. január 1. - 2008. november 30.

A zárójelentés a szerződésben rögzített kutatási munkaterv alapján készült, hivatkozva a tervezett kutatás ott megadott négy fő témakörére, az elért eredményekre és a résztvevő személyekre.

Az elvégzett munka

I. A gerinc-szegmentumok 3D végeselemes számítása finomított numerikus modell alapján. A nyújtási terápia numerikus szimulációja, paraméter-identifikáció, publikációk készítése.

Altémavezető: Kurutzné Kovács Márta

Résztvevők: Tornyos Árpád, Szabadszállási Tibor, Oroszvály László, Pezer Ferenc

A kutatás célja:

A komplex gerinc-kutatási munkának ez a része a korábbi kísérleti kutatások eredményeire épült. Célja a konzervatív gerinc-terápiák eredményességének és hatékonyságának fokozása volt, a lumbális gerinc-szegmentumok kísérlettel meghatározott globális mechanikai jellemzőinek birtokában a szegmentumot alkotó egyes szervek (csigolyatest, porckorong, szalagok) húzási lokális mechanikai jellemzőinek közelítő meghatározása és a nyújtási terápia numerikus szimulációja.

Az elvégzett munka rövid összefoglalása:

Elkészítettük a lumbális gerinc-szegmentumok végeselemes modelljét, és

1. az általunk korábban meghatározott in vivo megnyúlásokat felhasználva paraméter-identifikációs számításokat végeztünk a porckorong annulusa húzási rugalmassági modulusának megállapítására;
2. felépítettük a funkcionális gerincegység (FSU) nemlineáris, nemsima, egyoldalú kapcsolatokat tartalmazó finomított modelljét;
3. elvégeztük a szegmentum és a porckorong degenerációjának numerikus modellezését is;
4. elvégeztük a finomított végeselem-modell validálását;
5. elemeztük a nyújtási terápia hatását numerikus szimulációval az egészséges és degenerált szegmentumon, végül

6. elvégeztük a gerinc stabilitásvizsgálatának katasztrófaelméleti modellezését is.

Részletes összefoglalás:

1. A *paraméter-identifikációnál* a szegmentum in vivo mért globális megnyúlásait alapulvéve közelítőleg meghatároztuk a porckorong annulusának húzási anyagállandóit a nemek és az életkor függvényében. A korábbiakban ugyanis megállapítottuk, hogy a szegmentumok megnyúlásai az annulus rugalmassági modulusától függenek elsősorban. A paraméter identifikációnál a szakirodalomból vett anyagállandók mellett az annulus húzási modulusát változtattuk, azt vizsgálva, hogy mely modulus mellett keletkeznek az in vivo mérésekkel nyert értékekkel azonos megnyúlások a szegmentumokban. A későbbiekben a porckorong degenerációjának modellezésénél és súlyfürdő hatásának numerikus szimulációjánál ezeket a húzási modulusokat használtuk.

2. A szegmentum, azaz a *funkcionális gerincegység (FSU) finomított modelljének megalkotásánál* a szegmentum nemlineáris tulajdonságait, anyagi és kapcsolati nemsima viselkedését vettük figyelembe. Az anyagi nemsima jelleget egyrészt a gerinc-szalagok képviselik, amelyek csak húzásra dolgoznak, másrészt a porckorongot alkotó ferde anizotrop rétegek, amelyek bizonyos igénybevételnél csak részlegesen dolgoznak. Ugyancsak nemsima a porckorong húzásra és nyomásra eltérő viselkedése is. A kapcsolati nemsima jelleget elsősorban a kisízületeknél fellépő egyoldalú érintkezés, valamint a csigolyatest és a szalagok, továbbá a csigolyatest és a porckorong közötti teljes tapadás, vagy részleges, illetve szabad érintkezés jelenti. Kompozit, szálerősítéses anyagként kezeltük a porckorongok annulusát, és az egészséges nucleusban folyadékszerű viselkedést, hidrosztatikus nyomást tételeztünk fel. A korábbi kísérleteink során mért idő-függő megnyúlások alapján megalkottuk a szegmentumok viszkoelasztikus nyújtási modelljét is, és meghatároztuk a kezdeti rugalmassági modulusokat, valamint a csillapítási tényezőket az életkor és a nemek függvényében. Előállítottuk az egyes szegmentum-modellek kúszási függvényeit is.

A szegmentum finomított nemsima modelljének két- és háromdimenziós változatát készítettük el.

A 2D vizsgálat célja egy olyan egyszerű síkbeli végeelem modell kialakítása volt, amely lehetővé tette a gerinc-szegmentum fiziológiai, degenerációs és különböző terápiás igénybevételei során tanúsított mechanikai viselkedésének egyszerű numerikus szimulációját. Az e modellel végzett parametrikus vizsgálat célja egyrészt a gerinc-szegmentum alkotóelemei szilárdsági és kapcsolati tulajdonságainak az egész szegmentum viselkedésére gyakorolt hatásának elemzése, másrészt a 3D modell eredményeinek az ellenőrzése volt. A gerinc-szegmentum szimmetrikus szerkezet, így a 2D geometriai modellt a gerinc-szegmentum szimmetriasíkjának metszetében vettük fel. Az egyes alkotórészek mechanikai tulajdonságait egyrészt az irodalomban közölt eredmények, másrészt a saját mérési eredményeink alapján vettük fel. A számításokhoz a FEMLAB-MATLAB programrendszert alkalmaztuk.

A 3D modellnél a szegmentumot összességében egy nemlineáris, inhomogén, anizotróp, viszkózus szerkezetként modelleztük. Kiemelten kezeltük a porckorong végeelem-modelljének felépítését. Az annulus gyűrűs rétegeinek modellezésénél egyrészt a rétegeket anizotrop testként modelleztük, mintegy elosztva a rétegekben levő szálerősítés hatását, másrészt a szálerősítést és az azt hordozó rétegeket külön elemként vettük figyelembe. A porckorong belső magját összenyomhatatlan testként kezeltük. A teljes gerinc-szegmentum modellezésére test-, héj- és rúdelemeket használtunk, hozzájuk

rendelve a megfelelő anyagi tulajdonságokat, részben a szakirodalomra, és részben a saját korábbi mérési eredményeinkre támaszkodva. A numerikus modellhez és a számításokhoz az ANSYS végeselemes programrendszert használtuk fel.

3. A *porckorong és a szegmentum degenerációjának* kétféle típusát modelleztük: egyrészt az öregedéssel járó hosszú idő alatt lejátszódó degenerációt, másrészt a túlterhelésből eredő hirtelen károsodást vizsgáltuk. A lassú öregedési károsodás folyamatát a porckorong nucleusában fokozatosan megszűnő hidrosztatikus feszültségi állapot, a nucleus fokozatos szilárdulása és térfogatcsökkenése jelzi. Ezt a nucleus Poisson-tényezőjének fokozatos csökkenésével és a rugalmassági modulusának fokozatos növekedésével modelleztük. Egyidejűleg az annulus mátrixrugalmassági modulusát is növeltük, és a csigolyák szivacsos csontállományának rugalmassági modulusát csökkentettük. A hirtelen túlterhelésből fakadó károsodást a nucleus hidrosztatikus nyomásának hirtelen megszűnése, a Poisson-tényező hirtelen csökkenése modellezi a nucleus szilárdulása nélkül. Ezeket a károsodási folyamatokat numerikusan is szimuláltuk.

4. A *finomított végeselem-modell validálását* mind nyomásra, mind húzásra vonatkozó anyagállandók mellett elvégeztük. A 3D végeselemes szegmentum-modell validálását nyomásra a szakirodalomban található feszültség-profilometriás kísérletekkel való összehasonlítás adta. Az ott megadott nyomási terhet alkalmazva meghatároztuk a mindhárom irányú feszültségek eloszlását a porckorong középső vízszintes szagittális metszetében, és ezt összehasonlítottuk a szakirodalmi adatokkal. Megfelelő egyezést kaptunk a kísérleti eredményekkel mind az egészséges, mind a degenerált porckorong esetén a feszültség-eloszlási ábráknál. A modell húzásra történő validálásánál a terheket és az életkori sajátosságokat figyelembe véve a megnyúlásokat a saját kísérleteinnél mért megnyúlásokkal hasonlítottuk össze. Itt is megfelelő egyezést kaptunk. Az így validált modellen végeztük el a nyújtási terápia numerikus szimulálását.

5. Mind a 2D, mind a 3D modellnél a numerikus szimulációval a szegmentumot alkotó különböző szervekben keletkező különböző irányú feszültségek eloszlását és az elmozdulások változását elemeztük élettani nyomásnál és nyújtási terápiában, egészséges és degenerált szegmentumon. Vizsgáltuk a porckorong degenerációs folyamatainak kialakulását, mechanikai okait, a degeneráció hatását, a porckorongsérv kialakulását befolyásoló mechanikai hatásokat és a vízi nyújtás hatását.

Megállapítottuk, hogy mindkét végeselemes modell alkalmas arra, hogy a porckorongban zajló mechanikai folyamatokat, a degenerációs feszültségátrendeződést kövesse, de a 3D modell lényegesen pontosabban követi a szegmentumban lejároló mechanikai változásokat. Megállapítottuk, hogy a degenerációs folyamatokat a szegmentumban elsősorban a porckorong károsodása idézi elő. Kimutattuk a nucleusban a hidrosztatikus nyomás fokozatos megszűnését és az annulusban fellépő feszültségcsúcsok megjelenését, amelyek a porckorongsérv előidézői. Kimutattuk, hogy már a súly nélküli nyújtás is nagyon hatásos a dekompressziós tehermentesülés következtében. Ezért az úszás is nagyon előnyös, de ott jelentős izomerők is fellépnek a nyújtás ellen. A súlyfürdőnél az izomerők hatása az elernyedő állapot miatt nem érvényesül, de egy részüket a dekompressziós erőbe be kell számítani. Az aktív nyújtás jelentős tehermentesítést jelent a csigolyák véglemezeire is: károsodott véglemeznél csökkenti a feszültségcsúcsokat. Ugyanakkor kimutattuk azt is, hogy az aktív nyújtásból

származó megnyúlások jelentősek lehetnek, ezért a többletsúlyok alkalmazásával csínján kell bánni.

6. A *gerincoszlop katasztrófaelméleti legegyszerűbb stabilitásvizsgálati* modelljét rúgókkal (porckorong) kapcsolt merev elemekből (csigolyák) álló rúdláncként kezeltük. A rúdlánc (legkisebb) kritikus terhelésének meghatározása után megvizsgáltuk a modell kritikus pont körüli viselkedésének jellegét tökéletes és tökéletlen szerkezetnél. A tökéletlenséget a modell függőlegeshez viszonyított dőlése, továbbá az összenyomó erő excentricitása valamint ferdesége jelentette. A számítások során meghatároztuk a modell egyensúlyi útjait, és a tökéletlenség-érzékenységet. A közelítés jellegéből adódóan a kritikus pont körüli viselkedést így pillangókatasztrófa írta le.

II. Digitális képfeldolgozási eljárás kidolgozása csontszerkezetek orvosi képkalkotó eljárással nyert (CT, MR vagy UH) felvételeinek kiértékelésére.

Altémavezető: Kurutzné Kovács Márta

Résztvevők: Fornet Béla, , Gálos Miklós, Varga Péter, Barsi Árpád

A kutatás célja:

A komplex gerinc-kutatási munkának ez a része ugyancsak korábbi kísérleti kutatási előzményekre épül, és egy kutatási folyamat része. Célja volt, hogy a lumbális gerinc-csigolyák orvosi képkalkotó eljárásokkal nyert felvételeiből az osteoporotikus törési kockázat mérlegelhető legyen, olyan digitális képelemzéssel kombinált eljárás kidolgozása, amelynek segítségével a CT, MR vagy UH felvételekből a csontszerkezeti architektúra jellemzőivel összevetve a mechanikai csontszilárdságra és az osteoporotikus csigolyák várható teherbírására lehessen következtetni.

Az elvégzett munka rövid összefoglalása:

Elvégeztük

1. erősen osteoporotikus csigolyák csontszerkezetének kvantitív morfológiai jellemzését CT képek elemzése alapján,
2. előállítottuk ezen csigolyák végeeselemes modelljét CT adatbázis alapján, valamint
3. összevetettük a morfológiai mérőszámokat a szilárdságmérés eredményeivel,
4. mindezeket regionális vizsgálat alapján, a csigolyák öt magassági metszetére, továbbá
5. újabb 160 lumbális csigolyán elkezdtük a komplex biomechanikai vizsgálatok előkészítését az egészséges és osteoporotikus viselkedés összehasonlítása céljából.

Részletes összefoglalás:

1. A *csontszerkezeti morfometria* terén a képfeldolgozást a CT felvételeken végeztük el, mivel azok minősége mutatkozott erre a legalkalmasabbnak. A CT képek (akár képként, akár DICOM formátumú adatként) betölthetők, majd megfelelő méretarány- és színmélység-illesztések elvégzésével egy közös adatbázisban azonos szempontok szerint értékelhető. A vizsgálandó terület, a trabeculáris csonttartomány kijelölése után egy megadott HU szám alatti intenzitású adatpontokat eldobva a létrejött adathalmazban

elkülöníthetők a csontszerkezet tartományai mint összefüggő területek. (A HU szám a csontsűrűségi intenzitás, amely a CT adatbázis képein fényintenzitásként jelenik meg.) Ezután számíthatók a csonttartományok irodalomban általánosan használt morfológiai mérőszámai.

2. A *CT adatbázisú végeselemes modellezés* területén a végeselemes geometriai modell megalkotására kétféle módszert alkalmaztunk. Az egyik módszer szerint a program elkészíti a kijelölt térfogat határát, mint egy zárt felületet, amely a végeselemes programrendszerekbe beolvasható, majd ennek alapján a további szükséges műveletek (elemfelosztás, számítások) elvégezhetők. A másik lehetőség az úgynevezett 'voxel-model' generálása volt, ahol a CT adatbázis elemi térfogatelemeit direkt módon konvertáljuk hasáb-végeselemekké. Mindkét megoldásnál lehetőség van az anyagi paraméterek egyidejű definiálásával inhomogén modell létrehozására. Ez az eljárás is a CT intenzításra, azaz a HU értékekre épül.

3. A *CT-felvételek alapján meghatározott morfológiai adatokat összevetettük a mechanikai szilárdságmérés eredményeivel*, és összefüggést állítottunk elő, valamint korrelációt számítottunk a morfológiai jellemzők és a határfeszültség, a rugalmassági modulus, az alakváltozás-képesség, a duktilitás, valamint az energiaelnyelő képesség között. E mechanikai jellemzőknek fontos szerepe van az osteoporotikus törések, sérülések súlyossága és következményei területén.

4. Minthogy a csigolyák belső szerkezete rétegenként eltér egymástól, vagyis az alsó és felső réteg tömörebb, míg a középső réteg üregebb, és ezért a porotikus törések rendszerint itt, centrálisan következnek be, így a fenti *korreláció-elemzést a csigolyákra regionálisan is elvégeztük*. A csigolyák magassága mentén öt réteget különböztettünk meg: az alsó, felső és középső, valamint az ezek közötti átmenti rétegeket vizsgáltuk, mindezeket a nemek szerinti megkülönböztetésben.

5. Annak érdekében, hogy a vizsgáló orvos a CT-felvételek birtokában rövid úton képet kaphasson a beteg osteoporotikus csigolyáinak teherbírásáról és törési kockázatáról, szükséges, hogy az eddigi vizsgálatainkat, amelyek erősen osteoporotikus csigolyákra vonatkoztak, kiterjesszük egészséges csigolyákra is. Ezekre vonatkozóan tervezzük histológiai vizsgálat beiktatását is, amely jelentősen kiterjesztené a lehetséges következtetéseket. Ez a kutatás azonban mind az időigényét, mind az anyagiakat, mind a várható eredményeket tekintve túlmutat a jelenlegi pályázat keretein. Eddig 160 cadaver csigolya került elkülönítésre, egy részükről már elkészültek a CT-felvételek és a densitometria. Ezt a kutatást a 2008. októberében kezdődött újabb OTKA pályázatunk keretében folytatjuk.

6. Tapasztalataink és eredményeink alapján a végeselemes számításoknak a csontszerkezeti vizsgálatoknál is kiemelt fontossága van. Ezt az alábbiak támasztják alá: (a) A klinikai CT berendezések felbontása (0.5-0.3 mm) nem teszi lehetővé a csont 0.1-0.2 mm-es jellemző méretű szivacsos állományának kellően pontos feltérképezését. Így az általunk számított mennyiségek csupán relatív – az egyes csigolyák közötti – összehasonlításra alkalmasak. (b) A vonatkozó szakirodalom alapján elmondható, hogy a morfológiai mérőszámok és a csont törőszilárdsága közötti korreláció mérsékelt. Ezt a mi eredményeink is alátámasztották. (c) A végeselemes modellek használatával – a módszer sajátosságaiból adódóan – csökkenthető a rendelkezésre álló korlátozott képi felbontás által okozott hiba. (d) Ezen modelleken végrehajtható a fizikailag elvégzett törőkísérlet virtuális mása, így a számított mennyiségek a nekik megfelelő jelentésű mért

eredményekkel hasonlíthatók össze, és a modellek paraméterei egyszerűbben kalibrálhatóak. (e) Ugyanezen okból a módszer jövőbeli – klinikai - alkalmazásánál is egyszerűbb lehet a fizikai jelentésű eredmények értelmezése (szilárdság, törőerő, stb.) és a személyre szabott törési valószínűség számítása (d) A módszer nagyfokú automatizálható, mely tovább segíti a mindennapok gyakorlatába való átültetést. (f) Az irodalom-kutatás alapján kijelenthető, hogy a végeselemes módszerek alkalmazása a biomechanikában elterjedt és elfogadott eljárás. Egyes források a legpontosabb törésrizikót előrejelző módszerként tartják számon.

III. A távtartók stabilizáló hatására vonatkozó in vitro kísérleti eredmények feldolgozása, publikációk készítése.

Altémavezető: Hoffer Zoltán,

Résztvevők: Szirtes Balázs, Berey Szilárd

A kutatás célja:

Az utóbbi két évtizedben számos degeneratív gerincbetegség műtéti kezelésében elterjedt műtéti módszerré vált a csigolyaközi fúzió technikája, melynek során az eltávolított porckorong helyére különböző kialakítású távtartót ültetnek be. A kutatás célja az elmúlt évek átfogó nemzetközi klinikai tapasztalatai ellenére még mindig meglévő nyitott kérdések megválaszolása a távtartók használatával kapcsolatban.

Az elvégzett munka rövid összefoglalása:

Az alábbi kérdésekre kerestünk a választ az elvégzett *in vitro* vizsgálataink során:

1. milyen azonnali háromdimenziós stabilizáló hatása van a távtartóknak közvetlenül a beültetés követően,
2. és van-e különbség az egyes távtartók eredményezte stabilitásban,
3. szükséges-e a távtartós rögzítés mellé kiegészítő implantátum,
4. egy kompressziós előterhelés hogyan befolyásolja a távtartók eredményezte stabilitást, továbbá
5. mi történik a távtartókkal, ha ciklikus axiális terhelésnek tesszük ki őket, végül
6. mekkora stabilizáló szerepe van az elülső hosszanti szalagnak a távtartós rögzítésnél.

Részletes összefoglalás:

Kísérleteinkhez holttestekből származó lumbális gerinc szegmentumot használtunk. Összehasonlító vizsgálatunkhoz több csigolyaközi távtartó típust használtunk. A BAK implantátumok lyukacsos, kívülről menetekkel ellátott titánium hengerek, amelyekből bilaterálisan, egymással párhuzamosan kettő helyezendő be a csigolyák közé úgy, hogy azok menetei mind az alsó, mind a felső porcos véglemezt átvágva a csontos véglemez és a spongiosa határán rögzülnek. A SynCage implantátumok lyukacsos titánium blokkok a csigolyaközi rés alakjának megfelelően kialakított formával, felszínükön éles

fogacskákkal, amelyek a csontos véglemmezhez való rögzülést biztosítják. Ezekből egyet ültetünk be centrálisan a porckorong helyére.

A szegmentumokon többirányú hajlítási tesztet végeztünk a kísérletekben meghatározott céloknak megfelelően. A teszteléshez egy speciálisan erre a célra kifejlesztett berendezést használtunk. Az alsó csigolyatestet magába foglaló PMMA blokkot fixen rögzítettük a berendezés platójához, míg hozzá képest a felső szabadon elmozdulhatott. A felső csigolyatestet magába foglaló PMMA blokkot ezután ismert forgatónyomatékoknak tettük ki, és közben mértük a csigolyák egymáshoz viszonyított elmozdulását. Minden tesztelési folyamat során ismert, tiszta forgatónyomatékokat alkalmaztunk a fiziológiai mozgásokra megfelelően (előre-hátra és oldalra hajlás, csavarodás). A felső csigolyának, mint merev testnek az alsó csigolyához viszonyított, a terhelés hatására bekövetkező elmozdulását egy optoelektronikus nyomkövető rendszer segítségével mértük. Két mozgási paramétert vizsgáltunk, a neutrális zónát és a mozgásterjedelmet.

Az elvégzett mérések eredményeit feldolgozva, illetve azokat a vonatkozó publikációkkal összevetve számos következtetést vontunk le.

1. A távtartók általában jó azonnali stabilitást eredményeznek előre- és oldalhajlásban, kevésbé eredményesek elcsavarodásban, hátrahajlásban pedig inkább növelik, mint csökkentik a szegmentum mozgástartományát a beültetés után. Ez utóbbi feltehetőleg a műtét következménye, ami a kisízületi felszínek egymástól való eltávolodásával jár.

2. Általában elmondható, hogy a távtartók kialakítása szignifikánsan nem befolyásolja azok azonnali háromdimenziós stabilizáló hatását.

3. Kimutattuk, hogy ha a távtartó beültetés mellett valamilyen kiegészítő hátulsó rögzítést is alkalmazunk, akkor azonnali 3D stabilitást lehet elérni még hátrahajlásban és elcsavarodásban is.

4. Azt is megállapítottuk, hogy ha szimuláljuk a kompressziós előterhelést, amely a kétlábos járásból adódó gravitáció során minden beültetett implantátumra természetesen hat, akkor az implantátumok stabilizáló potenciálja kisebbnek bizonyul, mintha ezen körülményt *in vitro* vizsgálataink során figyelmen kívül hagynánk.

5. Nem utolsó sorban az is megállapítást nyert, hogy ha a távtartó beültetése után a mintadarabot ciklikus axiális terhelésnek tesszük ki, ezzel szimulálva a beteg mindennapi posztoperatív aktivitását, akkor szignifikánsan csökken az implantátumok stabilizáló hatása, ami valószínűleg a távtartók véglemmezbe való besüllyedésének a következménye.

6. Mint a korábbiakban hangsúlyoztuk, a vizsgálati eredményeink azt mutatták, hogy az önállóan – hátulsó rögzítés nélkül – alkalmazott távtartó nem képes megfelelően azonnali stabilitást biztosítani hátrahajlásban és gerinc körüli elcsavarodásban. Ennek oka, hogy egyrészt a szegmentum megterpesztésével a kisízületi nyúlványok eltávolodnak egymástól, így azok között hátrahajlás és elcsavarodás irányában nagyobb elmozdulások jöhetnek létre, másrészt az elülső beültetés során károsítjuk az elülső hosszanti szalagot és az elülső annularis rostozatot, amely szintén fontos fiziológias stabilizáló eleme lehet a szegmentumnak. Ezért a kísérletsorozat utolsó fázisában arra kerestük a választ, hogy vajon ha az implantátumot nem direkt előlről, hanem anterolateralis megközelítésből ültetjük be, amely során a fenti anatómiai struktúrák épségét megőrizzük, hogyan változnak a stabilizált szegmentum mozgásai e két kérdéses

irányban. A mérési eredmények azt igazolták, hogy nincs szignifikáns különbség a két különböző beültetési metódus során. Ebből tehát azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az elülső hosszanti szalag stabilizáló szerepe nem túl hangsúlyos. Ahhoz tehát, hogy minden mozgási irányban megfelelő primer stabilitás éadjunk el, kiegészítő hátulso fixáció szükséges.

IV. A távtartóval stabilizált gerinc működésének in vivo laboratóriumi mozgáselemzése, publikációk készítése.

Altémavezető: Kiss Rita

Résztvevők: Hoffer Zoltán, Szirtes Balázs, Berey Szilárd, Kurutzné Kovács Márta, Zsidai Attila, Pezer Ferenc

A kutatás célja:

A műtéti gerinc-stabilizálás alapvető célja, hogy a kiváltott gerinc-szakasz minél jobban megközelítse a fiziológias viselkedést, és ez az ideális állapot minél hosszabb ideig álljon fenn. Cél a gerinc műtéti stabilizálását követő működőképességében fontos szerepet játszó műtéti technika és rehabilitációs folyamat hatékonyságának emelése volt. A csigolyaközi fúzió távtartóval megoldott műtéti eljárása előtt és a rehabilitációs folyamat során több alkalommal laboratóriumi körülmények között, in vivo mozgáselemzés útján vizsgáltuk a betegek gerincének mozgásképeségét, az egészséges gerinc mozgásával való összehasonlításban.

Az elvégzett munka összefoglalása:

Az irodalomkutatást kiterjesztettük a gerinc műtéti stabilizálása hatásának a vizsgálatára a gerinc alakja, mozgása, a gerinc mozgását létrehozó izmok aktivitása, illetve a propiocepció (izmok beidegződése) vonatkozásaira. Az irodalom-kutatás alapján összeállítottuk a részletes kutatási tervet, kijelöltük a vizsgáló módszereket, a számítandó paramétereket, elkészítettük és beadtuk az etikai bizottság számára a (TuKEB) kutatási tervet, amelyre az engedélyt megkaptuk. A távtartóval stabilizált gerinc kísérleti vizsgálatát az alábbi területeken végeztük: mozgásvizsgálatok, a talajreakció függőleges komponensének mérése, valamint a propiocepció követése az izomaktivitás méréseivel.

Eredeti terveink alapján a méréseket a BME Biomechanikai Laboratóriumában az ott telepített Zebris ultrahang-alapú rendszerrel és az ahhoz csatlakozó feldolgozó programokkal kívántuk elvégezni. Időközben azonban a laboratórium és az ahhoz csatlakozó tanszék vezetése a laboratóriumban a betegek mérését megszüntette az eszközök nagyfokú elhasználódása, valamint a nem megfelelő infrastruktúra (öltöző, várakozó helyiség hiánya) miatt. A mérések elvégzéséhez tehát más helyszínt kellett keresnünk, amelynek érdekében több intézménnyel kezdtünk tárgyalásokat. A fentiek miatt a méréseket 2006. szeptemberétől a Szolnoki MÁV Kórház Biomechanikai Laboratóriumában és a SE Ortopédiai Klinika Mozgásvizsgáló Laboratóriumában végeztük.

Az eddig vizsgált csoport az alábbi összetételű volt: egészséges fiatal és egészséges idős személyek, nem-specializált derékfájós betegek, valamint több éve műtött fúzionált betegek. Méréseink az alábbiakra terjedtek ki: a gerinc alakjának felvétele egyenes

állásban, előre-hátrahajlásban, oldalhajlásban, a gerinc mozgástartományának felvétele, a talajreakció mérése, a hirtelen mozgással szembeni ellenállás mérése (propriocepció). Vizsgálatainkat Zebris ultrahang-alapú mozgásvizsgáló rendszerrel végeztük. Eddig az egészséges fiatal (19-35 év közötti), valamint az egészséges és beteg idős (64-76 év közötti) személyek csoportjának komplex mérését végeztük el. Megállapítottuk, hogy az egészséges fiatal személyek mérési paraméterei az irodalomban megadott értékekkel egyeznek, Idős betegek esetén szignifikáns különbség figyelhető meg a mozgástartományban. Az idős egészséges személyek a gerinc alakja következtében két csoportba sorolhatók. Az egyik csoportban a gerinc görbületei a fiatalokhoz képest megnövekedtek, a fejtartás előremozdult, a keresztcsont előrebillent. A másik csoport esetében a gerinc görbületei a fiatalokéval megegyeztek, de kismértékű előrebillent fejtartás itt is megfigyelhető, a változás azonban nem szignifikáns.

Fiatalok mérését kiterjesztettük általános iskolai egészséges (50 fő) és gyógytesznevelésben résztvevő hanyagtartású és gerincferdüléses (scoliosis) gyermekekre (96 fő). A méréseket a Szolnoki MÁV Kórház Biomechanikai Laboratóriumában végeztük. A kutatás célja egyrészt az egészséges kontrollcsoport adatbázisának összeállítása, másrészt több évig tartó utánkövetés alapmérésének elvégzése volt. Az egészséges gyermekek felmérése alapján megállapítottuk, hogy a fiatalkori háti khyphosis normál tartománya 30-60 fok, a lumbális lordosis normál tartománya 30-40 fok. Ezzel az ajánlással a GKE (Gerincutatók Tudományos Egyesülete) is egyetértett. A hanyagtartású gyermekek eredményei alapján megállapítottuk, hogy a vizsgált gyermekek 54%-ánál a görbületek a normális tartományba esnek, de a 17% esetében a megnövekedett háti khyphosishoz megnövekedett lumbális lordosis járult, míg 25% esetében a megnövekedett háti khyphosishoz ellaposodott lumbális lordosis járult. A hanyagtartású gyermekek 67% esetében a súlyvonal a függőlegessel több, mint 7° -ot zárt be. A scoliosis gyermekek eredményei esetén 65%-ban megnövekedett háti khyphosishoz megnövekedett lumbális lordosis járult, míg 14% esetében a megnövekedett háti khyphosishoz ellaposodott lumbális lordosis járult. A scoliosis gyermekek 71% esetében a súlyvonal a függőlegessel több, mint 7° -ot zárt be.

A Spinal Mouse hitelesítése, mérési módszertanának kidolgozása után a Nemzeti Gerincgyógyászati Központban a mindennapi gyakorlatban használják a rendszert. Jelenleg 46 egyszintes merev fúzióval műtött beteg korai (posztoperatív 1 évig) utánkövetése és 74 egyszintes merev fúzióval műtött beteg késői (posztoperatív 5-9 év) utánkövetése folyik. Az eredmények feldolgozásából látszik, hogy a fúzióval összekapcsolt szegmentumok merevek, a kapcsolódó szegmentumok túlmozgást (5°-13° között) mutatnak.

A fent részletezett négy kutatási területen elért eddigi eredményeinkről hazai és nemzetközi konferenciákon, valamint külföldi folyóiratcikkekben számoltunk be.

Publikációk

A kutatás eredményeiről 11 folyóiratcikk (8,38 impakt faktor), 8 könyvfejezet, 23 bírált konferenciacikk, 46 főként nemzetközi konferencia-előadás született.

A futamidő során beállt személyi változások

A kutatásból a futamidő alatt kiléptek:

Tornyos Árpád mérnök, a BME egyetemi adjunktusa 2005-ben távozott a BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszékről és egy szoftverfejlesztő cégnél vállalt állást, a kutatásban a továbbiakban nem állt módjában részt venni.

Szabadszállási Tibor mérnök, doktorandusz hallgató 2006-ban távozott a BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszékről, anyagi körülményeire hivatkozva doktoranduszi tanulmányait megszüntette, állást vállalt egy tervező mérnöki cégnél, a kutatásban a továbbiakban nem állt módjában részt venni.

Szirtes Balázs gerincsebész, doktorandusz hallgató, 2005-ben távozott a Nemzeti Gerincgyógyászati Központból és az országból, anyagi körülményeire hivatkozva. Doktoranduszi tanulmányait megszüntette, Németországban vállalt állást, oda költözött családjával együtt. A kutatásban a továbbiakban nem állt módjában részt venni.

Berey Szilárd gerincsebész, doktorandusz hallgató 2005-ben távozott a Nemzeti Gerincgyógyászati Központból és az országból, anyagi körülményeire hivatkozva. Doktoranduszi tanulmányait megszüntette, Angliában vállalt állást, oda költözött családjával együtt. A kutatásban a továbbiakban nem állt módjában részt venni.

Zsidai Attila mérnök, doktorandusz hallgató 2006-ban PhD fokozatot szerzett, ezután távozott a BME-ről, és ezt követően a kutatásban a továbbiakban nem állt módjában részt venni.

A kutatásba a futamidő alatt becsatlakoztak:

A kutatásban résztvevők listája 2005-ben kiegészült **Varga Péter**, a BME doktorandusz hallgatója személyével, akinek felvételére a szerződéskötést követően, 2005. júliusában került sor, Kurutzné Dr. Kovács Márta témavezetése mellett. Kutatási témája szorosan illeszkedik a pályázati kutatás témájához és célkitűzéseire: digitális csontszerkezeti analízissel foglalkozik.

A kutatásban résztvevők listája 2006-ban kiegészült **Bors István Béla**, a Nemzeti Gerincgyógyászati Központ gerincsebésze, a SOTE doktorandusz hallgatója személyével, aki a külföldre távozott kollégái helyére lépett.

A Spinal Mouse műszer 2007. évi beszerzése után a szükségessé vált gyógytornászok bevonása a kutatásba. Így került sor **Szatmári Dóra**, **Újkéry Noémi** és **Hatmat Péter** gyógytornászok részvételére.