

Az isthmicus spondylolisthesis biomechanikája

Ph.D. értekezés tézisei

Dr. Rajnics Péter

**Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar
Ortopédiai Klinika**

2003.

Az isthmicus spondylolisthesis biomechanikája

Ph.D. értekezés tézisei

Dr. Rajnics Péter

Programvezető: Prof. Dr. Róth Erzsébet
Témavezető: Prof. Dr. Bellyei Árpád
Tutor: Prof. Dr. Illés Tamás

Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar
Ortopédiai Klinika

2003.

Bevezetés

A gerincbetegségek előkelő helyet foglalnak el egy átlagos populáció betegség-előfordulási statisztikájában. A fiatalkori derékfájások között vezető szerepe van az isthmicus spondylolisthesisnek. E betegség kialakulásának megértéséhez a hagyományos kutatási területek, mint az anatómia, antropológia, radiológia elégtelennek bizonyultak, ezért egy új tudományág, a biomechanika módszerével kerestem a választ a betegség kialakulásának okára. Kilenc hónapos tanulmányúton vehettem részt a párizsi ENSAM Biomechanikai Laboratóriumban, ahol biomechanikai kutatásaim döntő többségét végeztem. Tudományos kutatásaim eredményeiről számolok be jelen doktori értekezésemben.

Dolgozatom első részében bemutatom a biomechanika vizsgáló módszereit, különös tekintettel a gerinc biomechanikai vizsgálataira, valamint az isthmicus spondylolisthesis klinikopatológiáját.

A vizsgálati részben bemutatásra kerül a spondylolisthesis állatkísérletes modellje, melynek segítségével arra kerestem a választ, vajon a pars interarticularis fáradásos törése önmagában elegendő-e a csigolya elcsúszás létrejöttéhez, illetve környezeti tényezők befolyásolják-e az elcsúszást. Biomechanikai vizsgálataimhoz nemzetközi kooperációban kifejlesztettünk egy software-t, mely alkalmas a gerinc sagittalis irányú görbületeinek vizsgálatára. E mérőmódszer validálását is ebben a részben ismertetem. Végül az isthmicus spondylolisthesis in vivo biomechanikai vizsgálatának eredményeit közlöm a vizsgálati rész végén.

I. Elméleti rész

I.1.A biomechanika vizsgáló módszerei

A biomechanika vizsgáló módszereit in vitro és in vivo metodikákra oszthatjuk. Az in vitro vizsgálatok általában anatómiai preparátumokon történnek. Az anatómiai preparátumok használata lehetővé teszi, hogy szimuláljuk az egyes implantátumok behelyezését, gépek segítségével szabályozottan létrehozott terhelés alatti viselkedésük megfigyelését kísérleti körülmények között. A gerincimplatatumok különféle in vitro biomechanikai vizsgálatában háromféle preparátum használata terjedt el:

A, Humán cadaver gerincszegmentum

B, Állati gerincszegmentum

C, Mesterséges (műanyag) gerincszegmentum

A gerincsebészetben a legfontosabb cél a gerinc instabilitásának megszüntetése. Ennek megfelelően a gerincimplantátumok in vitro vizsgálata a rögzítő eszközzel létrehozott blokk stabilitásának vizsgálatát jelenti az elmozdulás tanulmányozásával.

Az elmúlt 10 évben lezajlott informatikai forradalom lehetővé tette modellezés szintjén a kutatásokat, melyeknek csak a számítógépek kapacitása szab határt. A legjelentősebb fejlemény e téren a végeselem módszerek megjelenése, melyek finomítása még napjainkban is folyamatban van.

Az implantátumok in vivo vizsgálata sokkal realisabb képet ad ezek viselkedéséről, alkalmazási feltételeiről, mint az in vitro vizsgálatok. Az implantátumok in vivo vizsgálata beültetésük után történhet biomechanikai módszerekkel és klinikai utánkövetéssel. A teljesség igénye nélkül, in vivo biomechanikai vizsgálatok közé tartozik: a hagyományos (kétdimenziós) röntgen képalkotás, a háromdimenziós sztereoradiográfia, a kineradiográfia, a barycentremetria, a percutan biomechanikai mérések, a külső mérések, a fotográfia. A klinikai utánkövetéses tesztek fontos kiegészítői az előbbi metodikáknak, és valójában csak a kettő együttes alkalmazásával beszélhetünk valódi, globális in vivo biomechanikai mérésekről.

I.2. Az isthmicus spondylolisthesis

A spondylolisthesis első leírása F. L. Neugebauer varsói sebésztől származik (Neugebauer, 1882). A görög eredetű szóban a spondylo a gerincet, illetve a csigolyát jelenti, az olisthesis pedig a csigolyatest előrecsúszását az alatta levőn. Isthmicus spondylolisthesisben a primer defektus a felső és alsó processus articularisok közötti pars interarticularison vagy más néven isthmuson található (1.ábra).



1. ábra

Isthmicus spondylolisthesis

A defektust fáradásos törésnek tartják, mely e rész dysplasiaja miatt nem, vagy nehezen gyógyul. Az isthmicus spondylolisthesis fehérek között háromszor olyan gyakori (6%), mint feketékben (1,8%), genetikailag zárt közösségekben még ennél is nagyobb gyakorisággal fordul elő (pl. Eszkimók 27%) (Wiltse, 1975). Többféle etiológiai magyarázat született a pars interarticularis defektusának kialakulását illetően, de valódi, általánosan elfogadható magyarázat a kialakulásra és az elcsúszásra eddig nem adódott.

II. Vizsgálati rész

II.1. Bevezetés

Többféle teória létezik a spondylolisthesis kialakulását illetően, melyekről részletesen beszámolok dolgozatomban. Jelen tanulmányom célja az volt, hogy eddig nem vizsgált módon, biomechanikai módszerrel keressem a betegség kialakulásának okát.

II.1.1. Az isthmicus spondylolisthesis állatkísérletes vizsgálata

Az állatvilágban a spondylolisthesishez hasonló gerincbetegség nem fordul elő, ezért feltételezhetjük, hogy a két lábon való járáshoz szükséges felegyenesedett testtartás gerincére gyakorolt biomechanikai változásának, vagy az emberi csigolya szerkezeti sajátosságának lehet szerepe e betegség kialakulásában. Állatkísérletes vizsgálatomban arra kívántam tehát választ kapni, hogy a pars interarticularis fáradásos törése önmagában elegendő-e a csigolyaelcsúszás létrejöttéhez, illetve környezeti tényezők (fokozott, intenzív mozgás), vagy a fáradásos törés kapcsán kialakult instabilitás az idő múlásával vezet-e csigolya előrecsúszáshoz.

II.1.2. A gerinc sagittalis irányú röntgenfelvételeinek számítógépes elemzése

Általánosan elfogadott, hogy a gerinc sagittalis alakja fontos szerepet játszik számos gerincbetegség kialakulásában. Joggal merült fel, hogy a gerinc sagittalis alakja és a medence térbeli elhelyezkedése eltérő lehet spondylolisthesisben szenvedő betegekben és a normál populációban, ami fontos lehet e gerincbetegség etiológiájának, patológiájának és kezelésének megértésében. A medence és a gerinc sagittalis egyensúlyának vizsgálatában a digitalizált röntgenfelvételek feldolgozására kifejlesztettünk egy speciális software-t az ENSAM Biomechanikai Laboratóriumban. Ezen új mérőmódszer validálási folyamatát is bemutatom dolgozatomban.

II.1.3. Az isthmicus spondylolisthesis in vivo vizsgálata SpineView software segítségével

A normál és a patológiás humán gerinc sagittalis görbületei és a medence között lévő statikai egyensúlyt vizsgáltam az általunk kifejlesztett és validált software-rel. Software-ünk 13 független változót vizsgál, melyeket statisztikai módszerekkel vetettünk egybe a két csoportban, a különbségek feltárása céljából.

II.2. Anyag és módszertan

II.2.1. Az isthmicus spondylolisthesis állatkísérletes vizsgálata

A kísérleteim során 30, Pannon Fehér nyulat használtam. 22 nyúl esetében idéztem elő mesterséges spondylolysis, 8 nyúlnál a paraspinalis izomzat oldalra történő letolása után végeztem el a seb zárását, így ezek alkották a kontroll csoportot. A 22 nyúl egyik fele szűk kettecekben került elhelyezésre, ahol életterük éppen a szükséges nagyságú volt, a másik fele nagy kifutóval és néhány térbeli akadállyal rendelkező kettecekbe került, így a táplálékfelvételhez sok mozgásra volt szükségük.

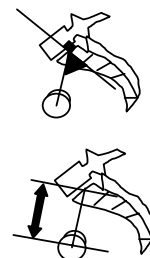
A műtétet követő 3. és 6. hónap után intraperitonealis anaesthesiában postero-anterior és bal-jobb oldalirányú röntgenfelvételeket készítettünk. Az oldalirányú felvételeken Östermann által javasolt mérési módszerrel (Östermann, 1996) vizsgáltam az elcsúszás mértékét.

II.2.2. A gerinc sagittalis irányú röntgenfelvételeinek számítógépes elemzése

30 egészséges önkéntes (15 nő és 15 férfi) teljes gerincét és medencéjét ábrázoló sagittalis síkú röntgenfelvételeit használtam vizsgálataimban. Az oldalfelvételek digitalizálása után SpineView software segítségével végeztem el a méréseket. A Duval-Beaupere által 1997-ben definiált változók két nagy csoportra oszthatók:

a, Medence paraméterek:

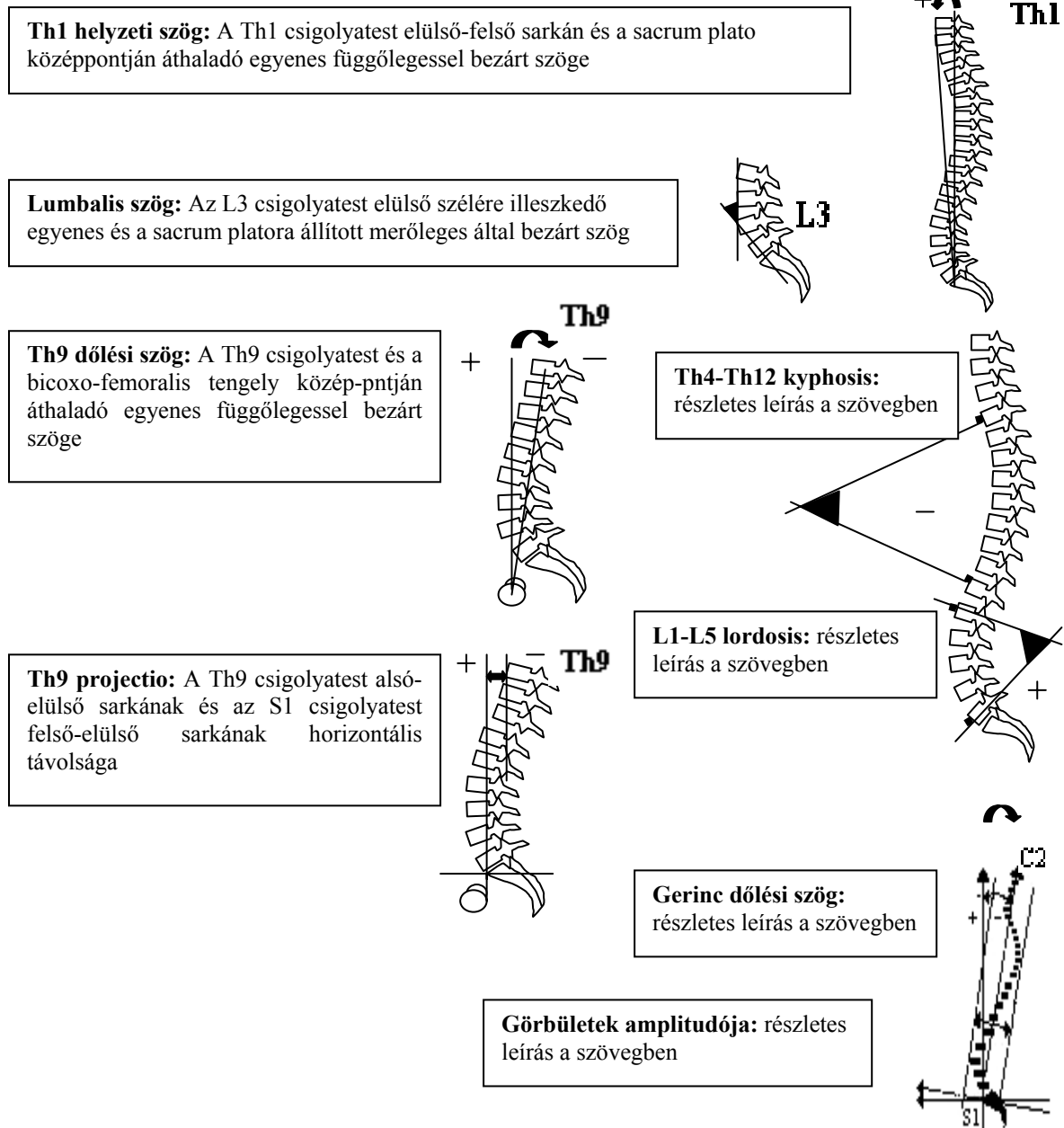
Morfológiai paraméterek
SFAC: a sacrum plato és a bicoxo-femorális tengely középpontján áthaladó egyenes és a sacrum platora merőleges egyenes által alkotott szög
Medenceátmérő: a sacrum plato és a bicoxo-femorális tengely középpontja közötti távolság



Helyzeti paraméterek
Sacrum dőlési szög: a sacrum plato és a horizontális által bezárt szög
Sacrofemorális szög: a sacrum plato, ill. a bicoxo-femorális tengely középpontján áthaladó egyenes és a függőleges által alkotott szög
Sacrofemorális távolság: a sacrum plato középpontja és a bicoxo-femorális tengely közti távolság a horizontális síkban



b, Gerinc paraméterek:



A lordosis és a kyphosis a megfelelő csigolyatestek ventrális falára állított merőlegesek által bezárt szöggel határozható meg. A teljes gerinc dőlési szög a vertikális és a L5-től a C2-ig megjelölt csigolyatestek elülső falára leginkább illeszkedő egyenes által bezárt szög. Ha megnézzük, hogy ezen egyenestől lordosisban, illetve kyphosisban mely csigolya elülső fala van legmesszebb, és ezt a két távolságot összegezzük, megkapjuk a gerinc görbületeinek amplitudóját. A program a szögértékeket fokokban, a távolságokat a sacrum plato hosszának százalékában méri, hogy elkerüljük a röntgensugár torzító hatásából eredő hibákat.

A validálás alapkérdése az volt, vajon a gyorsabb, numerikus röntgenkép-feldolgozás helyettesítheti-e a hosszan tartó hagyományos manuális röntgenfilm kimérést. A szisztematikus hibák meghatározása céljából először átvilágító táblán a 30 egészséges egyén álló helyzetben készített sagittalis röntgenfelvételen kimértük a fent bemutatott paramétereket, majd ugyanezen paramétereket kimértük ugyanazon a harminc digitalizált röntgenfelvételen a számítógépes program segítségével is.

A reprodukálhatósági vizsgálatok során a véletlenszerű hibák felderítésére törekedtünk. A SpineView software mérésének inter-observer reprodukálhatóságát egy átlagos minőségű digitalizált röntgenfelvételen vizsgáltuk. Gyakorlott (ortopéd sebész) és gyakorlatlan (informatikus) vizsgáló ugyanazon nap reggelén 30-30 alkalommal végezte el a mérést az adott felvételen. A software mérésének rövidtávú intra-observer reprodukálhatóságát 10 különböző digitalizált röntgenfelvétel segítségével vizsgáltuk. Gyakorlott vizsgáló felvételenként 10-szer ismételte a mérést az egyik nap reggelén. A hosszú távú intra-observer reprodukálhatóságot 10 röntgenfelvétel 10-szer ismételt mérésével egyik nap, majd 3 nap múlva ugyanazon 10 röntgenfelvétel 10-szer ismételt mérésével kapott eredmények összehasonlításával vizsgáltuk. A méréseket mindkét nap ugyanaz a gyakorlott vizsgáló végezte.

Normál eloszlás esetén a klasszikus Pearson korrelációs tesztet és párosított t-próbát alkalmaztunk a kétféle mérési technika eredményeinek összehasonlítására. A reprodukálhatósági vizsgálatban a normál eloszlást mutató eredmények esetén az ismételt mérések standard deviációját számítottuk, és $\pm 2xSD$ -n (95 %-os konfidencia intervallum) belül eső értékeknél tekintettük a mérést reprodukálhatónak. Normál eloszlás esetén párosított t-próbát használtunk a mérés-megismételt mérés során kapott értékek statisztikai különbségének megítélésére. A posturalis paraméterek értékhatárainak nemek közti összehasonlítására normál eloszlás esetén Student t-próbát használtunk, az egyes változók közti korrelációk megítélésére pedig Pearson korrelációs tesztet.

II.2.3. Az isthmicus spondylolisthesis in vivo vizsgálata SpineView software segítségével

Negyvennyolc (16 nő és 32 férfi) isthmicus spondylolisthesisben szenvedő beteget vontunk be a vizsgálatba négy nagy francia ortopéd centrum segítségével. A centrumokban ugyanazt a radiológiai protokollt használták. Valamennyi röntgenfelvétel a Biomechanikai Laboratóriumban került feldolgozásra. Normál eloszlás esetén Student t-tesztet használtunk a két csoport eredményei közti különbségek vizsgálatára, Pearson korrelációs vizsgálatot az egyes változók közti korrelációk felderítésére. A korrelációs koefficiensek szignifikanciáját Fischer z-teszttel vizsgáltuk. A statisztikai szignifikancia szint 5 % vagy ennél kevesebb volt.

II.3. Eredmények

II.3.1. Az isthmicus spondylolisthesis állatkísérletes vizsgálata

A röntgenfelvételek elemzése során nem találtunk szignifikáns eltérést a 3. és a 6. hónap után végzett radiológiai vizsgálat eredményei között az egyes csoportokban (1.táblázat).

	1.csoport (9 nyúl)	2. csoport (10 nyúl)	Kontroll csoport (8 nyúl)
3 hó	15 + 6,3 %	16 + 5,2 %	6 + 3,3 %
6 hó	17 + 7,2 %	18 + 3,6 %	5 + 2,8 %

1.táblázat: Az elcsúszás mértéke az egyes csoportokban

II.3.2. A gerinc sagittalis irányú röntgenfelvételeinek számítógépes elemzése

A manuális és a numerikus módszer eredményei alapján megállapíthatjuk, hogy a két mérőmódszer között egyik változó esetén sem volt szignifikáns különbség, tehát nem volt olyan szisztematikus hiba, mely a numerikus módszer használatát korlátozná. Gyakorlott vizsgáló esetén a legtöbb változó reprodukálhatósága $\pm 1,5^\circ$ alatti, csupán a Th4-Th12 kyphosis esetén észleltünk gyengébb reprodukálhatóságot ($\pm 6.5^\circ$). A távolsági paramétereknél gyengébb reprodukálhatóságot találtunk, főleg gyakorlott vizsgáló esetén.

A rövid és hosszú távú intra-observer reprodukálhatóság vizsgálata bebizonyította, hogy gyakorlott vizsgáló pontosabb mérést tud végezni, és napi eltérések nem befolyásolják az eredményeket.

A két nem értékeinek összehasonlításában az átlagértékek általában különböztek, de szignifikáns eltérés csak a medenceátmérő és a gerinc dőlési szög esetében volt. Több változó között erős korrelációt találtunk mindkét nemből.

II.3.3. Az isthmicus spondylolisthesis in vivo vizsgálata SpineView software segítségével

A sacrofemoralis anatómiai konstans, a sacrum dőlési szög, a sacrofemoralis szög és távolság a Th9 dőlési szög, a Th9 projekció, valamint a lordosis mértéke nagyobb volt isthmicus spondylolisthesisben szenvedő betegeknél, mint a kontroll csoportban. A 2. táblázatban soroltam fel a szignifikáns korrelációkat a különböző medence és gerinc paraméterek között. A számszerű adatok a korrelációs koefficienseket, a csillagok a szignifikancia szinteket jelölik ($p < 0.001$: ***; $0.001 < p < 0.01$: **; $0.01 < p < 0.05$: *).

Korrelációk	Isthmicus spondylolisthesis	Kontroll
SFAC vs. Sacrum dőlési szög	0.896 ***	0.625 ***
SFAC vs. Sacrofemoralis szög	0.663 *	0.753 ***
SFAC vs. L1-L5 Lordosis	0.630 **	0.591 **
Sacrum dőlési szög vs. Lumbalis szög	0.75 **	
Sacrum dőlési szög vs. L1-L5 Lordosis	0.775 ***	0.663 ***
Sacrofemoralis szög vs. L1-L5 Lordosis	0.684 *	
Sacrofemoralis távolság vs. L1-L5 Lordosis	0.646 *	
Th9 projekció vs. Amplitudó		-0,547 **
Gerinc dőlési szög vs. Th1 helyzeti szög	0.852 **	
Amplitudo vs. Kyphosis	-0,944 ***	-0,704 ***
Th9 dőlési szög vs. Th1 dőlési szög	0.794 **	0.609 ***
SFAC vs. spondylolisthesis mértéke	0.660 ***	

2. táblázat: Az egyes változók közti korrelációk

II.4. Megbeszélés

A spondylolisthesis első leírása óta számos etiológiai magyarázat született, s mindegyiknek van logikai alapja is, de valódi, egyértelmű magyarázat a betegség kialakulásával kapcsolatban ezidáig nem keletkezett. Az etiológiai okfejtések magát a spondylolisthesis próbálják leginkább magyarázni, a spondylolisthesis okának felderítésére, az elcsúszás mértékének megjósolására nemigen vállalkoznak. Ennek oka nyilvánvalóan az, hogy a hagyományos tudományágak (anatómia, hisztológia, patológia, antropológia) nem tudnak újabb információt nyújtani a betegség kialakulásával kapcsolatban. Kutatásaim során a spondylolisthesis kialakulásának, a csúszás prognózisának felderítésére vállalkoztam egy relatíve új tudományág, a biomechanika módszereivel. Vizsgálati stratégiám, kísérleteim kialakításában nagy hatással voltak rám azok a kutatók, akik a gerincbiomechanika úttörőinek tekinthetők (Sorbier, Duval-Beaupere, Jackson, Gracovetsky). A mechanisztikus szemléleten, a mechanikai törvényszerűségeken túl a legfontosabb gondolatelem tanulmányomban az optimális rendszerek minimális energiaigényének elve volt. Az élővilág, s benne az emberi szervezet ugyanis mindig arra törekszik, hogy a lehető legkisebb energiaráfordítással működjön. Ekkor van ugyanis lehetősége a túlélésre a véges energiájú környezetben.

II.4.1. Az isthmicus spondylolisthesis állatkísérletes vizsgálata

Wiltse, Newman és Macnab nemzetközileg elfogadott etiológiai klasszifikációjában az isthmicus spondylolisthesis előfordulási gyakoriságából arra a következtetésre jutottak, hogy az iskolakezdetkor fokozódó igénybevétel, az iskolapadban hosszan felvett lordotikus pozíció, valamint az intenzívebb sportolás lehet az oka a betegség e korban ugrásszerűen megnőtt előfordulásának.

Ennek az elképzelésnek az alátámasztására állatkísérletes vizsgálatot végeztem, melyben arra voltam kíváncsi, hogy mesterségesen előidézett spondylolysis esetén a nagyobb mozgáskényszer okoz-e spondylolisthesisist.

Eredményeim szignifikáns eltérést nem mutattak az egyes csoportok között, bár néhány esetben a nagyobb mozgástérben tartott állatoknál nagyobb fokú elcsúszást találtam. Kísérleteim szerint szignifikáns elcsúszást a nagyobb mozgáskényszer nem okozott, tehát valami más tényezőnek kell szerepet játszania a spondylolisthesis kialakulásában. A két különböző időintervallumban végzett vizsgálat változást nem mutatott, 6 hónap eltelte után akkora elcsúszás volt, amekkora 3 hónap után, tehát a spondylolisthesis mértékének kialakulása nem időfüggő, legalábbis rövid időtartamon belül.

II.4.2. A gerinc sagittalis irányú röntgenfelvételeinek számítógépes elemzése

A röntgenfelvétel minősége korlátot szab a mérőmódszer pontosságának. A mérés reprodukálhatóságát 10 különböző kontrasztosságú röntgenfelvételen vizsgálva, a kyphosist leszámítva, jó eredményeket kaptunk, hiszen software-ünk segítségével a gyakran rossz minőségű röntgenfelvételek vizualizálása egyszerűvé vált.

Az intra-observer reprodukálhatósági vizsgálat megmutatta, hogy a röntgenfelvétel minősége hatással van a reprodukálhatóságra is. A távolsági paraméterek standard deviációja nagyobb volt, mint a szögértékben kifejezett paramétereké. Ennek oka talán az lehetett, hogy még jó minőségű röntgenfelvételek esetén is gyakran nehéz a sacrum plato pontos meghatározása. E nehézségek ellenére a rövid és hosszútávú intra-observer reprodukálhatósági eredmények hasonlóak voltak, ami azt bizonyítja, hogy szubjektív hibáknak és napi eltéréseknek nincs jelentős hatása a SpineView software-rel történő mérések megbízhatóságára.

A legtöbb változó átlagértéke kisebb volt a férfiaknál, mint a nőknél, mely eltér az irodalomban közzétett eredményektől (*Legaye, 1993; Fon, 1980*). Viszont a standard deviációk, illetve a minimum és maximum értékek hasonlóak voltak. Ezért egyetértünk Stagnara véleményével, miszerint a normál értéktartomány sokkal fontosabb adat, mint a számított átlag (*Stagnara, 1982*).

Eredményeink összehasonlítása a mások által közöltekkel meglehetősen nehéz. Rengeteg különbség van az egyes változók definiálásában, és ezeket szem előtt kell tartani, ha az eredményeket összehasonlítjuk. Mindezek ellenére eredményeink megfelelnek az irodalomban ismertetett normálértékeknek.

Két, általunk vizsgált paraméternek, a gerinc dőlési szögnek és a görbületek amplitudójának nincs korábban közölt referenciája. Az előbbi paraméter meghatározza a gerinc térbeli elhelyezkedését, és feltehetően a biomechanikai egyensúlyzavar okozta gerincbetegségek diagnosztikájában lesz használható. A görbületek amplitudója talán változik a kor előrehaladtával vagy egyes sebészeti beavatkozások következményeként. Ennek felderítése további kutatást igényel.

II.3.3. Az isthmicus spondylolisthesis in vivo vizsgálata SpineView software segítségével

A vizsgált paraméterek statisztikai átlagainak összehasonlítása csak a vizsgált csoportok közti különbségek feltárására ad lehetőséget. Az egyes paraméterek közötti statisztikai korreláció módszere tájékozathat a köztük lévő összefüggések tendenciájáról.

A veleszületett faktor, a sacrofemoralis anatómiai konstans meghatározza a sagittalis görbületeket a sacrum dőlési szögön keresztül. Normál populációban az SFAC jól korrelál a sacrum dőlési szöggel, a sacrofemoralis szöggel és a lumbalis lordosisal. Ez azt jelenti, hogy nagyobb SFAC nagyobb sacrum dőlési szöggel, nagyobb sacrofemoralis szöggel, illetve nagyobb lumbalis lordosisal jár. Mivel ezt az eredményt a panaszmentes, normál populációban találtuk, az erős statisztikai korreláció tehát sagittalis egyensúlyi helyzetet sugall a gerinc és a medence között. Ha ezen összefüggésben hiba van, akkor a következőkben részletezett fizikai törvények miatt pathológiás elváltozás jön létre.

Az isthmicus spondylolisthesisben a sacrofemoralis anatómiai konstans (SFAC) és a sacrum dőlési szög magas értéke azt mutatja, hogy e betegekben a sacrum horizontálisabban helyezkedik el, mint az egészséges populációban. A horizontális helyzetű sacrum a négy lábúak jellegzetessége, s ezek szerint ez az állapot egy rossz adaptációt jelent a kétféle járó ember esetében (*Gracovetsky, 1984*). A horizontálisan elhelyezkedő sacrum és a hyperlordosis a gravitációs erő nyíró komponensének növekedését eredményezi. A megnövekedett nyíróerő az amúgy is dysplasticus pars interarticularis töréséhez, illetve csigolyaelőrecsúszáshoz vezethet. A nagy értékű SFAC és sacrofemoralis szög alapján megállapítható, hogy a csípők és a sacropelvis térbeli viszonya eltér az egészséges populációtól. A két acetabulum ilyen esetben jóval előrébb helyezkedik el, mint a lumbosacralis átmenet, ahol a gravitációs erő elhagyja a gerincet. Ez az instabilitás spondylolisthesishez vezet: az L5-ös csigolyatest előrecsúszik a sacrumon azért, hogy a súlyvonal ismét a csípők fölé kerüljön, helyreállítva ezzel az

egyensúlyt. Tanulmányomban az SFAC értéke jól korrelált az elcsúszás mértékével. A Th9 dőlési szög nagyobb értéke azt mutatja, hogy a test súlyvonala közeledett a femurfejekhez, és a csúszás révén új egyensúlyi helyzet alakult ki. Ebben a véghelyzetben a betegek korrelációs mátrixa hasonló az egészséges egyénekéhez, tehát a medence és gerinc között ismét egyensúly van.

A teljes gerinc dőlési szöge és a görbületek amplitudója esetében nem volt különbség a két csoport között. További vizsgálatok szükségesek ahhoz, hogy ezek viszonyát a korhoz, vagy más pathológiákhoz tisztázzuk (*Rajnic, 2002*).

A gerinc és a medence sagittalis morfológiájának biomechanikai vizsgálata tehát új megvilágításba helyezi a spondylolisthesis kialakulásáról alkotott képünket. Vizsgálataim szerint a genetikailag meghatározott medence-morfológia (SFAC) a két lábra történő felegyenesedéskor olyan statikai változásokat generál (lumbalis lordosis növekedése, súlyvonal eltolódása), mely statikai egyensúlyzavarhoz vezet. Ezt a sagittalis egyensúlyzavart az egyén korrigálni kényszerül. A korrekció kezdetben aktív izomerővel, mely aztán izomkontraktúrákhoz vezet, később pedig struktúrális változások (fáradásos törés a dysplasticus, vagy dysplasia nélküli isthmuson) létrejöttével történik. Vizsgálataim szerint a csigolya elcsúszása az új egyensúlyi helyzet kialakulásáig tart, s a csúszás az SFAC mértékétől függ. Így érthető, hogy egyeseknél miért alakul ki nagy csigolyaelőrecsúszás, másoknál pedig hosszú idő eltelte után is alig nő a spondylolisthesis mértéke.

A sagittalis egyensúly vizsgálata rendkívül fontos még a műtét előtt, hogy a műtét során a már meglévő egyensúlyzavarokat helyreállítsuk, illetve elkerüljük új egyensúlyzavarok kialakulását. A számítógépes adatfeldolgozás megkönnyíti a multicentrikus vizsgálatokat és a specialistákkal való konzultációt, valamint megteremti a telediagnózis lehetőségét.

III. A Ph.D. munka új eredményei

Kutatásaim során a spondylolisthesis kialakulásának, a csigolyaelcsúszás prognózisának felderítésére törekedtem biomechanikai módszerekkel. Ez a relative új tudományág új lehetőségeket tárt fel kérdéseim megválaszolásában. Kutatásaim eredményeképpen a következő új megállapítások születtek, melyeket részletesen az előző fejezetekben tárgyaltam.

III.1. Az isthmicus spondylolisthesis állatkísérletes vizsgálata

Az állatkísérletes vizsgálat eredménye azt mutatta, hogy kétoldali spondylolysis önmagában nem vezet spondylolisthesishez intenzív mozgáskényszer esetén, relatíve hosszú idő alatt sem. Az az álláspont tehát, hogy az iskoláskorban kezdett fokozott fizikai igénybevétel okozná a serdülőkorra előfordulási csúcsot adó spondylolisthesis, önmagában nem igaz. A fáradásos törés létrejöttéhez hozzájárulhat az erőltetett fizikai aktivitás, de a törés gyógyulási képtelensége és a csigolyaelcsúszás véleményem szerint a statikai változások következménye.

III.2. A gerinc sagittalis irányú röntgenfelvételeinek számítógépes elemzése

A biomechanikai módszerek kiválasztása során olyan eljárás kifejlesztésében vehettem részt, mely klinikai környezetben is gyorsan, precízen és olcsón elvégezhető. Ez a klinikusok elfoglaltságát, valamint a magyarországi pénzügyi lehetőségeket ismerve egyaránt előnyös. A klinikus rövid idő alatt többféle változó vizsgálatát elvégezheti a SpineView software segítségével. Továbbá megteremtődik a multicentrikus vizsgálatok összehangolásának lehetősége, akár az interneten keresztül küldött képi információ átadással is. A sagittalis irányú statikai röntgenfelvételek digitális feldolgozása mellett elkezdtük a dinamikai (flexiós-extenziós) röntgenfelvételek digitális feldolgozására, mérésére alkalmas változat kifejlesztését is. Ez is azt mutatja, hogy a digitális technika megjelenése a biomechanikai mérésekben egyre fejlődik, a SpineView software tovább bővíthető, javítható.

III.3. Az isthmicus spondylolisthesis in vivo vizsgálata SpineView software segítségével

Spondylolisthesis betegek sagittalis röntgenfelvételeinek biomechanikai vizsgálata során egyértelművé vált, hogy a betegség kialakulása az öröklött medence morfológiai tényezők miatt létrejött statikai egyensúlyzavar következménye. A sacrofemoralis anatómiai constans a sacrum dőlési szögön keresztül

meghatározza a lordosis mértékét, ahogy ezt a korrelációs vizsgálat bemutatta. A nagyobb lordosis a gravitációs erő nyíró komponensének növekedéséhez vezet, mely hozzájárul a dysplasias vagy dysplasia nélküli pars interarticularis töréséhez, valamint az előrecsúszáshoz. A nagy értékű SFAC és sacrofemoralis szög alapján megállapítható, hogy a csípők és a sacropelvis térbeli viszonya eltér az egészséges populációtól. A két acetabulum ilyen esetben jóval előrébb helyezkedik el, mint a lumbosacralis átmenet, ahol a gravitációs erő elhagyja a gerincet. Az egyensúlyzavart a szervezet kompenzálni próbálja: a csigolya előrecsúszásával a súlyvonal ismét a csípők fölé kerül, s ekkor további csúszás már nem várható.

Tanulmányomban rámutattam arra is, hogy a sagittális egyensúly vizsgálata rendkívül fontos minden gerincműteti beavatkozás előtt, hogy a műtét során az esetlegesen fennálló egyensúlyzavart megszüntethessük, illetve új egyensúlyzavar kialakulását megelőzhessük.

IV. Tudományos közlemények és kongresszusi előadások jegyzéke

1. Tudományos előadások:

1. **Rajnic P.**, Illes T., Kránicz J.: Clinical outcome of patients operated on for isthmic spondylolysis and spondylolisthesis using Buck-Jakab method Central European Orthopedic Congress, Budapest 1998.
2. **Rajnic P.**, Illés T., Kránicz J.: Isthmicus spondylolysis és –olisthesis miatt Buck-Jakab módszerrel operált betegek hosszú távú műtéti eredményeinek értékelése, Magyar Orthopaed Társaság 43. Kongresszusa, Debrecen 2000.
3. Kauffman C., Templier A., Pomero V., Godbout B., **Rajnic P.**, Lavaste F., De Guise J.A.: Rachiscope: A software for the quantitative analysis of static and dynamic radiographs of the lumbar spine. 3rd International ARGOS Meeting, Jan.1999, Paris
4. **Rajnic P.**, Pomero V., De Guise J.A., Illes T., Templier A., Skalli W.: Computer assisted assessment of the spinal sagittal plane static and dynamic radiographs, Central European Orthop. Congr. Portoroz, Slovenia 2000.
5. Domán I., **Rajnic P.**, Illés T.: A Twin flex instrumentarium tulajdonságai és alkalmazásának lehetőségei. Fiatal Ortopéd Orvosok Fóruma, Eger, 2000.

2. Tudományos közlemények:

1. **Rajnic P.**, Illés T., Kránicz J., Bellyei Á.: Isthmicus spondylolysis és spondylolisthesis miatt Buck-Jakab módszerrel operált betegek hosszú távú műtéti eredményeinek értékelése, Magyar Traumatológia, Orthopédia, Kézsebészet, Plasztikai Sebészet 2000.43.2.75-82
2. **Rajnic P.**, Pomero V., Templier A., Lavaste F., Illes T.: Computer-assisted assessment of the spinal sagittal plane radiographs. Journal of Spinal Disorders 2001. 14(2):135-142 **IF: 0,816**
3. **Rajnic P.**, Templier A., Skalli W., Lavaste F., Illes T.: The Association of Sagittal Spinal and Pelvic Parameters in Asymptomatic Persons and Patients with Isthmic Spondylolisthesis Journal. of Spinal Disorders 2002. 15(1):24-30 **IF: 0,816**
4. **Rajnic P.**, Templier A., Skalli W., Lavaste F., Illes T.: The importance of spinopelvic parameters in patients with lumbar disc lesions. Int. Orthop. 2002. 26. pp.:104-108 **IF: 0,368**
5. Domán I., **Rajnic P.**, Orbán F., Jankó L., Illés T.: Lumbalisán alkalmazható hátsó semiflexibilis gerincimplantatum biomechanikai vizsgálata. Magyar Traum., Orthop., Kézseb., Plasztikai Seb. (Közlésre elfogadva) **Összesített IF: 2,0**