

A mozgásszervi rendszer elváltozásainak térbeli megjelenítése és elemzése

Egyetemi doktori értekezés tézisei

Dr. Somoskeöy Szabolcs István

Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar

Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola

Iskolavezető: Dr. Kovács L. Gábor

Mozgásszervi Klinikai Tudományok Doktori Program

Programvezető: Dr. Than Péter

Témavezető: Dr. Than Péter

Pécs

2017



SZÉCHENYI 2020

Az értekezés megvalósítását a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal

"Stratégiai K+F műhelyek kiválósága" (GINOP-2.3.2-15) programjában nyertes,

"3D nyomtatási és vizualizációs technológiákat alkalmazó interdiszciplináris kutatási, oktatási és fejlesztési központ kialakítása a Pécsi Tudományegyetemen" (GINOP-2.3.2-15-2016-00022), valamint

a "Kutatási infrastruktúra fejlesztése – nemzetköziesedés, hálózatosodás" (GINOP 2.3.3.) programjában nyertes,

"Sporttal kapcsolatos mozgásszervi elváltozások prevenciója, klinikai kezelése és rehabilitációja, a parasport orvosklinikai aspektusai" (GINOP-2.3.3-15-2016-00031) projekt támogatása.

TARTALOMJEGYZÉK

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	1
1. BEVEZETÉS	2
1.1 Az EOS 2D/3D BERENDEZÉS ÉS EOS TÉRBELI REKONSTRUKCIÓ	2
2. CÉLKITŰZÉSEK	3
2.1 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT ALKALMAZÁSA FELNŐTTKORBAN AZ ALSÓVÉGTAGI ELVÁLTOZÁSOK TÉRBELI MEGJELNÍTÉSÉRE	3
2.2 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT ALKALMAZHATÓSÁGA TRAUMÁS ALSÓVÉGTAGI ELVÁLTOZÁSOK POSZTOPERATÍV ELEMZÉSÉRE	3
2.3 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT KLINIKAI ALKALMAZÁSA A GERINCDEFORMITÁSOK PRE- ÉS POSZTOPERATÍV DIAGNOSZTIKÁJÁBAN	3
2.4 Az EOS REKONSTRUKCIÓ ÉRTÉKELÉSE ÉS VALIDÁLÁSA A GERINCDEFORMITÁSOK TÉRBELI JELLEMZÉSÉBEN	4
2.5 Az EOS REKONSTRUKCIÓRA ALAPULÓ VEKTOROS ÁBRÁZOLÁS ELEMZÉSE ÉS VALIDÁLÁSA A GERINC TÉRBELI JELLEMZÉSÉRE	4
3. BETEGEK ÉS MÓDSZEREK	5
3.1 BETEGPOPULÁCIÓ	5
3.2 A VIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK MENETE.....	6
3.3 Az EOS TÉRBELI REKONSTRUKCIÓ.....	6
3.4 Az ALSÓVÉGTAGI EOS REKONSTRUKCIÓ ALAPJÁN NYERT PARAMÉTEREK ÉRTÉKELÉSE	9
3.5 Az EOS REKONSTRUKCIÓVAL NYERT FRONTÁLIS ÉS SAGITTALIS GÖRBÜLETTI PARAMÉTEREK VALIDÁLÁSA	9
3.6 A GERINC VEKTOR-ALAPÚ TÉRBELI ÁBRÁZOLÁSA	9
3.7 A VEKTOR-ALAPÚ MEGJELNÍTÉS VALIDÁLÁSA, A GERINCDEFORMITÁS PROGRESSZIÓJÁNAK ÉS A MŰTÉTI KORREKCIÓ EREDMÉNYÉNEK ELEMZÉSE..	10
4. EREDMÉNYEK	11
4.1 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT ALKALMAZÁSA FELNŐTTKORBAN AZ ALSÓ VÉGTAGI ELVÁLTOZÁSOK TÉRBELI MEGJELNÍTÉSÉRE	11
4.2 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT ALKALMAZHATÓSÁGA TRAUMÁS ALSÓ VÉGTAGI ELVÁLTOZÁSOK POSZTOPERATÍV ELEMZÉSÉRE.....	12
4.3 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT KLINIKAI ALKALMAZÁSA A GERINCDEFORMITÁSOK PRE- ÉS POSZTOPERATÍV DIAGNOSZTIKÁJÁBAN.....	13
4.4 Az EOS REKONSTRUKCIÓ ÉRTÉKELÉSE ÉS VALIDÁLÁSA A GERINCDEFORMITÁSOK TÉRBELI JELLEMZÉSÉBEN	13
4.5 Az EOS REKONSTRUKCIÓRA ALAPULÓ VEKTOROS ÁBRÁZOLÁS ELEMZÉSE ÉS VALIDÁLÁSA A GERINC TÉRBELI JELLEMZÉSÉRE	15
5. MEGBESZÉLÉS	17
5.1 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT ALKALMAZÁSA FELNŐTTKORBAN AZ ALSÓ VÉGTAGI ELVÁLTOZÁSOK TÉRBELI MEGJELNÍTÉSÉRE	17
5.2 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT ALKALMAZHATÓSÁGA TRAUMÁS ALSÓ VÉGTAGI ELVÁLTOZÁSOK POSZTOPERATÍV ELEMZÉSÉRE.....	18
5.3 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT KLINIKAI ALKALMAZÁSA A GERINCDEFORMITÁSOK PRE- ÉS POSZTOPERATÍV DIAGNOSZTIKÁJÁBAN.....	19
5.4 Az EOS REKONSTRUKCIÓ ÉRTÉKELÉSE ÉS VALIDÁLÁSA A GERINCDEFORMITÁSOK TÉRBELI JELLEMZÉSÉBEN	20
5.5 Az EOS REKONSTRUKCIÓRA ALAPULÓ VEKTOROS ÁBRÁZOLÁS ELEMZÉSE ÉS VALIDÁLÁSA A GERINC TÉRBELI JELLEMZÉSÉRE	23
6. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA, AZ ÚJ EREDMÉNYEK JELENTŐSÉGE	25
6.1 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT ALKALMAZÁSA FELNŐTTKORBAN AZ ALSÓVÉGTAGI ELVÁLTOZÁSOK TÉRBELI MEGJELNÍTÉSÉRE	25
6.2 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT ALKALMAZHATÓSÁGA TRAUMÁS ALSÓVÉGTAGI ELVÁLTOZÁSOK POSZTOPERATÍV ELEMZÉSÉRE	26
6.3 Az EOS 2D/3D VIZSGÁLAT KLINIKAI ALKALMAZÁSA A GERINCDEFORMITÁSOK PRE- ÉS POSZTOPERATÍV DIAGNOSZTIKÁJÁBAN	26
6.4 Az EOS REKONSTRUKCIÓ ÉRTÉKELÉSE ÉS VALIDÁLÁSA A GERINCDEFORMITÁSOK TÉRBELI JELLEMZÉSÉBEN	26
6.5 Az EOS REKONSTRUKCIÓRA ALAPULÓ VEKTOROS ÁBRÁZOLÁS ELEMZÉSE ÉS VALIDÁLÁSA A GERINC TÉRBELI JELLEMZÉSÉRE	27
7. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK	28
7.1. AZ ÉRTEKEZÉS ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ KÖZLEMÉNYEK	28
7.2. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN MEGJELENT EGYÉB KÖZLEMÉNYEK	29
7.3. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN MEGJELENT IDÉZHETŐ ELŐADÁSKIVONATOK	30
7.4 AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁVAL KAPCSOLATOS SZABADALOM.....	31
8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	31

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

µm	mikrométer
2D	kétdimenziós, síkbeli
3D	háromdimenziós, térbeli
ALARA	As Low As Reasonably Achievable, az orvosdiagnosztikai sugárvédelem egyik alapelve
AP	anterio-posterior
APV	apical vertebra, a frontális görbület csúcsponi csigolyája
AVR	apical vertebral rotation, az APV horizontális síkbeli rotációja
cm	centiméter
CR	computed radiography, foszforlemez-alapú, kiolvasóval kombinált radiológiai képalkotás
CT	Computed Tomography, komputer tomográfias képalkotás
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine, digitális képformátum szabvány
DR	digital/direct radiography, digitális detektor-alapú radiológiai képalkotás direkt kiolvasással
HKS	hip-knee-shaft
ICC	intraclass correlation coefficient
LAT	oldalirányú
mm	milliméter
MRI	Magnetic Resonance Imaging, mágneses magrezonancia képalkotás
PACS	Picture Archiving and Communication System, digitális képtároló radiológiai rendszer
SD	standard deviáció
SRS	Scoliosis Research Society
UH	ultrahang

1. BEVEZETÉS

Az orvoslás kezdeteitől fogva, a mozgásszervi rendszer alkotórészeinek ábrázolása és elváltozásainak megértése kulcsszerepet játszott a vázrendszeri betegségek felismerésében és kezelésében. Ez a tevékenység évszázadokig az emberi testfelszínen megfigyelhető külső jegyek egyszerű leírásából állt, majd a XIX. század végétől, az orvostudomány egyik legnagyobb hatású felfedezésével, a röntgensugárcső és röntgenernyő kifejlesztésével, majdnem egy évszázadon keresztül szinte kizárólagosan az emberi test csontjainak kétdimenziós (2D) ábrázolásán alapult. A hagyományos röntgenfelvételek mind a mai napig alapvető diagnosztikai módszerként használatosak, azonban a múlt század 80-as éveitől kezdődően a mozgásszervi rendszer elemeinek és azok elváltozásainak három dimenzióban történő megjelenítése és elemzése is lehetővé vált. Az utóbbi két évtizedben a radiodiagnosztikai berendezések rohamos elterjedésével és a mögöttes műszaki és számítástechnikai háttér fokozatos fejlődésével a kétdimenziós MRI, CT és UH valamint a nukleáris medicina módszerek alkalmazása a mindennapi klinikai rutineljárások részévé vált. Ezzel párhuzamosan ugyanezen modalitásokra alapuló, térbeli, háromdimenziós (3D) vizsgálatok is kivívták helyüket a mozgásszervi kórképek diagnosztikájában és kutatásában.

Ugyancsak a múlt század 80-as éveiben kezdődött a hagyományos röntgenteknikára alapuló sztereoradiografikus módszerek fejlesztése, amelyek jellemzően két- vagy többirányú röntgenfelvétel alapján, geometriai, matematikai és statisztikai módszerekkel állítanak elő a röntgenfelvételeken ábrázolódó 2D objektumokból 3D információt és térbeli megjelenítést.

Ennek az irányzatnak egyik új és speciális modalitásával, az EOS 2D/3D berendezéssel és annak a mozgásszervi elváltozások térbeli megjelenítésében és elemzésében nyújtott szerepével foglalkozik értekezésem.

1.1 Az EOS 2D/3D berendezés és EOS térbeli rekonstrukció

Georges Charpak francia részecskefizikus 1992-ben fizikai Nobel-díjban részesült a részecske-detektálás terén végzett kutatásaiért, a sokszálas proporcionális huzalkamra és gázdetektor felfedezéséért. Az általa épített részecske-detektor alapvető szerepet játszott a múlt század 70-es és 80-as éveinek részecskefizikai kutatásaiban és egy sor új elemi részecske felfedezésében.

A Charpak-részecske-detektor egyetlen röntgenfoton detektálására is alkalmas, míg érzéketlen a diffúz, szórt sugárzásra. A detektor által leképezett digitális röntgenkép széles dinamikus tartományú, 30-50 ezer szürkeárnyalat elkülönítésére alkalmas, képpont-felbontása 254 μm . Az EOS röntgenképeken a CT vizsgálatokból ismert jelmenet-ablakolási technikák alkalmazására is lehetőség van.

Az EOS 2D/3D berendezés a Charpak-detektor klinikai célra továbbfejlesztett, számos technikai újítással kombinált változatát alkalmazza. Elsősorú jelentősége, hogy hagyományos CR készülékekhez képest 85%-kal, DR készülékekhez képest 50%-kal alacsonyabb sugárdózis mellett, akár teljes testméretű, jobb minőségű kétirányú röntgenfelvételek készítésére alkalmas. Bizonyos CT vizsgálatokat EOS 2D/3D vizsgálattal helyettesítve 95%-os sugárdóziscsökkenés érhető el. A berendezés legújabb fejlesztési eredményeként elérhetővé vált opcionális vizsgálati protokollal, az EOS Micro Dose[®], további hétszeres sugárdózis-csökkenést eredményez.

A berendezésben két, egymással C-karral összekapcsolt és egymásra pontosan merőlegesen, frontális és laterális pozícióban elhelyezett, 45 cm szélességű, lineáris sugárforrásból és detektorból felépülő egység működik. A vertikálisan felülről lefelé mozgó sugárcső-detektor párokban a digitális képalkotás 1,8 mm vékony sávszkenneléssel történik, amelynek során 170 cm magasságú, 45 cm szélességű területről, a

vizsgált személy álló (esetleg ülő) testhelyzetében, szimultán kétirányú, AP és LAT röntgenfelvétel keletkezik, a mozgás sebességétől függően, 10-25 másodperc alatt.

A Charpak-detektor előnyeit tovább növeli és jelentős képminőség-növelést eredményez, hogy a röntgensugárcsőben és a detektorban egyaránt egy-egy 0,5 mm-es rézkollimátor található.

A kétirányú felvételek kalibrált térben történő, egyidejű keletkezésének köszönhetően, a sugárnyaláb útjába kerülő lágyrész és csontstruktúrák 1:1 méretarányú, torzításmentes leképezésére nyílik lehetőség az AP és LAT digitális röntgenképeken. Ezeken nagy pontosságú, élethű térbeli rekonstrukció elvégzése lehetséges a sterEOS nevű sztereoradiografikus szoftverrel.

A térbeli rekonstrukció a szoftverhez kapcsolódó, generikus geometriai 3D modell-adatbázisra (T₁-L₅ csigolyák, alsóvégtagi csöves csontok, medence) épül, és geometriai, parametrikus illetve statisztikai modelleket alkalmazó sztereoradiografikus eljárásokkal történik. A sterEOS szoftver a sztereoradiografikus rekonstrukciós módszerek integrált, hibrid változata. A folyamat végeredménye egy *parametrikus felszíni* 3D modell, amelyen releváns klinikai paraméterek a szoftverben előre beprogramozott kalkulációk segítségével, automatikusan meghatározásra kerülnek és a képállományok mellett szabványos táblázatkezelő formátumban kinyerhetők.

2. CÉLKITŰZÉSEK

2.1 Az EOS 2D/3D vizsgálat alkalmazása felnőttkorban az alsóvégtagi elváltozások térbeli megjelenítésére

Elsősorú célkitűzésünk volt, hogy az új radiodiagnosztikai vizsgálati eljárást és térbeli rekonstrukciós módszert az Intézetünkben folyó alsóvégtagi ortopédiai tevékenység integráns részévé tegyük. Konkrétan, az alsóvégtagi (elsősorban csípő- és térdízületi) panaszrendszerrel járóbeteg rendelésünkön megjelenő páciensek radiológiai vizsgálata az EOS 2D/3D berendezéssel kivitelezett, kétirányú teljes alsóvégtagi röntgenvizsgálattal történjen. A kétirányú EOS felvételek alapján az alsóvégtagok térbeli rekonstrukciója elkészüljön, és ezek elemzése klinikai rutintevékenységgé váljon.

Értékelni kívántuk az alsóvégtagi klinikai paraméterek normális határokon belüli értékekhez képest történő változását, a 2D és 3D mérési módszerrel kapott paraméterek eltérését egészséges illetve csípő- és térdízületi arthrosisos betegeken.

2.2 Az EOS 2D/3D vizsgálat alkalmazhatósága traumás alsóvégtagi elváltozások posztoperatív elemzésére

A vizsgálatok ezen részére a Traumatológiai Klinikai Tanszékkal kollaborációban került sor. Igazolni kívántuk az EOS 2D/3D berendezés alkalmazhatóságát a femur és tibia diaphysis törések csontegyesítő műtétjét követő, rutin kétirányú képalkotásban. Vizsgálni kívántuk a sérült végtag EOS térbeli rekonstrukcióval kapott – ellenoldali végtaghoz viszonyított – hosszának, tengelyállásának és rotációjának jellemzőit.

2.3 Az EOS 2D/3D vizsgálat klinikai alkalmazása a gerincdeformitások pre- és posztoperatív diagnosztikájában

Az EOS 2D/3D berendezéssel kapcsolatos tevékenységünk másik fő célkitűzése volt, hogy az új radiodiagnosztikai eljárást és térbeli rekonstrukciós módszert Intézetünk gerincortopédiai tevékenységéhez kapcsolódó munka integráns részévé tegyük.

Konkrétan, gerincdeformitással vagy gerincpanaszokkal rendelkező betegek radiodiagnosztikája az EOS 2D/3D berendezéssel kivitelezett, kétirányú teljes gerinc röntgenvizsgálattal történjen. A kétirányú EOS felvételek alapján a gerinc térbeli rekonstrukciója elkészüljön és ezek elemzése váljon a mindennapi rutin részévé. A műtéti korrekción átesett betegeknél a preoperatív vizsgálatok mellett ugyancsak rutinszerűen kerüljön sor a posztoperatív vizsgálatra, amely alapján ugyancsak a standard klinikai ellátás részeként készüljön el a gerinc térbeli rekonstrukciója.

2.4 Az EOS rekonstrukció értékelése és validálása a gerincdeformitások térbeli jellemzésében

Az EOS rekonstrukció validálása a frontális és sagittalis síkú görbületek jellemzésében

Célunk volt a vizsgált gerincortopédiái betegcsoportból kiválasztott mintán egy retrospektív validálási mérési sorozat kivitelezése. Ennek során az EOS térbeli rekonstrukcióval kapott frontális és sagittalis görbületi értékeket hagyományos kézi mérési módszerrel is megállapított értékekkel hasonlítottuk össze. Emellett megállapítottuk a térbeli rekonstrukciók pontosságát és reprodukálhatóságát is.

Az EOS rekonstrukció horizontális síkú vetületi képének elemzése

Tekintettel a klinikai szakterületen korábban rendelkezésre álló, adaptálható eljárás hiányára, célunk volt egy rutineljárásban használható új nomenklatúra és legalább szemikvantitatív módszertan kialakítása az általunk nyert EOS térbeli rekonstrukciók horizontális síkbeli, felülnézeti kompozit képének értelmezésére, egymással történő összehasonlítására, a műtéti korrekción átesett betegek pre- és posztoperatív vizsgálatának kiértékelésére.

2.5 Az EOS rekonstrukcióra alapuló vektoros ábrázolás elemzése és validálása a gerinc térbeli jellemzésére

Az EOS térbeli rekonstrukció komplex felülnézeti kompozit képének vizualizálásához, megértéséhez és kiértékeléséhez olyan egyszerűsített megjelenítés kidolgozását tűztük ki célul, amely által a csigolyák térbeli pozíciójával, egymáshoz való viszonyával, axialis rotációjával kapcsolatos információ megőrizhető, és a térbeli rekonstrukció felülnézeti képéhez hasonlóan, a gerinc medencéhez viszonyított relatív elhelyezkedése is számszerűen kifejezhető. További cél volt a horizontális vetületi kép értelmezésén túl a megoldás kiterjeszhetősége a frontális és sagittalis síkú nézetre is, vagyis valós 3D megoldás biztosítása.

A vektor-alapú megjelenítés validálása a gerinc frontális és sagittalis síkú görbületeinek jellemzésében

Az EOS térbeli gerinc rekonstrukció korábbi validálásához hasonlóan, a vektor-alapú frontális és sagittalis gerinc görbületi mérési eredmények validálási vizsgálatát végeztük el, amelyben a számszerű adatok pontosságát és reprodukálhatóságát elemeztük, az EOS térbeli rekonstrukció validálásához használt, azzal teljesen megegyező módszertan alkalmazásával.

A vektor-alapú ábrázolás a gerincdeformitás-progresszió követésében és a műtéti korrekció értékelésében

A vektor-alapú megjelenítés és kvantitatív elemzés lehetőségét kihasználva, az új eljárás alkalmazását vizsgáltuk a betegség progressziójának követésére, valamint a műtéti korrekción átesett betegek posztoperatív vizsgálatának összehasonlító elemzésére.

Azt is vizsgálni kívántuk, hogy a progresszió valamint a műtéti korrekció eredményének jellemzésére hagyományosan használt, frontális görbületi érték változása milyen összefüggést mutat a vektor-alapú paraméterekkel, azok változásával, különös tekintettel a horizontális vetületi sík paramétereire.

3. BETEGEK ÉS MÓDSZEREK

3.1 Betegpopuláció

Betegpopuláció az ortopédiai felnőttkori alsóvégtagi vizsgálatokban

A 65 fős normális betegcsoportban 36 nő és 29 férfi szerepelt, átlagéletkoruk 26,3 év volt (19-39 év között). A 65 beteg 128 végtagján készült 3D rekonstrukció, mert két nő 1-1 végtagját az EOS vizsgálat alatti nem megfelelő lábtartás miatt kizártuk.

A 37 fős csípőízületi arthrosisban szenvedő betegcsoport 29 női és 8 férfi betegből állt, 67,8 év átlagéletkorral (45-80 év között). A csoportban 16 beteg kétoldali, 21 egyoldali elváltozással bírt, így összesen 53 végtag térbeli rekonstrukcióját végeztük el.

A térdízületi arthrosisban szenvedő betegcsoport 32 főből állt, a nemek aránya 28/4 (nő/férfi) volt, 67,0 év átlagéletkorral (53-80 év között). A csoportban 14 beteg kétoldali, 18 egyoldali elváltozással bírt, így összesen 46 végtagról készült térbeli rekonstrukció.

Betegpopuláció a traumás alsóvégtagi elváltozások posztoperatív vizsgálatában

Ezen vizsgálataink alanyait a Traumatológiai Klinikai Tanszéken 2009-2010 folyamán alsóvégtagi traumás törés miatti oszteoszintézist követően vizsgált 30 beteg képezte. A törések lokalizációjuk szerint 3 csoportot alkottak: pertrochantericus (n=10), femur diaphysis (n=8) és tibia diaphysis (n=12). A betegek nem szerinti megoszlása 18 nő, 12 férfi, átlagéletkoruk 48,2 év (24-63 év között) volt.

Betegpopuláció a térbeli gerincrekonstruációk validálási vizsgálatában

A betegpopulációt az Ortopédiai Klinikai Tanszék járóbetegellátásán 2007 júliusa és 2009 szeptembere közötti időszakban vizsgált betegek közül kiválasztott, összesen 201 személyt magába foglaló, nem-randomizált, retrospektív vizsgálati minta alkotta. A mintában 170 nő és 31 férfi szerepelt, átlagéletkoruk 19,88 év (SD= $\pm 10,14$) volt. A kiválasztott személyek között 10 fiatal, egészséges sportoló mellett 175 egyén adolescens idiopathias gerincferdülés, 11 degeneratív gerincferdülés, valamint további öt Scheuermann-betegség miatt került ortopédiai vizsgálatra.

A 2.4 és 2.5 célkitűzésnek megfelelően a fenti betegpopulációt a frontális síkú gerinc-deviáció nagysága szerint alcsoportokba soroltuk a Cobb-mérő módszerrel kapott érték alapján: 0-10° (1. csoport, n=36), 10-25° (2. csoport, n=25), 25-50° (3. csoport, n=69), 50-75° (4. csoport, n=49), illetve 75° és afölött (5. csoport, n=22).

Betegpopuláció a gerincdeformitás progressziójának és a műtéti korrekció eredményének elemzésében

Az eredeti 201 fős vizsgálati populációban összesen öt vizsgálati alany mindösszesen tizenegy, különböző dátummal, legalább három hónapos különbséggel készült EOS vizsgálati esete is szerepelt. Ezek alapján a betegség progresszióját elemeztük, a 2.5 célkitűzésnek megfelelően.

A kiválasztott 201 fős populációból 95 fiatalkori idiopathias gerincferdülésben szenvedő beteg műtéti korrekciót követő, posztoperatív eredményei is feldolgozásra kerültek, a 2.5 célkitűzés szerint. Ezen 95 fős alcsoport demográfiai jellemzői és a gerinc görbületek Lenke-féle klasszifikáció szerinti felosztása a következő volt: férfi/nő arány: 8/87, átlagéletkor: 18,6 év (SD = $\pm 7,41$); Lenke 1 típus: n=30, Lenke 2 típus: n=1, Lenke 3 típus: n=36, Lenke 4 típus: n=2, Lenke 5 típus: n=14 és Lenke 6 típus: n=12.

3.2 A vizsgálati eljárások menete

Az összes radiológiai vizsgálat az EOS 2D/3D berendezéssel (EOS Imaging S.A., Paris, France) egyidejűleg kivitelezett, kétirányú, álló testhelyzetben történő röntgenvizsgálat volt.

A kétirányú EOS röntgenképek tárolása az intézményi digitális képtároló radiológiai (PACS) rendszerben (Aspyra AccessNET v.6.2, Aspyra LLC, Westlake Village, CA, USA) történt. A kétirányú röntgenképek alapján az alsóvégtagról, a gerincről és a medencéről EOS felszíni térbeli rekonstrukció készült, a 3.3 alfejezetben leírt módon. A alsóvégtagi, gerinc és medence térbeli modellen az összes klinikailag releváns paraméter automatikusan kiszámításra és elmentésre került a sterEOS szoftver által.

Standard alsóvégtag vizsgálati procedúra

A két alsóvégtag csontjainak oldalirányú felvételen történő optimális elkülönítése céljából a beteg lábtartása speciális helyzetben volt, a jobb láb minimális (8-10 cm) előre történő elhelyezésével. A vizsgálat alatti mozdulatlanság elősegítése céljából a betegek kezükkel kapaszkodhattak.

Az ortopédiai betegek röntgenvizsgálata ambuláns megjelenésük napján történt, a traumatológiai betegekére az oszteosintézist követő 6. hét és 6. hónap között került sor.

Standard teljes gerinc vizsgálati procedúra

A háti gerincszakasz oldalirányú felvételen történő optimális megjelenítése és a felkarcsontok rávetülésének kiküszöbölése céljából a beteg kartartása könyökben 30-40 fokos szögben behajlított, a könyököt a felsőtest szintje elé vivő, az ujjakkal az arcot érintő testhelyzet volt. A műtéti korrekción átesett betegcsoportban a vizsgálatot a beavatkozás előtt 2-3 héttel és a műtétet követő 3. napon is elvégeztük.

Kiegészítő lépések a gerincdeformitások validálási vizsgálataiban

A 2.4 és 2.5 célkitűzéshez végzett validálási vizsgálatokban az EOS kétirányú röntgenfelvételeken a gerinc görbületeinek kézi módszerrel végzett mérése is megtörtént, a frontális síkú görbületeké a Cobb-módszer, a sagittalis görbületeké a módosított Cobb-módszer szerint. A 2.5 célkitűzéshez ugyancsak hagyományos kézi módszer segítségével mértük az ágyéki L₅ csigolya sagittalis irányú ékesedését okozó deformációt, az oldalirányú EOS röntgenfelvétel segítségével. A mérésekhez az intézményi PACS rendszer munkaállomás szoftverének (Aspyra MedView v.6.2, Aspyra LLC, Westlake Village, CA, USA) digitális Cobb-szög mérőeszközét használtuk.

A vizsgálatokban alkalmazott statisztikai analízis

A statisztikai analízis minden vizsgálatban SPSS statisztikai programcsomaggal történt (SPSS v16.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA). Statisztikailag szignifikánsnak, azaz validnak tekintettük azt az eredményt, amelynek hibahatára 5%-nál kisebb volt ($p < 0,05$). A számításokban kapott átlagértékeket azok kétszeres standard deviációjának illetve 95%-os konfidencia tartományának értékeivel együtt tüntettük fel.

3.3 Az EOS térbeli rekonstrukció

A térbeli rekonstrukcióhoz a sterEOS szoftver hivatalosan támogatott verzióit használtuk, vizsgálati csoportonként egységesen: sterEOS v1.3.4.3740 (gerinc), illetve sterEOS v1.4.2.4850 (alsóvégtagi ortopédiai és traumatológiai vizsgálatok).

Az alsóvégtag térbeli rekonstrukciója

Alsóvégtagi sterEOS 3D rekonstrukció két, egymástól komplexitásban és időtartamban eltérő módszerrel történhet: "3D alsóvégtag igazítás" (vagy "fast 3D") illetve "3D alsóvégtag modellezés" (vagy "full 3D"). Az előbbi igen gyors, 2-3 perces időtartamú módszer az alsóvégtag valós hosszának és

tengelyállásának térbeli megállapítását, utóbbi az érintett csontok felszíni térbeli rekonstrukciójának kézi vezérlést igénylő elkészítésével az összes releváns klinikai paraméter térbeli értékét is biztosítja. Vizsgálatainkban mindig a "full 3D" módszert alkalmaztuk.

A térbeli rekonstrukció során az EOS AP és LAT röntgenképeken a medence, femur és tibia meghatározott anatómiai referenciapontjainak regisztrálását követően a sterEOS szoftver kezdeti femur és tibia felszíni 3D modelljén, azok kijelölt pontjainak manipulálásával, további módosítások végezhetők. Ezzel mind hosszmeret- és átmérőbeli, mind alaki változtatásokat lehet elérni a 3D modell non-lineáris deformációjának révén mindaddig, amíg a térbeli modell kontúrjai illeszkednek a röntgenképen látott csontkontúrokra. A folyamat tipikus esetben végtagonként 8-10 percet vesz igénybe.

A napi gyakorlatban a frontális, sagittális és horizontális síkbeli nézetekben, illetve az AP/LAT röntgenfelvételekkel kombinálva történt a térbeli rekonstrukciók vizuális értékelése.

1. Táblázat Alsóvégtagi 3D rekonstrukciós paraméterek a sterEOS szoftverben

medence paraméterek	
medence incidencia (°)	a sacrum plató középpontját az interacetabularis tengely középpontjával összekötő egyenes és a sacrum plató egyenese által bezárt szög a sagittális síkban
sacrum lejtés (°)	a sacrum plató egyenese és a horizontális referenciavonal által bezárt szög a sagittális síkban
sagittális medence billenés (°)	a sacrum plató középpontját az interacetabularis tengely középpontjával összekötő egyenes és a vertikális referenciavonal által bezárt szög a sagittális síkban
laterális medence dőlés (mm)	az acetabulumok középpontjai közti eltérés a frontális síkban
medence axialis rotáció (°)	az interacetabularis tengely és az EOS 2D felvétel frontális fősíkja által bezárt szög, horizontális síkú vetületben
alsóvégtagi paraméterek	
femur hossz (cm)	a femur mechanikai tengelyének hossza
tibia hossz (cm)	a tibia mechanikai tengelyének hossza
teljes alsóvégtag hossz (cm)	a teljes alsóvégtag mechanikai tengelyének hossza
femurfej átmérő (mm)	a femurfej átmérője, oválisként értelmezve
femorális offset (mm)	a femurfej középpontjának távolsága a femur anatómiai tengelyétől
combnyak hossz (mm)	a combnyak tengelyének hossza a femurfej középpontjától a femur anatómiai tengelyéig
collodiaphysealis szög (°)	a combnyak- és a femur anatómiai tengelye által bezárt szög
térd valgus/varus (°)	a femur és a tibia mechanikai tengelyének szöge a frontális síkban, értéke varus állásban negatív, valgus állásban pozitív
térd flossum/recurvatum (°)	a femur és a tibia mechanikai tengelyének szöge a sagittális síkban, értéke recurvatum esetén negatív, flossum esetén pozitív
femur mechanikai tengelyszög (°)	a femur mechanikai tengelye és a két femur condylus legdistalisabb pontjait összekötő szakasz közti medialis szög a frontális síkban
tibia mechanikai tengelyszög (°)	a tibia mechanikai tengelye és a tibia plató érintő egyenese között mért medialis szög a frontális síkban
HKS (hip-knee-shaft) (°)	a femur mechanikai és anatómiai tengelye által bezárt szög a frontális síkban
femur torzió (°)	a combnyak tengely és a femur hátsó bicondylaris tengely által bezárt szög a femur mechanikai tengelyére merőleges síkban; értéke combnyak antevertióban pozitív, retrovertióban negatív
tibia torzió (°)	a tibia plató két leghátsó pontját érintő egyenes és a bimalleolaris egyenes által bezárt szög a tibia mechanikai tengelyére merőleges síkban; értéke pozitív a tibia kifelé rotációjakor, negatív befelé rotációjakor
femorotibialis rotáció (°)	a femur hátsó bicondylaris tengelye és tibia plató két leghátsó pontját érintő egyenes által bezárt szög a femur mechanikai tengelyére merőleges síkban

Az elkészült 3D modell alapján a medence és az alsóvégtag klinikailag releváns paraméterei a szoftverben tárolt számítási algoritmusokkal automatikusan meghatározásra kerülnek. A medencére is

kiterjedő térbeli rekonstrukciónak köszönhetően a sterEOS szoftver képes a vizsgált egyén acetabularis középpontjain áthaladó, frontális referencia fősíkhöz (Patient Plane vs. Radio Plane¹) viszonyított, valós 3D paramétereket is kiszámítani. A paraméterek listáját és magyarázatát az *1. Táblázat* tartalmazza.

A gerinc térbeli rekonstrukciója

A gerinc térbeli rekonstrukciójának folyamata a sterEOS szoftverben szintén kétféle ("fast 3D" illetve "full 3D") módszerrel történhet. Vizsgálatainkban mindig a "full 3D" módszert használtuk.

Az EOS AP és LAT röntgenképeken a sacrum plató és a két acetabulum, a háti első (T₁) csigolya felső zárólemeze és az ágyéki utolsó (L₅) csigolya alsó zárólemeze regisztrációja, valamint a gerinc lefutásának és szélességének megfelelő térbeli S-alakú henger létrehozása után a szoftverben tárolt matematikai algoritmusok segítségével egy kezdeti térbeli gerincmodell keletkezik, amelyen az egyes csigolyák mozgatására, forgatására és méretbeli módosítására szolgáló, szinkódolt referencia pontokat használva, translációs, rotációs műveletekkel és a csigolya kontúrrajzolatok non-lineáris deformációjával manuális interakciók végezhetők. A csigolyánként történő interaktív módosítások sorozata mindaddig végzendő, amíg a virtuális 3D modell kontúrvonalai és a röntgenfelvételeken ábrázolt csontkontúrok között pontos illeszkedés és átfedés jön létre. Ez tipikus esetben átlagosan 20-30 percet vesz igénybe.

A napi gyakorlatban a frontális, sagittális és horizontális síkú vetületi nézetekben, illetve az AP/LAT röntgenfelvételekkel kombinálva történt a térbeli rekonstrukciók vizuális értékelése.

Az elkészült 3D modell alapján a gerinc és a medence klinikailag releváns paraméterei a szoftverben tárolt számítási algoritmusokkal automatikusan meghatározásra kerülnek és a vizsgált egyén frontális referencia-fősíkjára (Patient Plane vs. Radio Plane) ismeretében valós, a térbeli modelltől érvényes értékeket tartalmaznak. A paraméterek listáját és magyarázatát a *2. Táblázat* mutatja be.

2. Táblázat Gerinc 3D rekonstrukciós paraméterek a sterEOS szoftverben

medence paraméterek	
megegyeznek az alsóvégtagi 3D rekonstrukció paramétereivel (1. Táblázat)	
scoliosis paraméterek	
Cobb-szög (°)	a frontális görbületet alkotó superior zárócsigolya felső zárólemeze és az inferior zárócsigolya alsó zárólemeze által bezárt szög a frontális síkban
axialis apicalis csigolyarotáció (°)	a frontális görbület csúcsponti csigolyájának axialis rotációja a Patient vagy Radio Plane által meghatározott fősíkhöz viszonyítva
sagittális egyensúly	
T ₁ -T ₁₂ kyphosis (°)	a T ₁ felső zárólemeze és a T ₁₂ alsó zárólemeze által bezárt szög a sagittális síkban
T ₄ -T ₁₂ kyphosis (°)	a T ₄ felső zárólemeze és a T ₁₂ alsó zárólemeze által bezárt szög a sagittális síkban
L ₁ -L ₅ lordosis (°)	a L ₁ felső zárólemeze és a L ₅ alsó zárólemeze által bezárt szög a sagittális síkban
L ₁ -S ₁ lordosis (°)	a L ₁ felső zárólemeze és a sacrum plató által bezárt szög a sagittális síkban
csigolya orientáció	
T ₁ - L ₅ között, csigolyánként (°)	a T ₁ - L ₅ csigolyák lokális frontális/sagittális/axialis síkja által meghatározott, a felette lévő csigolya térbeli pozíciójához képest értelmezett frontális/sagittális/axialis rotáció
intervertebrális rotáció	
T ₁ -T ₂ - L ₄ -L ₅ között páronként (°)	a T ₁ - L ₅ csigolyák lokális frontális/sagittális/axialis síkja által meghatározott, a felette lévő csigolya térbeli orientációjához képest értelmezett frontális/sagittális/axialis rotáció

¹ Patient Plane: a vizsgált beteg testének EOS vizsgálat alatti saját frontális fősíkjára, függetlenül annak az EOS Radio Plane-hez viszonyított helyzetétől; Radio Plane: az EOS AP sugárforrásra merőleges frontális fősík

3.4 Az alsóvégtagi EOS rekonstrukció alapján nyert paraméterek értékelése

A felnőtt ortopédiai betegmintán végzett vizsgálatunkban a normális, valamint a csípő- és térdízületi arthrosis tüneteit mutató csoportok összes releváns paraméter átlagértékét saját csoporton belül, illetve a csoportok között összehasonlítva is értékeltük.

A traumatológiai betegcsoportunkon minden eset mindkét végtagi paraméter értékét rögzítettük, majd az operált oldalét az ellenoldali, normál referenciának tekintett ép végtag következő paramétereivel hasonlítottuk össze: femur és tibia hossza, teljes végtaghossz, femur és tibia anatómiai és mechanikai tengelye, a tibia és femur rotációja, a collodiaphysealis szög, valamint a térd varus/valgus illetve flessum/recurvatum szöge.

3.5 Az EOS rekonstrukcióval nyert frontális és sagittalis görbületi paraméterek validálása

Az EOS térbeli rekonstrukciók alapján nyert frontális és sagittalis görbületi paraméterek validálása a klinikai gyakorlatban rutinszerűként használt Cobb-módszer szerinti, manuális 2D szögmérésekkel kapott értékekhez viszonyított vizsgálatokból állt. Ezek során a kapott adatok pontosságát, megbízhatóságát és reprodukálhatóságát ellenőriztük statisztikai módszerekkel.

A méréseket három, mind a kézi mérések, mind az EOS térbeli rekonstrukcióban jártassággal rendelkező vizsgáló végezte, a vizsgálatokba beválasztott 201 vizsgálati alanyunkról készült kétirányú EOS röntgenfelvételeken. A frontális görbületek felső és alsó zárócsigolyájának meghatározása minden esetre nézve, előzetes egyeztetésre került a három vizsgáló között. Minden manuális 2D mérést 3-3 alkalommal ismételtünk, miközben a mérési sorozat egyes tagjai random sorrendben és anonimizált módon kerültek a vizsgálók elé. Az EOS térbeli rekonstrukció "full 3D" verzióját minden vizsgáló 2-2 alkalommal végezte el, az összes esetre nézve. A mérési sorozatokban kapott frontális görbületi szögek, a T₄-T₁₂ kyphosis illetve az L₁-L₅ lordosis értékek statisztikai elemzése SPSS v16.0 statisztikai programcsomaggal történt.

A hagyományos manuális 2D és sterEOS 3D mérési sorozatminták eredményeinek összehasonlítására kétmintás t-próba, a közöttük lévő összefüggés elemzésére Pearson-korrelációs vizsgálat történt. A mérési sorozatokra nézve az egyes vizsgálók saját (intraobserver) reprodukálhatósága illetve a három vizsgáló közötti (interrater) megbízhatóság megállapításához az intraclass correlation coefficient (ICC) kiszámítása történt, alpha two-way random modell alkalmazásával; az intraobserver ICC esetében a mérési sorozat egyes tagjainak konzisztens voltára, míg az interrater ICC esetében azok abszolút megegyezésére történt súlyozással.

3.6 A gerinc vektor-alapú térbeli ábrázolása

A sterEOS térbeli rekonstrukció térbeli felülnézeti kompozit képeinek megértéséhez és számszerű kiértékeléséhez – kézenfekvő és bevezetett módszer hiányában –, a vizuális információ egyszerűsítése és absztrakciója céljából került általunk kidolgozásra a "csigolyavektor" koncepciója, a szakirodalomban is teljesen új fogalomra épülő eljárás és módszer.

A csigolyákat helyettesítő vektor definíciója

A csigolyavektor olyan, a vektorral mint matematikai entitással megegyező jelentéstartalmú, térbeli objektum, amelynek kiterjedése (nagysága), térbeli helyzete (3D pozíciója) és orientációja (irányultsága) van. Mint vizuális absztrakció, a térbeli rekonstrukció által reprezentált valós csigolya egészét képes – annak mind a megjelenítésében, mind számszerű jellemzésében – helyettesíteni.

A csigolyatest két pediculusának középpontja által meghatározott interpedicularis szakasz felezőpontja a csigolyavektor *kezdőpontja*, melyet a konvenció szerint *A*-val jelölünk. A csigolyavektor

meghatározásához az A kezdőpontból a csigolyatest felső zárólemezeének síkjával párhuzamos síkban, a horizontális fő vetületi síkban a csigolyatest szimmetria-tengelyében haladó, a csigolyatest elülső felszínét metsző szakaszt képezünk, melynek a csigolyatest határával való metszéspontja alkotja a csigolyavektor B vel jelölt *végpontját*. Az így kapott AB vektor a horizontális vetületi síkban az interpedicularis szakasz felezőpontjából a csigolyatest szimmetriatengelyében a csigolyatest elülső pereméig haladva, annak sagittális középtengelyét alkotja.

Kalibrált koordináta-rendszer a vektorkoordináták meghatározásához

A csigolyavektort egy szabványos Descartes-féle térbeli (x, y, z) koordináta-rendszerbe helyezve, lehetővé válik a vektor A kiindulási és B végponti X, Y, Z koordinátáinak meghatározása. A koordináta-rendszer x tengelyét az EOS térbeli rekonstrukció horizontális vetületi síkú, felülnézeti képén körként ábrázolódó két acetabulum középpontját összekötő szakasz alkotja. A koordináta-rendszer *origója* az interacetabularis szakasz felezőpontja. A koordináta-rendszer y tengelye az origóban az x tengelyre merőleges tengely. A koordináta-rendszer z tengelye az origóban az x és y tengelyre is merőleges tengely. A koordináta-rendszer léptéke a horizontális vetületi síkú képen ábrázolt interacetabularis szakasz mérete alapján kerül meghatározásra: az interacetabularis távolság feléhez 100 egységet rendelünk. Az így kapott léptéket a koordináta-rendszer x, y , és z tengelyein azonos módon alkalmazzuk.

A vektorparaméterek kiszámítása

Az x, y, z koordináta-rendszerbe helyezett csigolyavektor pontjainak koordinátái egyszerűen megkaphatók mindhárom tengely mentén. Az A és B vektorpontok $A(A_x;A_y;A_z)$ és $B(B_x;B_y;B_z)$ koordináta-értékei alapján az AB csigolyavektor $AB(x;y;z)$ koordinátái illetve a koordináta-rendszer frontális, sagittális és horizontális síkjában mért a_F, a_S és a_H vektorszögei *szabványos vektor-algebrai* eljárásokkal kiszámíthatók.

A gerinc görbületeinek vektor-alapú mérési módszere

A konvencionális mérési módszerekkel megegyezően, a Cobb-módszerhez hasonlóan történik a vektor-alapú görbületmérés. A lényegi eltérés, hogy az illető csigolyák felső és alsó zárólemeze által meghatározott vonalak helyett a frontális síkban az interpedicularis szakaszok által meghatározott vonalakat, a sagittális síkban az illető csigolyavektorok által kijelölt vonalakat használjuk.

Az összes vizsgált eset térbeli gerinc rekonstrukciójához megtörtént a csigolyákhoz tartozó vektorok és alkotóelemeik létrehozása, a sterEOS szoftverhez kiegészítő alkalmazásként, a gyártó cég által fejlesztett, *Vertebra Vector Tool v3.1* segédprogrammal. Ez a szoftver kiszámítja a csigolyavektor koordináták és paraméterek értékét is a koordináta-rendszer mindhárom síkjában és ez a segédprogram szolgáltatja a szükséges mérési adatokat a csigolyavektor-alapú frontális és sagittális görbületi mérésekhez.

3.7 A vektor-alapú megjelenítés validálása, a gerincdeformitás progressziójának és a műtéti korrekció eredményének elemzése

A vektor-alapú térbeli paraméterek validálása a gerinc frontális és sagittális síkú görbületeinek jellemzésében

A csigolyavektorok segítségével kapott frontális és sagittális irányú görbületi mérési eredmények validálása szintén a klinikai gyakorlatban rutinmódszerként használt Cobb-módszer szerinti, manuális 2D szögmérések alapján kapott paraméterekhez viszonyított vizsgálatokból állt, a *3.5 alfejezetben* leírtakkal megegyező módon. A mért adatok pontosságát, reprodukálhatóságát és megbízhatóságát statisztikai módszerekkel ellenőriztük. A méréseket ugyanaz a három, mind a kézi mérések, mind az EOS térbeli rekonstrukcióban jártassággal rendelkező vizsgáló végezte, az előző alfejezetben ismertetett eljárással

teljesen megegyező módon. Az elemzés ismételtén a frontális görbület szögekre, a T₄-T₁₂ kyphosis illetve a L₁-L₅ lordosis értékekre terjedt ki. A statisztikai elemzés SPSS v16.0 alkalmazásával történt. A mérési sorozatminták eredményeinek összehasonlítására kétmintás t-próbát, a közöttük lévő összefüggés elemzésére Pearson-korrelációs vizsgálatot használtunk. Az egyes vizsgálok saját méréseik (intraobserver) reprodukálhatósága illetve a három vizsgáló közötti (interrater) megbízhatóság megállapításához az intraclass correlation coefficient (ICC) kiszámítása történt, a *3.5 alfejezetben* leírtakkal megegyező módon.

Kiegészítő mérési sorozatként az L₅ ágyéki csigolya EOS LAT röntgenfelvételen ábrázolódó ékesedésének mértékét is megállapítottuk az összes vizsgálati alany tekintetében, az L₅ csigolya felső és alsó zárólemeze által bezárt szög hagyományos kézi mérésével. Ennek átlagértékét összehasonlítottuk a vektor-alapú és hagyományos 2D méréssel megállapított, L₁-L₅ lordosis értékek közötti különbséggel, mind az összes vizsgálati alany, mind az egyes betegcsoportok tekintetében.

A gerincdeformitás progressziójának és a műtéti korrekció eredményének elemzése vektorparaméterek alapján

A betegség progressziójának elemzéséhez ugyanazon beteg két vagy több, eltérő időpontban történt vizsgálatának egymással való összehasonlítására került sor. Ezt egyrészt vizuálisan, a térbeli rekonstrukciós és csigolyavektorokkal ábrázolt megjelenítések, másrészt parametrikusan, a sterEOS klinikai paraméterek és vektor-alapú paraméterek alapján végeztük.

A 95 műtéti korrekción átesett vizsgálati alanyunk preoperatív EOS vizsgálata és térbeli rekonstrukciója valamint az ezek alapján generált csigolyavektorok elemzése a standard procedúra szerint történt. A műtéti korrekciót követő 3. napon, a preoperatív vizsgálat körülményeivel megegyező módon elvégzett posztoperatív EOS röntgenvizsgálat és térbeli rekonstrukció alapján generált csigolyavektorok szolgáltatották az adatokat, amelyeket a preoperatív adatokkal vetettünk össze vizuálisan és parametrikusan.

A vizsgált paraméterek ezek voltak: a hagyományos Cobb-módszerrel megállapított frontális görbület (Cobb-szög), T₄-T₁₂ kyphosis, L₁-L₅ lordosis értékei, a görbület csúcsponthoz (apicalis) csigolyájának (APV) sterEOS szoftver által kalkulált axialis rotációja (AVR), a műtéti korrekció hatására bekövetkezett frontális görbületi szög változása (Δ Cobb), ill. a görbület apicalis csigolyájához tartozó csigolyavektor horizontális síkbeli vetületi paraméterei (APV-A_x, APV-B_x, APV- α_H) és ezek műtéti korrekció hatására bekövetkezett delta-értékei (Δ APV-A_x, Δ APV-B_x és Δ APV- α_H).

Az összehasonlító statisztikai elemzéshez kétmintás t-próba, az adatpárok összefüggésének elemzésére Pearson-korrelációs és lineáris regressziós vizsgálatok történtek, SPSS v16.0 program alkalmazásával.

4. EREDMÉNYEK

4.1 Az EOS 2D/3D vizsgálat alkalmazása felnőttkorban az alsó végtagi elváltozások térbeli megjelenítésére

Az egészséges felnőtt populációt reprezentáló normál betegcsoportunkban a femur átlagos hossza 42,9 cm (37,3-50,8 cm szélsőértékekkel), a tibia hosszának átlagértéke 37,1 cm (32,6-44,4 cm) volt. A leghosszabb tibia a leghosszabb femurhoz tartozott. Az esetek hosszértékeinek párosával történő összevetése egymással közvetlenül arányos értékeket és minimális szórást mutatott. A femurfej átmérő átlagértéke 44,5 mm (38,6-55,3 mm), a combnyak átlagos hossza 50,5 mm (40,9-63,4 mm) volt. A férfiak értékei rendre nagyobbak voltak a nőknél. A collodiaphysealis szög is nemhez kötött eltérést mutatott, a férfiaké szignifikánsan nagyobb, 129° (116-142°) volt, mint a nőké, 127,8° (114-141,6°). A HKS szög átlaga 4,8° (1,0-8,6°) volt, a férfiak átlagértéke 4,9°, a nőké 4,6°.

A frontális síkban mért, a femur és tibia mechanikai tengelyek által bezárt szög (varus/valgus) átlagértéke -0,8° volt (-7,5 – +5,5° szélsőértékekkel), azaz enyhe varus állás. A férfiak átlaga kifejezettebb

varus volt (-2,3°), mint a nőké 0,7° (vagyis valgus). A minta eseteinek egyedi elemzésekor 125 eset normális varus/valgus tengelyállást mutatott, amikor is a tengely ± 5 foknál többel nem tér el a nullától. A három ettől eltérő eset varus állású volt. A sagittalis síkban mért femur és tibia mechanikai tengelyek által bezárt szög (flessum/recurvatum) átlagértéke -1,2° (enyhe recurvatum) volt, de a nemek közti átlagok statisztikailag szignifikáns eltérése megközelítette az 5 fokot (-3,7 a nőkben, 1,2° a férfiakban).

A torziós paraméterek térbeli értékei feltűnő varianciát mutattak. A femur torzió átlaga 17,1° volt, -4,4° és 39,1° szélsőértékekkel és 11,51° szórással. A nőkben mért átlagérték 19,2° volt, 4,1 fokkal nagyobb mint a férfiakban. A tibia torzió átlagértéke 36° volt (16,6-52,3° szélsőértékek mellett), szignifikáns kifelé rotált pozícióra utalva. A nőkben ez a paraméter is nagyobb átlagértéket mutatott a férfiakénál (37,7° illetve 34,3°). A sterEOS szoftverben a femorotibialis rotáció a tibia kifelé rotált helyzetében pozitív, befelé rotált helyzetben negatív értékű. Vizsgálati átlagértéke 2,3° volt (-10,7° és 14,8° szélsőértékekkel, 7,16° szórással). A másik két torziós paraméterhez hasonlóan, a nőkben mért átlagérték (3,6°) meghaladta a férfiakét (0,9°).

A 37 fős coxarthrosisos betegcsoportban az átlagos femur és tibia hossz, a teljes alsó végtag hossz, a collodiaphysealis szög, a femur torzió értékei alacsonyabbak, a femurnyak hossza (femoralis offset) kissé nagyobb volt a normál betegcsoportéhoz képest.

A 32 fős térdízületi arthrosisban szenvedő betegcsoportunkban a varus/valgus tengelyállás szerint alcsoportokat lehetett elkülöníteni. 7 esetben normál tengelyállással (átlagérték -0,9°, -4° és 5° határértékekkel), 35 esetben varus állással (átlagérték -8,8°, -16° és 5° között), és 4 esetben valgus állással (átlagérték 9,6°, 5-20° értéktartomány). Eredményeink arra utalnak, hogy a gonarthrosisban szenvedő betegcsoport legjellegzetesebb klinikai paramétere a varus irányú tengelyeltérés, amelynek csoportátlaga (-6,0°) jelentős eltérést mutat a normál betegcsoport átlagához (-0,8°) képest.

4.2 Az EOS 2D/3D vizsgálat alkalmazhatósága traumás alsó végtagi elváltozások posztoperatív elemzésére

A vizsgált 30 alsó végtagi törés miatt oszteoszintézisen átesett beteg 60 végtagján kapott eredményeket töréstípusok szerinti csoportokban elemeztük. A térbeli rekonstrukciók minden egyes esetben a medencére is kiterjedtek, így a sterEOS szoftver minden esetben képes volt a vizsgált egyén acetabularis középpontjain áthaladó, frontális referencia síkhoz ("Patient Plane") viszonyított, valós 3D paramétereket kiszámítani.

A tíz Gamma-szegezett sérültnél mértük a femur hosszát, a combnyak hosszát, a collodiaphysealis szöget, a femur mechanikai tengelyét valamint a femur torzóját az ép és a sérült oldalon. A két oldal értékeit egymással összehasonlítottuk. Lényeges megjegyzés, hogy az operált végtagon meghatározott végtaghossz-különbség nem abszolút, hanem az ellenoldali ép végtaghoz viszonyított relatív különbség. A műtét utáni adatokban szignifikáns eltérést találtunk a femur hosszban 0,8 cm rövidüléssel, a mechanikai tengelyben (2°) és a collodiaphysealis szögben (5,3° varus irányú eltérés). A combnyak-hossz 0,11 cm csökkenése illetve a 1,1° torziós eltérés nem volt szignifikáns.

A nyolc femur diaphysis töréses esetről mértük a femur hosszát, mechanikai tengelyét valamint torzóját az ép és sérült oldalon. A femur hosszban 1,1 cm szignifikáns csökkenést, a tengelyben 0,8°, a torzióban 7,2° szignifikáns eltérést igazoltunk.

A 12 lábszár-törött sérültnél az operált és ép oldali tibia hosszt, mechanikai tengelyt és torziót hasonlítottuk össze. Nagyobb és szignifikáns különbséget mértünk a hossz- és tengelyeltérésekben, mint a combcsont-törötteknél. Az átlagos rövidülés 1,7 cm, a tengelyeltérés varus irányú 2,1°, a torziós különbség 3,1° berotáció volt.

4.3 Az EOS 2D/3D vizsgálat klinikai alkalmazása a gerincdeformitások pre- és posztoperatív diagnosztikájában

Ugyan az értekezésben bemutatásra kerülő vizsgálatokban viszonylag kisszámú és a 2007 június és 2012 május között eltelt időszak tekintetében is csak egy rövidebb időtartamra szorítkozó, 201 fős betegcsoport szerepel, a teljes ötéves időszakban a vizsgálati eljárás Intézetünk napi klinikai rutinjának részévé vált. Az 5 éves időszak alatt mindösszesen elvégzett 7100 EOS kétirányú röntgenvizsgálatból 2900 gerincdeformitás (túlnyomórészt fiatalkori idiopathias scoliosis és gyermekkori rendszerbetegséghez társuló másodlagos gerincferdülések) vagy gerincpanaszok (pl. felnőttkori degeneratív elváltozások) miatt került elvégzésre. Ezen belül 450 esetben műtéti korrekción átesett beteg posztoperatív EOS vizsgálatát végeztük el. Ez a gyakorlatban azt jelentette, hogy – attól a kevés kivételtől eltekintve, amelyekben túlnyomórészt átmeneti technikai problémák játszottak szerepet – a klinikai járóbetegrendelésen gerincpanaszokkal jelentkező betegeknél valamint a műtéti korrekción átesett betegeinknél végzett, teljes gerinc radiodiagnosztikai vizsgálat *gyakorlatilag mindig* kétirányú EOS vizsgálat volt.

Az összes gerinc EOS röntgenvizsgálat alapján ugyanezen 5 év alatt kivitelezett gerinc térbeli rekonstrukciók száma elérte a 2700-at, amelyen Intézetünk négy munkatársa 40-30-15-15 arányban osztozott mint operátor. Az összesen 2700 térbeli rekonstrukcióból műtéti korrekción átesett beteg posztoperatív EOS térbeli rekonstrukcióinak száma elérte a százötvenet.

4.4 Az EOS rekonstrukció értékelése és validálása a gerincdeformitások térbeli jellemzésében

Az EOS rekonstrukció validálása a frontális és sagittális síkú görbületek jellemzésében

A gerinc frontális és sagittális görbületeinek hagyományos kézi (manuális 2D) és EOS térbeli rekonstrukción alapuló (sterEOS) módszerrel mért, a három független vizsgáló által végzett mérési eredmények vizsgálón belüli (intraobserver) reprodukálhatóságát az intraobserver ICC értékek alapján elemeztük. Mindhárom vizsgáló esetében, akár a kézi, akár a térbeli rekonstrukciós mérési értékeit tekintetében kiváló reprodukálhatóságot találtunk. Vizsgáló No. 1 teljesítménye mutatkozott minden tekintetben a legjobbnak, 0,999 és 1,0 ICC értékekkel.

A hagyományos manuális és EOS térbeli rekonstrukción alapuló 3D görbületi mérések pontosságának és korrelációs analízisének eredményei igazolták, hogy a frontális görbületi és T₄-T₁₂ kyphosis értékek tekintetében csupán elhanyagolható és statisztikailag nem szignifikáns eltérések mutatkoztak (1,22° $p < 0,05$, illetve 0,57° p -érték nem-szignifikáns). Statisztikailag szignifikáns, de apró eltérést találtunk az L₁-L₅ lordosis értékek között (2,0° $p < 0,01$). Statisztikailag szignifikáns és erős korrelációt találtunk az egyes mérési paraméter-párok tagjai között.

A három vizsgáló összes betegen kivitelezett görbületi mérései egymás közötti megbízhatóságának interrater ICC értékei alapján kimutattuk, hogy a hagyományos kézi 2D mérések jó megbízhatósági értékeit (0,971, 0,884 és 0,845 a frontális görbületek, T₄-T₁₂ kyphosis és L₁-L₅ lordosis esetében) az EOS térbeli rekonstrukciók alapján végzett 3D mérések megbízhatósága mindegyik paraméter tekintetében felülmúlta (0,985, 0,975 és 0,930 a frontális görbületek, T₄-T₁₂ kyphosis és L₁-L₅ lordosis esetében). A sagittális görbületi mérések megbízhatósága közötti különbség kifejezettnek bizonyult.

Az egyre nagyobb frontális görbülettel rendelkező 5 betegcsoporton belüli mérések pontossági és egymás közötti korrelációs értékeit elemezve, összességében megállapítást nyert, hogy a kézi 2D mérésekhez képest csupán nem jelentős és/vagy statisztikailag nem-szignifikáns különbségeket találtunk, kivéve a 4. csoport 3,28° háti kyphosis és 4,57° ágyéki lordosis értékbeli különbségét. A Pearson-korreláció az egyes mérési paraméter-párok tagjai között középestől az erősig terjedt, kivéve az 1. csoport frontális görbületi paraméterének értékét ($r=0,107$).

Az egyes vizsgálók közötti reprodukálhatóság interrater ICC értéke konzisztens módon magasabbnak mutatkozott a sterEOS mérések javára a manuális 2D mérésekkel szemben. A nagyon jótól a kiválóig terjedő ICC értékek mindegyike 0,9 közelében vagy afölött volt és a kézi 2D mérésekkel ellentétben, nem mutatott romló tendenciát az egyes betegcsoportok egyre fokozódó görbületi értékeivel párhuzamosan.

Az EOS rekonstrukció horizontális síkú vetületi képének elemzése

Egészséges gerincpal rendelkező sportolók szűrővizsgálatai alapján lehetőség nyílt a normális horizontális síkú megjelenés elemzésére.

A háti és ágyéki csigolyák a medence harántirányú tengelyére merőleges szimmetria-tengely – más néven a sagittalis középvonal – mentén, közepén helyezkednek el, számottevő oldalirányú eltérés nélkül, a detektálási küszöböt alig meghaladó mértékű axialis rotáció mellett. A sagittalis középvonalbeli elrendezésődésű csigolyák az interacetabularis távolságénál valamivel kisebb, arra merőleges – a leginkább ventralisan és dorsalisan elhelyezkedő két csigolyatest ventralis kontúrja és tövisnyúlvány-kontúrja közti – távolságot fednek le. Ez az oldalirányú röntgenfelvételekről ismert, sagittalis görbületek jellegzetes S-alakú lefutásának felel meg. Az egymás alatti csigolyatestek és csigolyanyúlványok egymásra vetülésük miatt a legtöbb esetben alig vagy nehezen különíthetők el egymástól.

Az idiopathias gerincdeformitás leggyakoribb típusának – egyszeres háti főgörbülettel járó (Lenke 1 típus) – reprezentatív esetének megjelenítésén a normális gerinc térbeli rekonstrukciójához képest több lényegi eltérés állapítható meg. A legszembetűnőbb a csigolyák – frontális síkú ábrázolásokról jól ismert – oldalirányú deviációja, amelynek köszönhetően a görbület csúcsponti csigolyája a többihez képest leginkább lateralizáltan helyezkedik el; súlyosabb fokú jobbra konvex görbületű eseténél oldalra való kitérése csaknem eléri az azonos oldali acetabulum külső kontúráját.

További jellegzetes eltérés, hogy ellentétben a normális gerincpal, a háti és ágyéki gerincszakasz egésze az interacetabularis haránttengelyhez közel, azzal szinte párhuzamosan helyezkedik el, a normálishoz képest gyakorlatilag merőlegesen. Ezzel a jelenséggel szoros összefüggésben a csigolyák által a sagittalis középvonalra vetített "lefedési" távolság jelentősen csökkent a normális értékhez képest, az interacetabularis távolságnak csupán a felét teszi ki. A horizontális síkú vetületi képen így ábrázolódik a gerinc oldalirányú röntgenfelvételekről ismert jellegzetessége, a háti kyphosis és ágyéki lordosis csökkenésével járó sagittalis síkú konfiguráció-változás.

A scolioticus gerincdeformitás harmadik lényeges összetevője, a görbületet alkotó csigolyák axialis rotációja is jól ábrázolódik, amely az apicalis csigolya esetében éri el maximális értékét és még a csigolyatestek egymásra vetülése mellett is jól látható a haránt- és tövisnyúlványok pozíciója alapján.

A fiatalkori gerincdeformitások másik nagy csoportját alkotó, kettős főgörbülettel járó (Lenke 3 típusú) reprezentatív eset térbeli rekonstrukciójának felülnézeti képén a háti szakasz enyhe, jobbra konvex struktúrális főgörbülete és az ágyéki szakasz kifejezettebb balra konvex struktúrális főgörbület jól felismerhető, a két gerincszakasz ellentétes oldalra történt deviációja szerint.

Noha a kettős főgörbület természeténél fogva kevésbé hangsúlyosan, mint az előző egyszeres főgörbület esetében, itt is felismerhető az egész gerinc közeledése az interacetabularis tengelyhez és az érintett csigolyák pozíciójának ezen tengellyel párhuzamos átrendeződése, valamint a sagittalis középvonalra vetített "lefedési" távolság kisfokú csökkenése az interacetabularis távolsághoz képest. A két főgörbületet alkotó csigolyák ellentétes irányú axialis rotációs eltérése kifejezetten jól ábrázolódik.

Egy időskori degeneratív gerincelváltozás talaján kialakult, súlyos fokú deformitással járó eset horizontális síkbeli felülnézeti képén az eddigi két, jellemzően fiatalkori deformitás-típushoz képest ebben az esetben a gerinc leginkább feltűnő eltérése a háti szakasz csigolyáinak az interacetabularis tengely alá (valójában ventralisan) történt pozícionálódása és a felső és középső háti szakasz mintegy "kiterített"

konfigurációja, az általa lefedett ventralis-dorsalis távolság markáns növekedése az interacetabularis távolsághoz képest. Ugyancsak jól felismerhető az ágyéki szakasz oldalirányú eltérése, míg az apicalis csigolya a görbületet alkotó csigolyákhoz képest dorsalisán helyezkedik el, nagyfokú axialis rotációval.

4.5 Az EOS rekonstrukcióra alapuló vektoros ábrázolás elemzése és validálása a gerinc térbeli jellemzésére

Az egészséges gerinc EOS térbeli rekonstrukció horizontális síkbeli felülnézeti képéhez képest a vektor-alapú megjelenítés áttekinthetőbb és egyszerűbben értelmezhető. A sagittalis középvonal mentén elhelyezkedő csigolyák a vektor-alapú ábrázolásban a kalibrált koordináta-rendszer γ tengelyében, minimális oldalirányú eltérést mutatnak ($B_x < \pm 5$ egység), a horizontális vektorszög által jelzett axialis rotáció pedig elhanyagolható ($\alpha_H < 3^\circ$). A vizsgálati alanyok a normális felső határértékhez közeli, enyhén fokozott háti kyphosis miatt az γ tengelyen mért, csigolyavektorok által "lefedett" távolság körülbelül 140 egységgel – azaz az interacetabularis távolság felének 1,4-szeresével – egyenlő és a csigolyavektorok túlnyomó része az x tengelyhez képest felül ábrázolódik. A csigolyavektorok a térbeli rekonstrukciók kép 3D csigolya-modelljeihez hasonlóan erősen egymásra vetülnek, ezért egymáshoz képest elfoglalt pontos térbeli helyzetük és az általuk reprezentált gerinc térbeli lefutása nehezen képzelhető el.

Az egyszeres főgörbülettel járó gerincdeformitás vektor-alapú horizontális síkbeli felülnézeti képén szembeötlő a csigolyavektorok fokozatos eltérése az x tengely negatív számtartománya felé, amely a görbület T_9 apicalis csigolyája tekintetében az acetabularis középpontot meghaladó értéket mutat ($B_x = -110,3$). Feltűnő a csigolyavektorok harántirányú elrendeződése az interacetabularis x tengellyel párhuzamosan. A csigolyavektorok által "lefedett", γ tengelyen mérhető távolság kisebb mint 75 egység. A görbületet alkotó csigolyák egyre fokozódó axialis rotációját jelzi, hogy a T_6-L_2 csigolyavektorok elfordult helyzetűek, maximális értéket ugyancsak az apicalis T_9 csigolyavektor esetében mutatva ($\alpha_H = 31,1^\circ$).

A kettős főgörbületű gerincdeformitás reprezentatív esetének vektor-alapú horizontális síkbeli felülnézeti képén a csigolyavektorok a kettős görbületnek megfelelő, S-alakú elrendeződése feltűnő. A ágyéki szakasz nagyobb főgörbületi L_2 apicalis csigolyavektorának oldalirányú deviációja és axialis rotációja mutatja a maximális értékeket ($B_x = 63,3$; $\alpha_H = 17,2^\circ$). A csigolyavektorok által "lefedett", γ tengelyen mért távolság 125 egység.

Az időskori súlyos degeneratív gerincdeformitás vektor-alapú megjelenítése hasonlóan az előző esetekhez, áttekinthetőbb és a részleteket tekintve pontosabb képet nyújt az elváltozás típusáról és fokáról. A háti gerincszakasz mintegy "kiterítve" ábrázolódik a felsőtest nagyfokú előredőlése miatt, amely a sagittalis egyensúly felborulását jelzi. Az ágyéki szakasz főgörbületi L_1 apicalis csigolyája mutatja az oldalirányú deviáció és az axialis rotáció maximális értékét ($B_x = 91,0$, $\alpha_H = 33,5^\circ$). A paradox ágyéki kyphosznak megfelelően az ágyéki szakasz lefutása a normálistól eltérő. A gerinc háti és ágyéki szakasza által "lefedett", γ tengelyre vetített távolság meghaladja a 210 egységet, azaz a teljes interacetabularis átmérőt is.

A vektor-alapú megjelenítés validálása a gerinc frontális és sagittalis síkú görbületeinek jellemzésében

A három, egymástól független vizsgáló hagyományos manuális görbületi méréseinek és az általuk kivitelezett térbeli rekonstrukciók alapján nyert vektor-alapú görbületi mérések saját reprodukálhatóságát az egyes vizsgálók mérési sorozatainak eredményeiből számított, intraobserver ICC értékekkel jellemeztük. Akár a hagyományos kézi 2D mérések, akár az EOS térbeli rekonstrukciók alapján generált csigolyavektor-alapú görbületi mérések kiváló reprodukálhatóságot mutattak, mindhárom vizsgáló esetében.

A vektor-alapú görbületi mérések hagyományos 2D mérési eredményekhez viszonyított pontosságát és korrelációját először a beválogatott 201 fős betegcsoporton vizsgáltuk. A frontális görbületek és a háti kyphosis értékek közötti eltérés csupán apró és statisztikailag nem szignifikáns volt ($-0,02^\circ$ és $0,57^\circ$), míg az ágyéki lordosis értékében statisztikailag is szignifikáns, átlagosan 9,03 fokkal kisebb értéket mértünk a csigolyavektor-alapú méréssel. A kétféle mérési sorozat közötti összefüggés-vizsgálat statisztikailag szignifikáns, erős korrelációs értékeket mutatott.

Vizsgálóink egymás közötti megbízhatóságát az illető mérési módszer interrater ICC értékei alapján ítéltük meg, először ugyancsak a beválogatott 201 fős betegcsoporton. A manuális 2D mérések megbízhatósági vizsgálata jó és kiváló közötti értékeket produkált (0,971, 0,844 és 0,845 értékekkel, ebben a sorrendben a frontális görbületekre, háti kyphosisra és ágyéki lordosisra vonatkozóan), viszont ugyanezen csigolyavektor-alapú görbületi mérések interrater ICC értékei jelentős mértékben magasabbak voltak (0,991, 0,982 és 0,971), lényegesen jobb megbízhatóságról tanúskodva.

A vektor-alapú görbületi mérések pontosságát és összefüggését a hagyományos 2D mérési eredményekkel a frontális görbületek súlyossága szerinti vizsgálati csoportokban külön-külön is vizsgáltuk. Az értékek közti különbségek kicsik és statisztikailag nem szignifikánsak voltak – kivéve az ágyéki lordosis értékeket, minden egyes betegcsoportra nézve.

A Pearson-korreláció statisztikailag szignifikáns, közepes és erős összefüggéseket mutatott, két kivétellel: a frontális görbületi értékekre nézve a legkisebb frontális görbületű 1. csoportban ($r=-0,055$, p nem szignifikáns) és az ágyéki lordosis tekintetében a legnagyobb frontális görbületű 5. csoportban ($r=0,305$, p nem szignifikáns).

A vizsgálók görbületi mérésorozatai alapján számított, vizsgálók közötti (interrater) megbízhatóság értékelését az egyes betegcsoportok szerint is elvégeztük.

A csigolyavektor-alapú mérések eredményei kiváló ICC értékeket mutattak mind az öt betegcsoportban, a frontális görbületekre 0,994 és 0,915, a háti kyphosisra 0,987 és 0,978, az ágyéki lordosisra 0,985 és 0,961 közötti értékekkel, konzisztens módon magasabbak voltak a megfelelő manuális 2D mérések értékeihez képest. Ezzel ellentétben, nem mutattak romló tendenciát az egyre fokozódó mértékű frontális görbülettel rendelkező betegcsoportokban.

Az összes betegen kapott, ágyéki lordosis értékében statisztikailag is szignifikáns, átlagosan 9,03 fokkal kisebb értéket eredményező csigolyavektor-alapú lordosis érték-eltérés magyarázatához megvizsgáltuk az L_5 csigolya-ékesedés szögének és a kétféle mérési módszer által mért ágyéki L_1 - L_5 lordosis érték különbségének viszonyát. Az összes betegre és a betegcsoportokra külön-külön is megerősítést nyert, hogy a kimutatott L_1 - L_5 lordosis értékbeli különbség és az L_5 csigolyaékesedés értéke közötti különbség statisztikailag nem szignifikáns és elhanyagolható mértékű, azaz e két körülmény feltehetően szorosan összefügg egymással, vagyis a vektor-alapú méréssel kapott, konzisztensen alacsonyabb lordosis értékek eltérése az L_5 -ékesedés mértékének tudható be.

A vektor-alapú ábrázolás a gerincdeformitás-progresszió követésében és a műtéti korrekció értékelésében

A progresszió vizsgálatát egy nagyfokú és gyors súlyosbodást mutató (a két EOS vizsgálat között mindössze 9 hónap telt el), balra konvex egyszeres háti főgörbülettel járó (Lenke 1 típus), fiatakkori idiopathias scoliosis reprezentatív esetének vizuális analízisén és parametrikus eredményein keresztül mutattuk be. Különösen szembeötlő a vektor-alapú felülnézeti képeken a progresszió következtében a görbület csúcsponti (APV) T_9 csigolyavektor x tengely mentén történt, fokozódó oldalirányú kitérése és az x tengellyel bezárt vektorszögének növekedése.

A vizsgált eset parametrikus adatai demonstrálják, hogy míg a frontális görbület vektor-alapú módszerrel mért értéke $62,2^\circ$ -ról $88,0^\circ$ -ra súlyosbodott (*41,5%-os növekedés*) és az apicalis csigolya rotációja (T_9 APV- α_H) $17,8^\circ$ -ról $31,4^\circ$ -re nőtt (*76,4%-os emelkedés*), addig az apicalis csigolyavektor

oldalirányú kitérésének (T_9 APV- B_x) értéke 83,1-ről 170,1-re fokozódott (a vektor-alapú értékek közötti legmarkánsabb, 104,7%-os változás).

A műtéti korrekció elemzését egy kettős főgörbülettel járó (Lenke 3 típus) eset preoperatív és a 3. posztoperatív napon végzett vizsgálatának képi analízisével és parametrikus eredményeivel demonstráljuk. A leginkább szembeötlő a horizontális síkbeli felülnézeti ábrázolás, annak is csigolyavektor-alapú megjelenítése. A műtéti korrekció eredményeként a csigolyák kezdeti nagyfokú oldalirányú kitérése megszűnt, kivétel nélkül az y tengely mentén sorakoznak, miközben az x tengellyel bezárt szögük jelentősen csökkent.

A parametrikus adatok szerint a korrekció előtti háti és ágyéki görbületek $47,0^\circ$ és $53,7^\circ$ értékekről $10,2^\circ$ és $2,4^\circ$ értékre csökkentek. A két görbülethez tartozó T_8 és L_2 apicalis vektor-paramétereinek változása: T_8 APV- α_H $7,9^\circ-6,3^\circ$; T_8 APV- B_x $1,2-1,7$; L_2 APV- α_H $21,9^\circ-4,3^\circ$; L_2 APV- B_x $68,3-9,0$.

Az eredeti 201 fős vizsgálati mintában szereplő, 95 gerinckorrekciós műtéten átesett esetről is elvégeztük a beavatkozás eredményének összehasonlító elemzését a vektor-alapú módszerrel mért paraméterek tükrében. A validálási vizsgálatokban már részletesen demonstrált preoperatív eredmények a posztoperatív adatokra is igazolódtak: a hagyományos és csigolyavektor-alapú frontális görbület Cobb-szögében elenyésző ($0,21^\circ$), a háti kyphosis értékében kicsi ($2,04^\circ$) eltérés, valamint statisztikailag szignifikáns és erős korreláció volt ($r=0,935$ illetve $r=0,896$). A posztoperatív ágyéki L_1-L_5 lordosis kétfajta módszerrel mért értéke – a preoperatív eseteknél már észlelt és az L_5 csigolya-ékesedéssel szoros összefüggésben állónak kimutatott módon – itt is jelentős különbséget mutatott ($-7,04^\circ$), az összefüggés közöttük ugyancsak erős volt ($r=0,809$). A frontális görbület apicalis csigolyájának axialis rotációja a sterEOS-alapú méréssel és a csigolyavektor horizontális vektorszöge alapján kapott értékében elhanyagolható különbséget ($0,16^\circ$) valamint erős korrelációt mutatott ($r=0,968$).

A preoperatív és posztoperatív vektorparamétereknek a frontális görbületi szögértékkel végzett korreláció-vizsgálata bizonyította, hogy a horizontális síkbeli vektor-paraméterek közül a legnagyobb értéket a görbület apicalis csigolyájának oldalirányú kitérését reprezentáló APV- B_x mutatta, $r=0,701$ (preop) és $r=0,434$ (posztop). A műtéti korrekció által a vektorparaméterek értékében okozott változás összefüggését vizsgálva a bekövetkezett frontális görbületi Cobb-szög változással, ugyanez az eredmény: a legerősebb korreláció ($r=0,480$) szintén a B vektor-végpont laterális eltérésének változásával (Δ APV- B_x) állt fenn.

A műtéti korrekción átesett betegek *preoperatív* görbületi apicalis csigolyavektor-paraméter értékének és *preoperatív* Cobb-szögének összefüggését további, lineáris regressziós analízisnek alávetve, lényeges részlettel egészült ki a csigolyavektor-paraméterek értékelése és a görbület nagyságához fűződő viszonyról alkotott elképzelésünk. A legerősebb összefüggés a Cobb-szögérték és az apicalis csigolyavektor végponti X koordináta (APV- B_x) értéke között mutatható ki ($R^2=0,459$). Az apicalis csigolyavektor horizontális vektorszöge (APV- α_H) által reprezentált axialis rotáció értékével fennálló összefüggés erőssége ettől szignifikánsan elmarad ($R^2=0,202$).

5. MEGBESZÉLÉS

5.1 Az EOS 2D/3D vizsgálat alkalmazása felnőttkorban az alsó végtagi elváltozások térbeli megjelenítésére

A nemzetközi és a hazai szakirodalomban csak korlátozott számban találunk az alsó végtag normál geometriai paramétereinek leírásával foglalkozó közleményeket. Hasonlóképpen, a hazai és nemzetközi irodalomban csak kisszámú EOS 2D/3D berendezésre alapuló alsó végtagi tanulmány volt fellelhető vizsgálataink befejezéséig és publikálásáig. Mivel EOS 2D/3D módszerrel meghatározott, normál értékeket bemutató publikáció más szerzőktől nem volt ismert számunkra, saját eredményeinket egyéb vizsgálati módszerek eredményeivel hasonlítottuk össze.

Az általunk vizsgált egészséges csípőízülettel rendelkező csoport collodiaphysealis szöge, torziója, femur és tibia hossza, valamint a teljes végtaghossz jól közelíti ezen tanulmányokban meghatározott normál értékeket. Normál populációkban az átlagos collodiaphysealis szög teljes egészében megegyezett a mások által meghatározott 128,23 fokos értékkel.

A femur torzió, femur és tibiahossz valamint teljes végtaghossz tekintetében eredményeink szintén jól összevethetők mások által publikált adatokkal.

Egészséges térdízülettel rendelkező csoportunk eredményeit a nemzetközi szakirodalom adataival összehasonlítva megállapítható, hogy az általunk mért átlagos femorotibialis szög $-0,8^\circ$ ($-7,5^\circ$ – $5,5^\circ$) varus pozíció, ami jól közelíti az ott leírt 0° tengelyállást.

Csípőízületi arthrosisos betegekben az egészségesekhez képest csökkent collodiaphysealis szögértékeket kaptunk. Tekintve, hogy az egészséges csoport átlagéletkora 26,3 év, míg coxarthrosisos betegeinké 67,0 év volt, az általunk tapasztalt collodiaphysealis szögérték-csökkenést feltehetően az életkor okozza. Ezt több nemzetközi tanulmány is alátámasztani látszik, melyek szerint a collodiaphysealis szög folyamatos csökkenést mutat az életkor előrehaladtával. A torzió értéke az egészséges csoport értékeihez képest átlag 2,7 fokos csökkenést mutat, de még mindig a normál tartományba esik, és jól közelíti egyéb munkacsoportok által meghatározott normál értékeket. Femoralis offsetben és a végtaghosszban az általunk tapasztalt csökkenés szintén összhangban áll mások eredményeivel. A femur fej átmérőjében átlag 1,5 mm-rel nagyobb átlagértéket kaptunk az egészséges csoportátlaghoz képest, amit a femurfejre rakódott osteophyták is okozhatják. A femur nyak hosszában szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk, tehát a betegség nagy valószínűséggel erre nincs hatással.

Térdízületi arthrosisban az általunk talált 35 varus és 4 valgus tengelyállású eset egymáshoz viszonyított aránya jól összevethető az irodalmi adatokkal, miszerint gonarthrosisban a varus állású térd gyakoribb. A térdízületi arthrosis többnyire tengelyeltéréssel jár együtt, melyet elsősorban a tibia mechanikai szöge határoz meg. Vizsgálatunkban kimutattuk, hogy a tibia mechanikus szög (85° a varus, és 94° a valgus alcsoportban) mind az általunk, mind mások által meghatározott normál értékekhez képest eltérést mutat. A femur mechanikai tengelyszög tekintetében eredményeink ugyancsak hasonlóságot mutatnak nemzetközileg közölt adatokkal.

Vizsgálatunkban bizonyítást nyert, hogy **az EOS 2D/3D berendezés és a kapcsolódó sterEOS térbeli rekonstrukció alkalmas az alsó végtagok vizsgálatára felnőtkorban**. A hagyományos röntgenteknikával szemben, lényegesen kisebb sugárterhelés mellett, gyorsabban, hatékonyabban nyertünk minőségi digitális kétirányú röntgenfelvételeket és az **EOS térbeli rekonstrukció segítségével nemzetközileg elsőként határoztuk meg a femur és tibia valamint az egész alsó végtag biomechanikai és geometriai szempontból releváns paramétereinek értékét**, egészséges egyéneknél, valamint csípő- és térdízületi arthrosisban szenvedő betegeken.

5.2 Az EOS 2D/3D vizsgálat alkalmazhatósága traumás alsó végtagi elváltozások posztoperatív elemzésére

Az alsó végtag hosszú csöves csontjainak törésegysítő műtéteit követően mind a mai napig kétirányú hagyományos röntgenfelvétellel ellenőrizzük az elért eredményt. Azonban a hagyományos röntgenfelvételekkel csak az operált csont hosszát és tengelyét lehet mérni. A végtag teljes hosszának és törzshöz viszonyított tengelyének megállapításához már hosszú terhelt felvételt kell készíteni. A rotációs eltéréseket azonban ezeken a képeken sem tudjuk értékelni. Vizsgálatunkban az EOS 2D/3D rendszer

alkalmasságát értékeltük alsóvégtagi törések műtétet követő eredményének ellenőrzésére, kihasználva az új rendszer radiológiai jellemzőit és EOS térbeli rekonstrukcióból adódó előnyeit.

A vizsgálatban szereplő tíz Gamma-szeggel egyesített femur pertrochantericus törés esetében a femur hossz esetében mért rövidülés és tengelyeltérés valamint rotációs eltérés nem számottevő. A collodiaphysealis szögben mért 5 fokos varus eltérés és a combnyak hosszának 0,11 cm-es csökkenése viszont lényeges különbség, mely egyrészt a törések jellegéből, másrészt repozíciós hibából eredhet.

A nyolc femur diaphysis törött esetben kimutatott minimális femur rövidülés és tengelyeltérés, valamint a 10 fok alatti rotációs eltérés biomechanikai szempontból kiváló oszteosintézisre utalt. Ez irodalmi összevetésben még inkább igaznak tekinthető, mert a betegek 28%-ban 15 fokosnál nagyobb rotációs hibát, illetve 25%-ban 1 cm-nél nagyobb rövidülést írtak le.

A vizsgálatban szereplő 12 lábszár-törött sérültnél az operált végtagon nagyobb különbségeket mértünk a hossz- és tengelyeltérésekben mint a combcsont-törötteknél. Ezek a különbségek egyértelműen a repozíciók pontatlanságát igazolták, de még a legnagyobb rotációs hiba és tengelyeltérés sem haladta meg a 10 illetve 5 fokot. Az irodalomban közölt eredmények ennél lényegesen nagyobb különbségeket mutatnak, átlagosan 6,7 fokos és 16,4% gyakoriságú rotációs eltéréssel és hibával.

2010-től kezdődően emelkedő számú publikáció jelent meg az EOS képalkotás és térbeli rekonstrukció alsóvégtagi alkalmazhatóságával kapcsolatban, azonban **alsó végtagi törések oszteosintézisét követő EOS vizsgálatról mindezidáig nem számoltak be** a szakirodalomban. **Vizsgálatunk ebből a szempontból úttörő jelentőségűnek tekinthető.**

Összefoglalva, bemutattuk, hogy **az EOS 2D/3D alkalmas az alsó végtag törésegysítő műtéteit követő vizsgálatokra.** A hagyományos röntgenvizsgálattal és CT-vel szemben **lényegesen kisebb sugárterheléssel határozhatjuk meg és hasonlíthatjuk össze az ép és operált végtag hosszát, tengelyét és rotációját.** A még viszonylag kisszámú feldolgozott betegpopuláció tapasztalatainak statisztikai értelemben véve alacsony bizonyító ereje dacára is azt gondoljuk, hogy **a módszer** – annak újdonsága miatt is – **alkalmas a különböző poszttraumás deformitások pontos megítélésére.**

5.3 Az EOS 2D/3D vizsgálat klinikai alkalmazása a gerincdeformitások pre- és posztoperatív diagnosztikájában

Az EOS 2D/3D rendszer beszerzése megteremtette az alapját annak, hogy Intézetünk gerincgyógyászati tevékenységében jelentős előrelépést hajtsunk végre, az EOS 2D/3D vizsgálat előnyeit a napi klinikai gyakorlatba átültessük.

Az *első előny* a kétirányú, teljes-gerinc vagy teljes-test röntgenfelvételek leképezésével kapcsolatosan **a vizsgálati alanyok szignifikánsan alacsonyabb ionizáló sugárterhelése.** Ennek éppen a vizsgált betegpopuláció legnagyobb részét kitevő, fiatalkori idiopathias gerincferdülésben szenvedő, tinédzserkorú betegekre tekintettel van nagy jelentősége. Az ötéves időszakban kivitelezett mintegy 2900 fiatalkori és felnőttkori gerincelváltozás miatt végzett EOS vizsgálat alapján, a hagyományos DR röntgenvizsgálat sugárterheléséhez képest 50%-kal alacsonyabb sugárdózissal számolva megállapítható, hogy az **ALARA elv gyakorlati alkalmazásával** a vizsgált betegpopuláció részére a klinikailag indokolt diagnosztikai vizsgálat károsító tényezőjét szignifikánsan csökkentettük.

Az EOS vizsgálat *második előnye*, hogy a 10-25 másodperc alatt, egyidejűleg elvégzett kétirányú röntgenfelvétel alapján, **a beteg további ionizáló sugárterhelése nélkül**, élethű, pontos és ortopédiai szempontból releváns, vizuális és parametrikus információt tartalmazó **térbeli gerincrekonstrukció készíthető**, akár a korrekciós műtét elvégzése után is. Klinikai tevékenységünk vizsgált időszakában

kivitelezett EOS térbeli rekonstrukciók nagy mennyisége alapján kijelenthető, hogy az új módszer ezen fontos előnyét is jelentős mértékben képesek voltunk kihasználni. Ennek eredményeként világviszonylatban is kiemelkedő esetszámú, térbeli rekonstrukciós klinikai esetet tartalmazó adatbázist alakítottunk ki, amelynek egyik hozadéka a témában referenciaként idézett, angol nyelvű összefoglaló közleményünk publikálása (*Illés T, Somoskeöy Sz., Int Orthop (SICOT) 2012; 36(7):1325-1331*).

Az eljárás *harmadik előnye a gerincdeformitások horizontális síkú vetületi megjelenítése* az EOS térbeli rekonstrukció felülnézeti ábrázolása révén. Az elvégzett nagyszámú térbeli rekonstrukció számbeli jelentőségén túl éppen ez az előny gyakorolta a legkifejezettebb hatást mindennapi klinikai tevékenységünkre. Ez az előny és hatás olyan jelentőségűnek tekinthető, hogy az értekezésben kiemelten is foglalkozom vele és a témában ugyancsak referenciaként idézett másik közleményben is publikáltuk (*Illés T, Tunyogi-Csapó M, Somoskeöy S., Eur Spine J 2011; 20(1): 135-143*).

Összefoglalva megállapítható, hogy eredeti célkitűzésünket elértük és a mindennapi klinikai gyakorlatban **az EOS 2D/3D vizsgálati eljárást sikeresen és eredményesen bevezettük a gerincdeformitások rutindiagnosztikájában**, kiaknázva az új eljárás teljeskörű előnyeit. Ezzel nemzetközi szakmai körökben is számottevő reputációra tettünk szert. A berendezést gyártó céggel többéves szakmai kollaborációs megállapodást kötöttünk, amely hozzájárult az értekezésben bemutatásra került munka sikeres elvégzéséhez.

5.4 Az EOS rekonstrukció értékelése és validálása a gerincdeformitások térbeli jellemzésében

Az EOS rekonstrukció validálása a frontális és sagittális síkú görbületek jellemzésében

Vizsgálataink idején a szakirodalomban csak kevés klinikai relevanciát prezentáló közlemény volt fellelhető az új EOS 2D/3D rendszerrel és a kapcsolódó sterEOS felszíni rekonstrukcióval kapcsolatban. A megjelent publikációk is jellemzően a rendszer korai prototípus példányain, kisszámú betegcsoporton vagy kísérleti körülmények között kapott adatokat tartalmaztak.

A gerincgörbületek hagyományos mérési módszerei a Cobb által 1948-ban leírt, AP és LAT röntgenfelvételen végzett, kézi szögmérésre vagy annak módosított verzióira alapulnak. A klinikai gyakorlatban való nagyfokú elfogadottságukat és elterjedtségüket elsősorban egyszerű kivitelezhetőségüknek köszönhetik, míg pontosságuk és reprodukálhatóságuk a mai napig tartó vita tárgya.

A hagyományos Cobb-módszer szerinti mérésekkel és a gerincdeformitások ezek alapján végzett értékelésével szemben felhozható általános érv, hogy a vetületi síkban, projekciós elv szerint keletkező röntgenfelvételeken végrehajtott mérések milyen mértékben reprezentálhatnak pontosan és teljességgel egy komplex térbeli entitást.

Minderre tekintettel kifejezetten indokolt volt, hogy a saját klinikai gyakorlatunkban immár rutinjellegűként alkalmazható EOS 3D rekonstrukció által biztosított mérési adatokat a hagyományos 2D mérési módszerekkel történő összehasonlítás révén, kontrollált, nem-randomizált retrospektív klinikai tanulmányban validáljuk, nagyobb számú, vegyes összetételű betegpopulációon. A frontális és sagittális síkú görbületek mérési sorozata bizonyította, hogy az új módszer által biztosított eredmények kiváló reprodukálhatóság és megbízhatóság mellett, a hagyományos kézi méréssel kapott értékhez képest elhanyagolható, 2° vagy annál kisebb eltéréseket mutatnak, és az értékpárok között erős és statisztikailag szignifikáns korreláció mutatkozott. A mérési pontosság és a megbízhatóság nem függött a görbületek súlyosságától, ami a hagyományos kézi mérések esetében jól ismert problémát jelent.

A méréseket végző három vizsgáló saját (intraobserver) reprodukálhatósága kimagasló volt mind a hagyományos 2D, mind a sterEOS 3D mérésekre vonatkozóan. Ez szilárd alapot nyújtott vizsgálatunk további céljának, a mérési módszerek vizsgálók közötti (interrater) megbízhatóságának meghatározására. A

hagyományos 2D mérések vizsgálók közötti (interrater) megbízhatósága jó és kiváló eredményt hozott, és jó egyezőséget mutatott mások által közölt értékekkel. Az EOS térbeli rekonstrukciós mérések interrater megbízhatósága ezt felülszárnyalta, 0,985, 0,975 és 0,930 ICC értékekkel, a frontális görbületek, a T₄-T₁₂ kyphosis és L₁-L₅ lordosis mérésekre vonatkozóan.

Mindezek az adatok alátámasztják, hogy az **EOS térbeli rekonstrukció által biztosított sterEOS 3D mérések a hagyományos 2D méréseket teljes mértékben kiválthatják.**

A fokozódó súlyosságú frontális görbületű betegcsoportjainkon kapott eredmények azt mutatták, hogy az EOS rekonstrukciós **mérések pontosságát nem befolyásolja az egyre növekedő Cobb-szög érték vagy a sagittalis egyensúly megváltozása.** A sterEOS 3D mérések interrater megbízhatósága a betegcsoportok adatain is konzisztens módon magasabbnak bizonyult – jó vagy kiváló értékekkel – mint a megfelelő 2D méréseké. Ez a különbség legkifejezettebben a súlyos frontális deformitású (50°-nál nagyobb Cobb-szögű) esetek sagittalis méréseinél mutatkozott meg.

A validálási vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy az új eljárással mért gerincgörbületi adatok **a hagyományos 2D eljárásokhoz képest pontosabb, jobban reprodukálható és megbízhatóbb eredményeket** mutatnak, függetlenül a klinikai eset súlyosságától. Bizonyítást nyert az EOS térbeli rekonstrukcióra alapuló klinikai eljárás alkalmazhatósága és értéke a gerincdeformitások vizsgálatában és kiértékelésében, és **ezzel nemzetközileg is úttörő jelentőségű eredményeket értünk el.**

Az EOS rekonstrukció horizontális síkú vetületi képének elemzése

Tekintettel az EOS 2D/3D eljárás klinikai rutinvizsgálatainkban történő, korai és világviszonylatban is elsők közötti bevezetésére, az EOS térbeli rekonstrukciók **horizontális síkú vetületi képének kiértékelésében** munkacsoportunkkal **elsőként fektettük le** azokat az elveket, amelyek végül elvezettek bennünket egy új, vektor-alapú megjelenítés és kiértékelés kidolgozásához.

Az EOS 3D rekonstrukció felülnézeti képén egyidejűleg tekinthető át a felső háti csigolyáktól kezdődően az ágyéki gerincszakaszon át a medence is, térben egymás alatti elrendezésben. A felülnézeti kép mind az egyes csigolyák pozíciójában, rotációjában, mind az egymáshoz és a medencéhez való viszonyt tekintve fontos képi információt közvetít. A görbület apicalis csigolyáját önmagában kiemelve, annak medencéhez képest elfoglalt pozíciója valamint axialis rotációja is megjeleníthető és lényeges információt szolgáltat. A gerinc és a medence egymáshoz viszonyított elhelyezkedésének kiértékelése a frontális és sagittalis egyensúlyra vonatkozó, közvetett információkkal szolgál.

Az egyes görbületi típusokba tartozó klinikai esetek sorozatos vizsgálata elvezetett annak felismeréséhez, hogy a horizontális síkú vetületi kép alapján is felismerhetők tipikus konfigurációk és jellegzetességek, amelyek a másik két síkbeli nézetben közel sem ennyire szembeötlőek vagy a horizontális síkbeli megjelenítés sajátossága miatt, speciálisan egyediek.

Az EOS térbeli rekonstrukciók négyféle konfigurációján végeztünk részletes elemzést: egészséges sportolók normális gerincain, háti egyszeres főgörbülettel járó (Lenke 1 típusú), háti és thoracolumbalis/lumbalis kettős főgörbülettel járó (Lenke 3 típusú) idiopathias scoliosisos eseteken, valamint ágyéki deformitással járó időskori degeneratív eseteken.

A normális gerinc horizontális síkú felülnézeti képén a csigolyák a két acetabulomot összekötő képzeletbeli haránttengelyre merőlegesen, a test szimmetria-középvonalában helyezkednek el. Oldalirányú deviáció nincsen, a tövis- és harántnyúlványok által nagy érzékenységgel jelzett axialis csigolyarotáció elhanyagolható mértékű.

A Lenke 1 típusú esetek elemzése kapcsán az EOS térbeli rekonstrukció horizontális síkú felülnézeti képén a deformitással járó három jellegzetességet tapasztaltunk. Az AP röntgenfelvételeken nyilvánvaló legfőbb elváltozás, a gerinc oldalirányú görbülete a sterEOS 3D modell felülnézeti képén a görbület konvex oldala felé irányuló deviáció képében jelenik meg, a görbület csúcsponti csigolyája leginkább lateralizált pozíciójú. A második jellegzetesség, hogy a háti és ágyéki gerincszakasz az interacetabularis haránttengelyre nem merőlegesen, hanem azzal közel párhuzamosan helyezkedik el, és ventralis-dorsalis irányban csökkent átmérőjű konfigurációt mutat. Ez az oldalirányú röntgenfelvételeken megfigyelt jelenség, a háti kyphosis és ágyéki lordosis ellapulásának felülnézeti megjelenéseként értelmezhető. A harmadik jellegzetesség a deformitás természetéből fakadó, axialis síkú csigolyarotációk sorozata. Ez is egyértelműen látható, a görbület apicalis csigolyájának maximális rotációjával. Tehát a gerincdeformitás mindhárom, különböző síkokban leírt jellegzetessége ugyanazon a megjelenítésen ábrázolódik.

A Lenke 3 típusú deformitás horizontális síkú felülnézeti ábrázolásán a Lenke 1 típusú deformitás esetében leírt jellegzetességek a két főgörbületnek megfelelően – kevésbé markáns módon – ugyancsak megfigyelhetők.

Az időskori degeneratív ágyéki scoliosis horizontális síkú felülnézeti képe ugyancsak betekintést nyújt mindhárom fősíkban bekövetkezett térbeli elváltozásba. Az ágyéki görbület oldalirányú deviációja a csigolyáknak az interacetabularis haránttengelyre merőleges középvonaltól történő eltéréseként ábrázolódik, csakúgy, mint a előző két esetben. Ebben az esetben a leginkább feltűnő jellegzetesség a háti szakasz csigolyái egy részének az interacetabularis tengely alá (valójában attól ventralisan) történő pozicionálódása és a felső és középső háti szakasz mintegy "kiterített" konfigurációja, az általa lefedett ventralis-dorsalis irányú távolság megnövekedése. Ez a sagittalis görbületek nagyfokú elváltozásaira utaló jel, amely az ágyéki szakasz lordosisának megszűnését és a háti szakasz kyphosisának erőteljes növekedését, valamint a felsőtest előrebillenését jelzi. Ugyancsak jól felismerhető, hogy az ágyéki szakasz görbületének apicalis csigolyája a görbületet alkotó többi csigolyához képest dorsalisabban helyezkedik el és nagyfokú axialis rotációt mutat. Az eset az ágyéki gerincszakasz scoliosisának speciális formáját képezi, amelyet hyperrotációs pseudokyphosis néven írtak le, amikor a görbület az apicalis csigolya kyphoticus deviációjával és nagyfokú axialis rotációjával jár együtt.

A normális gerinc felülnézeti képének ismeretében az ideális műtéti korrekció eredményének képe is kézenfekvő. A cél a normális helyzet lehető legtükéletesebb helyreállítása. A posztoperatív felülnézeti kép alapján a műtéti korrekció hármas céljának elérését a következő szempontok alapján értékelhetjük: (1) az oldalirányú deviáció eliminálása vagy csökkentése; (2) a csigolyák sagittalis középvonalba történő visszarendezése és a test szimmetriatengelyére vetített "lefedési" távolságuk növelése az interacetabularis harántátmérő kb. 50-75%-ára; valamint (3) a csigolyák axialis rotációjának megszüntetése. A felülnézeti kép egyidejűleg nyújt betekintést és lehetőséget mindezen 3 szempont szerinti értékelés elvégzéséhez.

Összefoglalóan megállapítható, hogy az EOS térbeli rekonstrukció **horizontális síkú felülnézeti képe** egyedülálló lehetőséget biztosít a gerincdeformitások vizuális ábrázolásában: ebben a nézetben **a scolioticus elváltozások mindhárom síkbeli összetevője megfigyelhető**. A sagittalis középvonalhoz, a medencéhez, az acetabulumokhoz valamint az interacetabularis tengelyhez képest elfoglalt pozíciójuk alapján szemikvantitatív értékelésük is kivitelezhető. A **térbeli felülnézeti kép kiváló betekintést biztosít a frontális, sagittalis és horizontális síkban megfigyelhető összes jellegzetes deviációs mozzanatba**, és ezzel páratlan megoldást nyújt az eddigi klinikai lehetőségekhez képest.

5.5 Az EOS rekonstrukcióra alapuló vektoros ábrázolás elemzése és validálása a gerinc térbeli jellemzésére

Az idiopathias scoliosis etiológiája, kialakulása és a strukturális deformitás progressziójának módja egyelőre nem ismert. Az elsődleges deformitás a csigolyák rotációjához kapcsolható, amely sagittalis instabilitást és frontális síkú egyensúlyvesztést eredményez. A kezdeti 3D deformitás megjelenése után az elváltozás önfenntartó biomechanikai folyamat eredményeként progrediál a gyermekkor és serdülőkor gyors növekedési periódusában. Számos eljárást dolgoztak ki az axialis rotáció meghatározására, de a javasolt eljárások mindegyikéről kiderült, hogy megbízhatatlanok, mivel a röntgenképek nem biztosítanak kellő mennyiségű és minőségű információt az axialis rotáció meghatározásához szükséges anatómiai struktúrákról. Jelentős előrelépést jelentett a kétirányú röntgenképekre alapuló 3D rekonstrukció alapján végzett axialis rotáció mérése. Az axialis rotáció legpontosabb meghatározását CT keresztmetszeti felvételek tették lehetővé. Azonban ennek a scoliosis rutindiagnosztikájában való alkalmazását gátolja a nagy sugárdózis, valamint a fekvő testhelyzet. Gondot jelent, hogy vertikális értelemben a csigolya mely szintjén határozzuk meg a rotáció mértékét, mivel a scolioticus csigolyák torziójából adódóan az egyes csigolyákon belül is más-más a rotáció mértéke az alsó és felső zárólemez szintjén.

Az általunk bevezetett csigolyavektor definíciószerűen **kiküszöböli a csigolyák torziójából adódó variabilitást**, mivel minden egyes csigolyán arányaiban ugyanazon távolságra helyezkedik el a felső zárólemeztől. A csigolyavektor **az adott csigolya nagyságára, térbeli elhelyezkedésére, irányára és irányultságára vonatkozó összes releváns információt magában hordozza**.

Az EOS térbeli rekonstrukció alapján az acetabulum középpontokat összekötő interacetabularis szakaszt kalibrációs léptékként használva és egy Descartes-féle térbeli koordináta-rendszert létrehozva, az EOS rekonstrukció alanyára specifikus, a tér mindhárom síkjában egyénileg kalibrált koordináta-rendszerben megjelenített vektorok paraméterei matematikailag kiszámíthatók.

A vektorparaméterek alapján a tér mindhárom síkjában, így a horizontális felülnézeti síkban is, az elváltozások számszerűen értelmezhetők. A hagyományos görbületi paraméterek mérési módszereihez hasonlóan **a frontális és sagittalis görbületek nagysága mérhető, a csigolyát helyettesítő vektor axialis rotációja kiszámítható**.

Összefoglalva, a csigolyavektor-alapú horizontális síkbeli felülnézeti ábrázolás a térbeli rekonstrukciós képeknél lényegesen áttekinthetőbb, egyszerűbb vizuális információt nyújt, miközben annak előnyeit kivétel nélkül megőrzi és felerősíti. A vektor-alapú megjelenítés az egyéb módszerekkel alig kimutatható vagy elhanyagolható mértékű eltéréseket – mint pl. az igen kisfokú axialis csigolyarotációkat – is érzékenyen detektálja. A vizsgálati egyénre specifikus módon kalibrált koordináta-rendszerben egyszerűen kvantifikálható vektor-paramétereknek köszönhetően **a gerincdeformítások jellemzése és egymással történő összehasonlítása nagy pontossággal és objektív módon elvégezhető**.

A vektor-alapú megjelenítés validálása a gerinc frontális és sagittalis síkú görbületeinek jellemzésében

A vektor-alapú mérések pontossága a frontális görbületre és háti kyphosira nézve kiváló volt, minimális eltéréssel. Az **ágyéki lordosisra nézve talált 9,03° különbség** tekintetében **kimutattuk, hogy ez az eltérés szorosan összefügg a vizsgált egyének ágyéki L₅ csigolyáinak ékesedésével**. Ugyanazt az eredményt kaptuk, ha az összes beteget együtt értékeltük, vagy ha a frontális görbület mértéke szerinti betegcsoportokban végeztük el a vizsgálatot. Ennek magyarázatául szolgál, hogy a hagyományos ágyéki görbületmérés az L₁ csigolya felső és L₅ csigolya alsó zárólemeze által bezárt szöget veszi alapul, míg a vektor-alapú mérés az L₅ csigolya tekintetében is annak felső zárólemezával párhuzamosan futó L₅ vektort használja. Tehát bármilyen, kisfokú, L₅ zárólemezek közötti szögállás a hagyományos lumbális lordosis-mérési módszer értékének az illető L₅ csigolya ék-alakjával egyenértékű növekedését okozza, a vektor-alapú mérés eredményéhez képest. Ezért a **vektor-alapú szögmérés**

további előnye, hogy kivédi a hagyományos L₁-L₅ lordosis mérés inherens szögmérési hibáját, amely a lumbális L₅ csigolyák ékesedéséből fakad.

Az összes vektor-alapú mérés tekintetében kiváló eredményt kaptunk a vizsgálatok reprodukálhatósága és megbízhatósága tekintetében (intraobserver ICC 0,996-1,000 között, iterrater ICC értékek 0,991, 0,982 és 0,971). Ezek az értékek szignifikánsan magasabbak voltak a hagyományos módszerekkel végzett mérések értékeihez képest (intraobserver ICC 0,994-1,000 között, iterrater ICC értékek 0,971, 0,844 és 0,845).

A vektor-alapú görbületi mérések megbízhatósági vizsgálata a betegek frontális görbületi értékek szerinti csoportjaiban **kiváló interrater ICC értékeket mutatott mind az öt vizsgálati csoportban,** frontális görbületekre 0,994-0,915, háti kyphosira 0,987-0,978, ágyéki lordosisra 0,985-0,961 közötti értékekkel. Ezek konzisztens módon magasabbak voltak a manuális 2D mérési értékekhez képest, és **nem mutattak romló tendenciát az egyre fokozódó méretű frontális görbületi értékek mellett.**

Mindezekre tekintettel, a **vektor-alapú görbületi mérések megbízható és reprodukálható módon, teljes mértékben helyettesíthetik a hagyományos módszereket** a gerinc görbületi mérések terén.

A vektor-alapú ábrázolás a gerincdeformitás-progresszió követésében és a műtéti korrekció értékelésében

A vektor-alapú vizsgálatok vizuálisan lényegesen egyértelműbbé és könnyebbé, míg a vektorparaméterek számszerűen egzaktabbá tették a betegcsoportunkban előforduló, kifejezett progressziót mutató esetek követését. A vektor-alapú parametrikus adatok demonstrálták, hogy mialatt a bemutatott reprezentatív eset frontális görbületének vektor-alapú módszerrel mért értéke "csupán" 62,2°-ról 88,0°-ra súlyosbodott (41,5%-os növekedés), a görbület apicalis csigolyarotációja 17,8°-ról 31,4°-re emelkedett (76,4%-os emelkedés), az apicalis csigolyához tartozó vektor oldalirányú kitérésének értéke 83,1-ről 170,1-re nőtt (a vektor-alapú értékek közötti legmarkánsabb, 104,7%-os változás) Ezek alapján **a progresszió legjobb indikátoraként a görbület apicalis csigolyájához tartozó vektor** oldalirányú kitérését reprezentáló, **B_x végpontérték változása szolgálhat,** mert minden konvencionálisan használt progresszió-indikátor (pl. görbület Cobb-szögének) értékénél érzékenyebben, hatékonyabban jelzi a deformitás súlyosbodását.

Vizsgálatunkban a 95 fős műtéti korrekción átesett beteg rendelkezésre álló pre- és posztoperatív EOS 2D/3D vizsgálatai alapján készített 190 gerinc térbeli rekonstrukció és az ezekre épülő vektor-alapú adatok elemzésével egyértelműen **bizonyítást nyert a vektor-alapú módszer használhatósága a műtéti eredmények** térbeli vizuális **ábrázolásában és** egzakt, parametrikus alapokon nyugvó **kiértékelésében.**

A beavatkozás előtti és utáni, horizontális síkú vetületi kép vektor-alapú ábrázolása meggyőzően illusztrálta az ideális műtéti korrekciót, amely eredményeként a csigolyákat helyettesítő vektorok az interacetabularis tengely középpontjára merőlegesen, a középvonalban rendeződve, minimális oldalirányú deviációval és rotációval rendelkeznek. A korrekció által helyreállított sagittalis görbületekre utaló módon, a vektorok az interacetabularis tengelyre merőleges középvonal mentén az interacetabularis távolság mintegy felének megfelelő szakaszt fednek le.

A vizuális elemzést egzaktá tevő vektorparaméterek alapján kivitelezett összefüggés-vizsgálatban megerősítettük a sterEOS 3D görbületi és rotációs értékek és a megfelelő vektorparaméter-értékek minimális eltérését és erős korrelációját, **bizonyítva a vektor-alapú módszer alkalmazhatóságát a gerinc-korrekció eredményeinek értékelésében.**

A pre- és posztoperatív frontális síkú görbületi paraméterek vektor-alapú módszerrel számított értékének változását egyéb vektor-alapú paraméterekkel összefüggésben vizsgálva, néhány érdekes

megfigyelést tettünk. A várttal ellentétben, a **preoperatív Cobb-szögérték csak gyenge korrelációt és alacsony lineáris regressziót mutatott a görbület apicalis csigolyájának axialis rotációjával**, ami arra enged következtetni, hogy az axialis csigolyarotáció proponált kritikus szerepén kívül egyéb faktorok is közrejátszanak a gerincdeformitások létrejöttének és progressziójának komplex mechanizmusában. Ezt alátámasztani látszik, hogy a preoperatív Cobb-szögérték **lényegesen erősebb korrelációs és regressziós összefüggését találtuk az apicalis csigolya oldalirányú deviációjának mértékét jelző vektorparaméterekkel**, a vektor végponti horizontális síkbeli vetületi paraméterével. Ugyanerre az eredményre jutottunk, amikor ugyanezen paraméterekben bekövetkezett, műtéti előtti és utáni érték közti változás összefüggését elemeztük. A **Cobb-szögérték változása legerősebb korrelációt az oldalirányú apicalis deviáció mértékének változásával mutatta**.

Minderre alapozva, a korrekciós műtét egy lehetséges új megközelítéseként, a beavatkozó **elsődleges céljaul a laterális transláció minél tökéletesebb végrehajtását** lehet kitűzni, a derotáció *relatív* másodlagossága mellett.

Bár a **gerincdeformitások vektor-alapú térbeli ábrázolása a valós 3D geometria leegyszerűsítését és absztrakcióját jelentik, megőrzi a csigolyák térbeli nagyságára, helyzetére, irányultságára és rotációjára vonatkozó összes adatot**. Az egyén-specifikus, szabványos térbeli koordináta-rendszerben **nem kerülnek bevezetésre kiegészítő síkok**, a vektorokkal **végzett mérések valós, direkt 3D értékeket mérnek**. Könnyen felfogható és világos vizuális megjelenítésük mellett, **tisztán matematikai elemzést is lehetővé tesznek**, így **kielégítik az SRS Working Group on 3-D Terminology of Spinal Deformity elvárásait egy jövőbeli, valós 3D terminológiára vonatkozóan**.

6. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA, AZ ÚJ EREDMÉNYEK JELENTŐSÉGE

6.1 Az EOS 2D/3D vizsgálat alkalmazása felnőttkorban az alsóvégtagi elváltozások térbeli megjelenítésére

6.1.1. Vizsgáltuk és bizonyítottuk az EOS 2D/3D teljes alsóvégtag röntgenvizsgálat klinikai rutineljárásként való alkalmazhatóságát felnőttkorú egészséges alanyokon illetve csípő- és térdízületi arthrosisban szenvedő betegeken.

6.1.2. Nemzetközileg elsőként végeztük el az EOS vizsgálatához kapcsolódó sterEOS alsóvégtagi térbeli rekonstrukció alkalmazhatósági vizsgálatát és klinikai értékelését, közepes nagyságú esetszámú, felnőttkorú egészséges alanyokból illetve csípő- és térdízületi arthrosisban szenvedő betegekből álló vizsgálati mintán.

6.1.3. Nemzetközi viszonylatban elsőként határoztuk meg ugyanezen a vizsgálati mintán az alsóvégtag geometriai paramétereinek sterEOS 3D értékeit.

Eredményeinket sikeresen publikáltuk rangos nemzetközi szakfolyóiratban, amely a téma egyik referenciaként idézett tanulmányává vált. (*Than P, Szuper K, Somoškeöy S, Warta V, Illés T. Int Orthop (SICOT) 2012;36:1291-1297.*) Megalapoztuk Intézetünk alsóvégtagi EOS 2D/3D vizsgálatokra és térbeli rekonstrukcióra épülő további klinikai és tudományos tevékenységét, különös tekintettel a gyermek- és serdülőkorú betegek tanulmányozására.

6.2 Az EOS 2D/3D vizsgálat alkalmazhatósága traumás alsóvégtagi elváltozások posztoperatív elemzésére

6.2.1. Bemutattuk, hogy az EOS 2D/3D berendezéssel egyszerűbben, gyorsabban nyerhetők kétirányú összehasonlító teljes alsóvégtag felvételek az oszteoszintézist követő kontrollhoz, amelyek elérik vagy meghaladják a hagyományos digitális röntgenfelvételek képminőségét.

6.2.2. Igazoltuk, hogy a CT 3D vizsgálatokhoz képest egyszerűbben, alacsonyabb ionizáló sugárdózis alkalmazása mellett, az EOS térbeli rekonstrukció alapján is pontos és lényeges háromdimenziós információ nyerhető az alsóvégtag törésegysítő műtéteit követően.

6.2.3. Sikeresen alkalmaztuk az EOS 2D/3D módszert az ép és az operált alsóvégtag fontos paramétereinek (úgy mint femur és tibia hossz, mechanikai és anatómiai tengely, axialis rotáció) összehasonlítására.

6.2.4. Bizonyítottuk, hogy az operált és ép oldali végtag térbeli rekonstrukciója alapján számított értékek alkalmasak az elvégzett csontegysítő műtétek sikerének értékelésére.

Eredményeinkről hazai szakfolyóiratban és nemzetközi konferencián számoltunk be. *(Szufer K, Dömse E, Nót L, Somoskeöy Sz, Than P. Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet és Plasztikai Sebészet 2013;56:119-126. Wiegand N, Kiss Z, Várhidy L, Somoskeöy Sz. Injury, Int. Care Injured 2011;42:S28, P14.)* Alsóvégtagi törések oszteoszintézisét követő EOS 2D/3D vizsgálat és sterEOS térbeli rekonstrukció alkalmazására tekintettel elvégzett vizsgálatunk úttörő jelentőségűnek tekinthető. A módszer egyszerűségének és gyorsaságának köszönhetően alkalmas lehet a hétköznapi rutindiagnosztikában történő alkalmazásra.

6.3 Az EOS 2D/3D vizsgálat klinikai alkalmazása a gerincdeformitások pre- és posztoperatív diagnosztikájában

6.3.1. Az EOS 2D/3D teljes gerinc röntgenvizsgálatot rutineljárásként alkalmaztuk felnőtt-, serdülő és gyermekkorú egészséges alanyokon illetve idiopathias vagy degeneratív gerincdeformitásban szenvedő betegeken. A műtéti korrekción átesett betegek posztoperatív vizsgálata szintén ezzel a módszerrel történt. A vizsgált esetek száma a 2007-2012 közötti periódusban meghaladta a 2900-at, melyből 450 esetre műtétet követően került sor.

6.3.2. EOS röntgenképekre alapuló sterEOS térbeli gerincdeformitációk kivitelezését rutinszerűen végeztük, melyek száma elérte a 2700-at, ebből 150-150 rekonstrukció műtéti korrekció előtt és után történt.

Mindezek alapján Intézetünket világviszonylatban kiemelkedő központként tartják számon. Tapasztalatainkat egy összefoglaló közleményben publikáltuk vezető nemzetközi szakfolyóiratban, amely a témában gyakran idézett referencia. *(Illés T, Somoskeöy Sz. Int Orthop (SICOT). 2012;36:1325-1331.)* Nemzetközi és hazai szakmai fórumokon hangsúlyoztuk az EOS röntgenvizsgálat és térbeli rekonstrukcióra alapuló ábrázolás és elemzés jelentőségét.

6.4 Az EOS rekonstrukció értékelése és validálása a gerincdeformitások térbeli jellemzésében

Az EOS rekonstrukció validálása a frontális és sagittalis síkú görbületek jellemzésében

6.4.1. Nagyszámú, egészséges és különböző súlyosságú gerincdeformitással rendelkező vizsgálati mintán, nemzetközileg elsőként végeztük el az EOS térbeli rekonstrukció alapján nyert frontális és sagittális görbületi paraméterek validálását hagyományos 2D módszerrel mért paraméterekkel szemben.

6.4.2. Kimutattuk, hogy az EOS térbeli rekonstrukciós eljárás pontossága, reprodukálhatósága és megbízhatósága kiváló. Dokumentáltuk, hogy mindezen vonatkozásokban a hagyományos mérési módszerek rendre elmaradnak az EOS térbeli rekonstrukciós módszer mögött.

Eredményeinket nívós nemzetközi szakfolyóiratban sikerrel publikáltuk. (*Somoskeőy Sz, Tunyogi-Csapó M, Bogó C, Illés T. Spine J. 2012;12:960-968.*) Ez vélhetően hozzájárult az új vizsgálati eljárás ortopédiai szakterületen történő nemzetközi elismeréséhez és széleskörű adaptációjához, ami mára az eljárást kvázi standarddá tette a gerincsebészeti központokban.

Az EOS rekonstrukció horizontális síkú vetületi képének elemzése

6.4.3. Bevezettük és napi gyakorlattá tettük az EOS térbeli rekonstrukció horizontális síkú felülnézeti ábrázolásának elemzését, amelyhez új szemikvantitatív kiértékelési rendszert dolgoztunk ki.

6.4.4. Különböző klasszifikációs csoportba tartozó és súlyosságú eseteken elvégeztük a felülnézeti kép részletes elemzését, a megfigyelt közös és egyedi jellegzetességeket értelmeztük. A vizuális értékelést kiegészítettük a térbeli rekonstrukció parametrikus adatainak elemzésével.

Megfigyeléseinket a szűkebben vett szakterület nemzetközileg kiemelkedő folyóiratában publikáltuk, amely nagyszámú hivatkozást kapott. (*Illés T, Tunyogi-Csapó M, Somoskeőy S. Eur Spine J 2011;20:135-143.*) A térbeli rekonstrukció felülnézeti képének vizsgálata és értelmezése saját klinikai gyakorlatunkban rutineljárássá vált, a nemzetközi szakmai fórumokon létjogosultságot nyert.

6.5 Az EOS rekonstrukcióra alapuló vektoros ábrázolás elemzése és validálása a gerinc térbeli jellemzésére

6.5.1. Bevezettük az új "csigolyavektor" koncepciót, amely az EOS térbeli rekonstrukción ábrázolt gerincet és medencét helyettesítő, egyszerűsített térbeli vizuális megjelenítést és matematikai számításokra épülő parametrikus elemzést tesz lehetővé.

A vektor-alapú megjelenítés validálása a gerinc frontális és sagittális síkú görbületeinek jellemzésében

6.5.2. Nagyszámú, egészséges és különböző súlyosságú gerincdeformitással rendelkező vizsgálati mintán elvégeztük a vektor-alapú térbeli megjelenítés vektorparamétereiből számított frontális és sagittális görbületi értékek validálását hagyományos 2D módszerrel mért paraméterekkel szemben.

6.5.3. Kimutattuk, hogy a vektor-alapú eljárásra épülő mérőmódszer nagyfokú pontossággal bír a frontális görbületek és a sagittális síkú háti kyphosis mérésében. Megállapítottuk, hogy a vektor-alapú módszer jól reprodukálható és kiváló megbízhatóságú.

6.5.4. Bizonyítottuk, hogy az ágyéki L₁-L₅ lordosis mérési értékében tapasztalt eltérés csupán a L₅ csigolya ékesedésével összefüggő jelenség, ami a hagyományos és a vektor-alapú mérési módszer különbségének tulajdonítható. A vektor-alapú lordosis méréssel a hagyományos módszer inherens hibája kiküszöbölhető.

Eredményeinket nívós nemzetközi szakfolyóiratban sikerrel publikáltuk, amely számos független hivatkozással bír. (*Somoskeőy Sz, Tunyogi-Csapó M, Bogyó C, Illés T. Spine J 2012; 12: 1052-1059.*) Eredményeink alapján a Scoliosis Research Society új 3D munkacsoportja a vektor-alapú térbeli elemzést a jövőben alkalmazni kívánt módszerek között tartja számon, nagyszámú esetre épülő, multicentrikus vizsgálatokban.

A vektor-alapú ábrázolás a gerincdeformitás-progresszió követésében és a műtéti korrekció értékelésében

6.5.5. Dokumentáltuk a vektor-alapú módszer kiváló alkalmasságát a gerincdeformitások progressziójának vizuális és parametrikus vizsgálatában. A progresszió legérzékenyebb indikátorának a görbület csúcsponti csigolyájának oldalirányú eltérését reprezentáló vektorparaméter mutatkozott.

6.5.6. Megállapítottuk a vektor-alapú módszer alkalmasságát a gerincdeformitások műtéti korrekciójának vizuális és parametrikus kiértékelésére. A műtéti korrekció legérzékenyebb, legpontosabb indikátorának – a várttal ellentétben – nem a görbület Cobb-szögének változása, hanem a korrekciós beavatkozás laterális translációját reprezentáló, csúcsponti csigolyavektor oldalirányú eltérés-változása mutatkozott.

Megfigyeléseinket a szűkebben vett szakterület nemzetközileg kiemelkedő folyóiratában publikáltuk. (*Illés T, Somoskeoy S. Eur Spine J. 2013; 22:1255-1263.*) Megfontolásra érdemesnek tartjuk a vektor-alapú elemzést a gerincdeformáció progresszió-követésében, a műtéti korrekció tervezésében és értékelésében a napi gyakorlatban is. A legérzékenyebbnek mutató vektorparaméter-indikátor prioritása a gerincdeformitások műtéti korrekciós stratégiájának részleges változását eredményezheti.

7. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

7.1. Az értekezés alapjául szolgáló közlemények²

kumulatív IF: 15,516; összesített SJR: 8,648; független/összes hivatkozás: 201/221

1. Breakthrough in three-dimensional scoliosis diagnosis: significance of horizontal plane view and vertebra vectors
Illés T, Tunyogi-Csapó M, **Somoskeőy S**
Eur Spine J 2011; 20:135-143. *IF 1.965; SJR 1.404 Q1(Orthopedics and Sports Medicine); CI 52/59*

2. Geometrical values of the normal and arthritic hip and knee detected with the EOS imaging system
Than P, Szuper K, **Somoskeőy S**, Warta V, Illés T
Int Orthop (SICOT) 2012; 36:1291-1297.
IF 2.319; SJR 1.480 Q1 (Orthopedics and Sports Medicine); CI 42/46

3. Az EOS™ röntgengép elve és gyakorlati használata a mindennapi ortopédiai gyakorlatban
Illés T, **Somoskeőy Sz**
Orv Hetilap 2012; 153:289-295. *CI 2/4*

4. The EOS™ imaging system and its uses in daily orthopaedic practice
Illés T, **Somoskeoy Sz**
Int Orthop (SICOT) 2012; 36:1325-1331.
IF 2.319; SJR 1.480 Q1 (Orthopedics and Sports Medicine); CI 48/52

² *ISI Impact Factor (IF), SCImago Journal Rank (SJR), független/összes hivatkozás (CI)*

5. Clinical Validation of Coronal and Sagittal Spinal Curve Measurements Based on Three-Dimensional Vertebra Vector Parameters

Somoskeőy Sz, Tunyogi-Csapó M, Bogyó C, Illés T
Spine J 2012; 12:960-968.
IF 3.220; SJR 1.405 Q1 (Surgery); CI 15/16

6. Accuracy and Reliability of Coronal and Sagittal Spinal Curvature Data Based on Patient-Specific Three-Dimensional Models Created by the EOS 2D/3D Imaging System

Somoskeőy Sz, Tunyogi-Csapó M, Bogyó C, Illés T
Spine J 2012; 12:1052-1059.
IF 3.220; SJR 1.405 Q1 (Surgery); CI 31/31

7. EOS 2D/3D képalkotás alkalmazási lehetőségei az alsóvégtagon

Szuper K, **Somoskeőy Sz**, Than P, Illés T
Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet és Plasztikai Sebészet 2012; 55:203-212.

8. Comparison of scoliosis measurements based on three-dimensional vertebra vectors and conventional two-dimensional methods - Advantages in evaluation of prognosis and surgical results

Illés T, **Somoskeoy S**
Eur Spine J 2013; 22:1255-1263.
IF 2.473; SJR 1.474 Q1 (Orthopedics and Sports Medicine); CI 11/12

9. A csigolyavektor szerepe a gerincferdülés 3. dimenziójának megjelenítésében

Somoskeőy Sz, Illés T
Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet és Plasztikai Sebészet 2013; 56:41-51.

10. Femur és tibia diaphysis törések műtétet követő vizsgálata EOS 2D/3D röntgenkészülékkel

Szuper K, Dömse E, Nőt L, **Somoskeőy Sz**, Than P
Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet és Plasztikai Sebészet 2013; 56:119-126.

7.2. Az értekezés témájában megjelent egyéb közlemények³

kumulatív IF: 3,920; összesített SJR: 2,466; független/összes hivatkozás: 21/27

1. XXI. századi csúcstechnológia a PTE Térségi Szűrő- és Diagnosztikai Központjában (TSZDK) II. rész
Battyány I, Járay Á, Illés T, Csete M, Lévai A, Szalai G, **Somoskeőy Sz**
IME Az egészségügyi vezetők szaklapja 2007; 6: 40-42.

2. EOS a klinikai gyakorlatban – Ultra alacsony dózisu, teljes test digitális röntgenfelvétel technikája, jelentősége, klinikai indikációja, információ tartalma

Lévai A, Battyány I, Járay Á, Csete M, **Somoskeőy Sz**, Illés T
IME Az egészségügyi vezetők szaklapja 2008; 7: 41-43.

3. Re: Sangole AP, Aubin CE, Labelle H, et al. Three-dimensional classification of thoracic scoliotic curves.
Spine 2009; 34: 91-99. (*Letter to the Editor*)

Illés T, **Somoskeoy S**
Spine 2010; 35: 465-466. *CI 0/1*

4. A totál térdprotézis pozicionálása és az aszeptikus lazulás hosszú távú összefüggései

Than P, Lévai B, **Somoskeőy Sz**, Horváth G
Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet és Plasztikai Sebészet 2011; 54:103-111.

5. Hibás pozícióban beültetett totál endoprotézis aszeptikus lazulása és revíziója

Than P, Szuper K, **Somoskeőy Sz**
Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet és Plasztikai Sebészet 2012; 55:79-84.

³ *ISI Impact Factor (IF), SCImago Journal Rank (SJR), független/összes hivatkozás (CI)*

6. EOS 2D/3D képalkotás alkalmazási lehetőségei az alsóvégtagon
Szuper K, **Somoskeőy Sz**, Than P, Illés T
Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet és Plasztikai Sebészet 2012; 55:203-212.
7. Computer-generated, Three-Dimensional Spine Model From Biplanar Radiographs: A Validity Study in Idiopathic Scoliosis Curves Greater Than 50 Degrees
Carreau JH, Bastrom T, Petcharaporn M, Schulte C, Marks M, Illés T, **Somoskeőy S**, Newton PO
Spine Deformity 2014; 2:81-88. *SJR 0.365 Q3 (Orthopedics and Sports Medicine); CI 15/15*
8. Az EOS 2D/3D System alkalmazhatóságának vizsgálata a szabad alsóvégtag anatómiai és biomechanikai paramétereinek mérésére gyermekkorban
Schlégl ÁT, Szuper K, **Somoskeőy S**, Than P
Orv Hetilap 2014; 155:1701-1712. *CI 0/2*
9. A csípőízület 3D modellezése gyermekkorban
Schlégl ÁT, Szuper K, **Somoskeőy S**, Than P
Magyar Traumatológia, Ortopédia, Kézsebészet és Plasztikai Sebészet 2014; 57:169-179.
10. Three-dimensional quantitative analysis of the proximal femur and the pelvis in children and adolescents using an upright biplanar slot-scanning X-ray system
Szuper K, Schlégl ÁT, Leidecker E, Vermes C, **Somoskeőy S**, Than P
Pediater Radiol 2015; 45:411-421. *IF 1.530; SJR 0.593 Q2 (Radiology, Nuclear Medicine and Imaging); CI 3/5*
11. Az alsóvégtag tengelyállásának vizsgálati lehetőségei - Tapasztalataink az új EOS 2D/3D technológiával
Schlégl ÁT, Szuper K, **Somoskeőy S**, Than P
Magyar Traumatológia Ortopédia Kézsebészet Plasztikai Sebészet, 2015;58:127-139.
12. Three-dimensional radiological imaging of the normal lower limb alignment in children
Schlégl ÁT, Szuper K, **Somoskeőy S**, Than P
Int Orthop (SICOT) 2015; 39:2073-2080. *IF 2.390; SJR 1.508 Q1 (Orthopedics and Sports Medicine); CI 3/4*

7.3. Az értekezés témájában megjelent idézhető előadáskivonatok⁴

kumulatív IF: 4,326; összesített SJR: 4,396

1. 2009 Argospine best poster award : Visualization and evaluation of spinal 3D geometry in scoliosis using EOS 2D/3D imaging: first-year clinical data prove the significance of the horizontal plane view
Somoskeoy S, Dubousset J, Illes T
ArgoSpine News & Journal 2009; 21: 13.
2. Clinical Evaluation Of EOS 2D/3D Ultra Low-Dose Radiation System In Lower Limb Orthopedic Applications: Significance And Clinical Value Of True 3D Measurements And 3D Surface Reconstructions
Somoskeoy Sz, T Illés, and P Than
J Bone Joint Surg Br Proceedings, 2010; 92-B: 499. *IF 2.351; SJR 2.897 Q1 (Orthopedics and Sports Medicine)*
3. The postoperative clinical evaluation of femur and tibia shaft fractures with EOS 2D/3D ultra low-dose radiation system
Wiegand N, Kiss Z, Várhidy L, **Somoskeőy Sz**
Injury, Int. Care Injured 2011; 42:S28, P14. *IF 1.975; SJR 0.920 Q1 (Orthopedics and Sports Medicine)*
4. Significance of vertebral lateral ejection versus axial rotation in pre- and postoperative evaluation of adolescent idiopathic scoliosis - a vertebra vector study
Somoskeőy S, Tunyogi-Csapó M, Illés T
Journal of Children's Orthopaedics, 2012; 6 Suppl: 35-55. *SJR 0.579 Q2 (Orthopedics and Sports Medicine)*

⁴ *ISI Impact Factor (IF), SCImago Journal Rank (SJR)*

7.4 Az értekezés témájával kapcsolatos szabadalom

A Method And A System For Multi-Dimensional Visualization Of The Spinal Column By Vertebra Vectors, Sacrum Vector, Sacrum Plateau Vector And Pelvis Vectors

Illés T, **Somoskeöy S**

US Patent 8,885,899 B2 (2014)

patents pending WO/2011/092531 A1 (2011); CA27884545 A1 (2011); EP2528504 (2011)

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Elsőként egykori mentoromnak, **Dr. Kellermayer Miklós** "Tanár úrnak" szeretnék köszönetet mondani, aki tudományos diákkörös hallgatóként megismertetett a kutatómunka örömeivel, a tudomány szeretetével és belém oltotta valami új megalkotásának vágyát.

Végtelenül hálás vagyok témavezetőmnek, főnökömnek, **Dr. Than Péternek**, hogy több éven keresztül türelemmel, megértéssel és segítőkészséggel támogatott, nyugodt szakmai és emberi körülményeket teremtett doktori értekezésem megírásához. Témavezetői biztatása és szakmai tanácsai felbecsülhetetlenül értékesek voltak számomra. Az értekezésben bemutatott eredmények egy része közös munkánk gyümölcse.

Köszönettel tartozom korábbi főnökömnek, **Dr. Illés Tamásnak**, hogy 2007 tavaszán meghívott erre a megfeszített munkával járó, megannyi kihívást, izgalmat és örömet okozó kalandra, amely az EOS 2D/3D rendszer nélkül elképzelhetetlen lett volna. Az értekezésben bemutatásra került eredmények jelentős része közös munkánkra és szellemi termékünkre épül.

Baráti köszönetemet fejezem ki **Dr. Tunyogi Csapó Miklós**, **Dr. Bogyó Csaba** és **Dr. Burkus Máté** kollégáimnak a térbeli gerinckonstrukciós vizsgálatokban tanúsított, kitartó részvételükért.

Köszönöm **Dr. Szuper Kinga** és **Dr. Schlégl Ádám** munkatársaimnak az alsóvégtagi vizsgálatokban kifejtett önzetlen együttműködését, valamint **Dr. Ian O'Sullivan** munkatársamnak az értekezés bevezetésének megírásához nyújtott értékes segítségét.

A traumás alsóvégtagi vizsgálat alapötletéért **Dr. Wiegand Norbert**, a vizsgálat kivitelezésében való szorgalmas részvételéért **Dr. Dömse Eszter** részére jár elismerésem.

Köszönetemet szeretném kifejezni **Dr. Battyány István** és a **Radiológiai Klinika munkatársai** részére, az EOS vizsgálatok elvégzésével és a berendezés üzemeltetésével járó tevékenységért.

Lekötelezett vagyok az **EOS Imaging S.A., Paris, France** vezetőinek, egykori és jelenlegi munkatársainak, a 2007-2012 között biztosított együttműködésükért és támogatásukért.

Tiszta szívből köszönöm **Vanda** szeretetét, támogatását és türelmét – nélküle az értekezés megírása nem valósulhatott volna meg.

Végezetül szeretném ezt a munkát **Tamás**, **Balázs** és **Ákos** fiaimnak ajánlani.