

Doktori (PhD) értekezés

Csigolyarotációk és műtéti hatékonyság 3D rekonstrukció alapú vizsgálata serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben

Dr. József Kristóf

Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Ortopédiai
Klinika
Országos Gerincgyógyászati Központ

Dr. Tunyogi Csapó Miklós

témavezető
Országos Gerincgyógyászati Központ

Dr. Schlégl Ádám Tibor

témavezető
Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Ortopédiai
Klinika

Prof. Dr. Than Péter

programvezető
Mozgásszervi Klinikai Tudományok Doktori Program

Prof. Dr. Bogár Lajos

Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola vezető

Pécsi Tudományegyetem, OGYDTH

Pécs

2022

Tartalomjegyzék

Rövidítésjegyzék.....	3
I. Bevezetés	4
I.1. Serdülőkori idiopátiás gerincferdülés	4
I.1.1. Általános jellemzés	4
I.1.2. Diagnosztikai lehetőségek.....	7
I.1.4. Csigolyarotációk.....	13
I.1.5. Kezelési lehetőségek	14
I.1.6. Műtéti hatékonyság vizsgálata	18
I.1.7 Transzpedikuláris csavarozás az axiális síkban.....	20
I.2. Célkitűzés.....	21
II. Vizsgált populáció és módszer	23
II.1. Betegpopuláció	23
II.2. Korrekciós műtét	26
II.3. EOS 2D/3D képalkotás.....	26
II.4. Statisztikai analízis	28
III. Eredmények	29
III.1. Axiális csigolyarotációk vizsgálata 3D módszerrel	29
III.2. Műtéti hatékonyság vizsgálata 3D módszerrel.....	34
IV. Megbeszélés.....	38
IV.1. Axiális csigolyarotációk vizsgálata 3D módszerrel	38
IV.2. Műtéti hatékonyság vizsgálata 3D módszerrel	41
V. Összefoglalás	43
V.1. Az értekezés új eredményei és megállapításai	43
VI. Irodalomjegyzék	45
VII. A táblázatok és ábrák jegyzéke	57

VII.1. Táblázatok.....	57
VII.2. Ábrák	58
VIII. Melléletek.....	60
VIII.1. A dolgozat alapjául szolgáló publikációk	60
VIII.1.1. Tudományos közlemények	60
VIII.1.2. Konferencia előadások	60
VIII.2. Egyéb publikációk.....	61
VIII.2.1. Folyóiratokban.....	61
VIII.2.2. Konferencia előadások.....	62
IX. Köszönetnyilvánítás.....	65

Rövidítésjegyzék

2D/3D — 2 dimenziós/3 dimenziós

AIS — adolescent idiopathic scoliosis (serdülőkori idiopátiás gerincferdülés)

AV — apical vertebra (apikális csigolya)

EV — end vertebra (végcsigolya)

NV — neutral vertebra (neutrális csigolya)

SV — stable vertebra (stabil csigolya)

FL-FS — Full Leg-Full Spine (teljes gerinc vagy teljes alsó végtag leképezésére alkalmas röntgen modalitás)

CD-szög — Collodiaphysealis szög

CT — computed tomography (komputertomográfia)

MRI — magnetic resonance imaging (mágneses rezonancia képalkotás)

AVR — axial vertebral rotation (axiális csigolyarotáció)

apicalAVR — apical axial vertebral rotation (apikális csigolya axiális rotációja)

maxAVR — maximal axial vertebral rotation (maximálisan rotálódó csigolya axiális rotációja)

CSVL — central sacral vertical line (keresztcsonti középvonal)

I. Bevezetés

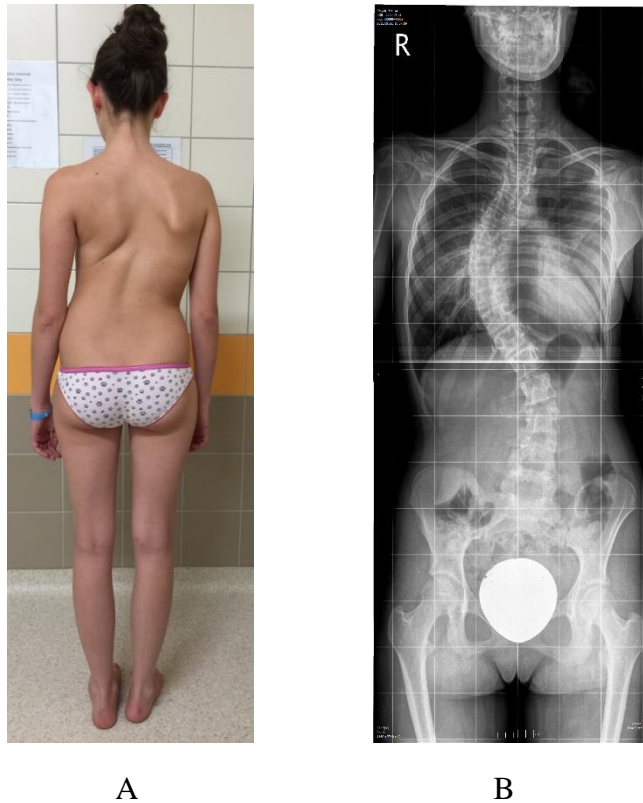
Jelen doktori értekezés a leggyakoribb fiatalkori gerincdeformitás – a serdülőkori idiopátiás gerincferdülés – egy nehezen vizsgálható dimenziójával, az axiális síkkal foglalkozik. A betegség általános jellemzése, diagnosztikája, általános kezelési elveinek ismertetését követően tisztázódnak a disszertáció fő kérdései: vajon minden esetben a gerincgörbület apikális csigolyája rendelkezik a legmagasabb rotációval? Milyen hátrányok érhetik egy fiatal betegünket, amennyiben valamely okból a műtétet egy későbbi életkorban végezzük? Klinikai vizsgálataink ezen kérdéseket is érintve igyekeznek választ adni a serdülőkori idiopátiás gerincferdülés kezelésének aktualitásaira.

I.1. Serdülőkori idiopátiás gerincferdülés

I.1.1. Általános jellemzés

A serdülőkori idiopátiás scoliosis egy 10 éves életkor után kialakuló deformitás, melyet a gerinc strukturális, oldalirányú, axiális rotációval járó görbülete jellemez (1/A ábra) [1]. A gerincferdülés oka az esetek egy részében tisztázható, mégis leggyakrabban nem mutatható ki egyértelmű kiváltó tényezője a deformációnak, ezért nevezzük idiopátiásnak az elváltozást [2]. A betegség 0,5-2 százalékban fordul elő európai populációban [3]. A gerincferdülés jóval gyakrabban érinti a nőket, a nő-férfi arány 20° feletti görbületek esetén 5,4:1 [4]. A jelenleg szélesebb körben elfogadott tudományos álláspont szerint egy komplex betegségről van szó, amelyben genetikai és környezeti tényezők együttes hatására alakul ki a jellegzetes gerinc deformáció [5].

Az elváltozások diagnosztikájában – az anamnézis és a fizikális vizsgálat mellett – központi szerepet játszanak a radiológia képalkotó módszerek (1/B ábra), amelyek részletesen az I.1.2. pontban kerülnek ismertetésre.



1. ábra — Serdülőkori idiopátiás scoliosissal diagnosztizált beteg (A), és ugyanezen páciens FL-FS (Full Leg-Full Spine) röntgenfelvétele (B) (saját képanyag)

Egy serdülőkorban kialakuló gerincferdülés jövőbeni progressziójának megítéléséhez a gerincgörbületi súlyosság meghatározása mellett elengedhetetlen a beteg kronológiai korának, csontkorának, valamint menstruációs státuszának tisztázása [6]. A csontkor meghatározásának a klinikai rutinban elterjedt technikája serdülőkori gerincferdüléssel esetekben a „Risser-plusz” módszer, amely a csípőlapát apofízisének csontosodását értékeli [7]. Risser 0-mínusz helyzetben veszi kezdetét a medence csontosodása, amikor a csípőlapát apofízisében még nem jelenik meg csontmag, illetve az acetabulumban található Y-porc (cartilago ypsiloformis) még látható a medencéről készült röntgenfelvételeken. Risser 0-plusz stádiumban összezsontosodik az Y-porc. Risser 1 csontkorban megjelenik a csípőlapát apofízis csontmagja laterálisan, amely Risser 2 során a csípőlapát 50%-át teszi ki. Risser 3 stádiumban további medialis irányú csontosodással az apofízis 75%-a átalakul, amely Risser 4 állapotban teljes hosszában csontos. Risser 5 csontkorban teljesen összezsontosodik az apofízis a csípőlapáttal. Az eredeti Risser módszerhez képest a Risser-plusz módszerben a 0 stádium további felosztásában van különbség.

Klasszifikáció

A serdülőkori idiopátiás gerincferdülés napjainkban általánosan használt klasszifikációs rendszerét L. Lenke és munkatársai dolgozták ki [8]. A különböző Lenke-főcsoportokat a 2. ábra szemlélteti. Az 1-es csoportba kerülnek a szimpla háti görbülettel rendelkező páciensek. 2-es csoportba soroljuk a kettős háti görbületű betegeinket. Lenke 3-as csoportba tartoznak a háti szakaszon észlelt főgörbületű és ágyéki szakaszon kiegészítő görbületű esetek. A legritkább 4-es csoportba a hármas görbületű pácienseket soroljuk. A 5-ös csoportba kerülnek a szimpla ágyéki deformitások. Lenke 6-os csoportba tartoznak az ágyéki főgörbületű és háti kiegészítő görbületű betegek.



Lenke 1



Lenke 2



Lenke 3



Lenke 4



Lenke 5



Lenke 6

2. ábra — A példaesetek teljes gerinc/EOS 2D röntgenképe a különböző Lenke-klasszifikáció főcsoportok szerint (saját képanyag)

A főcsoportokat a Lenke-klasszifikáció két módosító tényezővel osztja további alcsoportokra: ágyéki „lumbal modifier” alcsoportok, és szagittális alcsoportok.

Az ágyéki gerinc koronális elhajlását figyelembe vevő „lumbal modifier” meghatározásánál a keresztcsonti középvonal (CSVL – central sacral vertical line) apikális csigolyához (lásd I.1.2. fejezet – 3. ábra) viszonyított helyzete alapján három alcsoport keletkezik:

- „A” kategória: a keresztcsonti középvonal az ágyéki apikális csigolya pedikulusaitól (lásd I.1.7. fejezet – 7. ábra) mediálisan halad el;
- „B” kategória: ha a keresztcsonti középvonal érinti az ágyéki apikális csigolya pedikulusát
- „C” kategória: ha a keresztcsonti középvonal laterálisan halad az ágyéki apikális csigolya pedikulusától

A gerincferdülés a szagittális síkú eltéréseinek leírására alkalmazott szagittális alcsoportok alkotják a Lenke-klasszifikáció harmadik elemét, amely a Th.V-Th.XII. kifózis értéke alapján lehet:

- 10 fokig hipokifózis;
- 10-40 fok között normokifózis;
- 40 fok felett hiperkifózis

I.1.2. Diagnosztikai lehetőségek

Általánosan használt módszerek

A scoliosis diagnosztikája során a röntgen vizsgálatok mellett speciális esetekben felmerülhet a CT valamint MRI képalkotás használata [9].

A gerincferdülések diagnosztikájának alapja a kétirányú teljes gerinc (FL-FS) röntgenfelvétel (1/B ábra) [10]. A felvételek segítségével meg lehet határozni a görbületek súlyosságát, amely az általánosan használt Cobb-módszerrel számszerűsíthető [11]. A Cobb-szög meghatározásához a görbület alkotásában résztvevő végcsigolyák záró lemezeire állított merőlegesek kiegészítő szögét kell mérni

(3. ábra). A hagyományos röntgen technikának az az előnye a CT-vel és az MRI-vel szemben, hogy a vizsgálat álló testhelyzetben történik, amely a mozgásszervek diagnosztikájában nem elhanyagolható körülmény [12].

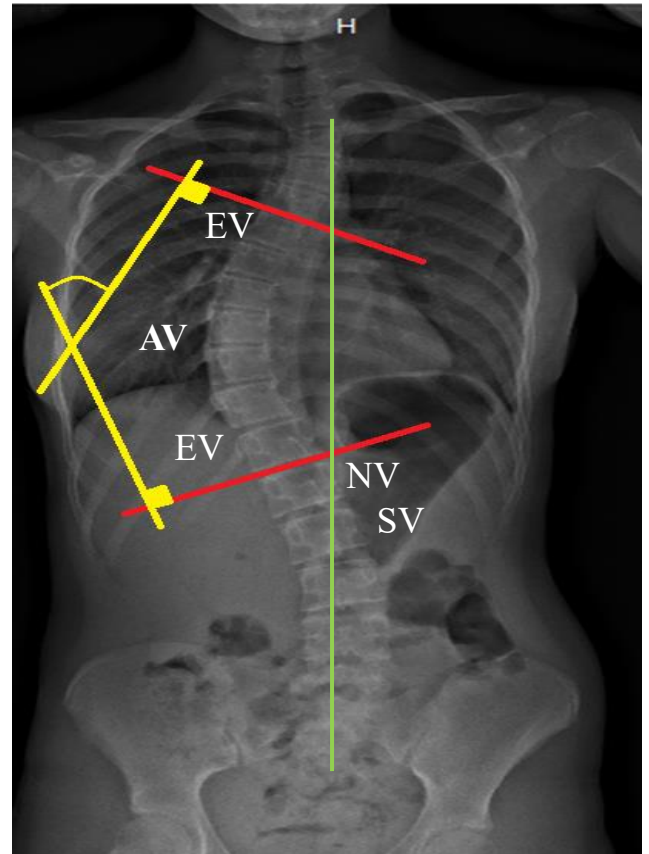
3. ábra — A Cobb-szög mérési elve

AV: apical vertebra (apikális csigolya)

EV: end vertebra (végcsigolya)

NV: neutral vertebra (neutrális csigolya)

SV: stable vertebra (stabil csigolya)



A CT vizsgálat fontos kiegészítője lehet a kétirányú hagyományos röntgenfelvételeknek, hiszen pontosabb képet ad a gerinccsigolyák pontos morfológiájáról és rotációjáról [13]. A CT vizsgálat sugárterhelésének hatékony csökkentésével, az alacsony dózisu CT-vizsgálatok elterjedésével a fiatalabb korosztályban is használhatóvá vált ez a módszer. Ennek következtében egyes klinikákon rutinszerűen végeznek CT vizsgálatot a scoliosisos esetek preoperatív tervezésénél [14]. Hátránya a módszernek a fekvő testhelyzetű vizsgálat, amely során a gerincgörbületek mindhárom dimenzióban módosulhatnak [15].

Az MRI képalkotás segítségével – a nagyszámú scoliosisos betegpopulációt felölelő prospektív vizsgálatok alapján – 0,6%-ban diagnosztizálható gerincvelői syrinx, illetve 1,2 %-ban diagnosztizáltak I-es típusú Arnold-Chiari-malformációt [16]. Viszont ezen esetek egyikében sem volt szükséges idegsebészeti beavatkozás a spondylodesis előtt.

Valamint olyan esetekben, amikor MRI vizsgálatok során eltérést detektáltak, a scoliosis műtét során neurológiai szövődmény nem lépett fel. Összegezve, az MRI esetében meggyőző tudományos bizonyítékok szólnak amellett, hogy a módszer rutinszerű használata nem indokolt a neurológiai szempontból tünetmentes idiopátiás gerincferdülés diagnosztikájában [17].

Az EOS™ 2D/3D képalkotás

Georges Charpak 1992-ben kapott fizikai Nobel-díjat egy új típusú részecske detektor felfedezéséért és kifejlesztéséért [18]. Ezen találmány beépítésével Jean Dobousset és munkatársai megalkották az EOS™ kétsíkú röntgengépet. A detektor felhasználásával nagymértékben csökkentették a röntgen képalkotás során használt sugármennyiséget. A 2 dimenziós felvételek esetén 8-10-szeres sugárdózis csökkenést mértek a hagyományos röntgengépekkel szemben, míg a 3 dimenziós rekonstrukciók esetében a hagyományos CT vizsgálathoz képest akár 800-1000-szer alacsonyabb sugárterhelést értek el [19]. A modernebb low-dose CT-kkel összehasonlítva természetesen ez a sugárterhelés csökkenés alacsonyabb mértékű, de továbbra is jelentős. További jelentős előnye a módszernek az álló testhelyzetű vizsgálat, hiszen a testsúly által terhelt mozgásszervek valósabb képet adnak az egyes elváltozásokról.

Az EOS™ 2D/3D röntgentechnikával való vizsgálat során anteroposterior és laterális irányból egy időben teljes test képalkotás történik (4. ábra). A fejtetőtől a talpig körülbelül 25 másodperc alatt végighalad a két merőlegesen állított sugárforrás és detektor. Ennek segítségével ugyanazon pont helyzete meghatározható a két elkészült röntgenképen.



4. ábra — Az EOS™ 2D/3D röntgengép működés közben [i]

A 3 dimenziós rekonstrukció során egy speciális szoftver segítségével (SterEOS™, v1.4.4.5297, EOS Imaging, Paris, France) a két röntgenfelvétel alapján egy operátor meghatározza a vizsgált testrészen (gerinc, medence vagy alsó végtagok) elhelyezkedő referenciapontokat. Ezen viszonyítási pontok segítségével a program létrehoz egy kezdeti 3 dimenziós modellt, aminek alapját a szoftverbe táplált nagy elemszámú vizsgálatok eredményei adják. A kezdeti modell még nem illeszkedik tökéletesen a vizsgált páciens csontfelszínéhez, ezért az operátor további pontosításokat végez. A végleges modell alapján (5. ábra) a számítógép automatikusan számol a gerincre, medencére és az alsó végtagokra jellemző mérőszámokat [20].



5. ábra — A sterEOS programmal készített 3D rekonstrukció végeredménye.

A 3D rekonstrukció alapján számított **gerincparaméterek**:

- Cobb-fok;
- Th.I-Th.XII. kifózis;
- Th.IV-Th.XII. kifózis;
- L.I-L.V. lordózis;
- L.I-S.I. lordózis;
- Axiális csigolyarotáció (AVR) a Th.I-L.V. csigolyákra
- A gerincferdülésben résztvevő végcsigolyák
- A gerincferdülés apikális csigolyája

A szoftver által számított **medencét leíró mérőszámok:**

- PI – pelvic incidence (medence incidencia);
- PT – pelvic tilt (medencedőlés) = PV – pelvic version;
- SS – sacral slope (keresztcsonti lejtés)

EOS 3D rekonstrukció által nyerhető által **alsó végtagi paraméterek:**

- Az alsó végtag teljes hossza
- Femur mechanikai tengely hossz
- Tibia mechanikai tengely hossz
- Femurfej átmérő
- Femurnyak hossz
- Collodiaphysealis szög (CD-szög, neck-shaft angle)
- Femoralis eltoltság (femoral offset)
- Mechanikai tibiofemoralis szög (mTFA, hip-knee ankle)
- Szagittális tibiofemoralis szög (sTFA)
- Csípő-térd eltolódás (Femoral mechanical axis – femoral shaft angle: FM-FS)
- Femur mechanikai szöge (transcondylaris szög)
- Tibia mechanikai szöge (tibial plateau-tibial shaft angle)
- Femoralis torzió (femoral torsion)
- Tibialis torzió (tibial torsion)
- Femorotibialis rotáció (femorotibial rotation)

A gerinc-medence-alsó végtagok egymást befolyásoló szerepét kutatócsoportunk több ízben is bizonyította EOS 2D/3D alapú vizsgálatokkal. Burkus és munkatársai elsősorban a gerinc és a medence összefüggéseit vizsgálták idiopátiás gerincferdüléses pácienseknél és kontroll átlagpopuláción. Az eredmények alapján szignifikáns kapcsolat mutatkozott a medence incidencia és a lumbalis lordózis között. A medence incidencia és a háti kifőzis között kontroll populációban nem volt összefüggés, azonban scoliosisos

esetknél a magasabb medence incidencia szignifikánsan magasabb háti kifóizst eredményezett [21].

Márkus és munkatársai az idiopátiás gerincferdülés alsó végtagokra kifejtett hatását vizsgálták tanulmányukban. Eredményeik szerint a koronális dekompenzáció (lásd I.1.6. pontban) létrehozhat alsó végtagi csontos eltéréseket, pl. a femur- és tibiahosszban, a CD-szögben vagy a mechanikai tibiofemorális szög értékében [22].

Az EOSTM röntgenteknikával mérhető paraméterek megbízhatóságával kapcsolatban számos vizsgálat készült. A gerincparaméterekre fókuszálva idiopátiás scoliosisban, Bagheri és munkatársai megbízhatónak és megismételhetőnek találták az EOS módszerrel kapott eredményeket. A 3D modellezést követően jellemzően legfeljebb néhány fokos különbséget találtak a megfigyelők között [23]. Jiang és munkatársai fúziós műtéten átesett páciensek EOS vizsgálatait elemezték CT-vel összehasonlítva rotációs szempontból. Megállapításaik szerint habár az EOS adatok megfelelő megbízhatóságúak, a CT-vel mért rotációs eredményekhez viszonyítva túlságosan nagy szórást mutatnak [24]. Árnyalja a képet, hogy ezen alacsony elemszámú retrospektív vizsgálaton kívül nem található magasabb evidencia szintű vizsgálat a kérdéskörben.

I.1.4. Csigolyarotációk

Évtizedek óta ismert tény, hogy a serdülőkori idiopátiás scoliosis 3 dimenziós deformitás [25]. A frontális és a szagittális elváltozás mellett a csigolyák axiális rotációja is jelen van a strukturális görbületekben [26].

Stokes a 80-as évek végén CT alapú vizsgálata során azt tapasztalta, hogy az apikális csigolyának, vagy két szegmentumon belüli szomszédos csigolyának legmagasabb az axiális rotációja [27]. A következő években CT-vel a különböző implantátumok csigolyarotációra kifejtett hatásait vizsgálva – Stokes eredményeivel ellentétben – kizárólag az apikális csigolyát találták a maximálisan rotálódónak [28, 29].

Ezt követően az apikális csigolya axiális rotáció (apicalAVR) meghatározása központi szerepet kapott a scoliosis megítélésében. A kezdeti meghatározó vizsgálatok óta tényként kezelik, hogy az apikális csigolya rendelkezik a legnagyobb rotációval [30]. A

vizsgálatok nagy részében már kizárólag az apicalAVR paramétert mérik, és ebből vannak le következtetések akár a műtéti kezelés hatékonyságára vonatkozóan [31, 32].

Kotwicki Lenke 1 csoportba tartozó gerincgörcbületeket vizsgálva a Th.IX. csigolya környékén mért 10° - 24° közötti maximális axiális csigolyarotációt (maxAVR) [33]. Charles és munkatársai Lenke 1 és 3 típusú gerincgörcbületek vizsgálatakor azt találták, hogy a maximális thoracalis csigolyarotáció T6 és T10 csigolya közé esik, álló testhelyzetben átlagosan $22,7^{\circ}$ -os értékkel. A maximális lumbalis csigolyarotációt Lenke 3-as betegeknél az L1 és L3 csigolyák magasságában mérték átlagosan $25,8^{\circ}$ -osnak [34].

A rotációs paraméterek meghatározása a műtéti eredmények vizsgálata mellett szerepet játszhat a scoliosis progressziójának megítélésében [35]. Több szerző is dolgozott ki a csigolyarotációkat figyelembe vevő scoliosis klasszifikációkat, amivel mind a 3 dimenzió leírására törekedtek [36, 37]. Ezekben a vizsgálatokban közös, hogy az apicalAVR paramétert használták a gerincferdülés axiális dimenziójának leírására.

I.1.5. Kezelési lehetőségek

Az idiopátiás scoliosis kezelése konzervatív és operatív módon történhet [38]. A konzervatív kezelés alapja a Schroth-gyógytorna [39], amit 20 és 45 Cobb-fok között indokolt fűzőkezeléssel kiegészíteni, abban az esetben, ha még legalább egy évig várható a páciens magasságbeli növekedése [40].

A Schroth-torna során speciálisan képzett gyógytornászok vezetésével 3 dimenziós kezelés történik, a következő módszerek kombinálásával: tartás korrekció, a légzési minták korrekciója, a testtartás percepciójának fejlesztése, szagittális korrekció, a mindennapi életvitel során alkalmazható mozgásminták kialakítása, tapasztalati tanulás [41].

A fűzőkezeléssel (brace), illetve a hozzá kapcsolódó progresszió becsléssel kapcsolatos evidenciák és ajánlások [42]:

- A fűzőkezelés célja, hogy megelőzze, vagy csökkentse a görbületes progressziót serdülőkorú idiopátiás gerincferdülésben a gyermek növekedése során (A-szintű ajánlás)

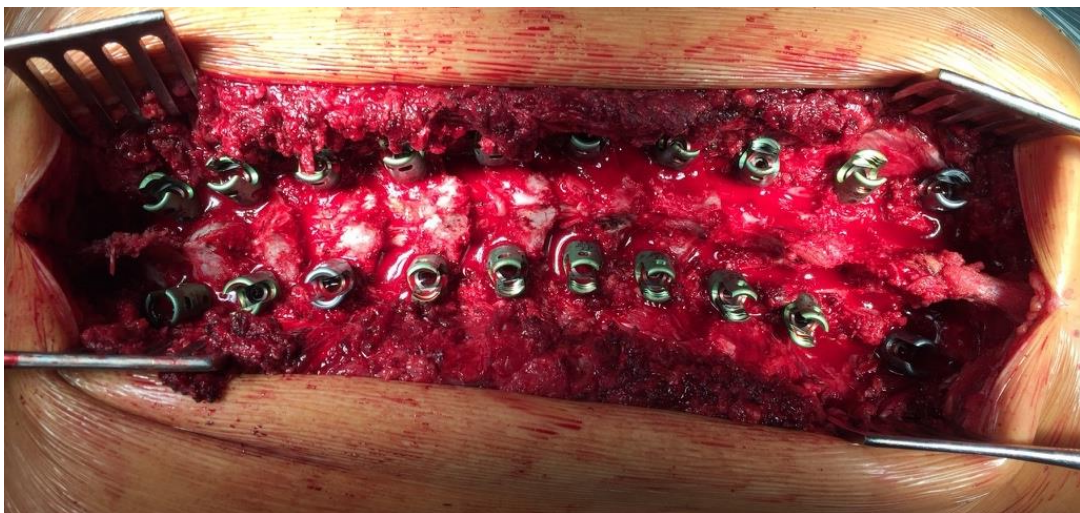
- A fűzőkezelést 15 Cobb-fok alatt és 60 Cobb-fok felett nem javasolt elkezdni (C-szintű ajánlás)
- A páciens csontérettsége jelentős befolyásoló faktor a fűzőkezelés indikációjában (A-szintű ajánlás)
- A csontos érés befejeződésével (Risser 5) nem javasolt a fűzőkezelés (A-szintű ajánlás)
- Emelkedett a rizikó a görbületek progressziójára Risser 0, nyitott Y-porc esetén (A-szintű evidencia)
- A 30 Cobb-fok feletti görbületeknek magasabb a progresszió rizikója (A-szintű evidencia)
- Alacsonyabb a rizikó a görbületek progressziójára Risser ≥ 4 esetén (A-szintű evidencia)
- 15 Cobb-fok alatti görbületek esetén alacsony a progresszió esélye (A-szintű evidencia)
- A magas progresszió rizikójú pácienseknek legalább napi 18 óra fűzőkezelés javasolt (A-szintű ajánlás)
- Kevesebb, mint napi 6 óra fűzőkezelés nem javasolt serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben (A-szintű ajánlás)
- A rigid fűzők használata javasolt a nem rigid fűzőkkel szemben (A-szintű ajánlás)
- Alacsony dóziszú kétsíkú röntgen technikák alkalmazása javasolt a betegek monitorozására (C-szintű ajánlás)
- A betegek gyors növekedési fázisában 4-6 havonta, egyéb fázisokban 6-12 havonta javasolt kontroll vizsgálat (C-szintű ajánlás)

A végleges operatív kezelést általánosan 45-50 Cobb-fok fölötti, súlyos esetekben a növekedés befejeződése után javasolt elvégezni [43]. Az 50 Cobb-fokos műtéti határ megállapításában központi szerepe van egy Weinstein és Ponseti által publikált tanulmánynak, amelyben átlagosan 40,5 évig követtek kezeletlen gerincferdüléssel pácienseket. Eredményeik alapján a csontos érés befejeződése után is magasabb eséllyel progrediálnak az 50 Cobb-fok feletti esetek, háti görbületek esetén átlagosan 1 Cobb-

fok/évvel [44]. Ebből következőleg a műtéti indikáció első sorban a görbületi progresszió megállítását célozza 50 Cobb-fok feletti háti görbületek esetén. Emellett kifejezetten a súlyos görbületek esetén fontos tényező a páciens aszimmetrikus törzséből és bordadeformitásából adódó kozmetikai elváltozás, amelynek szubjektív észlelését a műtét pozitív irányba képes befolyásolni [45]. A görbületi progresszió lehetőségét, illetve a kozmetikai problémákat mérlegelve a 45-50 Cobb-fok feletti, de nem extrém súlyosságú görbületek műtéti kezelése relatív indikáció alapján történik.

Amennyiben nem történt megfelelő időben diagnózis és kezelés, a súlyos fokú deformitások tovább progrediálhatnak egészen extrém görbületekig. Elsősorban a mellkasi deformálódásból adódva összenyomásra kerülhetnek a mellkasi szervek (tüdő, szív, nagy erek) mellett a hasi szervek is. A tüdő érintettségét légzésfunkciós vizsgálatokkal elemezve alapvetően restriktív tüdőbetegség keletkezik idiopátiás gerincferdülésben, amely multifaktoriálisan csökkenést eredményez a légzési térfogatokban. A csontos mellkas és a tüdő rugalmasságának csökkenése megnövekedett légzési munkát eredményez. Végállapotban pulmonális hipertenzió és légzési elégtelenség alakulhat ki a páciens életét veszélyeztetve [46]. Ezen okokból az extrém súlyos, 90 Cobb-fok feletti deformitások abszolút műtéti indikációt képeznek.

A jelenleg általános műtéti megoldást a hátulsó feltárásból transzpedikuláris csavarozást követő derotáció, illetve spondylodesis jelenti, amit a 6. ábra szemléltet [47].



6. ábra — Serdülőkori idiopátiás scoliosis műtéti kezelése

Az arany standard műtét során bőrmetszést és a fascia átvágását követően a gerincsigolyák hátsó struktúráin tapadó izmok leválasztásra kerülnek. A

transzpedikulárisan behelyezett uni- és multiaxiális csavarok speciálisan kialakított fejébe titán vagy króm-kobalt rúd kerül, amelyek segítségével történik a gerincgörbület derotációja. A korrekció során kombináltan alkalmazott sebészi technikák [48]:

- kompresszió a konvex oldalon, disztrakció a konkáv oldalon
- rúd derotáció, vagy csigolya transláció alkalmazása
- „in situ” rúdhajlítás
- szegmentális direkt derotáció
- „en block” csigolya derotáció [49]
- cantilever technika [50]
- oszteotómiák, csigolyatest rezekció

A műtét elvégzéséhez optimális életkorra nincs egyértelmű ajánlás. Bao és munkatársai 13 éves életkor alatti, Risser 0-s csontérettségű pácienseknél is végeztek gerincfúziót. A korai műtét átlagosan 2-3 centiméterrel alacsonyabb gerinc magasságot eredményezett összevetve a biológiailag érettebb betegcsoporttal [51]. Lonner és munkatársai ezzel ellentétben olyan serdülőkorban kialakult gerincferdüléssel beteget vizsgáltak, akiknél felnőttként, átlagosan 43 éves korban történt a fúziós műtét. Megállapításaik szerint a később végzett gerinckorrekció hosszabb műtéti idővel, nagyobb komplikációs rátával és több szegmentumra kiterjedő fúzióval járt a serdülőkorban elvégzett beavatkozásokhoz képest [52]. Deviren és munkatársai a páciens életkorának növekedésével a görbületi rugalmasság csökkenését mutatták ki [53]. Összegezve a műtét optimális időzítésével kapcsolatos tapasztalatokat és vizsgálatokat, a teljes csontos érés (Risser 5) előtt végzett műtétek kedvezőbb perioperatív szövődményrátaival és kedvezőbb posztoperatív eredményekkel járhatnak.

A scoliosis korrekciók időzítését súlyossági szempontból is fontos mérlegelni. A legfrissebb irodalmi adatok alátámasztják azt a tapasztalatot, miszerint az extrém (90 Cobb-fok feletti) görbületek műtéti ellátása szignifikánsan rosszabb perioperatív eredményekkel, magasabb komplikációs rátával, hosszabb fúzió szükségességével, illetve magasabb kezelési költségekkel jár [54].

I.1.6. Műtéti hatékonyság vizsgálata

A műtéti hatékonyság a deformitás mindhárom síkjában vizsgálható: mind a koronális, mind a szagittális, mind az axiális síkban történtek vizsgálatok műtét előtti és utáni adatokat elemezve. Emellett a műtéti eredményt és a posztoperatív életminőséget a koronális és szagittális balansz mértéke is befolyásolja [55].

Koronális műtéti hatékonyság

A műtéti eredményesség meghatározásában központi szerepet játszik a koronális síkú korrekciós hatékonyság felmérése, amely során a műtéttel elért Cobb-fok csökkenést adjuk meg a műtét előtti Cobb-fok százalékában [56]. Az arany standardként használt transzpedikuláris csavaros implantátumok használatával Jaquith és munkatársai 73%-os koronális síkú korrekciós hatékonyságot értek el [57]. A korrekció mértékét számos faktor befolyásolhatja (pl.: gerinc mobilitás, oszteotómiák, csavarok száma), amelyek figyelembevételével 63-83 % közötti átlagos koronális korrekciós hatékonyság található a szakirodalomban [58; 59].

Szagittális műtéti hatékonyság

A gerincdeformitások szagittális síkú elemzése és esetleges korrekciója szintén fontos tényező, hiszen az esetleges nyílrányú diszbalansz jelentősen negatív hatással van a páciensek életminőségére [60]. A serdülőkori scoliosisos esetek többségére a szagittális síkban a háti hipokifózis jellemző, amelyet a korrekciós műtétek pozitív irányban képesek befolyásolni [58; 61].

Axiális műtéti hatékonyság

Az axiális síkban történő korrekció kiemelt fontosságú, hiszen a műtétet követő esetleges nagymértékű reziduális borda deformitás jelentős hatással van a posztoperatív életminőségre [62]. Ilharreborde és munkatársai műtétet követően átlagosan 48.3%-os apikális csigolya rotáció (apicalAVR) csökkenést mértek EOS 2D/3D módszerrel [63].

Az ezt megelőző megbízhatósági vizsgálatok során a műtét előtt és után mért EOS 3D paraméterek reprodukálhatósága egyaránt jónak bizonyult [64].

Koronális balansz korrekció

A koronális balansz szinonimái a frontális síkú eltolódás (frontal plane offset), illetve a frontális síkú balansz (frontal plane balance), amely definíció szerint a medio-lateralis távolság a középvonal és egy meghatározott fejhez közeli pont között [65]. A középvonal általánosan az első keresztcsonti csigolya középpontjához viszonyított, míg a fejhez közeli pont lehet az első háti csigolya, a hetedik nyaki csigolya, vagy a protuberantia occipitalis externa középpontja.

Fizikális vizsgálattal általánosan a vertebra prominens, azaz a hetedik nyaki csigolya processus spinosusától leeresztett függőn segítségével határozható meg [66]. Ha a függőn a farpofák között halad el, akkor kompenzált a gerincferdülés, azonban ha a farpofák mellett látjuk, akkor dekompenzálnak tekinthető.

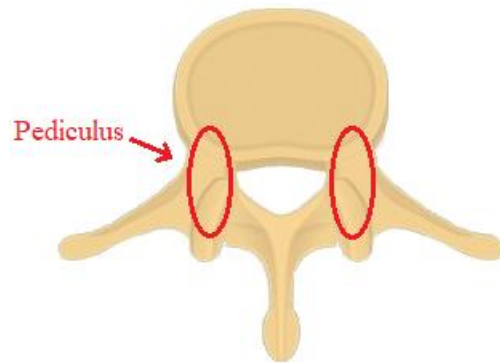
Radiológia módszerrel is meghatározható a koronális balansz értéke anteroposterior röntgenfelvételeken: a hetedik nyaki és az első keresztcsonti csigolya középpontjaiból húzott párhuzamos egyenesek közti eltolódást mérve [67]. Akkor tekinthető pozitív értékűnek, ha a C.VII.-es csigolyából húzott hosszanti irányú egyenes az S.I.-es csigolyából húzott longitudinális irányú egyeneshez képest beteghez viszonyítva bal oldalt halad el. Ellentétes módon, negatív értékeket a C7-es csigolyából kiinduló egyenes jobb oldali elhelyezkedése esetén mérhetünk.

Az irodalmi adatok eltérnek a dekompenzáció megállapításában, hiszen egyes közlemények 1 cm fölötti balansz eltolódást tekintenek dekompenzálnak [68], míg más szerzők 2 cm feletti értéknél húzták meg a határt [69]. Ghandehari és mtsai eredményei nem bizonyították az összefüggést a műtét előtti koronális dekompenzálttság, és az életminőség között, azonban a műtétet követő koronális balansz korrekció mértéke összefüggést mutatott a posztoperatív életminőség javulásával. 2 cm alatti, illetve 2 cm feletti koronális balansz korrekciót összevetve, a kompenzált felsőtest irányába történt nagyobb korrekció szignifikánsan magasabb posztoperatív életminőséget eredményezett [55].

I.1.7 Transzpedikuláris csavarozás az axiális síkban

Ahogy a kezelési lehetőségeknél említettem (az I.1.5. pontban), a súlyos fokú idiopátiás gerincferdülés általánosan elfogadott műtéti megoldása a hátulsó feltárásból történt transzpedikuláris csavarozást követő derotáció, illetve spondylodesis. Jelen fejezetben a transzpedikuláris csavarozás deformitás sebészetben releváns szempontjait szeretném ismertetni. A pediculus anatómia elhelyezkedését a 7. ábra szemlélteti.

7. ábra — A pediculus, vagy pedunculus a csigolyatestet és a hátsó laminát összekötő, a gerinccsatorna oldalfalát alkotó csontos anatómiai képlet [70].



A pediculuson keresztül a csigolyatestekbe vezetett csavarok biomechanikai stabilitásuk miatt arany standard rögzítési módszerré váltak a modern gerinsebészetben [71]. A kezdeti meghatározó anatómiai vizsgálatoknak köszönhetően 5-10 fokos közelítéssel megmondható, hogy a háti-ágyéki gerincszakaszon az egyes csigolyák pediculusai hány fokos szöget zárnak be a csigolyatesttel (transzverzális pedicularis szög). A Th.I.-es csigolya jelentős, 20-30 fokos transzverzális pedicularis szöggel rendelkezik, amely a háti szakaszon folyamatosan csökken, elérve a Th.XII.-es csigolya 0 fok körüli szögértékét. Ez a trend a lumbalis gerincszakaszon visszafordul, és az L.V.-ös csigolya már ismét magasabb, 25-35 fok körüli transzverzális pedicularis szöggel jellemezhető [72]. Normál görbületekkel rendelkező gerinc esetén az egyes csigolyáknál az „entry point” azonosítását követően [73] a transzverzális pedicularis szög értékével szükséges a csavart megdőnteni az axiális síkban, hogy megfelelő helyzetű transzpedikuláris csavarpozíciót kapjunk. Gerincferdüléssel rendelkező esetekben annyiban bonyolódik az axiális csavardőlés, hogy az axiális csigolyarotáció értékét a konvex oldalon kivonjuk, míg a konkáv oldalon hozzáadjuk a transzverzális pedicularis szög értékéhez. Például, ha egy

10 fokos transzverzális pedicularis szögértékkel rendelkező Th.VII-es csigolyának még további 10 fok axiális csigolyarotációja van a gerincferdülés következtében, akkor a konvex oldalon 0 fokban szükséges a csavart behelyezni, míg a konkáv oldalon 20 fokos axiális irányt kell biztosítani. Ezen szögértékek preoperatív ismerete pontosabb csavarpozíciókat eredményezhet deformitás műtétek során [74].

Irodalmi adatok alapján a pediculus szintjében mért minimálisan 2 mm-es eltérést tekintünk csavar malpozíciónak [73; 75]. 2 cm-es „entry point”-pediculus távolsággal számolva 5,6 fokos eltérés a csavar axiális irányában 2 mm-es csavar malpozíciót eredményez. Ezekből következőleg nagyságrendileg 5 fokos axiális eltérés a csigolyarotációkban, illetve a transzverzális pedicularis szög értékében klinikailag szignifikánsnak tekinthető.

Vaccaro és mtsai részletesen elemezték a háti gerinccsigolyák közvetlen környezetében található anatómiai képletek elhelyezkedését, illetve a potenciális szövődményeket. Megállapításaik alapján mediális csavarpozíció esetén a gerincvelő közelsége miatt neurológiai szövődményekkel számolhatunk. Lateralisan a pediculustól elsősorban a pleurát és az aortát érheti az implantátum, pneumothoraxot, illetve életet veszélyeztető vérzéses szövődményt okozva. Amennyiben a pediculusban van a csavar, de áttöri a csigolyatest elülső cortexét, a csigolya előtti képletek jelenthetnek szövődményveszélyt az aktuális háti gerincszegmentum függvényében: a nyelőcső, a vena hemiazygos, a vena cava inferior, a szív pitvarai, a pleura és a tüdők [76].

I.2. Célkitűzés

A vizsgálat alapvető célja volt, hogy a serdülőkori idiopátiás gerincferdülés fő és kiegészítő görbületeiben meghatározzuk az axiális csigolyarotációkat (AVR) EOS 2D/3D röntgenteknika segítségével, majd meghatározzuk, hogy az apikális csigolya hogyan viszonyul a maximálisan rotálódó csigolyához. A maxAVR és az apicalAVR paraméterek statisztikai összevetését terveztük a különböző súlyossági csoportokban és Lenke klasszifikációs csoportokban.

Másodlagos célként tűztük ki a kutatócsoportunk által végzett gerinckorrektív műtétek háromdimenziós hatékonyságának meghatározását EOS 2D/3D képalkotás segítségével

serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben. További célunk volt a páciens életkorának befolyásoló szerepének vizsgálata a korrekciós hatékonyságra. A fenti kérdések vizsgálata során kiemelt figyelmet fordítottunk a klinikai relevanciával bíró eltérésekre.

II. Vizsgált populáció és módszer

II.1. Betegpopuláció

A vizsgálatunk retrospektív részében az intézményi etikai engedélyezést követően (ügyiratszám: 7605 – PTE 2019) áttekintettük a PTE Ortopédiai Klinika 2007-2018 közötti rutin betegellátása során készült 9872 db EOS 2D/3D (EOS Imaging, Paris, France) felvételt. Kiválogattuk azokat az eseteket, ahol serdülőkori idiopátiás gerincferdülés igazolódott. Azokat a betegeket kizártuk a vizsgálatból, akiknél ismert eredetű volt gerincferdülésük, 10 éves kor előtt alakult ki gerincgörbületük, vagy történt megelőző gerincműtét, illetve volt társuló mozgásszervi megbetegedésük. Emellett kizártunk minden olyan páciens, ahol a képalkotó vizsgálat nem a standard pozícióban történt, ami torzíthatta a gerincrotációs méréseket.

Az így beválasztott 332 beteg átlagéletkora a képalkotáskor 14,7 év volt, a betegek életkor és súlyossági csoportok (SOSORT Consensus) szerinti megoszlását az 1. táblázat mutatja [77]. A betegpopuláció 267 leányt és 65 fiút számlált, ami megfelel a betegség nemi eloszlásának [78]. A Cobb-fok 10-122 között átlagosan $37,7^\circ$ volt, amely felöleli a legenyhébbtől az egészen súlyos deformitással rendelkező eseteket is. Enyhe, azaz 20 Cobb-fok alatti görbülete volt a beválasztott betegek 22,9%-ának (76 eset/332 eset). Középsúlyosnak tekinthető (21-55 Cobb-fok) a vizsgált páciensek 57,2%-a (190/332 eset). Súlyos deformitást (Cobb-fok nagyobb, mint 55) a betegek 19,9%-ban tapasztaltunk (66 eset/332 eset). Amennyiben egy páciensről több alkalommal is készült vizsgálat különböző életkorokban, minden vizsgálatról készült adatot bevontuk a vizsgálatba.

Cobb-fok	Életkor (év)							
	10	11	12	13	14	15	16	17
>20°	5	5	8	5	16	15	12	10
21°-35°	7	3	9	16	29	24	15	15
36°-40°	0	0	2	3	3	3	6	2
41°-50°	1	2	2	7	13	5	6	7
51°-55°	0	0	1	3	4	1	1	0
55°<	0	5	7	13	17	11	7	6
Összesen	13	15	29	47	82	59	47	40

1. táblázat — A retrospektíven beválasztott betegek életkor és görbületi súlyosság szerinti megoszlása

A retrospektíven kiválasztott 332 páciens Lenke klasszifikáció szerinti beosztását a 2. táblázatban tüntettük fel. Minden betegünk egy főgörbülettel rendelkezett, ezért 332 főgörbület vizsgálatát tudtuk elvégezni. A kiegészítő görbületek vizsgálatát értelemszerűen csak Lenke klasszifikáció szerinti 2, 3, 4, 6 csoportokba tartozó pácienseinknél végeztük el. A Lenke 4 görbületek speciálisnak számítanak abból a szempontból, hogy két kiegészítő görbületet tartalmaznak. Emiatt Lenke 4 esetekben két kiegészítő görbületet is vizsgáltunk, így összesen 102 kiegészítő görbület vizsgálatára nyílt lehetőség.

Lenke főcsoport	páciensek száma (fő)
1 – szimpla háti görbület	113
2 – kettős háti görbület	26
3 – háti főgörbület ágyéki kiegészítő görbülettel	54
4 – hármas görbület	3
5 – szimpla ágyéki görbület	120
6 – ágyéki főgörbület háti kiegészítő görbülettel	16
összesen	332

2. táblázat — A retrospektíven kiválasztott betegek Lenke klasszifikáció szerinti beosztása

A vizsgálatunk második részében prospektív betegregisztert hoztunk létre. A regiszterbe beválasztottunk minden olyan páciens, akiknél műtéti indikációt elérő serdülőkori idiopátiás gerincferdülés igazolódott. Azokat a betegeket kizártuk a vizsgálatból, akiknél ismert eredetű volt gerincferdülésük, 10 éves kor előtt alakult ki gerincgörbületük, nem volt műtéti indikáció vagy történt megelőző gerincműtét, illetve volt társuló mozgásszervi megbetegedésük. Emellett kizártunk a vizsgálatból azon pácienseket, akiknél nem történt műtét előtti vagy közvetlen műtét utáni EOS 2D/3D képalkotás. A preoperatív EOS röntgenek átlagosan a műtétet megelőzően 2 hónappal készültek, míg a műtét utáni képalkotás a posztoperatív 5. napon történtek.

A beválasztott 23 beteg gerinc korrekciós műtétje 2019-2020 folyamán történt meg. Átlagéletkoruk 17,2 év volt a műtét napján. 12 páciens volt 17 év alatti, 11 fő töltötte már be a 17. életévét. Görbületi súlyosságuk átlagosan 55 Cobb-fok volt. A páciensek Lenke klasszifikáció szerinti beosztását az 3. táblázatban tüntettük fel [8]. Minden Lenke-főcsoportból kerültek gerincferdüléssel betegek a vizsgálatba, megjegyezve azonban, hogy a ritkábban előforduló (Lenke 2 és 4) csoportokból 1-1 esetet operáltunk. A betegpopuláció 20 leányt és 3 fiút számlált, ami érdeemben nem tér el az operatív esetek nemzetközi irodalomban megfigyelhető nemi eloszlásától [79].

Lenke főcsoport	páciensek száma (fő)
1 – szimpla háti görbület	5
2 – kettős háti görbület	1
3 – háti főgörbület ágyéki kiegészítő görbülettel	8
4 – hármas görbület	1
5 – szimpla ágyéki görbület	4
6 – ágyéki főgörbület háti kiegészítő görbülettel	3
összesen	23

3. táblázat — A prospektíven kiválasztott betegek Lenke klasszifikáció szerinti beosztása

II.2. Korrekciós műtét

Vizsgálatunk prospektív szakaszában, a műtéti indikációt elérő pácienseink esetén az arany standardnak számító transzpedicularis csavarozást követő spondylodesis történt [80]. A korrekciós manőverek betegspecifikusan magukba foglalták a rúd derotáció, transláció-disztrakció, kompresszió, in situ rúdhajlítás, direkt csigolya derotációs alapelveket szükség esetén osteotomiákkal kiegészítve [81]. Minden alkalommal a konkáv oldalon króm-kobalt ötvözetű, míg a konvex oldalon titán rúd implantátumot használtunk. A műtéti idő átlagosan 436 ± 124 perc volt, a vérvesztés 1437 ± 597 ml.

II.3. EOS 2D/3D képalkotás

Klinikánkon a rutin diagnosztika része volt az EOS 2D/3D képalkotás, amely során álló testhelyzetű, alacsony sugárterheléssel járó, 3D rekonstrukcióra alkalmas vizsgálatot lehet végezni [20]. A vizsgálat minden esetben speciális „knuckles on clavicles” pozícióban történt, kilépés nélkül, hogy lehetőség legyen a pontos 3D gerinc rekonstrukciókra [82].

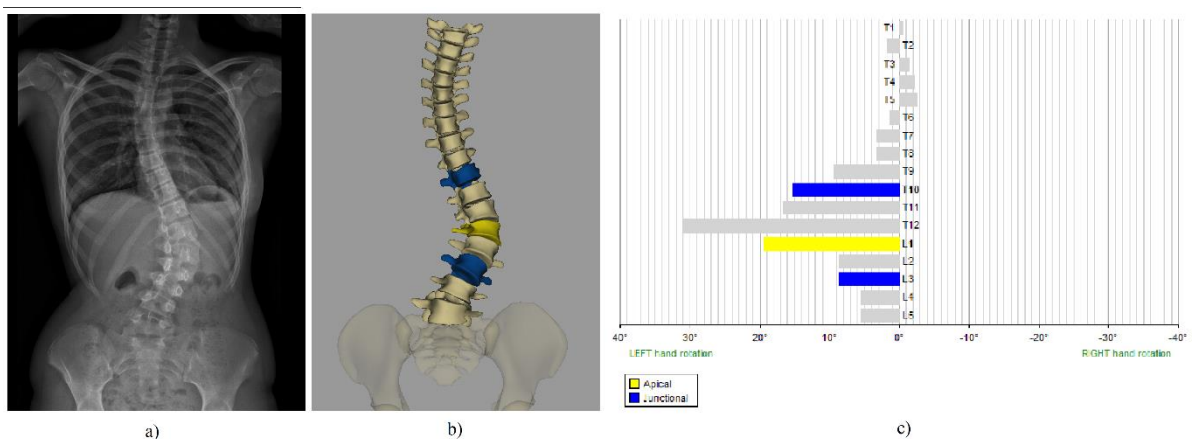
A röntgenképek alapján teljes gerinc 3D rekonstrukció készült a sterEOS szoftver (V1.4.4.5297, EOS Imaging Ltd, Párizs, Franciaország) segítségével, amely minden háti és lumbalis csigolya kontúrjához igazodik [83]. A 3D rekonstrukció során anatómiai referenciapontok alapján (pl.: sacrum plató) egy kezdeti modell keletkezik, amit egy operátor tökéletesít az adott páciens tényleges csontmorfológiájának megfelelően. Az így létrejött 3D modell alapján számított mérőszámok megbízhatósága CT vizsgálatokkal összevetve is bizonyított [84].

A 3D modell alapján a sterEOS szoftver automatikusan kiszámítottuk a következő gerinc paramétereket:

- Cobb-fok
- Th.I-Th.XII. kifózis,
- Th.IV-Th.XII. kifózis,

- L.I-L.V. lordózis
- L.I-S.I. lordózis
- Axiális csigolyarotáció (AVR) a Th.I-L.V. csigolyákra (7. ábra)
- A gerincferdülésben résztvevő végcsigolyák
- A gerincferdülés apikális csigolyája.

A Cobb-fokot és az AVR értékeket – a görbület és a rotáció irányától függően – a szoftver pozitív és negatív tartományban is számította, ezért ezen paraméterek abszolút értékét használtuk a későbbi számításokhoz. Az apikális csigolyát a sterEOS szoftver automatikusan azonosítja a főgörbületben, a minor görbületben manuálisan határoztuk meg. Az axiális csigolyarotációs adatsorból meghatároztuk a maximálisan rotálódó csigolyát (maxAVR), amelyet viszonyítottunk a korábban meghatározott apikális csigolyához (apicalAVR). 5 fok feletti axiális rotációs különbséget vettünk klinikailag szignifikánsnak, mert ekkora rotációs eltérést figyelmen kívül hagyásával 2 cm-es csavar „entry point”-pediculus távolsággal számolva nagyságrendileg 2 mm-es medialis csavarpozíciót eredményez a pediculus magasságában (részletesen lásd az I.1.7. pontban).



8. ábra — a) EOS teljes gerinc felvétel thoracolumbalis (Lenke 5) gerincferdüléssel rendelkező páciensről; b) Ugyanezen páciens Th.I-L.V. gerincszakaszáról készült EOS 3D rekonstrukció; c) A 3D rekonstrukció alapján számított axiális csigolyarotációk ábrázolása diagrammon (sárga: apikális csigolya, kék: végcsigolya).

II.4. Statisztikai analízis

A statisztikai analízist SPSS v.23 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) szoftverrel végeztük.

A demográfiai adatok mellett a csigolyák egymástól való távolságát leíró statisztikákkal vizsgáltuk. A statisztikai analízis során Shapiro-Wilk tesztet használtunk a normál eloszlás vizsgálatához. Wilcoxon-féle rangösszegtesztet használtunk az apicalAVR és a maxAVR értékeinek összehasonlításához. Lineáris regresszió analízist használtunk az apicalAVR és maxAVR Cobb-fokkal való viszonyának tisztázásához. Páros mintás t-próbával, illetve Wilcoxon-féle rangösszegteszttel vizsgáltuk a műtét előtti és utáni adatsorok közti különbséget. Eredményeinket szignifikánsnak tekintettük $p < 0,05$ értékeknél.

III. Eredmények

III.1. Axiális csigolyarotációk vizsgálata 3D módszerrel

Vizsgálatunk retrospektív részében az apikális csigolya rotációt viszonyítottuk a maximálisan rotálódó csigolyához. A 332 feldolgozott esetből 198 páciensnél (59,6%) a főgörbületekben nem az apikális csigolyánál mértünk maximális rotációt. A kiegészítő görbületek tekintetében – Lenke 2, 3, 4, 6 pácienseinknél – 102 esetből 69 esetben (67,6%) tapasztaltunk eltérést az apikális csigolya és a maximálisan rotálódó csigolya között. Az apicalAVR és maxAVR paraméterek közti különbséget a 4. táblázatban tüntettük fel.

Főgörbületek esetén 134 esetben (40,4%) mértünk maximálisan rotálódó apikális csigolyát. Emellett enyhe (5° alatti) különbséget találtunk az apikális csigolya és a maximálisan rotálódó csigolya között a főgörbületek 49,1%-ában (163 eset/332 eset). Véleményünk szerint klinikailag relevánsnak az apicalAVR és a maxAVR értékei között az 5° feletti különbséget tekinthetjük (lásd I.1.7 fejezetben), amit a főgörbületek tekintetében 35 páciensnél találtunk (10,5%). Ezen belül kiemelkedően magas (10° feletti) különbséget az apikális csigolya és a maximálisan rotálódó csigolya között 5 esetben mértünk (1,5%).

A kiegészítő görbületek vizsgálatakor 34 esetben (33,3%) találtunk egyezést az apicalAVR és a maxAVR értékeiben. Enyhe (5° alatti) eltérést az apikális csigolya és a maximálisan rotálódó csigolya axiális rotációja között 59 esetben (57,8%) detektáltunk. Klinikailag szignifikáns (5° feletti) különbséget a két értékben az esetek 8,8%-ában találtunk. Kiemelkedően magas (10° feletti) különbséget a maxAVR javára az apicalAVR értékével szemben kiegészítő görbületek esetén 1 páciensünknél találtunk (1,0 %).

maxAVR- apicalAVR különbség	megegyezik	0-3°	3-5°	5-10°	>10°	Összesen
Főgörbület	134	124	39	30	5	332
Kiegészítő görbület	34	43	16	8	1	102

4. táblázat — Az apicalAVR és maxAVR értékek közti különbségek a főgörbületekben, illetve a kiegészítő görbületekben

A főgörbületekben mért apicalAVR átlagos értéke $12,53 \pm 9,15$ fok volt, amivel szemben a maxAVR tekintetében átlagosan $14,33 \pm 9,68$ fokot mértünk ($p < 0,001$). A maximálisan rotálódó csigolya esetlegesen 1-2 szinttel tért el az apikális csigolyától, ezek arányát a teljes betegpopuláción belül és a rotációs paraméterek különbségét a 5. táblázatban tüntettük fel. 182 páciensünknél az apikális csigolyával egy szomszédos csigolyát találtunk maximálisan rotálódónak. Ezen esetekben a maxAVR értéke ($13,91 \pm 9,59^\circ$) szignifikánsan magasabb volt az apicalAVR értékeinél ($10,89 \pm 8,16^\circ$; $p < 0,001$). Ugyanezen metódus szerint, amikor két csigolya különbséget találtunk a maximálisan rotálódó csigolya és az apikális csigolya között (16 esetben), szintén szignifikáns különbséget tapasztaltunk a két érték között a maxAVR javára ($14,23 \pm 6,16^\circ$ vs. $10,87 \pm 6,24^\circ$; $p < 0,001$)

Távolság az apikális csigolyától	Esetszám		apicalAVR	maxAVR	p-érték
azonos	134		$14,94 \pm 10,17^\circ$	$14,94 \pm 10,17^\circ$	-
1	182		$10,89 \pm 8,16^\circ$	$13,91 \pm 9,59^\circ$	$< 0,001^*$
2	16		$10,87 \pm 6,24^\circ$	$14,23 \pm 6,16^\circ$	$< 0,001^*$
Összesen	332		$12,53 \pm 9,15^\circ$	$14,33 \pm 9,68^\circ$	$< 0,001^*$

5. táblázat — A maximálisan rotálódó csigolya távolsága az apikális csigolyától a főgörbületekben (Átlag \pm szórás). A p-értékek Wilcoxon-féle rangösszegeszt eredményei, $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.

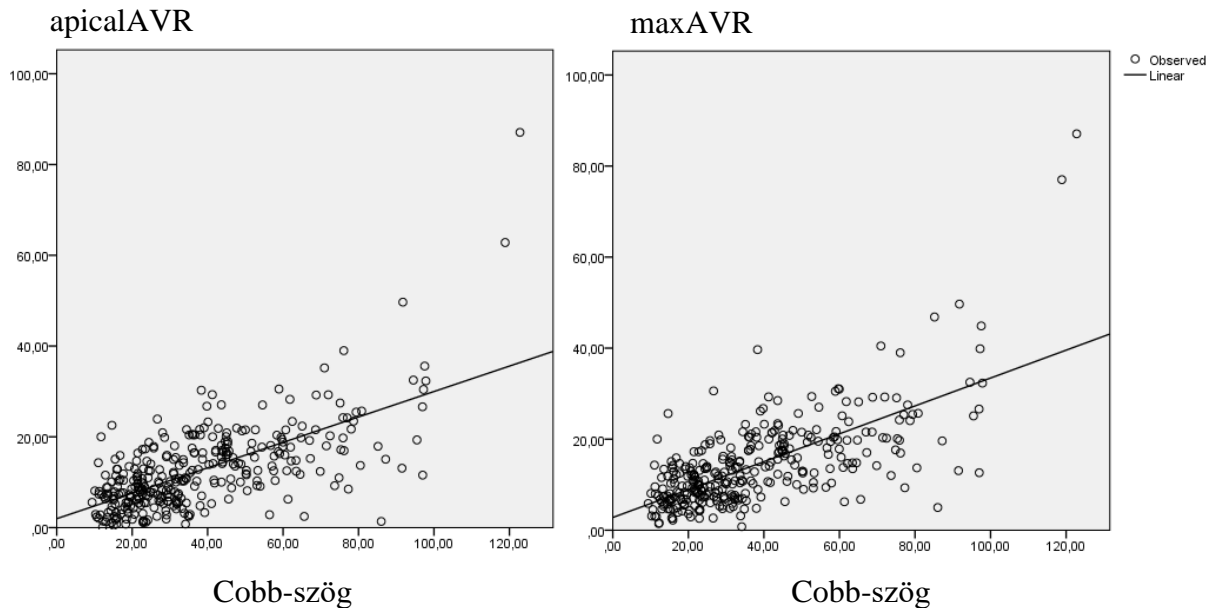
A maximális thoracalis csigolyarotáció (Lenke 1, 2, 3 és 4 görbületekben) a Th.IV. és Th.XI. csigolyák közé estek átlagosan $14,75 \pm 11,12^\circ$ -os értékkel. A maximális thoracolumbalis/lumbalis csigolyarotáció (Lenke 4, 5 és 6 görbületekben) a Th.XII. és L.IV. csigolyák magasságában átlagosan $13,72 \pm 7,16^\circ$ -os mértékű volt.

Az apicalAVR és maxAVR paraméterek közti különbséget a különböző súlyosságú betegcsoportokban a 6. táblázatban tüntettük fel. A 20 Cobb-fok alatti főgörbületekben (n=76) az apikális csigolya axiális rotációját átlagosan $6,70 \pm 4,55^\circ$ -osnak mértük, míg maximálisan $8,27 \pm 4,46^\circ$ -osan axiális rotációt találtunk ($p < 0,001$). A fokozatosan súlyosbodó deformitással rendelkező betegcsoportokban az apicalAVR és a maxAVR viszonya a következőképp alakult: 118 vizsgált páciens görbülete volt 21-35 Cobb-fok között, az ő esetükben a viszony a következőképpen alakult: $9,34 \pm 5,14^\circ$ versus $10,81 \pm 4,90^\circ$ ($p < 0,001$). A vizsgált betegpopuláció 19 tagjának 36-40 Cobb-fok közötti görbülete volt, az apicalAVR és a maxAVR viszonya a következő: $16,36 \pm 7,30^\circ$ versus $17,80 \pm 6,95^\circ$ ($p = 0,008$). A 41-50 Cobb-fok közötti görbülettel rendelkező 43 beteg esetén $15,67 \pm 5,07^\circ$ versus $17,27 \pm 5,07^\circ$ ($p < 0,001$). 10 vizsgált páciens 51-55 Cobb-fok közötti görbülettel rendelkezett, az ő esetükben a viszony $15,84 \pm 5,77^\circ$ versus $19,10 \pm 6,63^\circ$ ($p = 0,018$). Az 56 Cobb-fok feletti görbülettel rendelkező 66 beteg esetén a viszony $21,27 \pm 13,05^\circ$ versus $23,97 \pm 14,07^\circ$ ($p < 0,001$).

Cobb-szög	Esetszám	apicalAVR	maxAVR	p-érték
>20°	76	$6,70 \pm 4,55^\circ$	$8,27 \pm 4,46^\circ$	<0,001*
21°-35°	118	$9,34 \pm 5,14^\circ$	$10,81 \pm 4,90^\circ$	<0,001*
36°-40°	19	$16,36 \pm 7,30^\circ$	$17,80 \pm 6,95^\circ$	0,008*
41°-50°	43	$15,67 \pm 5,07^\circ$	$17,27 \pm 5,07^\circ$	<0,001*
51°-55°	10	$15,84 \pm 5,77^\circ$	$19,10 \pm 6,63^\circ$	0,018*
56°<	66	$21,27 \pm 13,05^\circ$	$23,97 \pm 14,07^\circ$	<0,001*
Összesen	332	$12,53 \pm 9,15^\circ$	$14,33 \pm 9,68^\circ$	<0,001*

6. táblázat — Az apicalAVR és a maxAVR értékei közti különbség a különböző súlyosságú betegcsoportokban (átlag±szórás). A p-értékek Wilcoxon-féle rangösszegteszt eredményei, $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.

Akár az apikális csigolyát, akár a maximálisan rotálódó csigolyát vizsgáljuk, szembetűnik, hogy az egyre súlyosbodó betegcsoportokban egyre magasabbak axiális rotációs értékek (mindkét $p < 0,001$ lineáris regresszió analízissel vizsgálva; $Beta_1 = 0,663$; $Beta_2 = 0,685$). Az axiális paraméterek Cobb-fokhoz való viszonyát a 8. ábrán szemléltetjük.



9. ábra — Az axiális paraméterek ábrázolása (y-tengelyek) egy koordináta rendszerben a Cobb-szöggel (x-tengely), illetve a rájuk illeszthető trendvonalakkal.

Az apicalAVR és a maxAVR eltérését a főgörbületekben a különböző Lenke főcsoportokban az 7. táblázatban részleteztük. Lenke 1 csoportú pácienseinknél ($n=113$) az apikális csigolya átlagosan $11,29 \pm 8,89^\circ$ -ban, míg a maximálisan rotálódó csigolya átlagosan $13,39 \pm 10,11^\circ$ -ban fordult az axiális síkban ($p < 0,001$). Lenke 2 csoportban ($n=26$) az apicalAVR értéke átlagosan $16,75 \pm 4,49^\circ$ volt, amelyhez képest a maxAVR érték átlagosan $17,94 \pm 3,58^\circ$ volt. Lenke 3 csoportú esetekben ($n=54$) ezen két paraméter értékét átlagosan $16,01 \pm 13,6^\circ$ versus $17,5 \pm 13,55^\circ$ -nak mértük ($p < 0,001$). Lenke 4 csoportban alacsony elemszám ($n=3$) mellett a két mérőszámot átlagosan $20,33 \pm 6,16^\circ$ versus $22,98 \pm 5,32^\circ$ -osnak találtuk ($p=0,109$). Lenke 5 pácienseinknél ($n=120$) az apicalAVR átlagosan $11,02 \pm 6,4^\circ$ volt, míg a maxAVR-t átlagosan $12,63 \pm 6,43^\circ$ -nak mértük ($p < 0,001$). Lenke 6 csoportba klasszifikált betegeink ($n=16$) főgörbületeiben az

apikális csigolya átlagosan $18,32 \pm 5,9^\circ$ -ban, a maximálisan rotálódó csigolya átlagosan $20,93 \pm 7,55^\circ$ -ban rotált az axiális síkban ($p=0,005$).

Lenke főcsoport	Esetszám	apicalAVR	maxAVR	p-érték
1	113	$11,29 \pm 8,89^\circ$	$13,39 \pm 10,11^\circ$	$<0,001^*$
2	26	$16,75 \pm 4,49^\circ$	$17,94 \pm 3,58^\circ$	$<0,001^*$
3	54	$16,01 \pm 13,6^\circ$	$17,5 \pm 13,55^\circ$	$<0,001^*$
4	3	$20,33 \pm 6,16^\circ$	$22,98 \pm 5,32^\circ$	alacsony elemszám
5	120	$11,02 \pm 6,4^\circ$	$12,63 \pm 6,43^\circ$	$<0,001^*$
6	16	$18,32 \pm 5,9^\circ$	$20,93 \pm 7,55^\circ$	$0,005^*$
Összesen	332	$12,53 \pm 9,15^\circ$	$14,33 \pm 9,68^\circ$	$<0,001^*$

7. táblázat — Az apicalAVR és a maxAVR értékei közti különbség a különböző Lenke klasszifikáció szerinti főcsoportokban (átlag±szórás). A p-értékek Wilcoxon-féle rangösszegteszt eredményei, $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.

A strukturális kiegészítő görbületek esetén az apicalAVR értékét átlagosan $9,29 \pm 6,95^\circ$ -nak mértük, ehhez képest a maxAVR átlagosan $11,21 \pm 7,44^\circ$ volt ($p < 0,001$). A maximálisan rotálódó csigolya viszonyát az apikális csigolyához a kiegészítő görbületekben a 8. táblázatban szemléltetjük. 34 páciens (33,3%) esetén a kiegészítő görbületben az apikális csigolya rendelkezett a legmagasabb axiális rotációval. 59 esetben (57,8%) egy szomszédos csigolyának magasabb volt a rotációja átlagosan $2,29$ fokkal ($10,06 \pm 7,80^\circ$ versus $12,35 \pm 8,07^\circ$; $p < 0,001$). 9 esetben (8,8%) két csigolya különbség volt az átlagosan $5,87 \pm 4,46^\circ$ -ban rotálódó apikális csigolya és az átlagosan $11,76 \pm 7,87^\circ$ -os maximális rotációval rendelkező csigolya között ($p < 0,001$).

Távolság az apikális csigolyától	Esetszám	apicalAVR	maxAVR	p-érték
0	34	8,92±5,59°	8,92±5,59°	-
1	59	10,06±7,80°	12,35±8,07°	<0,001*
2	9	5,87±4,46°	11,76±7,87°	<0,001*
Összesen	102	9,29 ± 6,95°	11,21 ± 7,44°	<0,001*

8. táblázat — A maximálisan rotálódó csigolya távolsága az apikális csigolyától a kiegészítő görbületekben (Átlag ± szórás). A p-értékek Wilcoxon-féle rangösszegeszt eredményei, $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.

A maximális thoracalis csigolyarotáció $6,93 \pm 7,62^\circ$ -nak bizonyult a Lenke 2, 4 és 6 főcsoportú páciensek kiegészítő görbületeiben. A thoracolumbalis/lumbalis maximális csigolyarotációt átlagosan $13,18 \pm 6,51^\circ$ -nak találtuk a Lenke 3 és 4 főcsoportba klasszifikált pácienseink kiegészítő görbületeiben.

III.2. Műtéti hatékonyság vizsgálata 3D módszerrel

A műtét előtti koronális, axiális, illetve szagittális gerincparaméterekhez képest a közvetlen postoperatív eredményeket a 9. táblázatban tüntettük fel. A főgörbületben koronális síkban Cobb szerint 78,2%-os műtéti korrekciót értünk el (átlagosan 55,1 Cobb-fokról 12,0 Cobb-fokra; $p < 0,001$), míg az axiális síkban mérési módszertől függően 56,7%-ban (apicalAVR átlagosan 21,0 fokról 9,1 fokra; $p < 0,001$), illetve 55,2%-ban (maxAVR átlagosan 24,1 fokról 10,8 fokra; $p < 0,001$) korrigáltuk a gerincgörbületeket.

Fontos különbség a műtét előtti adatok műtét utániakkal való összevetésében, hogy míg a kiegészítő görbületek esetén a koronális síkban szignifikáns korrekció történt ($42,7 \pm 7,7$ Cobb-fokról $13,8 \pm 6,1$ Cobb-fokra; $p < 0,001$), addig az axiális síkban ennek a korrekciós hatékonyságnak a töredékét sikerült csak elérni (apicalAVR $10,3 \pm 5,0^\circ$ -ról

7,8±4,2°-ra; p=0,133). A szagittális síkban – a többi síkkal ellentétben – átlagosan normál értékű műtét előtti értékeket mértünk a betegpopulációban, amelyet a műtét érdemben nem befolyásolt.

paraméter	műtét előtt	műtét után	p-érték
főgörbület Cobb-fok	55,1±9,8°	12,0±5,9°	p<0,001*
főgörbület apicalAVR	21,0±7,3°	9,1±5,7°	p<0,001*
főgörbület maxAVR	24,1±8,0°	10,8±6,2°	p<0,001*
kiegészítő görbület Cobb-fok	42,7±7,7°	13,8±6,1°	p<0,001*
kiegészítő görbület apicalAVR	10,3±5,0°	7,8±4,2°	p=0,133
kiegészítő görbület maxAVR	12,4±4,5°	10,0±4,0°	p=0,072
Th.I-Th.XII. kifózis	29,6±13,4°	32,9±9,7°	p=0,117
Th.IV-Th.XII. kifózis	24,9±12,6°	24,9±7,9°	p=0,971
L.I-L.V. lordózis	46,0±11,5°	41,7±8,9°	p=0,048*
L.I-S.I. lordózis	53,0±14,2°	49,5±10,3°	p=0,158

9. táblázat — A koronális, szagittális és axiális gerincparaméterek pre- és posztoperatív értékei (átlag±szórás), a közöttük lévő különbség p-értekeivel. A p<0,05 értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.

Az axiális síkú paraméterek műtét előtti és utáni egymáshoz viszonyított értékeit a 10. táblázatban részleteztük. Az apicalAVR és a maxAVR akár a főgörbületet, akár a kiegészítő görbületet vizsgáljuk, minden esetben szignifikánsan eltért a műtét előtti értékeket elemezve (főgörbületben műtét előtt: p<0,001; kiegészítő görbületben műtét előtt: p=0,003). Hasonló mértékű szignifikáns különbséget találtunk a műtétet követő adatok értékelésekor (főgörbületben műtét után: p<0,001; kiegészítő görbületben műtét után: p<0,001).

	apicalAVR	maxAVR	p-érték
főgörbületben műtét előtt	21,0±7,3°	24,1±8,0°	p<0,001*
főgörbületben műtét után	9,1±5,7°	10,8±6,2°	p<0,001*
kiegészítő görbületben műtét előtt	10,3±5,0°	12,4±4,5°	p=0,003*
kiegészítő görbületben műtét után	7,8±4,2°	10,0±4,0°	p=0,004*

10. táblázat — Az axiális gerincparaméterek egymáshoz viszonyított értékei (átlag±szórás), a közöttük lévő különbség p-értékeivel. A $p<0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.

Tapasztalataink szerint a serdülőkor végén, a 17 éves életkort elérve a betegeink többségének gerincdeformitása rugalmatlanná válik. Ezt a megfigyelést alátámasztva, a műtét pillanatában 17 éves életkornál találtunk minőségi különbséget a műtéti eredményeinkben. A 17 éves kor után operált páciensek esetén a 17 évesnél fiatalabbakkal közel azonos koronális görbületi korrekciót értünk el (átlagosan 79,2% versus 77,0%; $p=0,614$), azonban szignifikánsan kevésbé sikerült a gerincgörbületek derotációja (apicalAVR korrekció átlagosan 38,1% versus 68,5%; $p=0,016$, illetve maxAVR korrekció átlagosan 42,4% versus 64,4%; $p=0,020$). A két korcsoport közti különbségeket a 11. táblázatban tüntettük fel.

paraméter	17 éves kor alatt	17 éves kor felett	p-érték
főgörbületben preoperatív Cobb-fok	56,7±10,5°	53,3±9,1°	p=0,413
főgörbületben posztoperatív Cobb-fok	12,6±6,1°	11,3±5,8°	p=0,605
főgörbület Cobb-fok korrekció	77,0±11,8%	79,2±9,1%	p=0,614
főgörbületben preoperatív apicalAVR	20,2±7,1°	21,8±7,8°	p=0,610
főgörbületben posztoperatív apicalAVR	6,2±3,7°	12,4±5,7°	p=0,005*
főgörbület apicalAVR korrekció	68,5±18,3%	38,1±35,1%	p=0,016*
főgörbületben preoperatív maxAVR	23,2±8,3°	25,1±7,9°	p=0,576
főgörbületben posztoperatív maxAVR	7,7±3,9°	14,1±6,7°	p=0,009*
főgörbület maxAVR korrekció	64,4±16,9%	42,4±24,8%	p=0,020*

11. táblázat — A koronális és axiális műtéti korrekció mértéke, illetve az koronális és axiális gerincparaméterek értéke a főgörbületben a 17 éves életkor előtt és után megoperált betegcsoportokban (átlag±szórás), a közöttük lévő különbség p-értekeivel. A $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.

IV. Megbeszélés

Vizsgálatunk retrospektív részében meghatároztuk a serdülőkori idiopátiás gerincferdüléssel betegek axiális csigolyarotációját 3D képalkotás segítségével. Az ezt követő prospektív betegregiszterünkbe került, műtéten átesett pácienseinknél felmértük a műtéti korrekció hatékonyságát szintén EOS 2D/3D módszerrel. Eredményeinket összevetettük a betegek életkorával, mint potenciális befolyásoló faktorról.

IV.1. Axiális csigolyarotációk vizsgálata 3D módszerrel

Nagy számú páciensen elemeztük a gerinc rotációs paramétereit EOS 2D/3D képalkotással serdülőkori idiopátiás scoliosisban. A szakirodalommal összhangban kiemelten kezeltük az apikális csigolya axiális rotációját, amit a maximálisan rotálódó csigolyához viszonyítottunk. A kettős és hármas strukturális görbületek esetén elemeztük a főgörbület mellett a kiegészítő görbületeket is.

Az apicalAVR és a maxAVR értékekben szignifikáns különbséget találtunk mind a főgörbületben, mind a kiegészítő görbületek vizsgálatakor. Eredményünk azt jelenti, hogy az esetek jelentős részében nem tekinthető az apikális csigolya maximálisan rotálódónak. Ez ellentmond a 90-es évek eleje óta kialakult általános vélekedésnek, miszerint az apikális csigolya rendelkezik a legnagyobb rotációval [28].

A vizsgált betegpopulációban az apikális csigolya mellett a szomszédos csigolyák is rendelkeztek maximális rotációval, illetve a főgörbületek 4,8%-ában, a kiegészítő görbületek 10,3%-ában az apikális csigolyától két szint távolságra mértünk maximális rotációt. Ez egybe vág Stokes és munkatársainak eredményeivel, amely szerint az apikális csigolyától két szinten belüli csigolya rendelkezhet a legmagasabb rotációval [27].

Klinikailag relevánsnak tartjuk az 5° feletti axiális rotációs különbséget az apikális csigolya és a maximálisan rotálódó csigolya között tekintettel arra, hogy a műtét előtti tervezésnél észlelt ekkora különbség már érdemben befolyásolhatja a behelyezésre kerülő csavarok axiális irányát. Amennyiben ilyen helyzetben nem észleli az operátor az 5° feletti különbséget, hipotetikus szövődmény lehetősége merül fel a nem

megfelelő axiális csavarirányok miatt (túl mediális vagy laterális csavarhelyzet). Ugyanezen alapon a 10° feletti axiális rotációs különbséget az apikális csigolya és a maximálisan rotálódó csigolya között kiemelten jelentős különbségnek tartjuk, amelyet mindenképpen javasolt detektálni a műtét előtti kivizsgálás során.

Habár kiemelten kezeljük az 5° feletti axiális rotációs különbségeket klinikai relevanciája miatt, nem feledkezhetünk meg az 5° alatti, de még mérhető különbségekről az apikális csigolya és a maximálisan rotálódó csigolya között. Az ilyen mértékű eltéréseknek elsősorban tudományos relevanciáját látjuk abból a szempontból, hogy rávilágít a maxAVR jelentőségére az általánosan használt apicalAVR mérőszám mellett a gerincferdülések axiális dimenziójának leírásánál.

Az apicalAVR és a maxAVR minden súlyossági csoportban szignifikánsan különbözött egymástól, tehát egyik súlyossági csoportban sem tekinthető az apikális csigolya magától értetődően maximálisan rotálódónak. A Lenke-csoportosítás alapján minden statisztikailag értékelhető főcsoportban érdemi különbség volt az apicalAVR és a maxAVR között.

Az apikális csigolya rotáció és a Cobb-fok szoros összefüggését már korábban leírták [85], adatainkkal ezt megerősíteni tudtuk. A maxAVR értékek az apicalAVR-hez hasonlóan szignifikáns módon korreláltak a Cobb-szög mértékével. Adataink egy további evidenciával megerősítik az egyre súlyosbodó koronális deformitás során tapasztalt fokozódó axiális rotáció tapasztalatát.

A maximális thoracalis rotáció és a maximális thoracolumbalis/lumbalis rotációt alacsonyabbnak mértük az irodalomban található értékekhez képest (thoracalis főgörbületekben $14,75 \pm 11,12^\circ$ versus $18,9 \pm 7,1^\circ$; lumbalis főgörbületekben $13,72 \pm 7,16^\circ$ versus $22,0 \pm 7,7^\circ$) [34]. Ennek oka az lehet, hogy a mi vizsgálatunkba műtéti indikációt el nem érő gerincferdüléssel pácienseket is beválogattunk. Továbbá a hivatkozott vizsgálatához képest a Th.IV-Th.V., a Th.XI-Th.XII. és az L.IV. csigolyáknál is mértünk maximális rotációt. Ez alapján elmondható, hogy a Th.IV-L.IV. szakaszon bárhol előfordulhat maximálisan rotálódó csigolya.

Az apikális csigolya az esetek 40,4%-ában rendelkezett a legmagasabb rotációval a főgörbületekben, míg 31,7%-ban a kiegészítő görbületekben. Ennek a különbségnek az lehet az oka, hogy a strukturális kiegészítő görbületek sok esetben csak az utolsó néhány csigolyával lépik át a keresztcsonti középvonalat (CSVL – central sacral vertical line),

amikor már a csigolyák rotációja csökken. Ha a klinikailag releváns, 5° feletti axiális rotációs különbségeket vizsgáljuk meg az apikális csigolya és a maximálisan rotálódó csigolya között a kiegészítő görbületekben, eltűnik a fent említett különbség a főgörbületekhez viszonyítva (5° feletti különbség főgörbületekben 10,5% ezzel szemben kiegészítő görbületekben 8,8%).

Következésképp az apicalAVR-t még kevésbé találjuk alkalmasnak a kiegészítő görbületek axiális dimenziójának tudományos értékelésére.

Az EOS 2D/3D vizsgálatok álló testhelyzetben történnek, míg a CT alapú vizsgálatok fekvő. A két pozícióban eltérő a gerincet érő terhelés, amely koronálisan és axiálisan is mérhető. Több vizsgálat is egyöntetűen kimutatta ugyanazon pácienseken a fekvő helyzetben mérhető alacsonyabb Cobb-fok értékét, emellett Yazici és munkatársai szignifikánsan alacsonyabb axiális rotációt mértek fekvő testhelyzetben [86]. Ebből kifolyólag a fekvő helyzetben végzett gerinckorrektív műtétek során, rugalmas görbületek esetén hipotetikusán alacsonyabb apicalAVR és maxAVR értékek lehetnek, illetve csökkenhet a kettő közti korábban esetlegesen detektált különbség. Következésképp a preoperatív tervezés során tapasztalt rotációs eltérések észlelése mellett továbbra is megkerülhetetlen az intraoperatív anatómiai referenciapontok használata a transzpedicularis csavarozás során. Összegezve, az axiális csavarpozíciók megválasztásánál kívánatos, ha az operatőr a preoperatív tervezés során észleli az esetleges rotációs eltéréseket, amelyeket az intraoperatív státuszhoz megfelelően veszi figyelembe a csavar implantáció során.

A vizsgálat retrospektív felépítése alapvető limitáló tényező, azonban úgy gondoljuk, hogy mivel radiológiai elemzés történt standard pozícióban, ez egy prospektív vizsgálatban megegyező eredményeket adna. Limitációnak értékelhető az, hogy olyan esetekben is csigolyát jelöl meg az általunk alkalmazott szoftver, amikor csigolyaközi porckorong van apikális pozícióban. Ez növelheti a nem apikális csigolyán mért maximális rotációk számát, és felveti a módszer további pontosításának igényét. A ritkán előforduló (Lenke 4) csoportban mért értékeink az alacsony elemszám miatt nem voltak statisztikailag értékelhetők.

IV.2. Műtéti hatékonyság vizsgálata 3D módszerrel

Vizsgálatunk prospektív szakaszában műtét előtti és utáni EOS 2D/3D röntgenképeket elemeztünk idiopátiás serdülőkori gerincferdülésben. A gerinc és medence 3D rekonstrukciók elemzésével átlagosan 78,2%-os koronális síkú műtéti hatékonyságot mértünk, amely megfelel a szakirodalomban található értékeknek [87]. Klinikailag szignifikáns, több mint 10%-os korrekciós hatékonyság különbséget találtunk a korábbi műtéti technikához képest [88], amely egybevág Kadoury és munkatársai eredményeivel [89]. Az irodalmi adatoknál enyhébb hipokifózist tapasztaltunk (normokifózis) a pácienseink preoperatív értékeiben (háti kifózis $24,9 \pm 12,6^\circ$ versus $13,2 \pm 7,9^\circ$), amelyre a műtéti korrekció nem volt jelentős hatással [58]. Az L.I. és L.V. csigolyák között mért ágyéki lordózis tekintetében statisztikailag szignifikáns különbséget találtunk a műtét előtti és utáni értékeket összevetve. Ez a néhány fokok különbség véleményünk szerint klinikailag nem releváns.

Két különböző módszerrel vizsgáltunk axiális csigolyarotációs szempontú műtéti hatékonyságot. Az elterjedtebb apicalAVR alapú vizsgálattal 56,7%-os derotációs hatékonyságot értünk el, amely érdemben megegyezik a szakirodalmi adatokkal [32]. A scoliosis axiális dimenzióját teljeskörűbben leíró maxAVR szerinti módszerrel 55,2%-os derotációs sikerességet mértünk [90]. A két módszer százalékos végeredményében azért nem érzékelhető érdemi különbség, mert a maxAVR az apicalAVR-nél szignifikánsan magasabb volt a preoperatív és posztoperatív esetekben is, kiegyenlítve a kettőből számított műtéti hatékonyság mértékét. Ebből következően mindkét módszer alkalmas az axiális síkú műtéti hatékonyság értékelésére. Mindazonáltal meg kell jegyezni, hogy a maxAVR pre- és posztoperatív vizsgálatokban is kimutathatóan magasabb értékű.

Nem találtunk érdemi különbséget a 17 éves életkor előtt, illetve után operált pácienseink között a koronális korrekciós hatékonyság szempontjából, azonban a fiatalabb korcsoportban szignifikánsan magasabb derotációs hatékonyságot értünk el. A vizsgálatunkhoz hasonló életkori csoportok között Zhu és munkatársai szignifikáns, átlagosan 8 Cobb-fokos különbséget találtak a korrekciós hatékonyságban, amelyet eredményeink nem támasztanak alá [91]. Az axiális síkú korrekció fontosságát jelzi, hogy műtétet követő nagymértékű reziduális borda deformitás jelentős hatással van a

posztoperatív életminőségre [62]. Rotációs szempontból Huitema és munkatársai vizsgáltak 21 év alatt és felett elülső fúziós műtéten átesett pácienseket. A fiatalabb korcsoportban átlagosan 3 fokkal hatékonyabb derotációt értek el (26-ról 11 fokra vs. 33-ról 21 fokra) [56]. Eredményeikhez képest vizsgálatunkban magasabb derotációs hatékonyság különbséget tapasztaltunk a fiatalabb korcsoport javára. Megjegyeznénk azonban, hogy a hivatkozott holland vizsgálatban különbség volt az életkori csoportosításban, illetve a műtétechnikában is, ezért a két vizsgálat összevetése limitált.

A vizsgálatba bevont 23 fő elegendőnek bizonyult a klinikailag szignifikáns különbségek kimutatására, azonban limitálja eredményeinket a viszonylag alacsony esetszám. Utólagos statisztikai erő vizsgálattal a korcsoport bontások esetén tapasztaltunk 80-90% közötti értékeket, a többi eredményünk statisztikai ereje 99% feletti volt. További korlátozó tényező a beválasztott páciensek eltérő Lenke klasszifikációja (lásd. 3. táblázat), amely miatt nem standardizálható maradéktalanul a betegpopuláció. A különböző típusú gerincdeformitások azonban lehetőséget adnak a serdülőkori gerincferdüléssel esetek teljes spektrumának értékelésére, amelynek következtében eredményeink általánosan hasznosíthatók.

V. Összefoglalás

EOS 2D/3D gerinc rekonstrukciók alapján számított csigolyarotációkat tanulmányoztuk serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben. Bizonyítottuk minden súlyossági csoportban és az értékelhető Lenke főcsoportokban, hogy az apikális csigolyarotáció és a maximális csigolyarotáció nem egyezik meg egymással, azaz két külön paraméterről beszélhetünk. Ez az eredmény alapot adhat számos vizsgálat újraértékeléséhez, ahol kizárólag az apicalAVR-t használták a rotációs komponens leírására. Az apicalAVR helyett maxAVR használatát tartjuk teljes értékűnek a scoliosis axiális dimenziójának értékelésében, különösen a kiegészítő görbületek vizsgálatában.

Prospektív vizsgálattal felmértük a kutatócsoportunk által végzett műtéti korrekciók hatékonyságát, amely a deformitás mindhárom dimenziójában vizsgálva megfelel a nemzetközi irányadó értékeknek. Sikerült bizonyítanunk a korábbi életkorban végzett gerinckorrekciós műtétek nagyobb hatékonyságát, elsősorban az axiális gerincparaméterek tekintetében. Eredményeink alapján kijelenthető, hogy rotációs szempontból ajánlott 17 éves életkor előtt elvégezni a gerinckorrekciós műtétet serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben.

V.1. Az értekezés új eredményei és megállapításai

- Az apikális csigolya mindössze az esetek 40%-ában rendelkezik a legnagyobb axiális rotációval serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben
- Főgörbületek esetén az apicalAVR és a maxAVR két külön paraméternek tekinthető serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben
- Kettős és hármás görbületek esetén a kiegészítő görbületekben az apicalAVR és a maxAVR két külön paraméternek tekinthető serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben
- Az apicalAVR és a maxAVR közti különbség fennáll görbületi súlyosságtól függetlenül az enyhétől a súlyos fokú gerincferdülésben is

- Az apicalAVR és a maxAVR közti különbség fennáll minden Lenke szerinti főcsoportban serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben
- A Th.IV-L.IV. szakaszon bárhol előfordulhat maximálisan rotálódó csigolya serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben
- Klinikailag szignifikáns különbség lehet az apikális csigolya és a maximálisan rotálódó csigolya axiális rotációja között serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben
- Az apicalAVR mellett a maxAVR is szoros összefüggést mutat a Cobb-szög értékével serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben
- Az apical AVR és maxAVR paramétereiből számított módszerek is alkalmasak az axiális síkú műtéti hatékonyság értékelésére serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben
- Rotációs szempontból kedvezőbb 17 éves életkor előtt elvégezni a gerinckorrekciós műtétek serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben.

VI. Irodalomjegyzék

- [1] Weinstein, S. L., Dolan, L. A., Cheng, J. C., Danielsson, A., & Morcuende, J. A. (2008). Adolescent idiopathic scoliosis. *The Lancet*, 371(9623), 1527-1537.
- [2] Goldstein, L. A., & Waugh, T. R. (1973). Classification and terminology of scoliosis. *Clinical orthopaedics and related research*, 93, 10-22.
- [3] Stirling, A. J., Howel, D., Millner, P. A., SAFA'A, S. A. D. I. Q., Sharples, D., & Dickson, R. A. (1996). Late-onset idiopathic scoliosis in children six to fourteen years old. A cross-sectional prevalence study. *JBJS*, 78(9), 1330-1336.
- [4] Rogala, E. J., Drummond, D. S., & Gurr, J. E. A. N. (1978). Scoliosis: incidence and natural history. A prospective epidemiological study. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 60(2), 173-176.
- [5] Wajchenberg, M., Astur, N., Kanas, M., & Martins, D. E. (2016). Adolescent idiopathic scoliosis: current concepts on neurological and muscular etiologies. *Scoliosis and spinal disorders*, 11(1), 1-5.
- [6] Lonstein, J. E., & Carlson, J. M. (1984). The prediction of curve progression in untreated idiopathic scoliosis. *J Bone Jt Surg*, 3(2), 1061-71.
- [7] Troy, M. J., Miller, P. E., Price, N., Talwalkar, V., Zaina, F., Donzelli, S., ... & Hresko, M. T. (2019). The “Risser+” grade: a new grading system to classify skeletal maturity in idiopathic scoliosis. *European Spine Journal*, 28(3), 559-566.
- [8] Lenke, L. G., Betz, R. R., Harms, J., Bridwell, K. H., Clements, D. H., Lowe, T. G., & Blanke, K. (2001). Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *JBJS*, 83(8), 1169-1181.

- [9] Ng, S. Y., & Bettany-Saltikov, J. (2017). Imaging in the Diagnosis and Monitoring of Children with Idiopathic Scoliosis. *The open orthopaedics journal*, 11, 1500–1520. <https://doi.org/10.2174/1874325001711011500>
- [10] Greiner, K. A. (2002). Adolescent idiopathic scoliosis: radiologic decision-making. *American family physician*, 65, 1817-1822.
- [11] Cobb, J. R. (1948). Outline for the study of scoliosis. *Instr Course Lect*, 5, 261-275.
- [12] Torell, G., Nachemson, A., Haderspeck-grib, K., & Schultz, A. (1985). Standing and supine Cobb measures in girls with idiopathic scoliosis. *Spine*, 10, 425-427.
- [13] Ho, E. K., Upadhyay, S. S., FL Chan, D. M. R. D., Hsu, L. C. S., & Leong, J. C. Y. (1993). New Methods of Measuring Vertebral Rotation From Computed Tomographic Scans: An Intraobserver and Interobserver Study on Girls with Scoliosis. *Spine*, 18(9), 1173-1177.
- [14] Abul-Kasim, K., Overgaard, A., Maly, P., Ohlin, A., Gunnarsson, M., & Sundgren, P. C. (2009). Low-dose helical computed tomography (CT) in the perioperative workup of adolescent idiopathic scoliosis. *European radiology*, 19(3), 610-618.
- [15] Brink, R. C., Colo, D., Schlösser, T. P., Vincken, K. L., van Stralen, M., Hui, S. C., ... & Castelein, R. M. (2017). Upright, prone, and supine spinal morphology and alignment in adolescent idiopathic scoliosis. *Scoliosis and spinal disorders*, 12(1), 1-8.
- [16] Do, T., Fras, C., Burke, S., Widmann, R. F., Rawlins, B., & Boachie-Adjei, O. (2001). Clinical value of routine preoperative magnetic resonance imaging in adolescent idiopathic scoliosis. A prospective study of three hundred and twenty-seven patients. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 83(4), 577–579. <https://doi.org/10.2106/00004623-200104000-00014>
- [17] Winter, R. B., Lonstein, J. E., Heithoff, K. B., & Kirkham, J. A. (1997). Magnetic resonance imaging evaluation of the adolescent patient with idiopathic scoliosis before

spinal instrumentation and fusion: a prospective, double-blinded study of 140 patients. *Spine*, 22(8), 855-858.

[18] The Nobel Prize in Physics (1992) Nobelprize.org. The official web site of the Nobel Prize. http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1992/index.html

[19] Dubousset, J., Charpak, G., Dorion, I., Skalli, W., Lavaste, F., Deguise, J. E. C., ... & Ferey, S. (2005). Le Systeme EOS Nouvelle Imagerie Osteo-Articulaire basse dose en position debout. *Memoires de Academie Nationale de Chirurgie*, 4, 22-27.

[20] Illés, T., & Somoskeöy, S. (2012). The EOS™ imaging system and its uses in daily orthopaedic practice. *International orthopaedics*, 36, 1325-1331.

[21] Burkus, M., Schlégl, Á. T., O'Sullivan, I., Márkus, I., Vermes, C., & Tunyogi-Csapó, M. (2018). Sagittal plane assessment of spino-pelvic complex in a Central European population with adolescent idiopathic scoliosis: a case control study. *Scoliosis and Spinal Disorders*, 13(1), 1-8.

[22] Márkus, I., Schlégl, Á. T., Burkus, M., József, K., Niklai, B., Than, P., & Tunyogi-Csapó, M. (2018). The effect of coronal decompensation on the biomechanical parameters in lower limbs in adolescent idiopathic scoliosis. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 104(5), 609-616.

[23] Bagheri, A., Liu, X. C., Tassone, C., Thometz, J., & Tarima, S. (2018). Reliability of three-dimensional spinal modeling of patients with idiopathic scoliosis using EOS system. *Spine deformity*, 6(3), 207-212.

[24] Jiang, F., Simões, L., Ouellet, J., & Saran, N. (2021). Accuracy of EOS Imaging Technology in Comparison to Computed Tomography in the Assessment of Vertebral Rotational Orientation in Instrumented Spines in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine*, 46(2), E87-E94.

- [25] Mehta, M. H. (1973). Radiographic estimation of vertebral rotation in scoliosis. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 55(3), 513-520.
- [26] Perdriolle, R., & Vidal, J. (1987). Morphology of scoliosis: three-dimensional evolution. *Orthopedics*, 10(6), 909-915.
- [27] Stokes, I. A. (1989). Axial rotation component of thoracic scoliosis. *Journal of orthopaedic research*, 7(5), 702-708.
- [28] Marchesi, D. G., Transfeldt, E. E., Bradford, D. S., & Heithoff, K. B. (1992). Changes in vertebral rotation after Harrington and Luque instrumentation for idiopathic scoliosis. *Spine*, 17(7), 775-780.
- [29] Willers, U., Transfeldt, E. E., & Hedlund, R. (1996). The segmental effect of Cotrel-Dubousset instrumentation on vertebral rotation, rib hump and the thoracic cage in idiopathic scoliosis. *European Spine Journal*, 5(6), 387-393.
- [30] Jankowski, P. P., Yaszay, B., Cidambi, K. R., Bartley, C. E., Bastrom, T. P., & Newton, P. O. (2018). The Relationship Between Apical Vertebral Rotation and Truncal Rotation in Adolescent Idiopathic Scoliosis Using 3D Reconstructions. *Spine deformity*, 6(3), 213-219.
- [31] Ilharreborde, B., Sebag, G., Skalli, W., & Mazda, K. (2013). Adolescent idiopathic scoliosis treated with posteromedial translation: radiologic evaluation with a 3D low-dose system. *European Spine Journal*, 22(11), 2382-2391.
- [32] Kato, S., Debaud, C., & Zeller, R. D. (2017). Three-dimensional EOS analysis of apical vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 37(8), e543-e547.
- [33] Kotwicki, T. (2002). Sagittal and transversal plane deformity in thoracic scoliosis. *Studies in health technology and informatics*, 91, 251-256.

- [34] Charles, Y. P., Bouchaïb, J., Walter, A., Schuller, S., Sauleau, E. A., & Steib, J. P. (2012). Sagittal balance correction of idiopathic scoliosis using the in situ contouring technique. *European Spine Journal*, 21(10), 1950-1956.
- [35] Nault, M. L., Mac-Thiong, J. M., Roy-Beaudry, M., & Turgeon, I. (2014). Three-dimensional spinal morphology can differentiate between progressive and nonprogressive patients with adolescent idiopathic scoliosis at the initial presentation: a prospective study. *Spine*, 39(10), E601.
- [36] Sangole, A. P., Aubin, C. E., Labelle, H., Stokes, I. A., Lenke, L. G., Jackson, R., & Newton, P. (2009). Three-dimensional classification of thoracic scoliotic curves. *Spine*, 34(1), 91-99.
- [37] Kadoury, S., & Labelle, H. (2012). Classification of three-dimensional thoracic deformities in adolescent idiopathic scoliosis from a multivariate analysis. *European Spine Journal*, 21(1), 40-49.
- [38] Asher, M. A., & Burton, D. C. (2006). Adolescent idiopathic scoliosis: natural history and long term treatment effects. *Scoliosis*, 1(1), 1-10.
- [39] Kuru, T., Yeldan, İ., Dereli, E. E., Özdiñçler, A. R., Dikici, F., & Çolak, İ. (2016). The efficacy of three-dimensional Schroth exercises in adolescent idiopathic scoliosis: a randomised controlled clinical trial. *Clinical rehabilitation*, 30(2), 181-190.
- [40] Lenssinck, M. L. B., Frijlink, A. C., Berger, M. Y., & Bierma-Zeinstra, S. M. (2005). Effect of bracing and other conservative interventions in the treatment of idiopathic scoliosis in adolescents: a systematic review of clinical trials. *Physical therapy*, 85, 1329.
- [41] Weiss, H. R. (2011). The method of Katharina Schroth-history, principles and current development. *Scoliosis*, 6(1), 1-22.

- [42] Roye, B. D., Simhon, M. E., Matsumoto, H., Bakarania, P., Berdishevsky, H., Dolan, L. A., ... & Vitale, M. G. (2020). Establishing consensus on the best practice guidelines for the use of bracing in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine deformity*, 1-8.
- [43] Dolan, L. A., & Weinstein, S. L. (2007). Surgical rates after observation and bracing for adolescent idiopathic scoliosis: an evidence-based review. *Spine*, 32(19), S91-S100.
- [44] Weinstein, S. L., & Ponseti, I. V. (1983). Curve progression in idiopathic scoliosis. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 65(4), 447-455.
- [45] Smith, P. L., Donaldson, S., Hedden, D., Alman, B., Howard, A., Stephens, D., & Wright, J. G. (2006). Parents' and patients' perceptions of postoperative appearance in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, 31(20), 2367-2374.
- [46] Tsiligiannis, T., & Grivas, T. (2012). Pulmonary function in children with idiopathic scoliosis. *Scoliosis*, 7(1), 1-6.
- [47] Kim, Y. J., Lenke, L. G., Cho, S. K., Bridwell, K. H., Sides, B., & Blanke, K. (2004). Comparative analysis of pedicle screw versus hook instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, 29, 2040-2048.
- [48] Fu, K. M. G., Smith, J. S., Shaffrey, C. I., Ames, C. P., & Bess, S. (2013). Coronal Realignment and Reduction Techniques and Complication Avoidance. *Neurosurgery Clinics*, 24(2), 195-202.
- [49] Hwang, S. W., Samdani, A. F., & Cahill, P. J. (2012). The impact of segmental and en bloc derotation maneuvers on scoliosis correction and rib prominence in adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 16(4), 345-350.
- [50] Chang, K. W. (2003). Cantilever bending technique for treatment of large and rigid scoliosis. *Spine*, 28(21), 2452-2458.

- [51] Bao, H., Liu, Z., Bao, M., Zhu, Z., Yan, P., Liu, S., ... & Qiu, Y. (2018). Predicted final spinal height in patients with adolescent idiopathic scoliosis can be achieved by surgery regardless of maturity status. *Bone Joint J*, 100(10), 1372-1376.
- [52] Lonner, B. S., Ren, Y., Bess, S., Kelly, M., Kim, H. J., Yaszay, B., ... & Newton, P. O. (2019). Surgery for the adolescent idiopathic scoliosis patients after skeletal maturity: early versus late surgery. *Spine deformity*, 7(1), 84-92.
- [53] Deviren, V., Berven, S., Kleinstueck, F., Antinnes, J., Smith, J. A., & Hu, S. S. (2002). Predictors of flexibility and pain patterns in thoracolumbar and lumbar idiopathic scoliosis. *Spine*, 27(21), 2346-2349.
- [54] Chung, W. H., Lee, Y. J., Chiu, C. K., Hasan, M. S., Chan, C. Y. W., & Kwan, M. K. (2022). Severe Lenke 1 and 2 adolescent idiopathic scoliosis had poorer perioperative outcome, higher complication rate, longer fusion and higher operative cost compared to non-severe scoliosis. *European Spine Journal*, 1-9.
- [55] Ghandehari, H., Mahabadi, M. A., Mahdavi, S. M., Shamsavaripour, A., Tari, H. V. S., & Safdari, F. (2015). Evaluation of patient outcome and satisfaction after surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis using scoliosis research society-30. *Archives of bone and joint surgery*, 3(2), 109.
- [56] Huitema, G. C., Jansen, R. C., van Ooij, A., Punt, I. M., & van Rhijn, L. W. (2015). Predictability of spontaneous thoracic curve correction after anterior thoracolumbar correction and fusion in adolescent idiopathic scoliosis. A retrospective study on a consecutive series of 29 patients with a minimum follow-up of 2 years. *The Spine Journal*, 15(5), 966-970.
- [57] Jaquith, B. P., Chase, A., Flinn, P., Sawyer, J. R., Warner, W. C., Freeman, B. L., & Kelly, D. M. (2012). Screws versus hooks: implant cost and deformity correction in adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of children's orthopaedics*, 6(2), 137-143.

- [58] Sudo, H., Abe, Y., Kokabu, T., Kuroki, K., Iwata, A., & Iwasaki, N. (2018). Impact of multilevel facetectomy and rod curvature on anatomical spinal reconstruction in thoracic adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, 43(19), E1135-E1142.
- [59] Li, Y., Yang, C., Zhu, X., & Li, M. (2018). Analysis of correlation between regional implant density and the correction rate in treatment of Lenke 1A and 1B adolescent idiopathic scoliosis with pedicle screws. *Medicine*, 97(2).
- [60] Ilharreborde, B. (2018). Sagittal balance and idiopathic scoliosis: does final sagittal alignment influence outcomes, degeneration rate or failure rate? *European Spine Journal*, 27(1), 48-58.
- [61] Newton, P. O., Fujimori, T., Doan, J., Reighard, F. G., Bastrom, T. P., & Misaghi, A. (2015). Defining the “three-dimensional sagittal plane” in thoracic adolescent idiopathic scoliosis. *JBJS*, 97(20), 1694-1701.
- [62] Mariconda, M., Andolfi, C., Cerbasi, S., & Servodidio, V. (2016). Effect of surgical correction of adolescent idiopathic scoliosis on the quality of life: a prospective study with a minimum 5-year follow-up. *European Spine Journal*, 25(10), 3331-3340.
- [63] Ilharreborde, B., Sebag, G., Skalli, W., & Mazda, K. (2013). Adolescent idiopathic scoliosis treated with posteromedial translation: radiologic evaluation with a 3D low-dose system. *European Spine Journal*, 22(11), 2382-2391.
- [64] Ilharreborde, B., Steffen, J. S., Nectoux, E., Vital, J. M., Mazda, K., Skalli, W., & Obeid, I. (2011). Angle measurement reproducibility using EOS three-dimensional reconstructions in adolescent idiopathic scoliosis treated by posterior instrumentation. *Spine*, 36(20), E1306-E1313.
- [65] Stokes, I. A. F. (1994). Three-dimensional terminology of spinal deformity. A report presented to the research society working group on 3-D terminology of spinal deformity. *Spine*, 19(2), 236-248.

- [66] Szendrői, M. (2009). *Ortopédia*. Budapest: Semmelweis Kiadó, 213-214.
- [67] Glassman, S. D., Berven, S., Bridwell, K., Horton, W., & Dimar, J. R. (2005). Correlation of radiographic parameters and clinical symptoms in adult scoliosis. *Spine*, 30, 682-688.
- [68] Patwardhan, A. G., Rimkus, A., Gavin, T. M., Bueche, M., Meade, K. P., Bielski, R., & Ibrahim, K. (1996). Geometric analysis of coronal decompensation in idiopathic scoliosis. *Spine*, 21, 1192-1200.
- [69] Karami, M., Maleki, A., & Mazda, K. (2016). Assessment of Coronal Radiographic Parameters of the Spine in the Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Archives of Bone and Joint Surgery*, 4, 376-380.
- [70] Steffee, A. D., Biscup, R. S., & Sitkowski, D. J. (1986). Segmental spine plates with pedicle screw fixation. *Clin orthop*, 203, 45-53.
- [71] Sterba, W., Kim, D. G., Fyhrie, D. P., Yeni, Y. N., & Vaidya, R. (2007). Biomechanical analysis of differing pedicle screw insertion angles. *Clinical biomechanics*, 22(4), 385-391.
- [72] Weinstein, J. N., Rydevik, B. L., & Rauschnig, W. (1992). Anatomic and technical considerations of pedicle screw fixation. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 284, 34-46.
- [73] Etemadifar, M., & Jamalaldini, M. (2017). Evaluating Accuracy of Free-hand Pedicle Screw Insertion in Adolescent Idiopathic Scoliosis Using Postoperative Multi-Slice Computed Tomography Scan. *Advanced biomedical research*, 6, 1-6.
- [74] Akpolat, A. O., Kilinc, B. E., Aksay, M. F., Gultekin, O., Ak, S., Akgun, E., & Balioglu, M. B. (2021). Is the Measurement of Pedicle Axial Axes on Computed Tomography in Adolescent Idiopathic Scoliosis Also a Guide for Safer Screwing?. *World neurosurgery*, 147, e559–e564.

- [75] Macke, J. J., Woo, R., & Varich, L. (2016). Accuracy of robot-assisted pedicle screw placement for adolescent idiopathic scoliosis in the pediatric population. *Journal of robotic surgery*, 10(2), 145-150.
- [76] Vaccaro, A. R., Rizzolo, S. J., Balderston, R. A., Allardyce, T. J., Garfin, S. R., Dolinskas, C., & An, H. S. (1995). Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part II: An anatomical and radiographic assessment. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 77(8), 1200–1206.
- [77] Negrini, S., Donzelli, S., Aulisa, A. G., Czaprowski, D., Schreiber, S., de Mauroy, J. C., ... & Lebel, A. (2018). 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis and spinal disorders*, 13(1), 3.
- [78] Konieczny, M. R., Senyurt, H., & Krauspe, R. (2012). Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of children's orthopaedics*, 7(1), 3-9.
- [79] Morais, T., Bernier, M., & Turcotte, F. (1985). Age-and sex-specific prevalence of scoliosis and the value of school screening programs. *American Journal of Public Health*, 75(12), 1377-1380.
- [80] Liljenqvist, U. R., Halm, H. F., & Link, T. M. (1997). Pedicle screw instrumentation of the thoracic spine in idiopathic scoliosis. *Spine*, 22(19), 2239-2245.
- [81] Lee, S. M., Suk, S. I., & Chung, E. R. (2004). Direct vertebral rotation: a new technique of three-dimensional deformity correction with segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, 29(3), 343-349.
- [82] Pasha, S., Capraro, A., Cahill, P. J., Dormans, J. P., & Flynn, J. M. (2016). Bi-planar spinal stereoradiography of adolescent idiopathic scoliosis: considerations in 3D alignment and functional balance. *European Spine Journal*, 25(10), 3234-3241.

- [83] Rehm, J., Germann, T., Akbar, M., Pepke, W., Kauczor, H. U., Weber, M. A., & Spira, D. (2017). 3D-modeling of the spine using EOS imaging system: Inter-reader reproducibility and reliability. *PloS one*, 12(2), e0171258.
- [84] Glaser, D. A., Doan, J., & Newton, P. O. (2012). Comparison of 3-dimensional spinal reconstruction accuracy: biplanar radiographs with EOS versus computed tomography. *Spine*, 37(16), 1391-1397.
- [85] Sullivan, T. B., Bastrom, T., Reighard, F., Jeffords, M., & Newton, P. O. (2017). A novel method for estimating three-dimensional apical vertebral rotation using two-dimensional coronal Cobb angle and thoracic kyphosis. *Spine deformity*, 5(4), 244-249.
- [86] Yazici, M., Acaroglu, E. R., Alanay, A., Deviren, V., Cila, A., & Surat, A. (2001). Measurement of vertebral rotation in standing versus supine position in adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 21(2), 252-256.
- [87] Lowenstein JE, Matsumoto H, Vitale MG et al. Coronal and sagittal plane correction in adolescent idiopathic scoliosis: a comparison between all pedicle screw versus hybrid thoracic hook lumbar screw constructs. *Spine* 2007; 32.4: 448-452.
- [88] Illés ST. Reckoning: Assessment of a 21-year activity is spine surgery. [Számvetés: 21 éves gerincsebészeti tevékenység mérlege] *Orv Hetil.* 2015;156(15):598-607. [Hungarian]
- [89] Kadoury, S., Cheriet, F., Beauséjour, M., Stokes, I. A., Parent, S., & Labelle, H. (2009). A three-dimensional retrospective analysis of the evolution of spinal instrumentation for the correction of adolescent idiopathic scoliosis. *European Spine Journal*, 18(1), 23–37.
- [90] József K, Schlégl ÁT, Burkus M et al. Maximal axial vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis: is the apical vertebra the most rotated? *Global Spine Journal* 2020; 2192568220948830.

[91] Zhu F, Bao H, Yan P et al. Comparison of surgical outcome of adolescent idiopathic scoliosis and young adult idiopathic scoliosis: a match-pair analysis of 160 patients. Spine 2017; 42,19: E1133-E1139.

[i] A kép forrása: http://www.eos-imaging.com/sites/default/files/2016-02/EOS%20Solutions%20video%20%28R22-BRO-100-A-EN%29_0.mp4 Letöltés ideje: 2017. 08. 17.

VII. A táblázatok és ábrák jegyzéke

VII.1. Táblázatok

1. táblázat — A retrospektíven beválasztott betegek életkor és görbületi súlyosság szerinti megoszlása
2. táblázat — A retrospektíven kiválasztott betegek Lenke klasszifikáció szerinti beosztása
3. táblázat — A prospektíven kiválasztott betegek Lenke klasszifikáció szerinti beosztása
4. táblázat — Az apicalAVR és maxAVR értékek közti különbségek a főgörbületekben, illetve a kiegészítő görbületekben.
5. táblázat — A maximálisan rotálódó csigolya távolsága az apikális csigolyától a főgörbületekben (Átlag \pm szórás). A p-értékek Wilcoxon-féle rangösszegteszt eredményei, $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.
6. táblázat — Az apicalAVR és a maxAVR értékei közti különbség a különböző súlyosságú betegcsoportokban (átlag \pm szórás). A p-értékek Wilcoxon-féle rangösszegteszt eredményei, $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.
7. táblázat — Az apicalAVR és a maxAVR értékei közti különbség a különböző Lenke klasszifikáció szerinti főcsoportokban (átlag \pm szórás). A p-értékek Wilcoxon-féle rangösszegteszt eredményei, $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.
8. táblázat — A maximálisan rotálódó csigolya távolsága az apikális csigolyától a kiegészítő görbületekben (Átlag \pm szórás). A p-értékek Wilcoxon-féle rangösszegteszt eredményei, $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.
9. 9. táblázat — A koronális, szagittális és axiális gerincparaméterek pre- és posztoperatív értékei (átlag \pm szórás), a közöttük lévő különbség p-értekeivel. A

$p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.

10. táblázat — Az axiális gerincparaméterek egymáshoz viszonyított értékei (átlag±szórás), a közöttük lévő különbség p-értékeivel. A $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.

11. táblázat — A koronális és axiális műtéti korrekció mértéke, illetve az koronális és axiális gerincparaméterek értéke a főgörbületben a 17 éves életkor előtt és után megoperált betegcsoportokban (átlag±szórás), a közöttük lévő különbség p-értékeivel. A $p < 0,05$ értékeket tekintettünk szignifikánsnak, amelyeket csillaggal (*) jelöltünk.

VII.2. Ábrák

1. ábra — Serdülőkori idiopátiás scoliosissal diagnosztizált beteg (A), és ugyanezen páciens FL-FS (Full Leg-Full Spine) röntgenfelvétele (B) (saját képanyag)
2. ábra — A példaesetek teljes gerinc/EOS 2D röntgenképe a különböző Lenke-klasszifikáció főcsoportok szerint (saját képanyag)
3. ábra — A Cobb-szög mérési elve
4. ábra — Az EOS™ 2D/3D röntgengép működés közben
5. ábra — A sterEOS programmal készített 3D rekonstrukció végeredménye.
6. ábra — Serdülőkori idiopátiás scoliosis műtéti kezelése
7. ábra — A pediculus, vagy pedunculus a csigolyatestet és a hátsó laminát összekötő, a gerinccsatorna oldalfalát alkotó csontos anatómiai képlet
8. ábra — a) EOS teljes gerinc felvétel thoracolumbalis (Lenke 5) gerincferdüléssel rendelkező páciensről; b) Ugyanezen páciens Th.I-L.V. gerincszakaszáról készült EOS 3D rekonstrukció; c) A 3D rekonstrukció alapján számított axiális csigolyarotációk ábrázolása diagrammon (sárga: apikális csigolya, kék: végcsigolya).

9. ábra — Az axiális paraméterek ábrázolása (y-tengelyek) egy koordináta rendszerben a Cobb-szöggel (x-tengely), illetve a rájuk illeszthető trendvonalakkal.

VIII. Mellékletek

VIII.1. A dolgozat alapjául szolgáló publikációk

VIII.1.1. Tudományos közlemények

József K., Schlégl, Á. T., Burkus, M., Márkus, I., O’Sullivan, I., Than, P., Tunyogi Csapó, M. (2020). Maximal Axial Vertebral Rotation in Adolescent Idiopathic Scoliosis: Is the Apical Vertebra the Most Rotated? Global Spine Journal, 2192568220948830. IF: 2,915; SJR:1,398 (D1)

József, K., Márkus, I., Bogyó, C., Tunyogi Csapó, M., & Schlégl, Á. T. (2021). Gerinckorrektív műtétek háromdimenziós hatékonysági vizsgálata serdülőkori idiopathiás gerincferdülésben. Orvosi Hetilap, 162(39), 1573-1578. IF: 0,540; SJR:0,176 (Q4)

Összesített első szerzős impakt faktor: 3,455 IF

VIII.1.2. Konferencia előadások

József K, Schlégl ÁT, Tunyogi Csapó M. 3D paraméterek vizsgálata idiopátiás scoliosisban - VIII. Nemzetközi és XIV. Országos Interdiszciplináris Grastyán Konferencia, Pécs, 2016. március 9.

József K, Schlégl ÁT, Tunyogi Csapó M. Analysis of 3D parameters in idiopathic scoliosis – HMAA Summer Conference, Balatonfüred, 2016. augusztus 27.

József K, Schlégl ÁT, Burkus M, Márkus I, Bogyó Cs, Tunyogi Csapó M. Maximális axiális csigolya rotáció meghatározása serdülőkori idiopátiás scoliosisban – mindig az

apicalis csigolya a legnagyobb? - A Magyar Gerincgyógyászati Társaság 2019. évi Tudományos Ülése, Visegrád, 2019. február 22.

József K., Schlégl ÁT, Burkus M, Márkus I, Bogyó Cs, Tunyogi Csapó M. Axiális csigolya rotációk vizsgálata 3D képalkotó módszerrel sedülőkori idiopátiás scoliosisban - A Magyar Ortopéd Társaság 2019. évi Kongresszusa, Budapest, 2019. június 20.

József K., Tunyogi Csapó M. Csigolyarotációk 3D rekonstrukció alapú vizsgálata serdülőkori idiopátiás gerincferdülésben - ÚNKP Konferencia, Pécs, 2020. május 20.

VIII.2. Egyéb publikációk

VIII.2.1. Folyóiratokban

Burkus, M., **József, K.**, Bálint, G., Niklai, B., Márkus, I., & Tunyogi-Csapó, M. Gerincferdülés esetén tapasztalt szaggítális megjelenés vizsgálata EOS 2D/3D képalkotás használatával MAGYAR TRAUMATOLÓGIA ORTOPÉDIA KÉZSEBÉSZET PLASZTIKAI SEBÉSZET 2017; 60(1-2): 21-31.

Burkus, M., **József, K.**, Niklai, B., Márkus, I., & Tunyogi-Csapó, M. A collodiaphysealis szög vizsgálata gerincferdülés esetén, háromdimenziós képalkotás segítségével. MAGYAR TRAUMATOLÓGIA ORTOPÉDIA KÉZSEBÉSZET PLASZTIKAI SEBÉSZET 2017; 60(1-2): 13-20.

Márkus, I., Schlégl, Á. T., Burkus, M., **József, K.**, Niklai, B., Than, P., & Tunyogi-Csapó, M. The effect of coronal decompensation on the biomechanical parameters in lower limbs in adolescent idiopathic scoliosis. Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research 2018; 104.5: 609-616. IF: 1,864; SJR: (Q2)

Burkus, M., Schlégl, Á. T., **József, K.**, O'Sullivan, I., Márkus, I., & Tunyogi-Csapó, M. Analysis of proximal femoral parameters in adolescent idiopathic scoliosis. *Advances in Orthopedics*, 2019; IF: 0,829; SJR: (Q3)

Összesített impakt faktor: 6,148 IF

VIII.2.2. Konferencia előadások

Tunyogi Csapó M, **József K**, Bogyó Cs, Schwarcz A. Degeneratív gerincbetegek instrumentált műteteinek utánkötése Pécsen – A Magyar Gerincgyógyászati Társaság 2014. évi tudományos ülése, Bükfürdő, 2014.12.05.

Márkus I, Bogyó Cs, **József K**, Tunyogi Csapó M ICP és egyéb neuromuscularis betegségek talaján kialakult gerincdeformitások műtéti kezelés során szerzett tapasztalataink A Magyar Ortopéd Társaság 59. Kongresszusa, Pécs, 2016.06.24.

Márkus I, Schlégl Á, **József K**, Niklai B, Bogyó Cs, Burkus M, Than P, Tunyogi Csapó M. Az alsó végtag csontos anatómiájának vizsgálata adolescens idiopathiás scoliosban szenvedő betegeknél - A Magyar Gerincgyógyászati Társaság 25 éves jubileumi tudományos ülése, Balatonfüred, 2016.12.02.

Burkus M, Schlégl Á, Márkus I, **József K**, Niklai B, Somoskeőy Sz, Tunyogi Csapó M. A proximális femur paraméterek értékelése gerincferdülés esetén - Ortopéd Társaság 2017. évi Kongresszusa, Nyíregyháza, 2017. június 29.

Márkus I, **József K**, Burkus M, Schlégl Á, Tunyogi Csapó M. A coronalis balance és az alsó végtagi radiológiai paraméterek összefüggései idiopathiás adolescens scoliosban - Ortopéd Társaság 2017. évi Kongresszusa, Nyíregyháza, 2017. június 29.

Schlégl ÁT, O'Sullivan I, Varga P, Kerekes K, **József K**, Burkus M, Tunyogi Csapó M, Vermes Cs. Csonkór mérési lehetőségek vizsgálata FL-FS és EOS felvételeken - Ortopéd Társaság 2017. évi Kongresszusa, Nyíregyháza, 2017. június 29.

Burkus M, Schlégl ÁT, Márkus I, **József K**, Niklai Bálint, Somoskeöy Sz, Tunyogi-Csapó M. A serdülőkori gerincferdülés és az alsóvégtagi paraméterek kapcsolatának vizsgálata. XXIV. Gyermektraumatológiai Vándorgyűlése, Miskolc, 2017. október 27.

József K, Schlégl ÁT, Tunyogi Csapó M. Korai kezdetű és serdülőkori gerincferdülésekben megjelenő coronalis dekompenzáció hatása az alsó végtagi biomechanikai paraméterekre - ÚNKP Konferencia Pécs, 2018. május 24.

ÁT Schlégl, I Márkus, M Burkus, **K József**, B Niklai, P Than, M Tunyogi-Csapó. Effect of coronal decompensation on the biomechanical parameters in lower limbs in adolescent idiopathic scoliosis. 19th EFORT Congress, Barcelona, Spain, 2018 May 30

Burkus M, Schlégl ÁT, **József K**, Márkus I, Tunyog Csapó M Gerincferdülés melletti sagittalis medenceparaméterek népcsoport függő vizsgálata - A Magyar Ortopéd Társaság és a Magyar Traumatológus Társaság 2018. évi Közös Kongresszusa, Győr, 2018. június 28

Schlégl ÁT, **József K**, Márkus I, Burkus M, Than P, Tunyogi-Csapó M. Korai kezdetű és serdülőkori gerincferdülésekben megjelenő coronalis dekompenzáció hatása az alsó végtagi biomechanikai paraméterekre - A Magyar Ortopéd Társaság és a Magyar Traumatológus Társaság 2018. évi Közös Kongresszusa, Győr, 2018. Június 28

Márkus I, **József K**, Bogyó Cs, Burkus M, Tunyogi Csapó M. Scoliosis korrekciós műtéteket követően kialakult proximalis junctionalis kyphosis kezelésében szerzett tapasztalataink a Pécsi Ortopédiai Klinikán - A Magyar Ortopéd Társaság és a Magyar Traumatológus Társaság 2018. évi Közös Kongresszusa, Győr, 2018. június 28

Burkus M, Schlégl ÁT, **József K**, Márkus I, Tunyogi Csapó M. A medence-gerinc egység sagittalis megjelenésének összetett értékelése gerincferdülés mellett - A Magyar Gerincgyógyászati Társaság 2019. évi Tudományos Ülése, Visegrád, 2019. február 22.

Márkus I, **József K**, Burkus M, Schlégl ÁT, Tunyogi Csapó M. Early onset scoliosisban megjelenő coronalis dekompenzáció hatása az alsó végtagi biomechanikai

paraméterekre - A Magyar Gerincgyógyászati Társaság 2019. évi Tudományos Ülése, Visegrád, 2019. február 22.

Tunyogi Csapó M, Márkus I, **József K**, Ruzshti P, Kiss L, Jeszenszky D. Congenitalis gerincdeformitások új kezelési stratégiája - A Magyar Gerincgyógyászati Társaság 2019. évi Tudományos Ülése, Visegrád, 2019. február 22.

Bogyó Cs, Márkus I, **József K**, Tunyogi Csapó M. Sacrum dysgenesis és meningomyelokelehez társuló gerincdeformitás kezelési nehézségei - A Magyar Ortopéd Társaság 2019. évi Kongresszusa, Budapest, 2019. június 20.

Schlégl ÁT, Nyakas V, **József K**, Than P. Reliability study of the conventional radiography based measuring of collodiaphyseal angle in children – 41th SICOT Orthopaedic World Congress, Budapest, 2021. szeptember 15-18.

Rónai M, **József K**, Lazary A. Anterior Plate Fixation Compared to Transpedicular Screw Fixation in OLIF Surgery – Global Spine Congress 2021, Párizs, 2021. november 3-6.

IX. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni Prof. Dr. Than Péternek, hogy az általa vezetett Ph.D. program keretei között, kiépített infrastrukturális háttérrel végezhettem a kutatásomat. Továbbá hasznos stratégiai tanácsaival támogatta a dolgozat létrejöttét. Hálával tartozom témavezetőmnek, Dr. Tunyogi Csapó Miklósnak, hogy a kezdetektől fogva támogatott, felkeltette az érdeklődésemet a gerincsebészet iránt, ezenfelül szívügyemmé tette a deformitás sebészetét és annak kutatását. Köszönöm társ-témavezetőmnek, Dr. Schlégl Ádámnak, hogy a tudományos gondolkodás és a korrekt statisztikai módszerek megismertetése mellett gyakorlati tanácsokkal is segítette munkámat.

Hálás vagyok kutatótársaimnak, Dr. Burkus Máténak, Dr. Márkus Istvánnak, Dr. O'Sullivan Iannek, pótolhatatlan segítségükért, amely nélkülözhetetlen volt a dolgozat létrejöttéhez. A PTE Ortopédiai és Orvosi Képző Klinika munkatársainak is köszönettel tartozom a betegek közvetlen ellátásáért és a felvételek elkészítéséért.

Köszönöm családom valamennyi tagjának, kifejezetten a feleségemnek, Dr. Uhrin Dorottyának és a szüleimnek, hogy a Ph.D. képzés ideje alatt bíztattak, támogattak, és minden segítséget megadtak számomra (és a magyart magyarra fordították).

A vizsgálatokat a GINOP-2.3.3-15-2016-00031 pályázat támogatása mellett az Új Nemzeti Kiválóság Program 2017 (ÚNKP-17-2-I-PTE-318) és 2019 (ÚNKP-19-3-I-PTE-29) támogatta. Valamint a kutatás a Tématerületi Kiválósági Program 2020 (2020-4.1.1-TKP2020) pályázati program finanszírozásával valósult meg.

Maximal Axial Vertebral Rotation in Adolescent Idiopathic Scoliosis: Is the Apical Vertebra the Most Rotated?

Kristóf József, MD¹ , Ádám Tibor Schlégl, MD, PhD¹,
Máté Burkus, MD, PhD¹, István Márkus, MD¹, Ian O'Sullivan, MD¹,
Péter Than, MD, PhD¹, and Miklós Tunyogi Csapó, MD, PhD¹

Abstract

Study Design: Retrospective cross-sectional study.

Objectives: It is generally believed that the apical vertebra has the largest axial rotation in adolescent idiopathic scoliosis. We investigated the relationship between apical axial vertebral rotation (apicalAVR) and maximal axial vertebral rotation (maxAVR) in both major and minor curves using biplanar stereo-imaging.

Methods: EOS 2D/3D biplanar radiograph images were collected from 332 patients with adolescent idiopathic scoliosis (Cobb angle range 10°-122°, mean age 14.7 years). Based on the X-ray images, with the help of 3D full spine reconstructions Cobb angle, curvature level, apicalAVR and maxAVR were determined. These parameters were also determined for minor curves in Lenke 2, 3, 4, 6 type patients. Maximal thoracic rotation and maximal thoracolumbar/lumbar rotation were calculated. Statistical analysis was performed with descriptive statistics, Shapiro-Wilk test, and Wilcoxon signed-rank test.

Results: The apical vertebrae were the most rotated vertebra in only 40.4% of the major curves, and 31.7% in minor curves. MaxAVR significantly exceeded apicalAVR values in the major curves ($P < .001$) as well as in minor curves ($P < .001$). The 2 parameters differed significantly in each severity group and Lenke type.

Conclusions: The apical vertebrae were not the most rotated vertebra in more than half of cases investigated indicating that apicalAVR and maxAVR should be considered as 2 distinct parameters, of which maxAVR fully describes the axial dimension of scoliosis. Furthermore, the substitution of maxAVR for the apicalAVR should be especially avoided in double and triple curves, as the apical vertebra was even less commonly the most rotated in minor curves.

Keywords

adolescent idiopathic scoliosis, apical vertebral rotation, maximal vertebral rotation, biplanar imaging, EOS 2D/3D

Introduction

Adolescent idiopathic scoliosis is a 3-dimensional (3D) deformity.¹ In addition to the deformity in the frontal and sagittal planes, axial rotation of the vertebrae is also present and is increasingly being addressed during evaluation.²

At the end of the 1980s, Stokes³ found the highest axial rotation to lie “close to” the apex of the curve, that is, at the apical vertebrae or within 2 vertebral levels of it. Later computed tomography-based investigations, however, found the apical vertebrae to be consistently the most rotated, in contrast to Stokes's results.^{4,5}

Since then, determination of apical axial vertebral rotation (apicalAVR) has come to be regarded as one of the most

important components for radiographic evaluation of the axial dimension of scoliosis and over time the apical vertebra has come to be regarded as the de facto vertebra with the highest rotation.⁶ Indeed, in the majority of studies only the apicalAVR parameter is measured and conclusions are drawn from it with regard to the efficacy of vertebral rotations of surgical

¹ University of Pécs Medical School, Pécs, Hungary

Corresponding Author:

Kristóf József, Department of Orthopaedics, University of Pécs Medical School, Akác Street 1, 7632 Pécs, Hungary.
Email: jokuaao.pte@pte.hu



treatments.^{7,8} As a result of such studies, apical AVR has been shown to be correlated with cosmetic and satisfaction outcomes.⁶

However, there are few reports describing the degree of rotation of the maximally rotated vertebra or “maximal axial vertebral rotation” (maxAVR). Kotwicki et al⁹ found maxAVR was between 10° and 24° close to the T9 vertebra in Lenke 1 patients. Charles et al¹⁰ found the maximal thoracic vertebral rotation between T6 and T10 vertebrae, with an average of 22.7° in standing position and the maximal lumbar vertebral rotation was measured at an average of 25.8° and was found at L1 and L3 vertebrae in Lenke 3 patients.

The introduction of EOS 2D/3D imaging technology to many clinics in recent years has allowed a greater ability to make well-reproducible measurements of vertebral rotation in a standing position.¹¹ Furthermore, full spine 3D reconstructions can be performed at ultra-low radiation doses, an important advantage in adolescent imaging.¹² The results of one recent EOS-based study of 158 patients are consistent with the early findings of Stokes³ that while the apical vertebra is most commonly the maximally rotated vertebra, there can be a difference of 1 or 2 segments in 9.5% of cases.¹³

The purpose of this study was to determine AVRs in the major and minor curves of adolescent idiopathic scoliosis using EOS 2D/3D imaging in a larger population, and to determine if the apical vertebra was the maximally rotated. According to our hypothesis, the apical vertebrae do not always have the largest axial rotation in adolescent idiopathic scoliosis.

Patients and Methods

Patients

Following approval by institutional ethics committee, we reviewed 9872 EOS 2D/3D stereo images (EOS Imaging, Paris, France) made during the routine work of our department between 2007 and 2018 and cases were selected in which adolescent idiopathic scoliosis was the indicating diagnosis. Exclusion criteria were early onset, secondary scoliosis, prior spine surgery, or any associated musculoskeletal disease. All patients not in the required position during image capture (described below) were excluded, as this could influence rotation measurements, leaving 332 individuals.

The mean age of the population was 14.7 years (range 10-17 years) and there were 267 girls and 65 boys due to the gender-associated incidence of the disease.¹⁴ Mean Cobb angle was 37.7° (range 10°-122°). Distribution of patients by age and scoliosis severity as per SOSORT Consensus is shown in Table 1.¹⁵

Imaging Protocol and 3D Modeling

Image-pairs were captured using the EOS 2D/3D scanner, with patients in the special “knuckles on clavicles” position, which has been shown to allow more accurate 3D spine reconstructions.¹⁶

Table 1. Distribution of Studied Population by Age and Scoliosis Severity.

Cobb angle	Age (years)							
	10	11	12	13	14	15	16	17
<20°	5	5	8	5	16	15	12	10
21°-35°	7	3	9	16	29	24	15	15
36°-40°	0	0	2	3	3	3	6	2
41°-50°	1	2	2	7	13	5	6	7
51°-55°	0	0	1	3	4	1	1	0
≥56°	0	5	7	13	17	11	7	6
Sum	13	15	29	47	82	59	47	40

Full spine 3D reconstructions were made using sterEOS software V1.4.4.5297, which is aligned by the user to the contours of each thoracic and lumbar vertebra.¹⁷ The software automatically calculates the Cobb angle, curvature level in addition to the serial AVR values for Th1-L5 vertebrae (Figure 1). AVR was calculated based on the axial displacement of the vertebrae relative to the pelvis, with left hand rotation defined as positive. The Cobb angle and AVR values were calculated by the software in both positive and negative ranges, so the absolute values of the parameters were used for following calculations. The apical vertebra is automatically identified by the sterEOS software in major curves and was manually determined in minor curves.

The maxAVR and the distance from the apical vertebra were determined from the serial data on axial rotation of the vertebrae. These same parameters were also determined for minor curves in double and triple curves (Lenke 2, 3, 4, 6). Maximal thoracic rotation was determined in Lenke 1, 2, 3, and 4 patients and maximal thoracolumbar/lumbar rotation calculated in the Lenke 4, 5, and 6 groups.

Statistical Analysis

Normality of the data was ensured with Shapiro-Wilk test and the Wilcoxon signed-rank test used to assess the relationship between apicalAVR and maxAVR. Results were considered significant at $P < .05$. Statistical analysis was performed using SPSS v.23 (IBM Corp) software.

Results

In 198 of 332 (59.6%) cases, the maximally rotated vertebra was not the apical vertebra in the major curves, and in 56 of 82 (68.3%) minor curves. The difference between apicalAVR and maxAVR values is detailed in Table 2.

Major Curves: The Relationship of Apical Vertebral Rotation to Maximal Rotation in Major Curves

The mean apicalAVR value in major curves was 12.53° ± 9.15° versus mean maxAVR of 14.33° ± 9.68° ($P < .001$). Vertebral level differed up to 2 levels between the apical

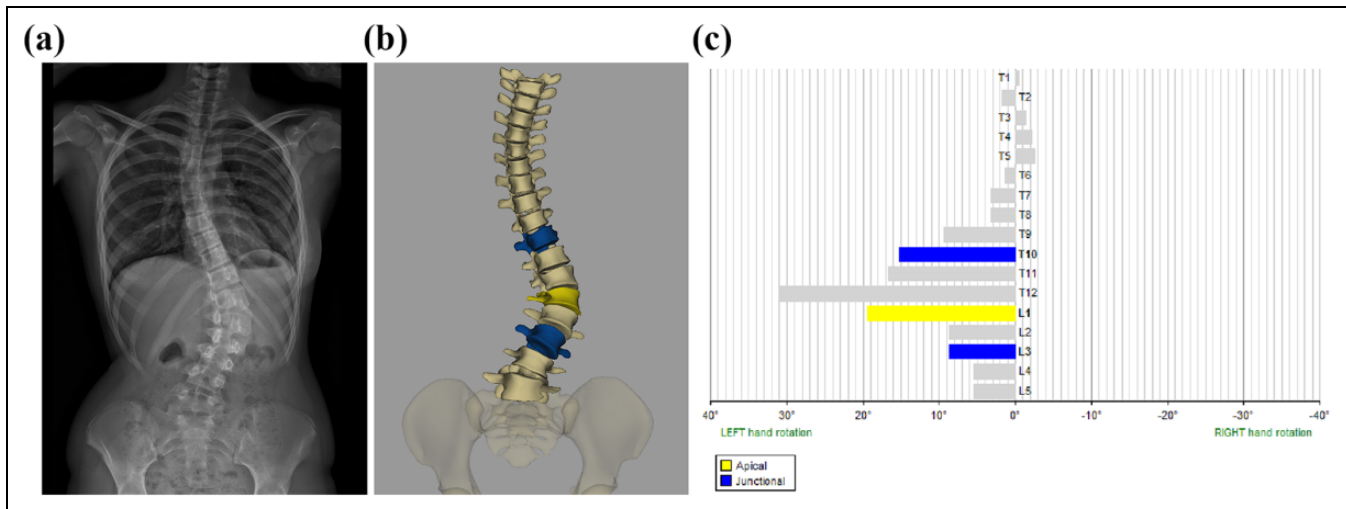


Figure 1. (a) EOS full spine image of a patient with adolescent idiopathic scoliosis. (b) Three-dimensional (3D) reconstruction of the spine from Th1 to L5 vertebra. (c) diagrammatic representation of axial rotation of each vertebra from T1 to L5 (yellow: apical vertebra; blue: end vertebra). Images based on data from the same Lenke 5 patient.

Table 2. Differences in Degrees Between apicalAVR and maxAVR in Major and Minor Curves.

maxAVR-apicalAVR difference	Overlap	0°-3°	3°-5°	5°-10°	>10°	Total
Major curve	134	124	39	30	5	332
Minor curve	34	43	16	8	1	102

Abbreviation: AVR, axial vertebral rotation.

Table 3. Major Curves: Distance Between Maximally Rotated Vertebra and Apical Vertebrae in Major Curves (Mean ± SD).

Distance from apical vertebrae	No. of cases	apicalAVR	maxAVR	P ^a
Overlap	134	14.94° ± 10.17°	14.94° ± 10.17°	—
1	182	10.89° ± 8.16°	13.91° ± 9.59°	<.001*
2	16	10.87° ± 6.24°	14.23° ± 6.16°	<.001*
Total	332	12.53° ± 9.15°	14.33° ± 9.68°	<.001*

Abbreviation: AVR, axial vertebral rotation.

^aP value is the result of Wilcoxon signed-rank test, P < .05 (*) was accepted as significant.

vertebra and maximally rotating vertebra (see Table 3). Maximal thoracic rotation (in the case of Lenke 1, 2, 3, and 4 curves) was located between the Th4 and Th11 vertebrae with an average rotation of 14.75° ± 11.12°. The maximal thoracolumbar/lumbar rotation (in Lenke 4, 5, and 6 curves) was found between the Th12 and L4 vertebrae with a mean value of 13.72° ± 7.16°.

Data on apicalAVR and maxAVR in patient groups of varying severity is shown in Table 4. The relationship between the 2 examined parameters based on Lenke classification is detailed in Table 5.

Table 4. Relationship Between apicalAVR and maxAVR in Different Severity Groups (Mean ± SD).

Cobb angle	No. of cases	apicalAVR	maxAVR	P ^a
<20°	76	6.70 ± 4.55°	8.27 ± 4.46°	<.001*
21°-35°	118	9.34 ± 5.14°	10.81 ± 4.90°	<.001*
36°-40°	19	16.36 ± 7.30°	17.80 ± 6.95°	.008*
41°-50°	43	15.67 ± 5.07°	17.27 ± 5.07°	<.001*
51°-55°	10	15.84 ± 5.77°	19.10 ± 6.63°	.018*
≥56°	66	21.27 ± 13.05°	23.97 ± 14.07°	<.001*
Total	332	12.53 ± 9.15°	14.33 ± 9.68°	<.001*

Abbreviation: AVR, axial vertebral rotation.

^aP value is the result of Wilcoxon signed-rank test, P < .05 (*) was accepted as significant.

Table 5. ApicalAVR and maxAVR Values Based on Lenke Classification (Mean ± SD).

Lenke type	No. of cases	apicalAVR	maxAVR	P
1	112	11.29° ± 8.89°	13.39° ± 10.11°	<.001*
2	27	16.75° ± 4.49°	17.94° ± 3.58°	<.001*
3	54	16.01° ± 13.6°	17.5° ± 13.55°	<.001*
4	3	20.33° ± 6.16°	22.98° ± 5.32°	.109
5	120	11.02° ± 6.4°	12.63° ± 6.43°	<.001*
6	16	18.32° ± 5.9°	20.93° ± 7.55°	.005*
Total	332	12.53° ± 9.15°	14.33° ± 9.68°	<.001*

Abbreviation: AVR, axial vertebral rotation.

^aP value is the result of Wilcoxon signed-rank test, P < .05 (*) was accepted as significant.

Minor Curves: The Relationship of Apical Vertebral Rotation to Maximal Rotation in Minor Curves

For structural minor curves, apicalAVR was 9.29° ± 6.95°, while maxAVR was found to be 11.21° ± 7.44° (P < .001).

Table 6. Minor Curves: Distance between maximally rotated vertebra and apical vertebrae in minor curves (mean \pm standard deviation). P-value is the result of Wilcoxon signed-rank test, $p < 0.05$ was accepted as significant.

Distance from apical vertebrae	No. of cases	apicalAVR	maxAVR	P
0	34	8.92° \pm 5.59°	8.92° \pm 5.59°	—
1	59	10.06° \pm 7.80°	12.35° \pm 8.07°	<.001*
2	9	5.87° \pm 4.46°	11.76° \pm 7.87°	<.001*
Total	102	9.29° \pm 6.95°	11.21° \pm 7.44°	<.001*

Abbreviation: AVR, axial vertebral rotation.

* P value is the result of Wilcoxon signed-rank test, $P < .05$ (*) was accepted as significant.

The relationship between the identified apical vertebrae to maximal rotation in minor curves is shown in Table 6.

The maximal thoracic rotation was 6.93° \pm 7.62° in the minor curves of Lenke 2, 4, and 6 patients. Thoracolumbar/lumbar maximal rotation was found to be 13.18° \pm 6.51° in the case of Lenke 3 and 4 minor curves.

Discussion

Rotational parameters can be a useful feature in monitoring scoliosis progression and assessing treatment outcomes.^{18,19} Several authors have developed scoliosis classifications that incorporate vertebral rotation in an attempt to describe all 3 dimensions of the curves; however, the apicalAVR parameter is commonly the only feature used to describe the axial dimension of the scoliosis.^{20,21}

In this study, we found that the apical vertebra was not the most rotated in the majority of cases (59.6% of cases, 134 of 332 cases, see Table 1). Almost 54% of individuals (182 of 332) had maximal rotation in the vertebra adjacent to the apical vertebra, and at a distance of 2 levels vertebra in 4.8% (16 of 332) of main curves and 8.8% (9/102) of minor curves. A similar range was reported by Stokes³ in 1989 and more recently by Labaki et al.¹³

Furthermore, significant differences in the magnitude of rotation between the apicalAVR and the maxAVR values were seen in both major and minor curves. This, alongside a similar finding by Labaki et al,¹³ suggests that in a significant number of cases the apical vertebra should not be considered to be the most rotated, in contrast to the general belief since the early 1990s.^{4,5}

A significant difference between apicalAVR and maxAVR was seen across all severity groups and most Lenke classification groups. While a minor difference between the rotational parameters may not be of clinical significance, a difference of more than 5° could be detected in 10.5% (35 of 332) of curves. Although data describing a threshold for clinical importance is not available in the literature, Pankowski et al²² recommended the use of direct vertebral rotation over the single concave rod rotation method due to an average 3.1° improvement in

rotation, considerably less than the 5° margin for clinical effect theorized in our analysis.²²

The AVR of the minor curvature is not commonly measured in practice; however, with the sterEOS software it can easily be estimated. Minor curves exhibited an even larger qualitative difference than major curves with a maximally rotated apical vertebra in 30.0% (34 of 102) of cases, and a similar rate of 8.8% of minor curves exhibiting a >5° difference (9 cases). However, the definition of the apical vertebra as the vertebra most laterally displaced from the central sacral vertical line appears not to be a useful one as it is much less commonly the maximally rotated segment, as it does not have the same influence as the major curve. This was seen in our data, with the high number of cases in which the level of the maximal and apical vertebrae differed. As a result, apicalAVR appears to be even less suitable for describing rotation in minor curves.

Group mean values for maximal thoracic, thoracolumbar and lumbar rotation were lower than those found in the literature^{9,10}; however, this may be due to the fact that scoliosis patients not reaching the indication for surgery were also included. A wider range for maximal rotation was seen than that described in previous studies, with Th4-Th5, Th11-12, and L4 vertebrae also observed.^{9,10} This would indicate to us that a maximally rotated vertebra can occur anywhere from Th4 to L4 in adolescent idiopathic scoliosis.

The retrospective nature of the study is a limitation, but we believe that as the radiological examinations were performed in a standardised position, similar results would be produced in prospective study. The possibility of measurement error may also exist, which we aimed to reduce by examining a high number of patients. It was felt that the sterEOS software could be improved further, as at present the apical point is always defined as a vertebra, although an intervertebral disc may often lie in the apical position. While it is still routine to always refer to a vertebra as the most rotated structure, we feel this is a point that could be refined in future updates of the software. Our values in the less common Lenke 4 group were not statistically evaluable due to the low number of elements.

Our results aim to provide a basis for a more accurate understanding of the axial dimension of adolescent scoliosis and emphasise that the maxAVR parameter may characterise axial deformation more accurately than the apicalAVR. We believe that due to a statistically significant difference and possible clinical difference reported here and in one other recent study,¹³ this justifies the consideration of maxAVR in 3D scoliosis classifications in place of apicalAVR, especially in the case of minor curves. Moreover, our results also indicate the need for a discussion and possible reevaluation of the many studies where only apicalAVR was used to describe the rotation component.


Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The author(s) disclosed receipt of the following financial support for the research, authorship, and/or publication of this article: This study was supported by the UNKP-19-3 New National Excellence Program of the Ministry for Innovation and Technology.

ORCID iD

Kristóf József, MD  <https://orcid.org/0000-0002-0369-703X>

References

1. Mehta MH. Radiographic estimation of vertebral rotation in scoliosis. *J Bone Joint Surg Br.* 1973;55:513-520.
2. Perdriolle R, Vidal J. Morphology of scoliosis: three-dimensional evolution. *Orthopedics.* 1987;10:909-915.
3. Stokes IA. Axial rotation component of thoracic scoliosis. *J Orthop Res.* 1989;7:702-708.
4. Marchesi DG, Transfeldt EE, Bradford DS, Heithoff KB. Changes in vertebral rotation after Harrington and Luque instrumentation for idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 1992;17:775-780.
5. Willers U, Transfeldt EE, Hedlund R. The segmental effect of Cotrel-Dubousset instrumentation on vertebral rotation, rib hump and the thoracic cage in idiopathic scoliosis. *Eur Spine J.* 1996;5:387-393.
6. Jankowski PP, Yaszay B, Cidambi KR, Bartley CE, Bastrom TP, Newton PO. The relationship between apical vertebral rotation and truncal rotation in adolescent idiopathic scoliosis using 3D reconstructions. *Spine Deform.* 2018;6:213-219.
7. Ilharreborde B, Sebag G, Skalli W, Mazda K. Adolescent idiopathic scoliosis treated with posteromedial translation: radiologic evaluation with a 3D low-dose system. *Eur Spine J.* 2013;22:2382-2391.
8. Kato S, Debaud C, Zeller RD. Three-dimensional EOS analysis of apical vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop.* 2017;37:e543-e547.
9. Kotwicki T. Sagittal and transversal plane deformity in thoracic scoliosis. *Stud Health Technol Inform.* 2002;91:251-256.
10. Charles YP, Bouchaïb J, Walter A, Schuller S, Sauleau EA, Steib JP. Sagittal balance correction of idiopathic scoliosis using the in situ contouring technique. *Eur Spine J.* 2012;21:1950-1956.
11. Al-Aubaidi Z, Lebel D, Oudjhane K, Zeller R. Three-dimensional imaging of the spine using the EOS system: is it reliable? A comparative study using computed tomography imaging. *J Pediatr Orthop B.* 2013;22:409-412.
12. Illés T, Somoskeöy S. The EOS™ imaging system and its uses in daily orthopaedic practice. *Int Orthop.* 2012;36:1325-1331.
13. Labaki C, Otayek J, Massaad A, et al. Is the apical vertebra the most rotated vertebra in the scoliotic curve? *J Neurosurg Spine.* Published online August 23, 2019. doi:10.3171/2019.6.SPINE19203
14. Konieczny MR, Senyurt H, Krauspe R. Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis. *J Children's Orthop.* 2012;7:3-9.
15. Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, et al. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018;13:3.
16. Pasha S, Capraro A, Cahill PJ, Dormans JP, Flynn JM. Bi-planar spinal stereoradiography of adolescent idiopathic scoliosis: considerations in 3D alignment and functional balance. *Eur Spine J.* 2016;25:3234-3241.
17. Rehm J, Germann T, Akbar M, et al. 3D-modeling of the spine using EOS imaging system: Inter-reader reproducibility and reliability. *PLoS One.* 2017;12:e0171258.
18. Nault ML, Mac-Thiong JM, Roy-Beaudry M, Turgeon I. Three-dimensional spinal morphology can differentiate between progressive and nonprogressive patients with adolescent idiopathic scoliosis at the initial presentation: a prospective study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014;39:E601-E606.
19. Cobetto N, Aubin CÉ, Parent S, Barchi S, Turgeon I, Labelle H. 3D correction of AIS in braces designed using CAD/CAM and FEM: a randomized controlled trial. *Scoliosis Spinal Disord.* 2017;12:24.
20. Sangole AP, Aubin CE, Labelle H, et al. Three-dimensional classification of thoracic scoliotic curves. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009;34:91-99.
21. Kadoury S, Labelle H. Classification of three-dimensional thoracic deformities in adolescent idiopathic scoliosis from a multivariate analysis. *Eur Spine J.* 2012;21:40-49.
22. Pankowski R, Roclawski M, Ceynowa M, Mikulicz M, Mazurek T, Kloc W. Direct vertebral rotation versus single concave rod rotation: low-dose intraoperative computed tomography evaluation of spine derotation in adolescent idiopathic scoliosis surgery. *Spine (Phila Pa 1976).* 2016;41:864-871.

Gerinckorrektációs műtétek háromdimenziós hatékonysági vizsgálata serdülőkori idiopathiás gerincferdülésben

József Kristóf dr. ■ Márkus István dr. ■ Bogyó Csaba dr.
Tunyogi Csapó Miklós dr. ■ Schlégl Ádám Tibor dr.

Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Ortopédiai Klinika, Pécs

Bevezetés: Nincs egységesen elfogadott álláspont, hogy a serdülőkori idiopathiás gerincferdülés sebészi korrekcióját melyik életkorban optimális elvégezni. Világszerte 11 éves kortól akár (kezeletlen esetben) 50–60 éves korig végeznek fúziós műtétet a betegségben, 63–83%-os átlagos koronális síkú korrekciós hatékonysággal.

Célkitűzés: Célul tűztük ki, hogy felmérjük a gerinckorrektációs műtétek hatékonyságát három dimenzióban, illetve a páciens életkorának függvényében.

Módszerek: A vizsgálatba 23, serdülőkori idiopathiás gerincferdüléssel diagnosztizált beteget (12 fő 17 évnél fiatalabb, 11 fő 17 évnél idősebb) vontunk be. Minden betegnél csavaros derotációt és spondylodesist végeztünk, és a beavatkozás előtt és után EOS 2D/3D felvételeket, majd sterEOS 3D rekonstrukciókat készítettünk. A következő paramétereket számítottuk: Cobb-fok, háti kyphosis, ágyéki lordosis, apicalis csigolyarotáció, maximális csigolyarotáció. A különböző életkorú csoportok közötti különbséget kétmintás t-próbával, illetve Wilcoxon-féle próbával vizsgáltuk.

Eredmények: A gerinckorrektációs műtétek során a koronális síkú eltérést 78,2%-ban (átlagosan 55,1 Cobb-fokról 12,0 Cobb-fokra), az apicalis csigolyarotációt 56,7%-ban (átlagosan 21,0 fokról 9,1 fokra) tudtuk korrigálni. A 17 éves életkor után operált páciensek esetén átlagosan 79,2%-os Cobb-fok-csökkenést értünk el, míg a fiatalabb betegcsoportban 77,0%-ban korrigáltuk a koronális főgörbületet ($p = 0,614$). Az idősebb betegcsoportban szignifikánsan kevésbé sikerült az apicalis csigolyarotáció korrekciója (átlagosan 38,1%; 21,8 fokról 12,4 fokra), mint a fiatalabb pácienseknél (átlagosan 68,5%; 20,2 fokról 6,2 fokra; $p = 0,016$).

Következtetés: Összességében a nemzetközi publikációknak megfelelő korrekciót értünk el. A koronális síkban közel azonos korrekciós hatékonyság figyelhető meg a különböző életkorú betegcsoportok között, a csigolyarotáció azonban 17 éves életkor előtt hatékonyabban korrigálható.

Orv Hetil. 2021; 162(39): 1573–1578.

Kulcsszavak: gerincferdülés, scoliosis, műtét, EOS 2D/3D, apicalis csigolyarotáció

Three-dimensional efficacy of correction surgeries in adolescent idiopathic scoliosis

Introduction: There is no clear recommendation for the optimal age to perform corrective surgery in adolescent idiopathic scoliosis. Fusion surgery is performed from the age of 11 to 50–60 years, with an average coronal plane correction efficiency of 63–83%.

Objective: We aimed to evaluate the effectiveness of correction surgeries in three dimensions in adolescent idiopathic scoliosis. In addition, our objective was to examine the influence of the patient's age on the correction.

Methods: The study included 23 patients with adolescent idiopathic scoliosis (12 patients younger than 17 years, 11 patients older than 17 years). All patients underwent screw-derotation and spondylodesis and underwent EOS 2D/3D imaging before and after the operation, followed by sterEOS 3D reconstructions. The following parameters were calculated: Cobb degree, thoracic kyphosis, lumbar lordosis, apical vertebral rotation, maximal vertebral rotation. Differences between different age groups were examined by paired-sample t-test and Wilcoxon rank sum test.

Results: The mean efficiency of correction surgeries was 78.2% in the coronal plane (from an average of 55.1 Cobb degrees to 12.0 Cobb degrees) and 56.7% in the axial plane (from an average of 21.0 degrees to 9.1 degrees). We achieved an average 79.2% reduction of Cobb angle in patients operated after the age of 17 years, which was 77.0%

in the younger group ($p = 0.614$). Apical vertebral rotation correction was significantly less successful in the elderly group (mean 38.1%; from 21.8 degrees to 12.4 degrees) than in patients operated before the age of 17 years (mean 68.5%; from 20.2 degrees to 6.2 degrees; $p = 0.016$)

Conclusion: We achieved scoliosis correction in line with the international publications. Nearly the same correction efficiency was observed between different age groups of patients in the coronal plane. However, vertebral rotation can be derotated more effectively before the age of 17 years.

Keywords: scoliosis, surgery, EOS 2D/3D, apical vertebral rotation

József K, Márkus I, Bogyó Cs, Tunyogi Csapó M, Schlégl ÁT. [Three-dimensional efficacy of correction surgeries in adolescent idiopathic scoliosis]. *Orv Hetil.* 2021; 162(39): 1573–1578.

(Beérkezett: 2021. február 14.; elfogadva: 2021. március 18.)

Rövidítések

AVR = (axial vertebral rotation) axiális csigolyarotáció; apical-AVR = (apical axial vertebral rotation) apicalis csigolyarotáció; CT = (computed tomography) komputertomográfia; EOS 2D/3D = két- és háromdimenziós, kis dózisu röntgenképal-kotás; maxAVR = (maximal axial vertebral rotation) maximális csigolyarotáció; TKP = Tématerületi Kiválósági Program

A serdülőkori idiopathiás gerincferdülés a 10–18 éves életkorban megjelenő, a teljes populáció 1–3%-át érintő gerincdeformitás [1]. A koronális és sagittalis mellett transzverzális síkú deformáció is megjelenik, ami a betegség háromdimenziós természetét adja [2]. A gerincdeformitás mértékét anteroposterior teljes gerinc-röntgenfelvételeken hagyományosan a Cobb-módszerrel határozzuk meg, amely a görbületet alkotó végcsigolyák zárólemezeire vetített merőlegesek kiegészítő szögét jelenti [3]. A betegség diagnosztikájában egyre inkább előtérbe kerül az EOS 2D/3D képal-kotás, amely alacsony sugárterhelés mellett, álló testhelyzetben, 3D rekonstrukcióra alkalmas kétsíkú röntgentechnika [4]. A műtéti indikációt a biológiai érettséget is figyelembe véve alapvetően a 45–50 Cobb-fok feletti súlyos görbületek jelentik [5].

A műtét elvégzéséhez optimális életkorra nincs egyértelmű ajánlás. *Bao és mtsai* 13 éves életkor alatti, Risser 0-ás csontérettségű pácienseknél is végeztek gerincfúziót [6]. A korai műtét átlagosan 2–3 cm-rel alacsonyabb gerincmagasságot eredményezett, a biológiai érettebb betegcsoporttal összevetve. *Lonner és mtsai* ezzel ellentétben olyan, serdülőkorban kialakult gerincferdüléssel diagnosztizált betegeket vizsgáltak, akiknél felnőttként, átlagosan 43 éves korban történt a fúziós műtét. Megállapításaik szerint a később végzett gerinckorrekció hosszabb műtéti idővel, nagyobb komplikációs rátával és több szegmentumra kiterjedő fúzióval járt a serdülőkorban elvégzett beavatkozásokhoz képest [7]. *Deviren és mtsai* a páciens életkorának növekedésével a görbületi rugalmasság csökkenését mutatták ki [8].

A műtéti eredményesség meghatározásában központi szerepet játszik a koronális síkú korrekciós hatékonyság felmérése, amelynek során a műtéttel elért Cobb-fokcsökkenést adjuk meg a műtét előtti Cobb-fok százalékában [9]. Az arany standardként használt transpedicularis csavaros implantátumok használatával *Jaquith és mtsai* 73%-os koronális síkú korrekciós hatékonyságot értek el [10]. A korrekció mértékét számos faktor befolyásolhatja (például a gerincmobilitás, osteotomiák, csavarok száma), amelyek figyelembevételével 63–83%-os átlagos koronális korrekciós hatékonyság található a szakirodalomban [11, 12].

A gerincdeformitások sagittalis síkú elemzése és esetleges korrekciója szintén fontos tényező, hiszen az esetleges nyílirányú kiegyensúlyozatlanság jelentős negatív hatással van a páciensek életminőségére [13]. A serdülőkori scoliosisos esetek többségére jellemző háti hypokyphosist a korrekciós műtétek pozitív irányban képesek befolyásolni [11, 14].

Az axiális síkban történő korrekció kiemelt fontosságú, hiszen a műtétet követő esetleges nagymértékű residuális bordadeformitás jelentős hatással van a posztoperatív életminőségre [15]. *Ilharreborde és mtsai* műtétet követően az apicalis csigolyarotáció (apicalAVR) átlagosan 48,3%-os csökkenését mérték EOS 2D/3D módszerrel [16]. Az ezt megelőző megbízhatósági vizsgálatok során a műtét előtt és után mért EOS 3D paraméterek reprodukálhatósága egyaránt jónak bizonyult [17].

Célkitűzés

Vizsgálatunk célja a kutatócsoportunk által végzett gerinckorrekciós műtétek hatékonyságának meghatározása volt EOS 2D/3D képal-kotás segítségével serdülőkori idiopathiás gerincferdülésben. Emellett célul tűztük ki a páciensek életkor befolyásoló szerepének vizsgálatát a korrekciós hatékonyságra.

Módszerek

Betegpopuláció

Az intézményi etikai engedélyezést követően prospektív betegregisztert hoztunk létre. A regiszterbe beválasztottunk minden olyan páciens, akinél műtéti indikációt elérő serdülőkori idiopathiás gerincferdülés igazolódott. Kizártuk a vizsgálatból azokat a betegeket, akiknél ismert eredetű volt a gerincferdülés, 10 éves kor előtt alakult ki gerincgörbületük, nem volt műtéti indikáció vagy történt megelőző gerincműtét, illetve volt társuló mozgásszervi megbetegedésük. Emellett kizártuk a vizsgálatból azon pácienseket, akiknél nem történt műtét előtti vagy közvetlen műtét utáni EOS 2D/3D képalkotás.

A beválasztott 23 beteg gerinckorrekciós műtétjét 2019–2020 folyamán végeztük el. Átlagéletkoruk 17,2 év volt a műtét napján. 12 páciens volt 17 év alatti, 11 fő 17 évnél idősebb. Görbületi súlyosságuk átlagosan 55,1 Cobb-fok volt. A páciensek *Lenke*-klasszifikáció szerinti beosztását az 1. táblázatban tüntettük fel [18]. A betegpopuláció 20 leányt és 3 fiút számlált, ami megfelel az operatív esetek nemzetközi irodalomban megfigyelt nemi eloszlásának [19].

Korrekciós műtét

A műtét során az arany standardnak számító transpedicularis csavarozással végzett derotációs korrekció és azt követő spondylodesis történt [20]. A korrekciós manőverek betegspecifikusan magukban foglalták a rüdderotáció, transláció-disztrakció, kompresszió, *in situ* rúdhajlítás, direkt csigolyaderotáció alapelveit, szükség esetén osteotomiákkal kiegészítve [21]. Minden alkalommal a konkáv oldalon króm-kobalt ötvözetű, míg a konvex oldalon titán rúdimplantátumot használtunk. A műtéti idő átlagosan 436 ± 124 perc volt, a vérvesztés 1437 ± 597 ml.

EOS 2D/3D képalkotás

A prospektív regiszterünkbe került betegekről műtét előtt maximum 1 hónappal és a műtét utáni 5. napon EOS 2D/3D képalkotás történt. Az álló testhelyzetű, alacsony sugárterheléssel járó vizsgálat speciális „knuckles on clavicles” pozícióban történt, hogy lehetőség legyen a pontos 3D rekonstrukcióra. A pozíció lényege, hogy a váll 45 fokos flexiójával az ujjbegyek a kulcscsontot érintik, ezáltal a felső végtagok oldalképen sem takarják a gerincoszlopot [22].

A kétsíkú röntgenképek alapján a háti és a lumbalis gerinc, illetve a medence 3D rekonstrukciója készült a streEOS szoftver (V1.4.4.5297, EOS Imaging Ltd., Párizs, Franciaország) segítségével. A 3D rekonstrukció során anatómiai referenciapontok alapján (például sacrumplató) egy kezdeti modell keletkezik, amelyet egy operátor tökéletesít az adott páciens tényleges csontmorfológiájának megfelelően. Az így létrejött 3D mo-

1. táblázat | A kiválasztott betegek *Lenke*-klasszifikáció szerinti beosztása

Lenke-főcsoport	A páciensek száma (fő)
1. Szimpla háti görbület	6
2. Kettős háti görbület	1
3. Háti főgörbület ágyéki kiegészítő görbülettel	8
4. Három görbület	1
5. Szimpla ágyéki görbület	4
6. Ágyéki főgörbület háti kiegészítő görbülettel	3
Összesen	23

dell alapján számított mérőszámok megbízhatósága CT-vizsgálatokkal összevetve is bizonyított [23].

A 3D modell alapján a sterEOS szoftver automatikusan kiszámítja többek között a következő gerincparamétereket: Cobb-fok, Th. I.–Th. XII. kyphosis, Th. IV.–Th. XII. kyphosis, L. I.–L. V. lordosis, L. I.–S. I. lordosis, axiális csigolyarotáció (AVR) a Th. I.–L. V. csigolyákra. Az axiális csigolyarotációk adatsorából meghatároztuk az apicalAVR és a maximális csigolyarotáció (maxAVR) értékeit [24].

Statisztikai analízis

A statisztikai analízist SPSS v.23 (IBM Corp., Armonk, NY, Amerikai Egyesült Államok) szoftverrel végeztük.

Az adatsorok normáloszlásának vizsgálatához Shapiro–Wilk-tesztet alkalmaztunk, amely alapján kétmintás t-próbával, illetve Wilcoxon-féle próbával vizsgáltuk az adatsorok közti különbségeket. Az eredményeket $p < 0,05$ értékeknél tekintettük szignifikánsnak.

Eredmények

A műtét előtti koronális, axiális, illetve sagittális gerincparaméterekhez képest a közvetlen posztoperatív eredményeket a 2. táblázatban tüntettük fel. A főgörbületben koronális síkban Cobb szerint 78,2%-os műtéti korrekciót értünk el (átlagosan 55,1 Cobb-fokról 12,0 Cobb-fokra), míg az axiális síkban mérési módszertől függően 56,7%-ban (apicalAVR átlagosan 21,0 fokról 9,1 fokra), illetve 55,2%-ban (maxAVR átlagosan 24,1 fokról 10,8 fokra) korrigáltuk a gerincgörbületeket. Az axiális síkú paraméterek műtét előtti és utáni egymáshoz viszonyított értékeit a 3. táblázatban részleteztük.

Tapasztalataink szerint a serdülőkor végén, a 17 éves életkort elérve betegeink többségének gerincdeformitása rugalmatlanná válik. Ezt a megfigyelést alátámasztva, a műtét pillanatában 17 éves életkornál találtunk minőségi különbséget a műtéti eredményeinkben. A 17 éves kor után operált páciensek esetén a 17 évesnél fiatalabbakkal közel azonos koronális görbületi korrekciót értünk el (átlagosan 79,2% vs. 77,0%; $p = 0,614$), azonban szignifikánsan kevésbé sikerült a gerincgörbületek derotációja (apicalAVR-korrekció átlagosan 38,1% vs. 68,5%; $p =$

2. táblázat | A koronális, sagittális és axiális gerincparaméterek pre- és posztoperatív értékei (átlag ± szórás), a közöttük lévő különbség p-értékeivel. A szignifikáns p-értékek *-gal vannak jelölve

Paraméter	Műtét előtt	Műtét után	p-érték
Főgörbületi Cobb-fok	55,1 ± 0,8°	12,0 ± 5,9°	p<0,001*
Főgörbületi apicalAVR	21,0 ± 7,3°	9,1 ± 5,7°	p<0,001*
Főgörbületi maxAVR	24,1 ± 8,0°	10,8 ± 6,2°	p<0,001*
Kiegészítő görbületi Cobb-fok	42,7 ± 7,7°	13,8 ± 6,1°	p<0,001*
Kiegészítő görbületi apicalAVR	10,3 ± 5,0°	7,8 ± 0,2°	p = 0,133
Kiegészítő görbületi maxAVR	12,4 ± 4,5°	10,0 ± 4,0°	p = 0,072
Th. I.–Th. XII. kyphosis	29,6 ± 13,4°	32,9 ± 9,7°	p = 0,117
Th. IV.–Th. XII. kyphosis	24,9 ± 12,6°	24,9 ± 7,9°	p = 0,971
L. I.–L. V. lordosis	46,0 ± 11,5°	41,7 ± 8,9°	p = 0,048*
L. I.–S. I. lordosis	53,0 ± 14,2°	49,5 ± 10,3°	p = 0,158

apicalAVR = apicalis csigolyarotáció; maxAVR = maximális csigolyarotáció

3. táblázat | Az axiális gerincparaméterek egymáshoz viszonyított értékei (átlag ± szórás), a közöttük lévő különbség p-értékeivel. A szignifikáns p-értékek *-gal vannak jelölve

	apicalAVR	maxAVR	p-érték
Főgörbületben műtét előtt	21,0 ± 7,3°	24,1 ± 8,0°	p<0,001*
Főgörbületben műtét után	9,1 ± 5,7°	10,8 ± 6,2°	p<0,001*
Kiegészítő görbületben műtét előtt	10,3 ± 5,0°	12,4 ± 4,5°	p = 0,003*
Kiegészítő görbületben műtét után	7,8 ± 4,2°	10,0 ± 4,0°	p = 0,004*

apicalAVR = apicalis csigolyarotáció; maxAVR = maximális csigolyarotáció

0,016, illetve maxAVR-korrektció átlagosan 42,4% vs. 64,4%; p = 0,020). A két korcsoport közti különbségeket a 4. táblázatban tüntettük fel.

Megbeszélés

Vizsgálatunk során idiopathiás serdülőkori gerincferdülés műtétje előtti és utáni EOS 2D/3D röntgenképeket elemeztünk. A gerinc és a medence 3D rekonstrukcióinak elemzésével átlagosan 78,2%-os koronális síkú műteti hatékonyságot mértünk, ami megfelel a szakirodalomban található értékeknek [25]. Klinikailag szignifikáns, több mint 10%-os korrekciós hatékonysági különbséget találtunk a korábbi műteti technikához képest [26]. Az irodalmi adatoknál enyhébb hypokyphosist tapasztaltunk (normokyphosis) pácienseink preoperatív értékeiben, amelyre a műteti korrekció nem volt jelentős hatással [11, 14]. Az L. I. és L. V. csigolyák között mért ágyéki lordosis tekintetében statisztikailag szignifikáns különbséget találtunk a műtét előtti és utáni értékeket

4. táblázat | A koronális és axiális műteti korrekció mértéke, illetve a koronális és axiális gerincparaméterek értéke a főgörbületben a 17 éves életkor előtt és után megoperált betegcsoportokban (átlag ± szórás), a közöttük lévő különbség p-értékeivel. A szignifikáns p-értékek *-gal vannak jelölve

Paraméter	17 éves kor alatt	17 éves kor felett	p-érték
Főgörbületben preoperatív Cobb-fok	56,7 ± 10,5°	53,3 ± 9,1°	p = 0,413
Főgörbületben posztoperatív Cobb-fok	12,6 ± 6,1°	11,3 ± 5,8°	p = 0,605
Főgörbületi Cobb-fok-korrektció	77,0 ± 11,8%	79,2 ± 9,1%	p = 0,614
Főgörbületben preoperatív apicalAVR	20,2 ± 7,1°	21,8 ± 7,8°	p = 0,610
Főgörbületben posztoperatív apicalAVR	6,2 ± 3,7°	12,4 ± 5,7°	p = 0,005*
Főgörbületi apicalAVR-korrektció	68,5 ± 18,3%	38,1 ± 35,1%	p = 0,016*
Főgörbületben preoperatív maxAVR	23,2 ± 8,3°	25,1 ± 7,9°	p = 0,576
Főgörbületben posztoperatív maxAVR	7,7 ± 3,9°	14,1 ± 6,7°	p = 0,009*
Főgörbületi maxAVR-korrektció	64,4 ± 16,9%	42,4 ± 0,8%	p = 0,020*

apicalAVR = apicalis csigolyarotáció; maxAVR = maximális csigolyarotáció

összevetve. Ez a néhány fokal különbség véleményünk szerint klinikailag nem releváns.

Két különböző módszerrel vizsgáltunk axiális csigolyarotációs szempontú műteti hatékonyságot. Az elterjedtebb apicalAVR-alapú vizsgálattal 56,7%-os derotációs hatékonyságot értünk el, amely érdemben megegyezik a szakirodalmi adatokkal [27]. A scoliosis axiális dimenzióját teljeskörűbben leíró maxAVR szerinti módszerrel 55,2%-os derotációs sikerességet mértünk [24]. A két módszer százalékos végeredményében azért nem érzékelhető érdemi különbség, mert a maxAVR az apicalAVR-nél szignifikánsan magasabb volt a preoperatív és a posztoperatív esetekben is, kiegyenlítve a kettőből számított műteti hatékonyság mértékét. Ebből következően mindkét módszer alkalmas az axiális síkú műteti hatékonyság értékelésére, megjegyezve azonban, hogy a maxAVR pre- és posztoperatív vizsgálatokban is kimutathatóan magasabb értékű.

Nem találtunk érdemi különbséget a 17 éves életkor előtt, illetve után operált pácienseink között a koronális korrekciós hatékonyság szempontjából, a fiatalabb korcsoportban azonban szignifikánsan magasabb derotációs hatékonyságot értünk el. A vizsgálatunkhoz hasonló életkori csoportok között *Zhu és mtsai* szignifikáns, átlagosan 8 Cobb-fokos különbséget találtak a korrekciós hatékonyságban, amelyet eredményeink nem támasztanak alá [28]. Az axiális síkú korrekció fontosságát jelzi, hogy a műtétet követő nagymértékű residualis bordadeformitás jelentős hatással van a posztoperatív életminőségre [15]. Rotációs szempontból *Huitema és mtsai*

vizsgáltak 21 év alatt és felett elülső fúziós műtéten át-
 esett pácienseket. A fiatalabb korcsoportban átlagosan 3
 fokkal hatékonyabb derotációt értek el (26-ról 11 fokra
 vs. 33-ról 21 fokra) [9]. Eredményeikhez képest vizsgá-
 latunkban magasabb derotációs hatékonysági különbsé-
 get tapasztaltunk a fiatalabb korcsoport javára. Meg-
 jegyeznénk azonban, hogy a hivatkozott holland
 vizsgálatban különbség volt az életkori csoportosításban,
 illetve a műtéttechnikában is, ezért a két vizsgálat össze-
 vetése limitált.

A vizsgálatba bevont 23 fő elegendőnek bizonyult a
 klinikailag szignifikáns különbségek kimutatására, ered-
 ményeinket azonban limitálja a viszonylag alacsony eset-
 szám. Utólagos statisztikaerő-vizsgálattal a korcsoport-
 bontások esetén tapasztaltunk 80–90%-os értékeket, a
 többi eredményünk statisztikai ereje 99% feletti volt. To-
 vábbi korlátozó tényező a beválasztott páciensek eltérő
 Lenke-klasszifikációja (1. táblázat), amely miatt nem
 standardizálható a betegpopuláció. A különböző típusú
 gerincdeformitások azonban lehetőséget adnak a serdül-
 lőkori gerincferdülések esetek teljes spektrumának érté-
 kelésére, aminek következtében eredményeink általáno-
 san hasznosíthatók.

Következtetés

A kutatócsoportunk által végzett műtéti korrekciók ha-
 tékonysága a deformitás mindhárom dimenziójában
 vizsgálva megfelel a nemzetközi irányadó értékeknek.
 Sikertelen bizonyítanunk a korábbi életkorban végzett ge-
 rinckorrekciós műtétek nagyobb hatékonyságát, elsősor-
 ban az axiális gerincparaméterek tekintetében. Eredmé-
 nyeink alapján kijelenthető, hogy rotációs szempontból
 ajánlott 17 éves életkor előtt elvégezni a gerinckorrekci-
 ós műtétet serdülőkori idiopathiás gerincferdülésben.

Anyagi támogatás: A tanulmány a 2020–4.1.1-TKP2020.
 számú pályázat támogatásával készült.

Szerzői munkamegosztás: J. K.: Etikai engedélyeztetés,
 adatgyűjtés, statisztikai elemzés, a kézirat elkészítése.
 M. I.: EOS 2D/3D teljes gerincképfeltöltés pre- és poszt-
 operatív elvégzése, műtétek végzése. B. Cs.: A vizsgálati
 adminisztráció felügyelete, a betegek tájékoztatása, a be-
 leegyező nyilatkozatok kitöltése, műtétek végzése.
 T. Cs. M.: A műtéti javallatok felügyelete, a műtéti pro-
 tokollok standardizálása, műtétek végzése, S. Á. T.: Viz-
 gálatvezető, koordináló. A cikk végleges változatát vala-
 mennyi szerző elolvasta és jóváhagyta.

Érdekltségek: A szerzőknek nincsenek érdekltségeik.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk *Wesz Adriennek* és a Pécsi Tudományegyetem
 Orvosi Képző Központjának a vizsgálatban nyújtott segítségért.

Irodalom

- [1] Weinstein SL, Dolan LA, Cheng JC, et al. Adolescent idiopathic scoliosis. *Lancet* 2008; 371: 1527–1537.
- [2] Kadoury S, Labelle H. Classification of three-dimensional thoracic deformities in adolescent idiopathic scoliosis from a multivariate analysis. *Eur Spine J.* 2012; 21: 40–49.
- [3] Pruijs JE, Hageman MA, Keessen W, et al. Variation in Cobb angle measurements in scoliosis. *Skeletal Radiol.* 1994; 23: 517–520.
- [4] Pasha S, Cahill PJ, Dormans JP, et al. Characterizing the differences between the 2D and 3D measurements of spine in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J.* 2016; 25: 3137–3145.
- [5] Lonstein, JE. Scoliosis: surgical versus nonsurgical treatment. *Clin Orthop Relat Res.* 2006; 443: 248–259.
- [6] Bao H, Liu Z, Bao M, et al. Predicted final spinal height in patients with adolescent idiopathic scoliosis can be achieved by surgery regardless of maturity status. *Bone Joint J.* 2018; 100-B: 1372–1376.
- [7] Lonner BS, Ren Y, Bess S, et al. Surgery for the adolescent idiopathic scoliosis patients after skeletal maturity: early versus late surgery. *Spine Deform.* 2019; 7: 84–92.
- [8] Deviren V, Berven S, Kleinstueck F, et al. Predictors of flexibility and pain patterns in thoracolumbar and lumbar idiopathic scoliosis. *Spine* 2002; 27: 2346–2349.
- [9] Huitema GC, Jansen RC, Ooji A, et al. Predictability of spontaneous thoracic curve correction after anterior thoracolumbar correction and fusion in adolescent idiopathic scoliosis. A retrospective study on a consecutive series of 29 patients with a minimum follow-up of 2 years. *Spine J.* 2015; 15: 966–970.
- [10] Jaquith BP, Chase A, Flinn P, et al. Screws versus hooks: implant cost and deformity correction in adolescent idiopathic scoliosis. *J Child Orthop.* 2012; 6: 137–143.
- [11] Sudo H, Abe Y, Kokabu T, et al. Impact of multilevel facetectomy and rod curvature on anatomical spinal reconstruction in thoracic adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 2018; 43: E1135–E1142.
- [12] Li Y, Yang C, Zhu X, et al. Analysis of correlation between regional implant density and the correction rate in treatment of Lenke 1A and 1B adolescent idiopathic scoliosis with pedicle screws. *Medicine* 2018; 97: e9488.
- [13] Ilharberborde B. Sagittal balance and idiopathic scoliosis: does final sagittal alignment influence outcomes, degeneration rate or failure rate? *Eur Spine J.* 2018; 27(Suppl 1): 48–58.
- [14] Newton PO, Fujimori T, Doan J, et al. Defining the “three-dimensional sagittal plane” in thoracic adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 2015; 97: 1694–1701.
- [15] Mariconda M, Andolfi C, Cerbasi S, et al. Effect of surgical correction of adolescent idiopathic scoliosis on the quality of life: a prospective study with a minimum 5-year follow-up. *Eur Spine J.* 2016; 25: 3331–3340.
- [16] Ilharberborde B, Sebag G, Skalli W, et al. Adolescent idiopathic scoliosis treated with posteromedial translation: radiologic evaluation with a 3D low-dose system. *Eur Spine J.* 2013; 22: 2382–2391.
- [17] Ilharberborde B, Steffen JS, Nectoux E, et al. Angle measurement reproducibility using EOS three-dimensional reconstructions in adolescent idiopathic scoliosis treated by posterior instrumentation. *Spine* 2011; 36: E1306–E1313.
- [18] Lenke LG, Betz RR, Harms J, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am.* 2001; 83: 1169–1181.
- [19] Morais T, Bernier M, Turcotte F. Age- and sex-specific prevalence of scoliosis and the value of school screening programs. *Am J Public Health* 1985; 75: 1377–1380.
- [20] Liljenqvist UR, Halm HF, Link TM. Pedicle screw instrumentation of the thoracic spine in idiopathic scoliosis. *Spine* 1997; 22: 2239–2245.

- [21] Lee SM, Suk SI, Chung ER. Direct vertebral rotation: a new technique of three-dimensional deformity correction with segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 2004; 29: 343–349.
- [22] Pasha S, Capraro A, Cahill PJ, et al. Bi-planar spinal stereoradiography of adolescent idiopathic scoliosis: considerations in 3D alignment and functional balance. *Eur Spine J.* 2016; 25: 3234–3241.
- [23] Glaser DA, Doan J, Newton PO. Comparison of 3-dimensional spinal reconstruction accuracy: biplanar radiographs with EOS *versus* computed tomography. *Spine* 2012; 37: 1391–1397.
- [24] József K, Schlégl ÁT, Burkus M, et al. Maximal axial vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis: is the apical vertebra the most rotated? *Global Spine J.* 2020 Sep 16. Doi: 10.1177/2192568220948830. [Epub ahead of print]
- [25] Lowenstein JE, Matsumoto H, Vitale MG, et al. Coronal and sagittal plane correction in adolescent idiopathic scoliosis: a comparison between all pedicle screw *versus* hybrid thoracic hook lumbar screw constructs. *Spine* 2007; 32: 448–452.
- [26] Illés ST. Reckoning: assessment of a 21-year activity is spine surgery. [Számvetés: 21 éves gerincsebészeti tevékenység mérlege.] *Orv Hetil.* 2015; 156: 598–607. [Hungarian]
- [27] Kato S, Debaud C, Zeller RD. Three-dimensional EOS analysis of apical vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop.* 2017; 37: e543–e547.
- [28] Zhu F, Bao H, Yan P, et al. Comparison of surgical outcome of adolescent idiopathic scoliosis and young adult idiopathic scoliosis: a match-pair analysis of 160 patients. *Spine* 2017; 42: E1133–E1139.

(József Kristóf dr.,
Nagyatád, Kolozsvári u. 49., 7500
e-mail: kristof.jozsef@bhc.hu)

PÁLYÁZATI FELHÍVÁS

Gyöngyös Városi Önkormányzat pályázatot hirdet Fogorvosi feladatok ellátására

Gyöngyös városában, vállalkozási formában, határozatlan időre szóló feladatellátási szerződés keretében a gyöngyösi II. számú fogorvosi körzetben, a Nemzeti Egészségbiztosítási Alapkezelő által kötött szerződés szerinti finanszírozással.

Pályázati feltételek, pályázat benyújtásához mellékelendő iratok:

- fogorvosi képesítés,
- részletes szakmai önéletrajz,
- végzettséget igazoló okmányok másolata,
- OONYP másolata,
- 3 hónapnál nem régebbi erkölcsi bizonyítvány,
- MOK tagság igazolása,
- hozzájárulás a pályázati anyag elbírálásában résztvevők betekintés jogához.

Előnyben részesül a fogsabályozó szakvizsgával rendelkező pályázó, vagy utolsó éves jelölt a fogsabályozó szakképzésben.

A pályázat benyújtásának határideje: az Orvosi Hetilapban történő felhívás megjelenésétől számított 30 nap.

A pályázat elbírálásának határideje: a benyújtási határidőt követő soros Képviselő-testületi ülés.

A pályázat benyújtásának módja:

- postai úton, a pályázatnak a Gyöngyös Városi Önkormányzat, Hiesz György polgármester részére (3200 Gyöngyös, Fő tér 13.) történő megküldésével,
- a kizárólag elektronikus úton történő jelentkezés érvénytelennek minősül.

A feladat ellátásának időpontja: a feladat a döntés meghozatalától számított 2 hónap elteltével látható el.

További felvilágosítás kérhető: Gyöngyösi Közös Önkormányzati Hivatal Közigazgatási és Intézményirányítási Igazgatóság: dr. Horváth Gábor igazgatótól a 06–37/510-329 telefonon, illetve Nagyné Szakál Mária egészségügyi referenstől a 37/510–353 telefonon vagy személyesen előzetes időpont- egyeztetést követően.

PÁLYÁZATI FELHÍVÁS

Gyöngyös Városi Önkormányzat pályázatot hirdet Fogsabályozási feladatok ellátására

Gyöngyös városában, vállalkozási formában, határozatlan időre szóló feladatellátási szerződés keretében heti 16 órában, a Nemzeti Egészségbiztosítási Alapkezelő által kötött szerződés szerinti finanszírozással.

Pályázati feltételek:

- fogorvosi képesítés fogsabályozó fogorvos szakvizsgával, vagy utolsó éves jelölt a szakképzésben,
- részletes szakmai önéletrajz,
- végzettséget igazoló okmányok másolata,
- OONYP másolata,
- 3 hónapnál nem régebbi erkölcsi bizonyítvány,
- hozzájárulás a pályázati anyag elbírálásában résztvevők betekintési jogához.

A pályázat benyújtásának határideje: az Orvosi Hetilapban történő felhívás megjelenésétől számított 30 nap.

A pályázat elbírálásának határideje: a benyújtási határidőt követő soros Képviselő-testületi ülés.

A pályázat benyújtásának módja:

- postai úton, a pályázatnak a Gyöngyös Város Önkormányzata, Hiesz György polgármester részére (3200 Gyöngyös, Fő tér 13.) történő megküldésével,
- a kizárólag elektronikus úton történő jelentkezés érvénytelennek minősül.

A feladat ellátásának időpontja: a feladat a szerződéskötést követően azonnal ellátható.

További felvilágosítás kérhető: Gyöngyösi Közös Önkormányzati Hivatal Közigazgatási és Intézményirányítási Igazgatóság: dr. Horváth Gábor igazgatótól a 06–37/510–329 telefonon, Nagyné Szakál Mária egészségügyi referenstől a 37/510–353 telefonon vagy személyesen előzetes időpont- egyeztetést követően.