Biomechanica Hungarica VIII. évfolyam, 2. szám

GERINCALAK MATEMATIKAI LEÍRÁSA IN-VIVO ELEKTROMÁGNES- ÉS ULTRAHANG-ALAPÚ MÉRÉSI EREDMÉNYEK FELHASZNÁLÁSÁVAL

Jáger Bence[1], Kristóf Tamás[2], Takács Mária[3], Tamás Péter[2], Kiss Rita M[2]

[1] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek Tanszék
[2] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék
[3] MÁV Kórház és Rendelőintézet, Ortopédiai Osztály, Szolnok
jager.bence@epito.bme.hu
DOI: 10.17489/biohun/2015/2/01

Absztrakt

A gerincalak meghatározásának legrégebbi és legpontosabb módja a kétirányú röntgenfelvételek készítése, mely magas sugárterhelése miatt súlyos elváltozások esetén is csak évente egyszer végezhető el. A gerinc elváltozások konzervatív kezelése esetén elengedhetetlen a folyamatos ellenőrzés, így különböző optikai- (Moiré módszer), elektromágnes- (Spinal Mouse), vagy ultrahang-alapú (Zebris) in-vivo mérőeszközök jelentek meg, amelyekkel a gerinc alakja megfelelő pontossággal felvehető sugárterhelés nélkül. A nem-invazív gerincvizsgáló módszerekkel végzett vizsgálatok irodalomban található eredményeinek értékelése alapján megállapítható, hogy a gerincalakot a térbeli koordinátákra illesztett Fourier, vagy spline-görbék egyenletével, vagy a görbékből származtatott, a gerinc görbületeit jellemző szögekkel jellemezhetjük. 73 páciens – 9 és 13 év közötti egészséges gyermek – Zebris és SpinalTouch rendszerrel felvett mérési eredményeinek kiértékelése alapján megállapítható, hogy mindkét módszerrel felvett görbékből számított görbületet jellemző szögértékek magas korrelációt (0,82-0,96) mutatnak a hagyományos módszerrel felvettekkel. Ez azt mutatja, hogy a gerincalak matematikai egyenlettel történő leírása jól használható.

Kulcsszavak: gerinc, gerincalak, spline, Fourier-görbeillesztés

Mathematical description of the human spine using the results of in-vivo electromagnetic- and ultrasound-based measurements

Abstract

The oldest and most accurate way of determining the shape of the spine is to make X-rays from two different ways, which can be performed once a year even in serious diseases, due to its high radiation exposure. However, in case of conservative treatment of spinal disorders, continuous monitoring is necessary, thus different in-vivo methods are being developed, like optical (Moiré method), electromagnetic (Spinal Mouse) and ultrasound based (Zebris) measuring devices, which can record the shape of spine without radiation exposure. Based on the results of previous studies, which examined non-invasive spine measurement methods, it seems appropriate to characterize the spinal curvature by the equations of Fourier or spline curves fitted on the spatial coordinates of the spine or by the angles characterizing the spinal curvatures, derived from these curves. Zebris and SpinalTouch measurements of 73 patients – healthy, aged between 9 and 13 – were the basis of the comparison. According to the results, the angles characterizing the thoracic and lumbar curvatures derived from the curves shows a high correlation (0.82 – 0.96) with the angles calculated with the traditional method. This shows, that the mathematical description of the spine can be used as an alternative method.

Keywords: spine, spine shape, spline, Fourier-fitting

1. Bevezetés

A gyermekek tartásának rendszeres állapotfelmérése a későbbi strukturális és nem strukturális gerinc-elváltozások megelőzésében elengedhetetlen. A vizsgálatok célja a diagnózis felállításának segítése, majd a kezelések hatásának folyamatos ellenőrzése. A gerincalak meghatározásának a legegyszerűbb és legpontosabb módja a röntgenfelvétel készítése, melyekről a gerinc görbületeit jellemző Cobb-fokok[1] meghatározhatóak. Az eddigi statisztikák azt mutatják, hogy nők esetében 25-49 elvégzett röntgenvizsgálat után – beleértve a mellrák szűrést is – 1,4-szer nagyobb esély van a mellrákban való elhalálozásnak, mint 25-nél kevesebb elvégzett röntgenvizsgálat esetén; továbbá 2,7-szer nagyobb esély van a mellrákban való elhalálozásnak, ha több mint 50-szer végeztek röntgenvizsgálatot a páciensen.[2] Ezen kockázati tényezők miatt röntgenfelvétel csak évente készíthető, 2014-ben a Nemzetközi Scoliosis Ortopédiai és Rehabilitációs Kezelési Társaság (SOSORT) konszenzusként elfogadta, hogy a röntgenvizsgálatok számát csökkenteni kell. Egyes elváltozások (hanyagtartás, lapos hát) esetén a röntgensugárzással járó vizsgálatokat a kezelési protokollok nem engedik. Ezekben az esetekben a gerinc alakját jellemző paraméterek meghatározására noninvazív, sugárzásmentes mérések szükségesek.

Napjainkban számos nem-invazív gerincvizsgálati eszköz áll rendelkezésre (Moiré módszer, flexicurve, inclinométer, kyphométer, goniométer, arcométer, 3SPACE, stb.). Kutatásunkban a gerincalak meghatározására az ultrahang-alapú Zebris CMS-HS (Zebris Medizintechnik GmbH, Isny, Németország) és SpinalTouch (Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék, BME) rendszereket alkalmaztuk. A Zebris és SpinalMouse rendszerek verifikálása, megbízhatóságának vizsgálata az irodalomban található.[3-9]

Az eddigi vizsgálatok során a gerinc alakján a különböző módon meghatározott háti kyphosis (Thoracic Kyphosis – TK) és ágyéki lordosis (Lumbalis Lordosis – LL) szögek összehasonlítását végezték.[1-4] Az eddigi kutatások nem használták ki azt a lehetőséget, hogy méréseik során a gerinc több pontjának térbeli koordinátája is rendelkezésre áll. Kutatásunkban a gerinc alakját leíró egyenletek paramétereit a gerinc közel 100 pontjának térbeli koordinátáit felhasználva Fourier és spline módszerrel határoztuk meg. Feltételezésünk, hogy ezzel a módszerrel a gerinc alakja pontosabban jellemezhető, mint a két szög (TK, LL) értékével.

2. Elméleti alapok – a Fourier és spline illesztés

A gerinc alakjának matematikai leírására a Zebris és SpinalTouch rendszerek által mért térbeli koordinátákra Fourier és spline módszerrel görbéket illesztettünk.

A Fourier-illesztés alkalmazásakor a gerinc alakját (nemlineáris legkisebb négyzetek módszerével) a következő formában keressük:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot \cos(nwx) + b_i \cdot \sin(nwx) \quad (1)$$

A spline illesztése során egy peremérték feladatot kell megoldanunk, ahol az „s" függvény minimalizálja az energia funkcionált:

$$J[s] = \frac{1}{2}\int_a^b s''(x)^2\,dx = \min \quad (2)$$

A kapott szakaszos interpolációs harmadrendű polinom függvény *C2* folytonos az egyes szakaszok kapcsolódási pontjában (kontrollpontok), így a görbe kevésbé oszcilláló. Hátránya, hogy sok ismeretlenes egyenletrendszert kell megoldani, és minden lokális változásnak globális hatása van.

3. Anyag és módszer

3.1. A gerinc alakjának meghatározása

A gerinc alakját jellemző pontok térbeli helyzetének meghatározásához Zebris CMS-HS rendszert (WINSpine alrendszerrel) és SpinalTouch mérőrendszereket használtunk.

A Zebris CMS-HS ultrahang-alapú mérőrendszer három ultrahang-alapú adót tartalmazó mérőfejből, három ultrahang-alapú érzékelő szenzorból, illetve egy két ultrahang vevőt tartalmazó jelölőceruzából áll. A mérőrendszer mérési frekvenciája 100 Hz. A gerinc vonalán C7 nyaki csigolyától az S3 ágyéki csigolyáig végigvezetve a gerincen kb. 100 pont térbeli helyzetét méri és rögzíti.[9] A mért pontokból számítja a tövisnyúlványok térbeli helyzetét, melyből a beépített modul a háti kyphosis (TK) és a lumbalis lordosis (LL) értékét is meghatározza.

A SpinalTouch elektromágnes-alapú mérőrendszer mérési frekvenciája 150 Hz. A gerinc vonalán C7 nyaki csigolyától az S3 ágyéki csigolyáig végigvezetve a gerincen kb. 150 pont térbeli helyzetét méri és rögzíti.[10]

A vizsgálat során a gyermek testtartásának felvételekor fokozottan ügyelni kell arra, hogy a lapocka, a fej, a medence, a vállak, a térdek és a bokák egy frontális síkú, a test középvonalán áthaladó képzeletbeli tengelyre szimmetrikusan illeszkedjenek. A gerinc alakját jellemző térbeli koordinátákat először a Zebris mérőrendszerrel határoztuk meg, majd a testhelyzet korrigálása és megtartása után a Spinal Touch rendszerrel.

3.2. A kiértékelés módszertana

A 3.1. fejezetben leírt mérőrendszerek segítségével meghatározott lépések alapján az egyes páciensek gerincalakját jellemző térbeli koordináták meghatározhatóak. A rendelkezésre álló gerinckoordináták alapján sagittalis síkban a gerincalak jellemezhető a rá illesztett függvény alakjával (együtthatók, görbület, stb.) és a görbék inflexiós pontjaiba húzott érintő vagy „közelítően" érintő egyenesek által bezárt szögekkel (pótszögekkel). Kétdimenziós esetben, azaz sagittalis síkban a gerincalak leginkább az egyes gerinc görbületek – a háti kyphosis és ágyéki lordosis – egy-egy fok dimenziójú értékével jellemezhetjük.

3.2.1. Hagyományos módszer

Zebris mérőrendszer alkalmazása esetén rendelkezésre állnak az egyes gerinccsigolyák tövisnyúlványainak koordinátái is. Ennek segítségével a háti kyphosishoz és ágyéki lordosishoz tartozó szög értékek az orvosi gyakorlatban hagyományosan alkalmazott módszerek (dőlésmutató módszer) alapján is meghatározhatóak az alábbiak alapján.

Bizonyos csigolyákra illesztett egyenesek által bezárt pótszögek meghatározása:

- a sagittalis síkban (nyílirányú középsíkban) a háti kyphosis szögértékét: 1. és 2. háti csigolya tövisnyúlványa, valamint a 11. és 12. háti csigolya tövisnyúlványa által meghatározott egyenesek kiegészítő szögét;
- a sagittalis síkban a lumbalis lordosis szögértékét: 1. és 2. lumbalis csigolya tövisnyúlványa, valamint 4. és 5. lumbalis csigolya tövisnyúlványa által meghatározott egyenesek kiegészítő szögét.

3.2.2. Ötödfokú Fourier-görbére illesztett érintők

Numerikus deriváltak segítségével a görbe inflexiós pontjaiba illesztett érintő egyenesek által bezárt pótszögeket határozzuk meg.

3.2.3. Szomszédos pontokra vett regressziós egyenes

Ebben az esetben a feladat egy szélsőérték keresési feladat, a túlhatározott egyenletrendszerek (három vagy több szomszédos pontra illesztett egyenes) legkisebb négyzetes megoldásainak maximális és minimális meredekségeit keresve az egyenesek által bezárt pótszögeket meghatároztuk. A gerinc alakja az inflexiós pontokba húzott lineáris regressziós egyenesek által bezárt pótszögekkel jellemezhető.

Megjegyzendő, hogy a kutatás során további függvény-illesztési és érintő meghatározási módszereket is vizsgáltunk. A vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy megbízható eredményeket kizárólag a fenti módszerek adnak.

3.3. A vizsgált személyek

A vizsgálatunkba 73 (27 fiú, 46 lány), 10 és 15 év közötti egészséges gyermeket vontunk be. Minden gyermek esetén SpinalTouch eszközzel és Zebris rendszerrel is elvégeztük a mérést. A páciensek antropometriai adatait fiúk és lányok esetén az *1. táblázat* tartalmazza.

Jellemző	Lányok		Fiúk	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
Életkor [év]	11,836	1,190	12,032	1,218
Tömeg [kg]	49,514	12,212	48,357	11,659
Magasság [cm]	157,753	8,779	158,921	9,465
Gerinc teljes hossza [mm]	440,969	34,415	436,239	36,682
Háti szakasz hossza [mm]	295,594	26,757	293,496	24,924
Ágyéki szakasz hossza [mm]	106,984	13,062	105,681	14,812

1. táblázat. A vizsgált páciensek statisztikai adatai

4. Statisztikai értékelés

4.1. Összehasonlítás módszere

A vizsgált gyermekek adataiból vizsgálati csoportonként (lányok és fiúk), és vizsgálati módszerenként (Zebris és SpinalTouch) a háti kyphosis és ágyéki lordosis szög értékeket a 3.3. fejezetben leírt módszerekkel határoztuk meg. Csoportátlagot (lányok és fiúk), szórást, relatív szórást, valamint a szélső értékeket is számítottuk.

A 3.2. fejezetben leírt szögmeghatározási módszerekkel kapott eredményeket vizsgálati csoportonként (lányok és fiúk) egymintás t-próbával vetettük össze. A szög meghatározási módszerek közötti kapcsolatot Pearson-féle korrelációs módszerrel vizsgáltuk.

4.2. Az eredmények megjelenítése

Az *1.a ábrán* a Zebris, az *1.b ábrán* a SpinalTouch rendszer által meghatározott pontokra illesztett görbe látható. Zebris mérőrendszer alkalmazása esetén a háti kyphosis és ágyéki lordosis szögek értékei a hagyományos módon is meghatározhatók. A 3.2. pontban bemutatott szögszámítási módszerek alapján kapott eredményeket a *2. táblázat* tartalmazza.

Megfigyelhető, hogy az egyes szög meghatározási módokhoz tartozó csoportátlagok (lányok és fiúk) közötti különbségek 1°-6° közé, míg a relatív szórások közötti különbségek 2°-20° közé adódtak. A minimum és maximum értékek esetében a különböző szögmeghatározási módszerekkel kapott eredmények között lényeges különbségek figyelhetők meg. Látható, hogy a Fourier módszer esetében a minimum értékek minden esetben ~0° körüli értékre adódtak. Általánosságban elmondható, hogy a különböző szögmeghatározási módszerek szélsőértékei között is nagy eltérések adódtak. Ugyanakkor a különböző mérőrendszerek

eredményeinek összevetése esetén 10°-on belüli eltérések láthatóak (Fourier és regressziós módszer).

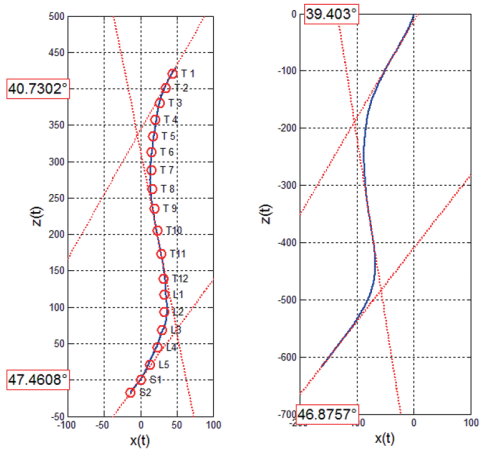
4.3. Szögek értékelése

Lányok

Az ötödfokú Fourier (3.2.2. fejezet) és a lineáris regresszió (3.2.3. fejezet) által kapott háti kyphosis és ágyéki lordosis szög értékeinek összehasonlítása SpinalTouch (*2.a ábra*) és Zebris (*2.b ábra*) mérőrendszerek alkalmazása esetén a *2. ábrán* látható.

A *2.a* és *2.b ábrákon* látható 1-es és 2-es tartományok azt mutatják, hogy számos pont esetében nagyon különböző eredmények adódtak. Ennek oka, hogy a Fourier illesztés egyes inflexiós pontok hiánya miatt több esetben egyáltalán nem ad eredményt.

A *3. ábra* a Zebris mérőrendszer alkalmazása esetén a hagyományos módszer és a lineáris regressziós módszer által kapott eredmények összehasonlítását mutatja. A *3. ábrán* az eredmények igen jó korrelációt mutatnak, háti kyphosishoz tartozó szög értékek esetén 0,87, míg ágyéki lordosishoz tartozó szög értékek esetén 0,82 a korreláció értéke. Ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy a lineáris regressziós módszer alkalmazása esetén rendre nagyobb szög értékek adódnak, háti kyphosis esetén átlagosan 8,72 fokkal, míg ágyéki lordosis esetén 21,04 fokkal (*3. táblázat*), mint a hagyományos módszerrel meghatározott értékek.

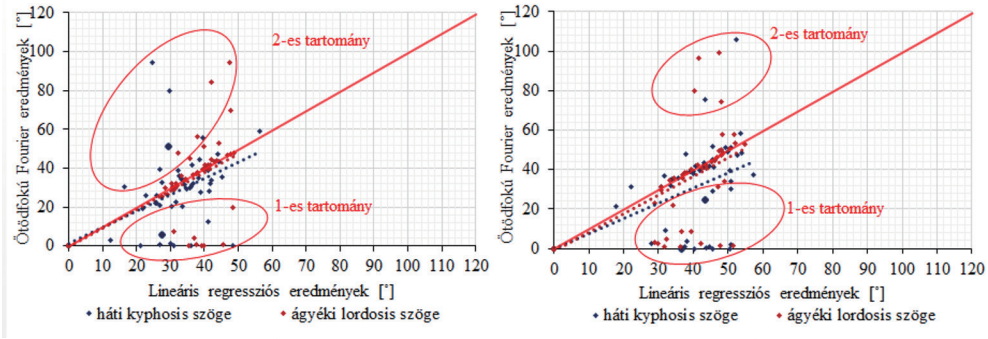


a) *b)*

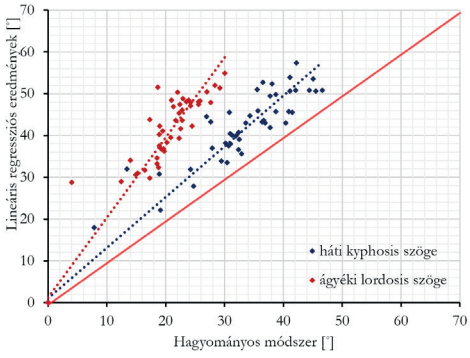
1. ábra. Zebris *(a)* és SpinalTouch *(b)* által kapott eredmények megjelenítése
(életkor: 12 év, magasság: 168 cm, súly: 82 kg)

Jellemző	Nem	Zebris eredmények						SpinalTouch eredmények			
		Hagyományos módszer		Fourier módszer		Regressziós módszer		Fourier módszer		Regressziós módszer	
		Th [°]	L [°]	Th [°]	L [°]	Th [°]	L [°]	Th [°]	L [°]	Th [°]	L [°]
Átlag	Lányok	33,58	20,97	32,07	37,50	42,30	42,02	29,77	35,88	33,26	38,26
	Fiúk	37,36	17,51	34,19	34,25	41,65	35,98	25,27	38,18	34,30	35,18
Relatív szórás	Lányok	24,24	22,38	69,87	63,13	19,94	17,18	65,84	55,24	25,51	15,39
	Fiúk	26,86	33,88	79,12	44,49	20,99	27,81	67,81	56,81	21,95	26,85
MIN	Lányok	7,83	4,10	0,00	0,85	17,96	28,86	0,00	0,06	12,36	27,34
	Fiúk	13,95	8,50	0,00	0,84	27,72	19,84	0,00	1,70	17,54	20,80
MAX	Lányok	46,55	30,07	105,63	99,09	57,35	54,94	94,20	94,37	56,40	48,78
	Fiúk	61,55	29,33	99,75	55,52	60,16	55,78	66,98	90,73	51,31	52,92

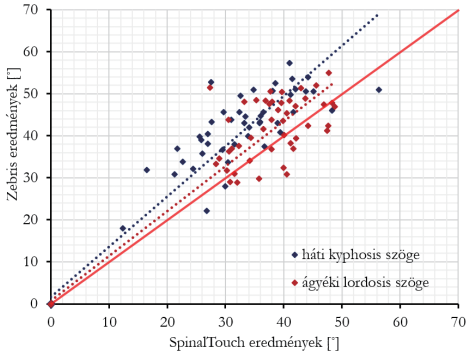
2. táblázat. Az eredmények statisztikai értékelése (Th: Thoracic szög, L: Lumbalis szög)



2. ábra. Ötödfokú Fourier és lineáris regresszió eredmények összehasonlítása
a) SpinalTouch; b) Zebris



3. ábra. Hagyományos és regressziós módszer eredményeinek összehasonlítása (Zebris)



4. ábra. Mérőrendszerek összehasonlítása lineáris regresszió alkalmazása esetén

Jellemző	Thoracic szög eltérések	Lumbalis szög eltérések
Átlag	8,72°	21,04°
Minimum	2,53°	12,47°
Maximum	18,56°	32,90°
Student-féle párosított T-próbához kétszélű eloszlás esetén tartozó valószínűség (p)	~ 0	~ 0
Pearson-féle korreláció (r)	0,87	0,82
Regressziós egyenes meredeksége (m)	1,21	1,92
Regresszió standard hibája	3,97°	4,19°

3. táblázat. Hagyományos és regressziós módszer eredményeinek értékelése

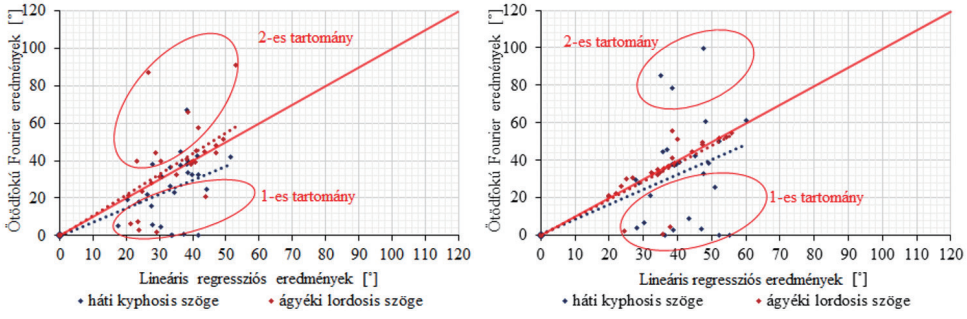
A lineáris regressziós módszer alkalmazása esetén a Zebris és SpinalTouch eredmények összehasonlítása a *4. ábrán* látható. A kapott korreláció háti kyphosis esetében 0,74, míg ágyéki lordosis esetében 0,47, melyek elsősorban a két mérés (3.1. fejezet) közti testtartás megváltozásának tulajdonítható (*4. táblázat*).

Fiúk

A *5. ábrán* az ötödfokú Fourier és a lineáris regresszió által kapott háti kyposis és ágyéki lordosis szög értékeinek összehasonlítása látható SpinalTouch (*5.a ábra*) és Zebris (*5.b ábra*) mérőrendszerek alkalmazása esetén.

Az *5.a* és *5.b ábrákon* látható 1-es és 2-es tartományok mutatják, hogy számos pont esetében nagyon különböző eredmények adódtak. A lányoknál tett megállapítás itt is érvényes, hogy a Fourier- illesztés sok esetben egyes inflexiós pontok hiánya miatt nem vagy rossz eredményt ad.

Zebris mérőrendszer alkalmazása esetén a hagyományos módszer és a lineáris regresszsiós módszer által kapott eredmények összehasonlítása a *6. ábrán* látható. A lányokhoz hasonlóan az eredmények igen jó korrelációt mutatnak, TK esetén 0,92, míg LL esetén 0,96. Ugyanakkor itt is megfigyelhető, hogy lineáris regressziós módszer alkalmazása esetén rendre



a) *b)*

5. ábra. Ötödfokú Fourier és lineáris regresszió eredmények összehasonlítása
a) SpinalTouch; b) Zebris

Jellemző	Thoracic szög eltérések	Lumbalis szög eltérések
Átlag	9,67°	6,21°
Minimum	0,84°	0,02°
Maximum	25,21°	24,26°
Student-féle párosított T-próbához kétszélű eloszlás esetén tartozó valószínűség (p)	~ 0	~ 0
Pearson-féle korreláció (r)	0,74	0,47
Regressziós egyenes meredeksége (m)	1,19	1,07
Regresszió standard hibája	5,62°	5,59°

4. táblázat. Zebris-es és SpinalTouch-os eredmények eltéréseinek értékelése lineáris regresszió alkalmazása esetén

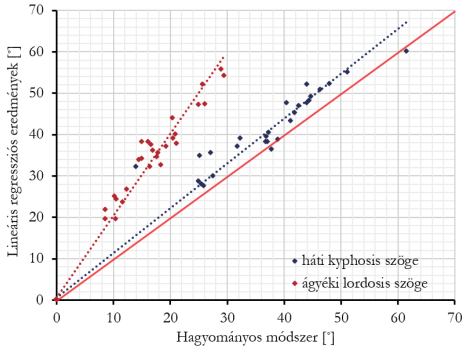
nagyobb szög értékek adódnak, mint a hagyományos módszer esetén (TK átlagosan 4,5°, LL 18,48°) (*5. táblázat*).

A *7. ábra* a Zebris és SpinalTouch eredmények összehasonlítását mutatja a lineáris regressziós módszer alkalmazása esetén. Az alacsony korreláció – a lányokhoz hasonlóan (TK - 0,38, LL - 0,66) – elsősorban a két mérés (3.1. fejezet) közti testtartás megváltozásának tulajdonítható (*6. táblázat*).

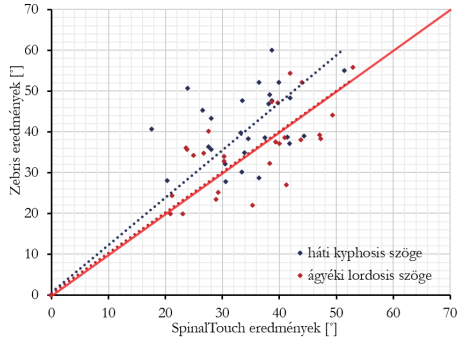
5. Megbeszélés

A kutatás célja, hogy mérési pontra illesztett görbéket és azokból meghatározott szögértékeket statisztikai módon összehasonlítsuk. Berthonnaud és Dimnet[11] különböző gerincbetegségek esetén készített röntgenfelvételekre spline görbét illesztett, és megfelelő pontossággal határozta meg a gerincalak egyenletét. A kétirányú röntgenfelvétel egyes betegségek esetén egyáltalán nem, míg más betegségek esetén is csak évente egy alkalommal készíthető: ez a módszer nem minden esetben használható, azaz az utánkövetés csak nagy időközökben történhet.

T. Huysmans és mtsai,[12] valamint B. Drerup és E. Hierholzer[13] által publikált módszer a hát topográfiai képe alapján a hát felszínét határozza meg, amelyből a Fourier illesztéshez ha-



6. ábra. Hagyományos és regressziós módszer eredményeinek összehasonlítása (Zebris)



7. ábra. Mérőrendszerek összehasonlítása lineáris regresszió alkalmazása esetén

Jellemző	Thoracic szög eltérések	Lumbalis szög eltérések
Átlag	4,50°	18,48°
Minimum	0,08°	9,57°
Maximum	18,22°	27,00°
Student-féle párosított T-próbához kétszélű eloszlás esetén tartozó valószínűség (p)	~ 0	~ 0
Pearson-féle korreláció (r)	0,92	0,96
Regressziós egyenes meredeksége (m)	1,08	1,99
Regresszió standard hibája	2,71°	2,24°

5. táblázat. Hagyományos és regressziós módszer eredményeinek értékelése

sonló, frekvencia modulált szinusz függvény[12] és aktív kontúrok[13] segítségével a gerinc frontális és sagittalis síkú képét is meghatározták. E kutatások megállapították, hogy az általuk leírt módszerek alkalmasak a gerincalak alacsony számú paraméterrel történő leírására, viszont a T. Huysmans és mtsai által bemutatott módszer[12] a hát felszínén a gerincet jellemző részt lokálisan vizsgálja, amely rossz eredményeket adhat. Ezekben a cikkekben a hát felszínének meghatározása a Balla és mtsai által publikált Moiré módszerhez[14] hasonló. Megállapították, hogy scoliosisban szenvedő gyerekeknek a kontaktusmentes mérési elv miatt a háti görbületeknél a lapockák által kifeszített bőrfelület a gerinc valós helyzetét elfedi. A háton észlelhető görbületek a röntgenfelvételen mért értékekhez képest kisebbnek adódtak.

Jelen cikkben egy új módszert mutattunk be a gerincgörbületek leírására, az úgynevezett Fourier- és regressziós módszereket. A Fourier módszert nem ajánljuk alkalmazásra, mert sok esetben a gerincalakot leíró görbe nem rendelkezett megfelelő számú inflexiós ponttal. A regressziós módszer alapja, hogy a gerincalak inflexiós pontjaiban regressziós egyeneseket határozunk meg, majd ezek segítségével a hagyományos módszernek megfelelően a gerincgörbületeket jellemző szögértékeket számítjuk. Megfigyelhető, hogy a regressziós módszerrel rendre nagyobb értékek adódtak, mint a hagyományos módszer esetében.

A cikk hiányossága, hogy a hagyományos szög értékeket nem röntgenfelvételek alapján határoztuk meg – hiszen egészséges vagy hanyagtartásban szenvedő gyerekeket vizsgáltunk –, hanem a Zebris mérőrendszer segítségével kapott eredmények alapján. Ennek további vizsgálatok tárgyát kell képeznie.

6. Konklúzió

A mérési eredményekből meghatározott térbeli koordinátákra illesztett eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a spline görbeillesztési módszer és a görbék inflexiós pontjaiba húzott regressziós érintő egyenesek által bezárt szögek pótszögeinek vizsgálata alkalmas módszer lehet a gerincbetegségek rehabilitációs folyamatának utánkövetésére. Az eredmények összehasonlítása során a hagyományos módszerrel meghatározott szögekkel erős korreláció mutatkozott (0,82-0,96). Az eredmények azt is mutatják, hogy a lineáris regressziós módszer esetén rendre nagyobb szögértékek adódtak, mint a hagyományos módszer alkalmazása esetén.

Az ötödfokú Fourier illesztéssel az illesztési pontosság erős ($r = 0{,}99$), de a mérési mód-

Jellemző	Thoracic szög eltérések	Lumbalis szög eltérések
Átlag	9,30°	6,89°
Minimum	1,00°	0,94°
Maximum	26,85°	14,28°
Student-féle párosított T-próbához kétszélű eloszlás esetén tartozó valószínűség (p)	~ 0	0,61
Pearson-féle korreláció (r)	0,38	0,66
Regressziós egyenes meredeksége (m)	1,16	0,99
Regresszió standard hibája	5,97°	4,88°

6. táblázat. Zebris-es és SpinalTouch-os eredmények eltéréseinek értékelése lineáris regresszió alkalmazása esetén

szer sajátságából (a páciens és a mérést végző személy apró mozdulatai miatti pontatlanság) adódó hibák miatt egyes helyeken a görbéken rezonancia jelentkezett, amely az inflexiós pontok meghatározásakor fals eredményeket adott. Ezt a módszert a gerinc vizsgálatára nagyszámú minta feldolgozása esetén nem javasoljuk.

A Zebris és SpinalTouch mérőrendszerek eredményei között (lányok és fiúk eredményeit egybe véve) a Pearson-féle korreláció 0,6. A mérőrendszerek eltérő kialakításának és a páciensek testtartásának megváltozása okozza a kisebb korrelációt. Ezek alapján javasoljuk, a rehabilitációs vizsgálatok utánkövetésekor végig a szűréskor használt eszköz használatát.

IRODALOM

1. *Illés T.* A gerinc vizsgálata. In: *Szendrői M* (ed). Ortopédia, Semmelweis Kiadó, Budapest, 2006;218-23.
2. *Knott P, Pappo E, Cameron M, deMauroy JC, Rivard C, Kotwicki T, et al.* SOSORT 2012 consensus paper: reducing X-ray exposure in pediatric patients with scoliosis. Scoliosis 2014;9:4.
3. *Malmström EM, Karlberg M, Melander A, Magnusson M.* Zebris versus Myrin: A comparativ study between a three-dimensional ultrasound movement analysis and inclinometer/compass method. Spine 2003;28:433-40.
4. *Mannion AF, Knecht K, Balaban G, Dvorak J, Grob D.* A new skin-surface device for measuring the curvature and global and segmental range of motion of the spine: reliability of measurements and comparison with data review from the literature. Eur Spine J 2004;13(2):122-36.
5. *Zsidai A, Kocsis L.* Ultrasound-based spinal column examination systems. Facta Universitatis. Physical Education and Sport 2001;1(8):1-12.
6. *Post RB, Leferink VJM.* Spinal mobility: sagittal range of motion measured with the Spinal Mouse, a new non-invasive device. Archives Orthopeadic Trauma Surgery 2004;124:187-92.
7. *Geldhof E, Cardon G, Bourdeaudhuij ID, Danneels L, Coorevits P, Vanderstraeten G, et al.* Effects of back posture education on elementary schoolchildren's back function. Eur Spine J 2007;16:829-39.
8. *Kiss RM.* Biomechanikai modellezés. TERC Kiadó, BME Építőmérnöki Kar, Budapest, 2012;225-42.
9. *Takács M, Rudner E, Nagy I, Jurák M, Kiss RM, Kocsis L.* The new processing of the results of examinations made with Zebris WIN-SPINE spine-measuring method and its validation. Biomech Hung 2013;4(1):29-37.
10. *Kiss RM.* Verification of determining the curvatures and range of motion of the spine by electromechanical-based skin-surface device. Periodica Polytechnica 2008;51(1):3-13.
11. *Berthonnaud E, Dimmet J.* Analysis of structural features of deformed spines in frontal and saggital projections. Computerized Medical Imaging and Graphics 2007;31:9-16.
12. *Huysmans T, Haex B, Van Audekercke R, Vander Sloten J, Van der Perre G.* Three-dimensional mathematical reconstruction of the spinal shate, based on active contours. Journal of Biomechanics 2004;37:1793-8.
13. *Dreruo B, Hierholzer E.* Assessment of scoliotic deformity from back shape asymmetry using an improved mathematical model. Clinical Biomechanics 1996;11(7):376-83.
14. *Balla P, Prommer K, Antal Á.* Digitális Moiré képek vizsgálata gerincferdüléses betegek nyomonkövetésére. Biomech Hung 2014;7(1):50-60.

Jáger Bence
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek Tanszék
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. K, mfszt. 85.
Tel.: (+36) 1 463-1998