

## A gerinc 3 dimenziós modellezése dinamikus körülmények között

A különböző gerincdeformitások gyakori eltérések gyerekkorban, így klinikánkon is nagyszámú serdülőt követünk nyomon és kezelünk ezzel a problémával. Leggyakrabban hanyag tartásról, scoliosisról és Scheuermann-betegségről beszélhetünk, amelyet súlyosságuktól függően műanyag törzsfűzővel kezelünk, súlyosabb esetben gerincműtéttel korrigálunk. A diagnosztikában elfogadott és a fizikális vizsgálaton túl használt képalkotó eljárás a két irányban elvégzett (frontális és oldalirányú) teljes gerincről készített röntgenfelvétel. Ezzel megfigyelhetők és nyomon követhetők a strukturális változások. Az ortopédiai vizsgálatok során azonban egyre nagyobb szerep jut a különböző mozgáselemző méréseknek, amelyek segítségével rögzíthetők a test egyes szegmentumainak és ízületeinek kitérései. Ezen rendszerek segítségével és felülettérképezésre képes eszközökkel újfajta mérési módszer alakítható ki.

Vizsgálatunk célja az volt, hogy az Ortopédiai Klinika meglévő járáslaborjának mozgáselemző rendszerére, valamint mélység szenzorokra alapozva dinamikus mérési eszközháttérrel hozzunk létre, amelynek integrált alkalmazása minőségileg új vizsgálati és nyomon követési lehetőséget teremtené gerinc deformitással élő betegeinknél. Vizsgálatunkban a gerinc non-invazív, sugárterhelés nélküli modellezésére alkalmas mérési módszert kerestük, amely alkalmas továbbá a dinamikus körülmények közötti ábrázolásra is. Megfelelő szoftver és eszközfejlesztés esetén akár a mindennapi gyakorlatban is alkalmazható módszer lehetne a betegek nyomon követésére.

A mérési metodika kialakításán túl további célunk volt egy olyan ruházat tervezése, amely a testtel érintkezve, azzal szoros kölcsönhatásban újfajta korrekciós lehetőséget jelenthet.

Az első évben adatbázist hoztunk létre a klinikán gerincdeformitással kezelt betegek számára. Ebben lehetőség van a betegek adatainak, valamint a fizikális vizsgálat eredményének rögzítésére, a röntgen- és Kinect képek feltöltésére, illetve a röntgenképek klinikailag fontos paramétereinek tárolására. A személyes adatok védelmére jelszavas, különböző jogosultsággal bíró fiókokat hoztunk létre.

A betegvizsgálatokat az érvényben lévő szakmai protokollnak megfelelően végeztük. A betegeket a görbület síkja, elhelyezkedése és a röntgenfelvételen mért Cobb-fok alapján

csoportosítottuk. A vizsgálatból kizártuk a nagyon enyhe és a nagyon súlyos görbülettel érkezett betegeket, valamint azokat, akiknek valamilyen fejlődési rendellenességhez társult, másodlagos gerincdeformitásuk volt.

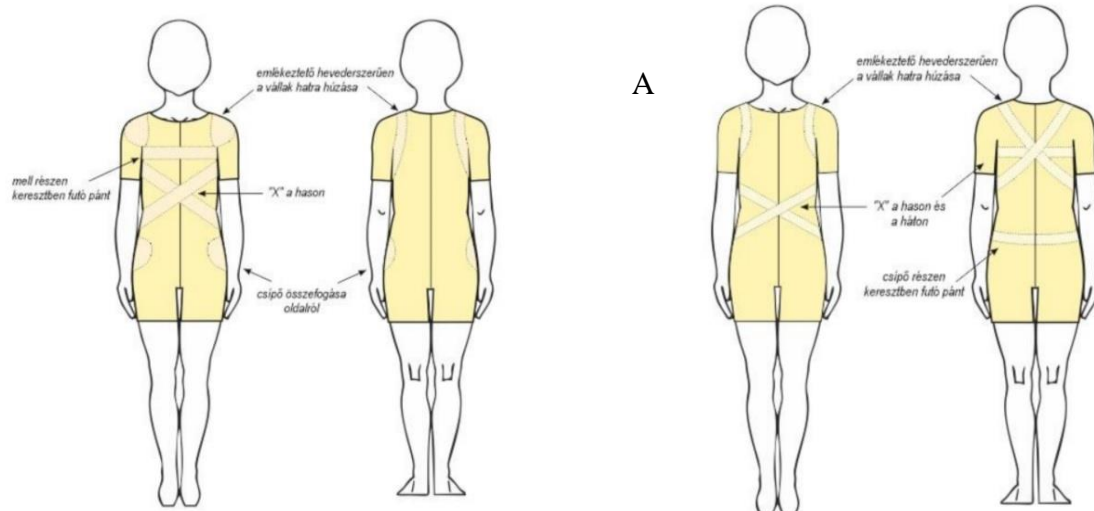
Megkezdődtek a próbamérések a korábban már validált járásanalízis laborban. A vizsgálati alanyokról háromdimenziós járásanalízis vizsgálatot készítettünk, amelynek egyes paramétereit összevetettük a laborban található futópadon történt séta közben megfigyelt mutatókkal. Méréseink alapján elmondható, hogy a futószalagon egyenletes sebességgel sétáló ember egyes lépései és a laborbeli járás között nincs érdemi különbség.

A futószalag mögé speciális állvánnyal Microsoft Kinectet telepítettünk, amelynek segítségével a hátfelszínről statikus felvételeket rögzítettünk. A hátfelszín szimmetriájának vizsgálatait egy mérnöki szakdolgozat keretében végeztük el (*Gerinc alakjának meghatározása képi információ alapján*). Hipotézisünknek megfelelően sikerült összefüggést igazolnunk a hátfelszín aszimmetriája és a meglévő gerincdeformitás között.

Az Óbudai Egyetem textilvizsgáló laboratóriumában megkezdődtek a tervezett ruházathoz az alapanyag vizsgálatok. 7 különböző lehetséges anyagot választottunk ki, és ezeknek ellenőriztük a nedvszívó-, légáteresztő-képességét, kopásállóságát, nyújthatóságát, beszerezhetőségét és az árát.

A második évre tervezett, járáslabort igénylő mérések tekintetében nem tudtunk továbblépni, mivel az Ortopédiai Klinika költözése több hónapos leállásra kényszerített, továbbá a tervezett eszközbeszerzések is csúsztak. A járás közbeni hátfelszín-mérések rögzítését tudtuk elkezdeni. Az ezt lehetővé tevő mérőrendszert létrehoztuk.

A tervezett ruházat prototípusát ortopédiai és gyakorlati szempontok miatt hanyag tartás diagnózissal rendelkező gyermekekre készítettük el. A tartás korrigálásának elve ugyanis hasonló, mint a gerincdeformitással élő gyermekek esetén, de a strukturális eltérések hiánya miatt könnyebb és gyorsabban elkészíthető, így hamarabb mérhető eredményeket vártunk. Amennyiben a kiválasztott csoportban mérhető változást tapasztalunk, úgy a gerincdeformitások eseteknél is kipróbálható a ruházat. A korrekciós ruházat céljait ortopédiai szempontokhoz igazítva - az Óbudai Egyetem Terméktervező Intézetének munkatársai segítségével - elkészült a szabásminta, amelyet két kiválasztott alanyhoz igazítottak egyedi méretvétel alapján.



Műszaki Egyetem munkatársai a korrekciós ruházatban történő mérés módszerének kidolgozását végezték, ugyanis a ruhával fedett bőr mind a hátfelszín feltérképezését, mind a mozgásanalízis eredményeit torzíthatja. A mérések pontos kivitelezésére és a tesztmérések végzésére a gerincegér bizonyult a legmegbízhatóbb módszernek.

A harmadik évben igyekeztünk pótolni a költözés miatti lemaradásainkat. Egy előzetes méréssorozatból nyert adatok alapján optimalizáltuk a mérőrendszert és kidolgoztuk a mérési protokollt. Méréseinkhez saját mérőszoftvert fejlesztettünk ki, amelynek pontosságát és megbízhatóságát szintén egy külön mérési sorozatban teszteltük. Az elkészült mérőrendszer mind a statikus, mind a járás közbeni adatokat egy adatbázisban tárolja. A mélységszenzor (Kinect) eredetileg csak a vele szemben álló ember mozgását érzékeli, azonban sikerült megoldanunk, hogy a háttal álló testet is megfelelő pontossággal detektálja. Az általunk írt szoftver a teljes test mélységképéből automatikusan kijelöli a hátnak megfelelő téglalapot. A rögzített hátfelvételek háromdimenziós pontthalmazt eredményeznek. A frontális síkra merőlegesen a hátfelszín 1 cm-es szeletekre osztjuk, majd az így kapott szeletek pontjaira  $n$ -ed fokú polinomot, vagy  $n$ -ed fokú trigonometrikus polinomot illesztünk. A nyert függvénnyel jól közelíthető a hát aktuális szeletének alakja. A mérési eredmények validálhatóságát a hátfelszínre ragasztott inframarkerekkel biztosítottuk.

A hátfelszíni ponthalmazban a gerincgeometria keresésére több algoritmust dolgoztunk ki.

1. A felírt függvények lokális minimumait és maximumait minden szeletben megkeresve, azokat összekötve kijelölhető a gerinc lehetséges nyomvonala. Ezen elmélet szerint a gerinc az alsó háti – ágyéki szakaszon mélyedést, még a felső háti szakaszon egy kiemelkedést okoz. Ezeket a minimum és maximum pontok képesek kijelölni. Sajnos azonban a gyermekek gerincgörbületeinek megjelenése nem látható ilyen pontossággal, ezért sok esetben fals nyomvonal ábrázolódtott. A módszer további hátránya, hogy az igen magas szintű számítási igény miatt lassúnak bizonyult.
2. Szimmetriatengelyt kerestünk az egyes szakaszokon. Ez a hát bal, ill. jobb oldalát hasonlítaná össze. Ez az algoritmus gyorsabbnak bizonyult az előzőhöz képest, de valós szimmetria adatokat csak egészséges emberek esetén tudtunk vele kimutatni.
3. A gerinc kezdetét és végét markerek segítségével meghatároztuk és megjelöltük, ezáltal elősegítve a keresés sikerességét.

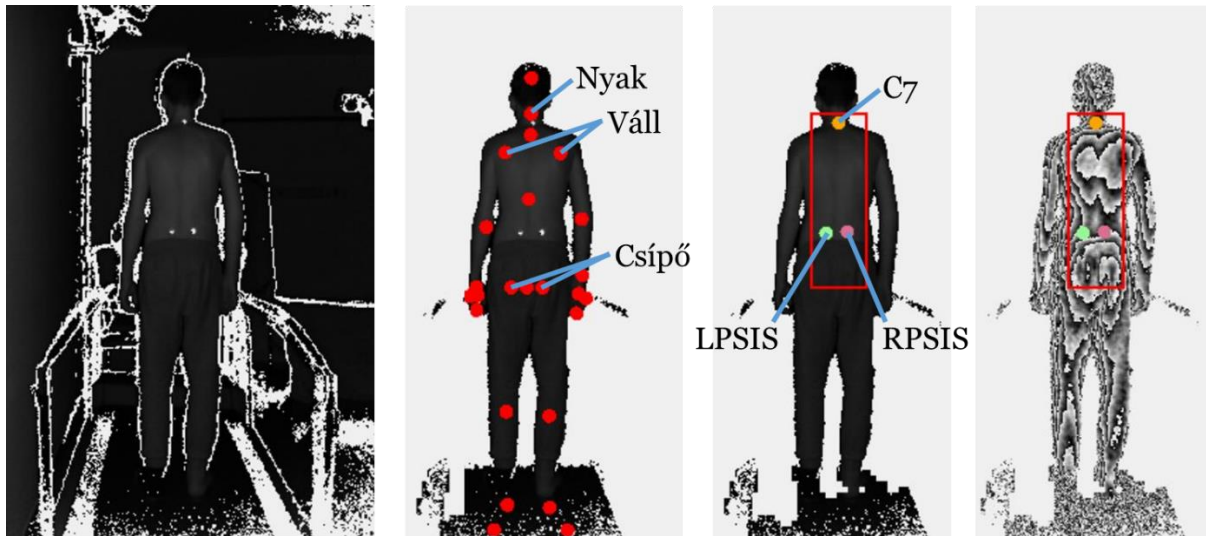
Összegezve elmondhatjuk, hogy nem találtunk olyan algoritmust, amely minden alanynál (egészséges, különböző gerincdeformitással élő) megfelelő eredményt adott volna, mivel a hátfelszín önmagában nem ad közvetlen információt a gerinc tényleges helyzetéről.

Vizsgálatokat végeztünk annak feltérképezésére, hogy a testet takaró ruha (különböző vastagságú, feszségű és rugalmasságú) befolyásolja-e a hátfelszín aszimmetriájának detektálását. Külön mérőesorozatokat keretében különböző típusú felsőruházatokat teszteltünk. A mérést legkevésbé zavaró, és a scoliosisban leginkább érintett kamasz lányok számára is elfogadható megoldásnak a sportmelltartó vagy a bikinifelső bizonyult. Közben a korrekciós ruházat ezirányú tesztméréseit is megkezdtük.

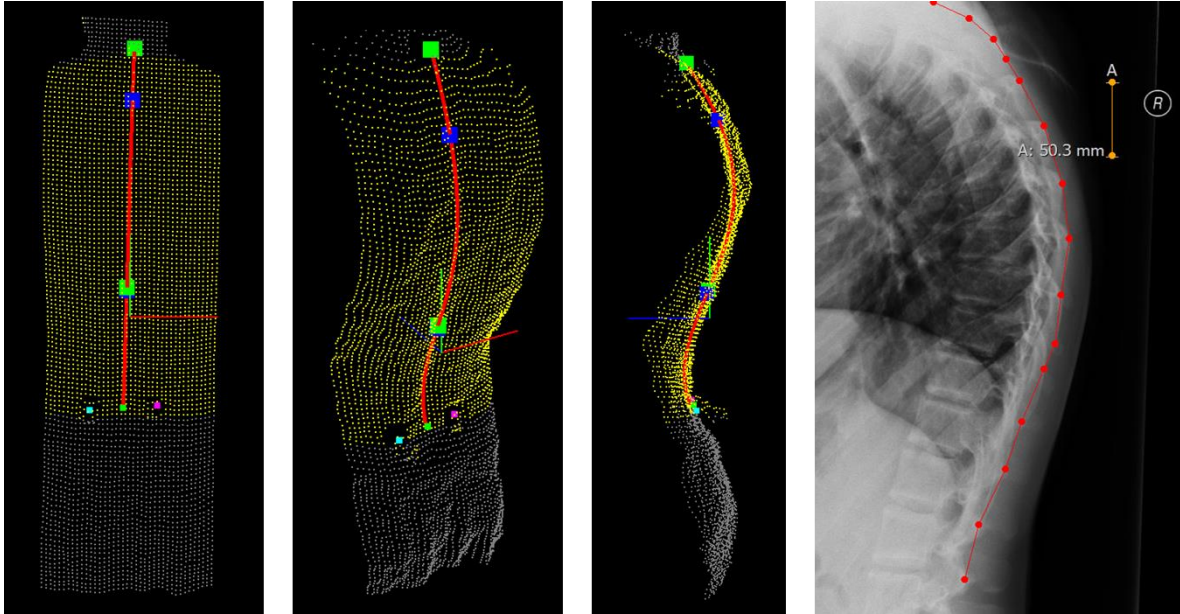
A következő évben a 3D hátfelszínt regisztráló szoftverrel gerincdeformitással elő betegek vizsgálatát végeztük. A munkafolyamatot egy szakdolgozat keretében dokumentáltuk (*A 3 dimenziós mozgásleképező rendszer (Kinect) alkalmazása az idiopathiás scoliosis diagnosztikájában*). A mérések kiértékelését követően arra a következtetésre jutottunk, hogy mérőrendszerünk nem alkalmas a frontális síkú gerincdeformitás, azaz a gerincferdülés betegség mértékének korrekt meghatározására.

A szakirodalmi adatok újbóli áttekintését követően vizsgálatainkat a sagittális síkú gerincdeformításra terjesztettük ki (Scheuermann-betegség). Korábban szinkronizált mérőrendszerünket infravörös markerekkel kiegészítettük, így alkalmassá tettük a próbamérések elvégzésére. A hátfelszín érintésmentes, optikai mérését a korábban

meghatározott protokoll szerint futószalagon végeztük, így biztosítva a dinamikus körülményeket. A vizsgálatok során minden betegről először statikus felvételt készítettünk. Egy-egy ilyen felvétel alkalmával a rendszer 90 mélységképet rögzített.



A gerincoszlop beazonosításához három segédmarkert helyeztünk fel a C7-es csigolyára, valamint a keresztcsont jobb és bal oldalára a lumbosacralis ízület magasságában. Az alsó két marker felezőpontja és a felső pont által meghatározott egyenes hátfelszínre vetett vetülete (térgörbe) megfeleltethető a gerinc sagittális síkú görbületének. A térgörbén meghatároztuk az inflexiós pontot, ami anatómiailag megfelel a thoracolumbalis átmenet helyének, majd kiszámítottuk a C7-es csigolyára, az inflexiós pontra és a keresztcsonti markerpontra húzott érintők között bezárt szöveget. Az így kapott szögértéket összevetettük a betegek oldalirányú röntgenfelvételén a gerinc thoracalis és a lumbalis szakaszán mért Cobb-fok értékekkel. Az így kapott eredmények tükrében megkezdtük az Ortopédiai Klinikán sagittális síkú gerincdeformitással kezelt, oldalirányú gerincröntgennel rendelkező betegek vizsgálatát, és a kapott eredmények kiértékelését.



A tervezett korrekciós ruházatnál is módosításokat hajtottunk végre mind a vizsgált betegcsoport, mind a ruházat kialakításának tekintetében. Vizsgálatunkba hanyag tartással diagnosztizált gyermekeket vontunk be. Az ő esetükben az alapprobléma az előre eső váll, domború hát, valamint a kissé fokozott lumbalis gerincgörbület. A ruházat nemcsak a törzset, hanem csípőt és az alsó végtagok egy részét is magában foglalja, ezáltal három pontos korrekciót téve lehetővé. A ruhákat egyedi méretvétel alapján, a korábban meghatározott szabásminta szerint elkészítettük az alapruházatot. Elvégeztük az előzetes, ruházat nélküli méréseket, amelyek alapján a vizsgálatban részt vevő orvosi-szakember team javaslatot tett a szükséges korrekcióra, a panelezés anatómiai pontjaira. Ezt követően a gyermekek izlésvilágát is figyelembe véve elkészültek az első tartásjavító ruhák, amelyeket próbahordásraadtunk ki. Ezt követően tervezzük a viselt ruházat eredményeinek mérését, értékelését. A



ruházat tervezési és elkészítési folyamatáról szakdolgozat készült (*Tartásjavító ruházat tervezése óvodás korú gyermekeknek*).

2018 decemberében hosszabbítási kérelmet adtunk be a megkezdett mérések elvégzésére és azok kiértékelésére, valamint a korrekciós ruházat hatásának vizsgálatára.

A korábban leírt mérési módszert a következőkkel módosítottuk: tekintettel arra, hogy a röntgenfelvételeken a thoracalis kyphosist a Th4 és Th12 csigolyák között mértük, a kapott háti térgörbét a C7-es csigolya és az inflexiós pont közötti szakasz cranialis  $\frac{1}{4}$ -ével megrövidítettük. Ezt követően a fentebb leírt módszerrel ezen szakasz görbületi szögét is meghatároztuk. Ugyanezt a számítást elvégeztük a lumbalis gerincszakaszon is: a görbe inflexiós pontja és a keresztcsonti markerek közti felezőpont hátfelszíni vetületén kapott térgörbét feleltettük meg a lumbalis lordosisnak.

Az optikai mérések mellett egy speciális biomechatronikai mérőeszközzel is megvizsgáltuk a betegeket. A „spinal mouse” görgőjét végigvezettük a gerincoszlopon. A készülék egy háromtengelyű gyorsulásmérővel rögzítette a mozgást, miközben a görgő elfordulása meghatározta a megtett út hosszát. A C7-es csigolya és a lumbosacralis átmenetnél lévő pontot rögzítettük. A gyorsulás és elmozdulás adataiból meghatározásra került a gerinc jellemző térgörbe, akár csak az optikai mérés esetén. Az ismert pontok alapján a számítás is azonos módon történt a háti kyphosis és a lumbalis lordosis mértékének meghatározására.

Két független vizsgáló elemezte a vizsgálatba bevont betegek fél évnél nem régebbi, teljes gerincről készült, oldalirányú rtg. felvételeit. A háti 4-es csigolya (Th4) felső zárólemeze és a 12-es csigolya (Th12) alsó zárólemeze, valamint a lumbalis 1-es csigolya (L1) felső zárólemeze és az 5-ös csigolya (L5) alsó zárólemeze között határozták meg a Cobb-fok értékeket.

Mérési adatainkat mindhárom módszer esetén rögzítettük. A két független vizsgáló által a röntgenfelvételeken meghatározott Cobb-fok értékek átlagát összevetettük a gerinc sagittális irányú háromdimenziós görbéjével, valamint a mechanikai eszköz által meghatározott hátfelszín szögértékekkel a háti és a deréktáji szakaszokon.

A gyermekek radiológiai mérése során a két vizsgáló mérési eredményei kiváló korrelációt mutattak, mind a thoracalis, mind a lumbalis méréseknél. A kiváló korreláció miatt a továbbiakban a görbületek átlagértékeit használtuk. Szintén jó korrelációt mutatott a

röntgenfelvételeken mért értékekkel a Kinect készülékkel és a “gerincegérrel” mért teljes thoracalis kyphosis átlagos nagysága. A lumbalis méréseknél a korreláció mindkét módszerrel gyengébb korrelációt mutatott.

Két anyag tartású, óvodás életkorú gyermeknek készítettünk egyedi méretvétel alapján, korrekciós panelekkel ellátott ruházatot, amelyet próbahordásraadtunk ki. A gyerekekről optikai és mechanikai eszközös mérés készült ruha nélkül, a ruhában közvetlenül az első felvételt, majd a próbahordást követően. Bár a kapott eredmények mind a háti, mind a deréktáji szakaszon javulást mutattak, szignifikáns különbséget a próbahordást követően nem kaptunk.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a statikus és a dinamikus optikai mérőeszközök alkalmazásával nagy lépéseket tettünk előre a gerincdeformitások vizsgálata, felismerése terén. A korrekciós ruházat megfelelő, gyógyhatású kialakítására további vizsgálatok nyújthatnak segítséget.