

SCOLIOTICUS GERINC MOIRÉFELVÉTELEINEK SZOFTVERES SZEGMENTÁCIÓJA

Bogdán Csaba^{1*}, Magony Andor Dániel², Hargitai Evelin Gabriella², Antal Ákos³, Tunyogi-Csapó Miklós⁴

¹ Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola

² Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Transzdiszciplináris Kutatások Intézete

³ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Gépészmérnöki Kar, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

⁴ Országos Gerincgyógyászati Központ, Budai Egészségközpont



DOI: 10.17489/biohun/2022/2/558

Absztrakt

A scolioticus gerinc vizsgálatára a röntgenfelvételek részleges alternatíváját nyújtja a hátfel-szín moiréfelveleleink elemzése. A *scoliosis* moiréjelenségen alapuló diagnosztikájában a moiréfelveleleink általánosan megbízható, gyors és precíz szegmentációja szignifikáns szerepet tölt be, és még kidolgozásra vár. Ez a kutatás a moiréfelveleleink szegmentációjára kíván megoldási javaslatot tenni digitális (projekciós) moirétechnika és XOR-logika alkalmazásával létrehozott moiréfelveleleink manuális/félautomatikus szegmentációjára kifejlesztett szoftveralapú megoldással, a *Moiré Fringe Segmentation Tool* prototípusával. A prototípus MATLAB App Designer alkalmazásban készült, és képszűrési és morfológiai műveletekkel biztosítja a moirésávok szegmentációját (1) fényerő- és (2) kontrasztjavítás, (3) 2-D Gauss-féle elmosás, (4) küszöbölés, (5) hisztogram kiegyenlítés, (6) inverzió, valamint a (7) szkeletonizáció implementálásával. A szoftver a moirésávok szegmentációját kvázi valós időben, manuálisan állítható szűrési és morfológiai képfeldolgozási műveletekkel, valamint előre meghatározott szekvencián alapuló, beépített algoritmusokkal támogatja. A prototípus alkalmazhatóságát egyszerű, gyors és a felvételek moirésávjainak nagy részét pontosan lekövető szegmentálás igazolja. Az eredmények azt mutatják, hogy a prototípus koncepciója megfelelő alapot nyújt a moirésávok szegmentációjához és további, kiterjesztett képfeldolgozási műveletekkel operáló kutatás-fejlesztéshez. Egyszerűségének és gyors működésének következtében a prototípus továbbfejlesztett megoldása helyettesítheti az időigényes és komplex szegmentálási módszereket is.

Kulcsszavak: moire topográfia, moiremintázat, számítógéppel segített képfeldolgozás, szoftver, *scoliosis*

***Levelező szerző elérhetősége:** H-7624 Pécs, Szigeti u. 12., Doktori (PhD) és Habilitációs Iroda
E-mail: csaba.bogdan@pte.hu **Tel.:** +36 30 422-8704

Citáció: Bogdán C, Magony AD, Hargitai EG, Antal Á, Tunyogi-Csapó M. Scolioticus gerinc moiréfelveleleink szoftveres szegmentációja. *Biomech Hung* 2022; 15(2):7-21.

Beérkezés ideje: 2022.11.03. **Elfogadás ideje:** 2022.12.07.

SOFTWARE-BASED SEGMENTATION OF MOIRÉ IMAGES OF SCOLIOTIC SPINE

Abstract

The analysis of moiré images of the human back provides a partial alternative to radiographs at examining the scoliotic spine. In moiré-based diagnosis of scoliosis, the generally reliable, fast and precise segmentation of moiré images plays a significant role, and is still waiting to be developed. For the segmentation of moiré images produced by (digital) projection moiré and XOR logic, this study aims to propose a software-based solution, the Moiré Fringe Segmentation Tool developed for manual/semi-automated detection of moiré fringes. The prototype was produced in MATLAB App Designer and performs the segmentation of moiré fringes by implementing image filtering and morphological operations for (1) brightness and (2) contrast enhancement, (3) 2-D Gaussian filter, (4) thresholding, (5) skeletonization, (6) histogram equalization and (7) inversion. The software allows the segmentation of moiré fringes in quasi-real-time, by manually adjustable filtering and morphological operations and a built-in algorithm of predefined image processing sequence. The applicability of the prototype is proven by a simple, fast to process and, for the most part of the sample images, accurate segmentation in quasi-real-time. The results show that the concept of the prototype provides a suitable base for the segmentation of moiré fringes and further research and development aiming to extend image processing operations. Due to its simplicity and fast operation, an improved solution of the prototype can replace time-consuming and complex segmentation methods.

Keywords: moire topography, moire patterns, computer-assisted image processing, software, scoliosis

BEVEZETÉS

A különböző gerincdeformitások diagnosztikája már régóta foglalkoztatja az orvostudományt. A gyermekek és serdülők posturalis elváltozásai fontos egészségügyi és társadalmi kockázatokat hordoznak, gyakori megjelenésük és progressziójuk pedig a kutatások nyugtalanító következtetései.¹⁻⁵ A gerinc kóros elváltozásai kezdetben aszimptomatikusan alakulnak ki, és hatásuk az élet későbbi éveiben érezhető. A kiváltott fájdalom, az osteoarticularis rendszer súlyos deformációi és belső szervi rendellenességek jelentősen ronthatják az életminőséget.^{1,6,7} Következésképpen a gerincdeformitás progressziójának megelőzésében a szűrés tekinthető a legfontosabb tényezőnek, amely során a testtartás megfelelő diagnosztikája objektív módszereket igényel. Napjainkban a gerincelváltozások diagnosztikájának aranystandardja a radiográfiai (rönt-

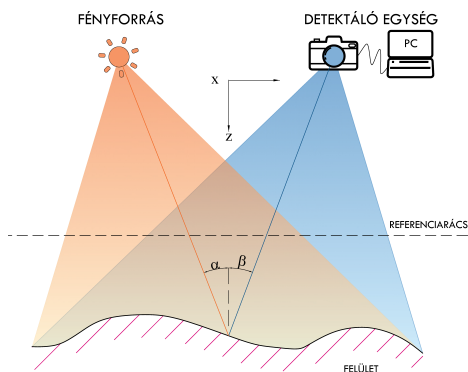
gen) vizsgálat.⁸⁻¹⁰ Fokozott szenzitivitásuk következtében, a radiográfiai vizsgálatokból eredő nem kívánatos, akár a genetikai anyag módosulásához vezető sugárzási hatásoknak leginkább a gyermekek és serdülők vannak kitéve.^{1,11-13}

A röntgen-képpalkotás hátrányai, mint az ionizáló sugárzás, az idő- és ismétlésigény, a szükséges eszközi és környezeti feltételek, valamint a felmerülő költségek olyan módszertani kutatásokat indokolnak, amelyek lehetővé teszik a gerinc elváltozásainak gyors, költséghatékony és káros sugaraktól mentes diagnosztikáját. A scolioticus gerinc szűrésére számos nem-ionizáló és non-invazív módszert javasoltak,¹ köztük a moiré topográfiát (MT), a (video-) raszteres sztereográfiát (Diers Formetric),^{14,15} a 3-D ultrahangos képpalkotást (Scolioscan)^{16,17} és az infravörös termográfiát (IR termográfia).¹⁸

1970-ben a MT-t mint a klinikai diagnosztikában alkalmazott topográfiai vizsgálatok egyik első technikáját emberi testfelületek vizsgálatára javasolták.¹⁹ A MT a moiré jelenségén alapul, amely akkor jön létre, ha két hasonló, ismétlődő mintázatból álló geometriai struktúra tökéletlen középpont-középpont beállítással egymással átfedésbe kerül. Ekkor egy világos és sötét vonalakkól álló eredő csíkozott, a moiréjelenség figyelhető meg (1. ábra). Általánosságban a sötét sávokat nevezük moirécsíkoknak vagy moirésávoknak (MS). Az alapstruktúrák (vagy rácsok) egymásra hatásának eredményeként megjelenő moiréjelenség mérés-technikai alkalmazásának alap gondolata az, hogy ha a rácsok közül az egyik a vizsgálandó felület egy adott állapotával van kapcsolatban, míg a másik egy ettől eltérő állapottal, – amely akár egy referencia állapot is lehet – az eredő mintázatokból következtethetünk a két állapot – adott esetben az egyik állapot és a referencia – közötti eltérésre. Másféleképpen fogalmazva: az eredő jelenségből visszafejthető a felület egy adott állapota a másik – vagy a referencia – ismeretében.²⁰

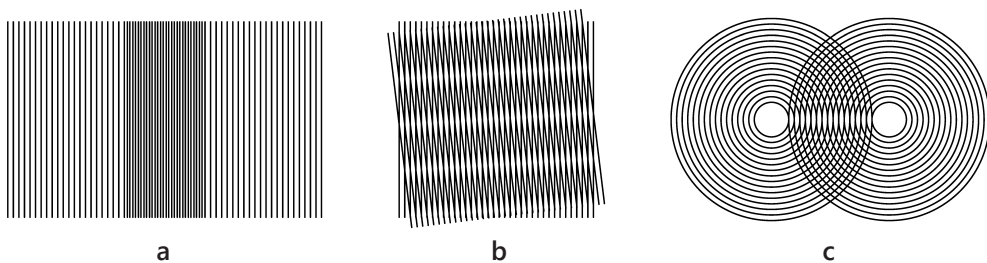
A moiréjelenség létrehozása technikafüggő, és akár olyan rácsokból is előállítható, amelyek nem tényleges fizikai objektumok. Ilyen technikát valósítanak meg az ún. árnyék- és projekciós moiré-berendezések. Árnyékmoiré-technika (2. ábra) esetén a fizikai rács vizsgálandó felületre vetített árnyéka járul hozzá az interferenciához, és ezáltal a moirécsíkok megjelenéséhez szükséges második rácsként.

Projekciós MT alkalmazásakor a tárgy felületére szintén csak egy alaprácst vetítünk, ám itt szoftveres képfeldolgozás útján hozzáadott virtuális ráccsal hozzuk létre a moiréjelenséget (3. ábra). A projekciós moiré-berendezéshez csupán egy digitális fényképezőgép, egy számítógép, valamint egy (digitális vagy videó-) projektor szükséges. A 4. ábra az emberi gerinc digitális (projekciós) technikával létrehozott moirémintázatát mutatja, amely a hátfelület egyedi karakterisztikáját jellemezve további diagnosztikai célzatú elemzésekre alkalmazható.



2. ábra. Az árnyékmoiré-technika sematikus ábrája

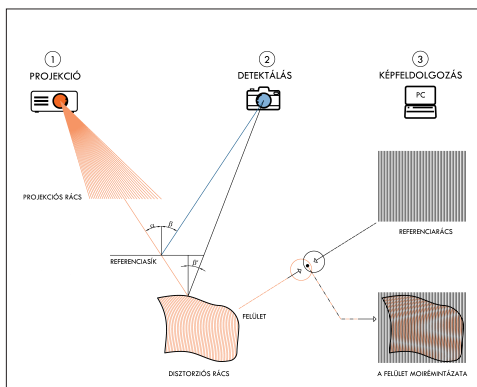
Magyarországon az 1980-as években Gréczy és mtsai²¹ a scoliosis szűrésére irányuló vizsgálataikra alapozva konkludáltak, hogy a moirétechnika és az Adams-teszt együttes alkalmazása megfelel a modern szűrővizsgálat követelményeinek, valamint megoldást kínál a scoliosis tömeges szűrésére. Javasolták továbbá



1. ábra. Azonos (a) és (c), valamint eltérő szögű azonos (b) geometriájú struktúrák moirémintázatai

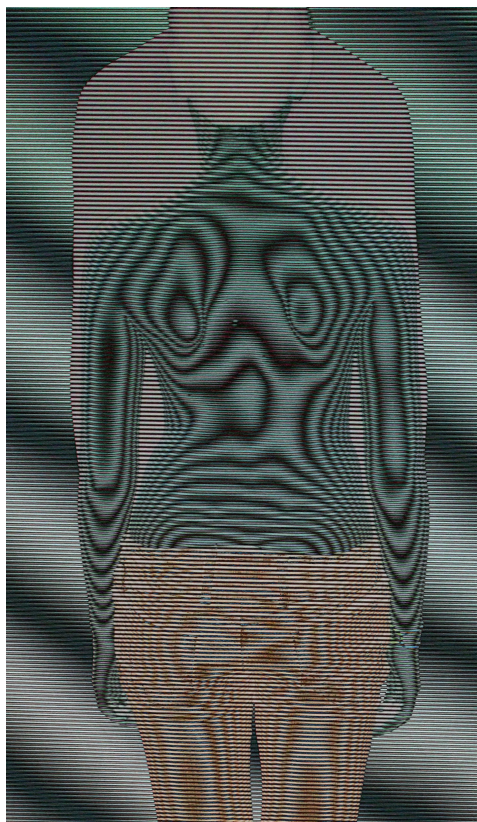
a MT iskolaorvosi szűrővizsgálat-rendszerbe való beépítését és moirékészülékek az ország vezető és megyei ortopéd szakintézeteibe történő telepítését, mivel úgy találták, a MT és a hagyományos radiográfiai vizsgálat egymást hasznosan kiegészítő módszerek, és együttes használatuk lehetővé teszi a *scoliosis rotatio*s és *frontalis* síkú komponensének feltérképezését. Az előzőekhez hasonlóan további hazai és nemzetközi kutatások is kiemelik, hogy mivel a MT segítségével a hát *frontalis* és *sagittalis* síkban vett elváltozásai kimutathatók, a technika ortopédiai szűrésekre és diagnosztizálásra egyaránt felhasználható.²²⁻²⁵ Az egykori Egészségügyi Minisztérium 2008-as szakmai protokollja a *scoliosis* fizioterápiájáról a diagnosztikai és képalkotó vizsgálatok között a kétirányú, álló helyzetben készült röntgenfelvétel és spirometriás / spiroergometriás vizsgálatok mellett a MT lehetőség szerinti használatát ajánlotta.²⁶

Az MT szignifikáns előnye, hogy nem-invazív, káros sugaraktól mentes, tetszőleges ismétlésszámú, gyors, valamint tömegmérétekben alkalmazható költséghatékony mérést tesz lehetővé könnyen mobilizálható eszközökkel. A gerinc görbületi szögének számításához megfelelően kiválasztott és algoritmizált moirétechnika alkalmas lehet a röntgenfel-



3. ábra. A projekciómoiré-technika sematikus ábrája

vételek helyettesítésére vagy kiegészítésére *scoliosisban*.^{1,27-29} Ugyanakkor komoly korlátot jelent, hogy a felülettópográfiai vizsgálatok *scoliosisban* történő alkalmazásakor általánosan megbízható eredményekhez vezető metológiai standard nem került kidolgozásra.³⁰ Így komoly hátránya a MT-nak, hogy bár a felület alakjára vonatkozó információt megadja, nem feltétlenül vonhatók le egyértelmű következtetések. A moiréfelvételek feldolgozásához (sávszegmentáció és –elemzés) és kiértékeléshez szükséges munkaintenzitás ugyancsak jelentős, ennek legjobb megoldását – különösen nagy betegpopulációt felölelő, rövid időn belül végrehajtandó vizsgálatok esetén – egy automatikus rendszerben látják.³¹⁻³⁶



4. ábra. Az emberi hátról készített digitális (projekciós) moiréfelvétel

A moiréfelvételek feldolgozása számos egyedi megoldást igényel, amelyre kihat az optikai elrendezés (ti. a referenciaterület, a páciens, a fényforrás/projektor és a detektor egymáshoz viszonyított távolsága és térbeli pozicionálása), az alkalmazott megvilágításból adódó intenzitáseloszlás (intensity distribution), valamint a zaj és a detektálás jellege. Ennél fogva, egy teljesen automatizált moiréképfeldolgozás megvalósítása jelentős kihívást jelent, ugyanakkor kívánatos célt is a területen.^{20,37,38}

A moirémintázat-analízis bizonytalansági faktorainak csökkentésében a MS-ok precíz szegmentációja alapvető jelentőséggel bír.³⁹

Megjegyzendő, hogy a gerinc moiréfelvételeinek hatékonyabb elemzése még további kutatásokat igényel, amelyben a mérnökök és orvosok elszánt és érdemi összefogása, a műszaki-orvosbiológiai tudás összehangolt alkalmazása alapvető szerepet játszik. Ennek a multi- és interdiszciplináris tudásnak az összehangolása e tanulmánynak is a központi törekvése.

CÉLKITŰZÉSEK

A moirémintázatok szegmentációs kihívásaira adott válasz gyanánt egy szoftver alapú MS-szegmentáló alkalmazás, angol munkacímen *Moiré Fringe Segmentation Tool* (MFST) koncepciója és prototípusa került kifejlesztésre. Az MFST célja, hogy segítse a MS-ok detektálását és kontúrozását kvázi valós időben (*quasi-real-time*, QRT), manuálisan állítható képfeldolgozási műveletek és előre meghatározott szekvenciákon alapuló félautomata algoritmusok alkalmazásával. A koncepció lényege, hogy ösztönzi az orvosi és orvosbiológiai szakemberek gyakorlati és felfedező jellegű moirékutatásait *scoliosisban*, oly módon, hogy reális és megvalósítható választ ad a manuális és automatizált MS-szegmentáció képfeldolgozási problémáira. A javasolt szoftver alapú prototípus célja, hogy moiréfelvételek

gyors és precíz szegmentációja által bemenetet biztosítson a MS-ok és azok matematikai-geometriai összefüggéseinek elemzéséhez gerincgörbületi szögértékek számítására alkalmazható módszerek feltárása érdekében. Fontos kiemelni, hogy az alkalmazás használatával nyerhető szegmentált moiréfelvételek további, diagnosztikai célzatú kiértékelése e kutatás későbbi fázisaiban, külön szoftverben valósul meg.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A MS-ok detektálására a szoftver működési elve egy manuális/félautomata megoldást követ. A szoftver jellemzőit és kulcsfontosságú funkcióit egy MS-szegmentáló algoritmus kifejlesztésére irányuló előzetes kutatás megfigyelései és következtetései⁴⁰ határozták meg. Ennek során 11 db, XOR (kizáró vagy) logikával létrehozott (digitális) projekciós moiréfelvételen képszűrési és morfológiai műveleteket alkalmazó képfeldolgozási szekvencia került bemutatásra. Az MFST logikai elrendezése és felépítése az előzetes kutatásban ajánlott algoritmus dilatáción kívül eső képfeldolgozási lépései alapján került kialakításra. A felhasználói felület és a szoftver felépítése egyaránt követ funkcionális és kényelmi szempontokat, figyelembe véve WIKLUND felhasználóbarát orvosi interfészek tervezéséhez javasolt megoldásait.⁴¹ Az MFST kódja és grafikus felhasználói felülete a MATLAB App Designer (R2018B) programrendszerben⁴² került kifejlesztésre.

A felhasználói felület kidolgozása során elsődleges szempont volt a felhasználók által potenciálisan használt szoftverek vizuális elemeihez való igazodás. Ennek érdekében a gombok a legismertebb képszerkesztő és -feldolgozó szoftverek dizájnját követik (pl. Photoshop, GNU Image Manipulation Program [GIMP]), és a felhasználó számára megnyíló ablakok elrendezése is a megszokott

irodai grafikus szoftverek arculatához illeszkedik.

Az MFST felhasználói felületének kulcselemei a következők: (1) képfeldolgozási műveletek mezője, (2) beépített algoritmusok gombosora, (3) a képfeldolgozás fázisainak előnézeti panelje és (4) a standard műveleteket előhívó gombok (5. ábra).

A (1) képfeldolgozási műveletek mezője szűrési és morfológiai képmanipulációs funkcióival a QRT-képfeldolgozáshoz igazított címkéket és beállításokat tartalmazza. A szűrési és morfológiai funkciók által valósul meg a fényerő, a kontraszt, a küszöbölés, a 2-D Gauss-féle elmosás és a szkeletonizáció manuális paraméterezhetősége.

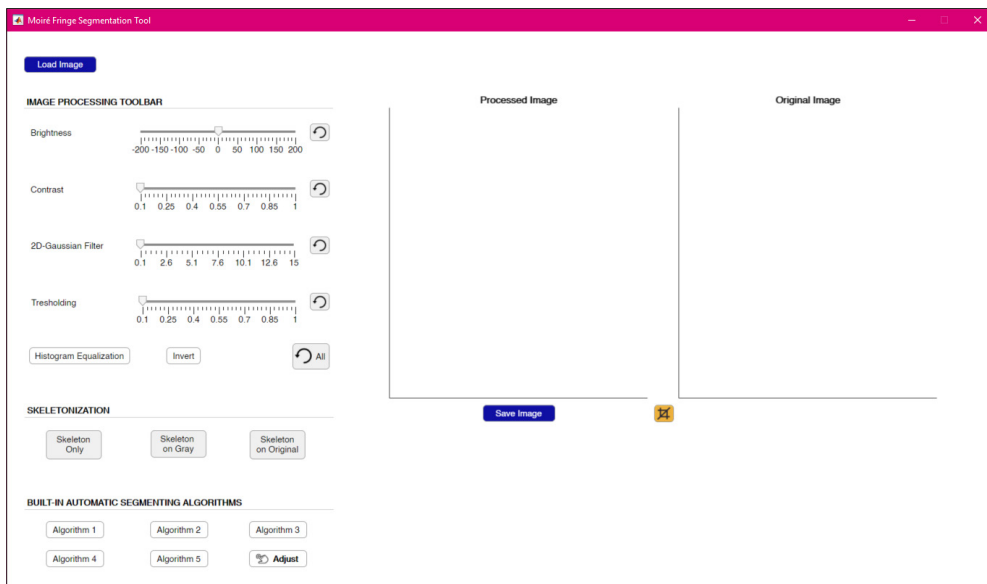
A (2) beépített algoritmusok célja, hogy támogassák a manuális MS-detektálást azáltal, hogy előre meghatározott, automatizált morfológiai képfeldolgozást biztosítanak. Az automatikus algoritmusok körét a legkülönbözőbb forrásokból származó moiréfelvételekre adap-

tált szegmentációs módszerek tanulmányozásával kívánjuk bővíteni. Jelen tanulmány a prototípusba az automatizált MS-detekció szemléltetésére az előzetes kutatásban alkalmazott statikus megoldást építette be.

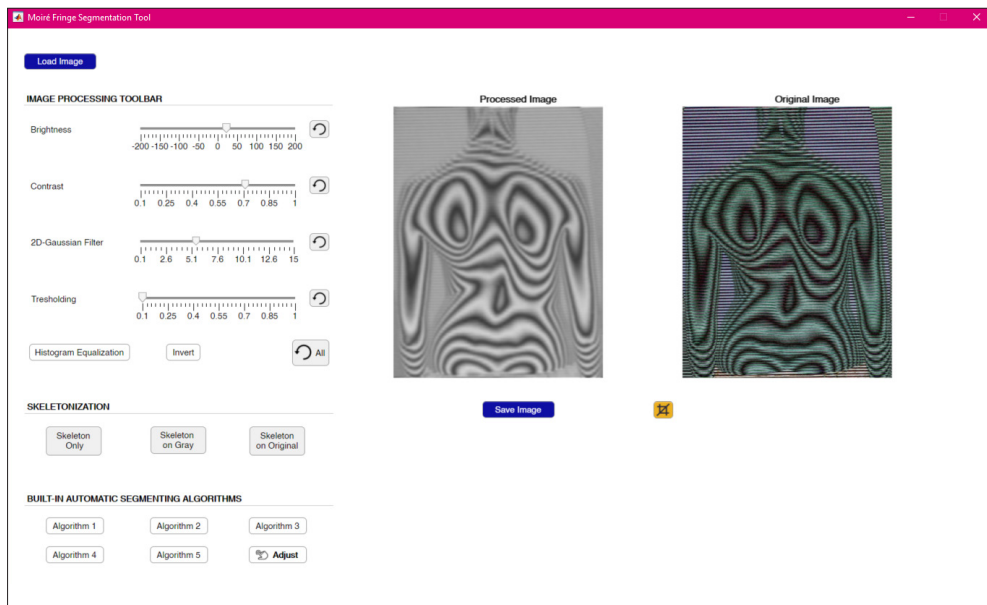
Az (3) előnézeti panel a képfeldolgozási eredmények QRT vizualizációjaként szolgál. A (4) standard műveleteket előhívó gombok célja pedig alapvető feladatok végrehajtása, mint például a moiréfelvételek programba töltése, a szerkesztett képek exportálása és beállítások visszaállítása (reset funkció).

EREDMÉNYEK

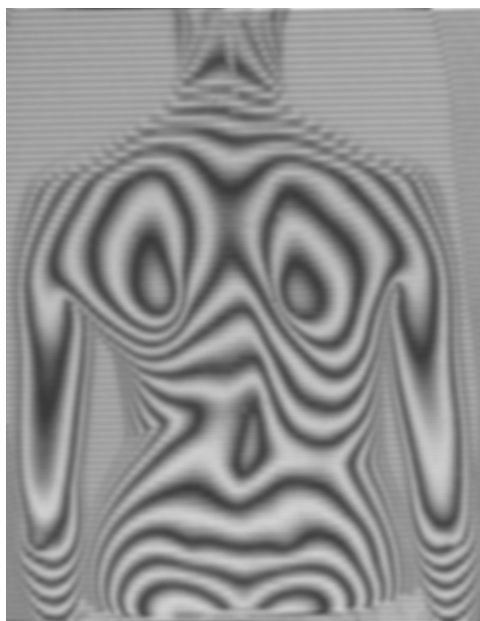
Az MFST prototípusa lehetővé teszi az XOR logikával létrehozott moiréfelvételek dinamikusan változtatható és felhasználóbarát szegmentációs célzatú képfeldolgozási konfigurációit. Az alkalmazás által támogatott QRT szegmentálási módszer egyszerű, gyors és a képek moirécsíkjainak nagy részét pontosan leköveti. A prototípus grafikus felhasználói felülete (5. ábra) négy fő területre tagolódik: (1)



5. ábra. A *Moiré Fringe Segmenting Tool* prototípusának főképernyője



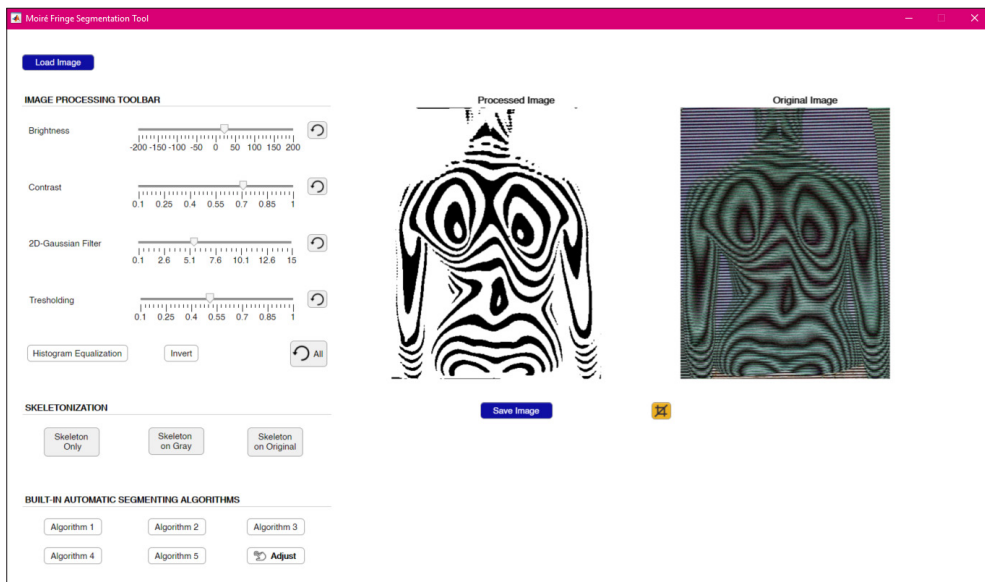
6. ábra. A *Moiré Fringe Segmentation Tool* prototípusában végrehajtott fényerő- és kontrasztjavítás, valamint a 2-D Gauss-féle elmosás eredménye



7. ábra. A *Moiré Fringe Segmentation Tool* prototípusában végrehajtott fényerő- és kontrasztjavítás, valamint a 2-D Gauss-féle elmosás eredménye nagyítva

a képvászonra, amely az eredeti (referencia) és az éppen feldolgozott képet jeleníti meg, (2) a képfeldolgozó eszköztárra, (3) a szkeletonizált eredmények megjelenítésére szolgáló eszköztárra, valamint (4) a beépített, automatikus szegmentációt kiszolgáló algoritmusokra.

A manuális szegmentálási eljárás fő fázisait a 6-11. ábra szemlélteti. Az „*Algorithm 1*” gombbal végzett automatizált szegmentálás eredményét a 12. ábra mutatja. A szoftver működésének folyamatát pedig a 13. ábra szemlélteti. Bár a prototípusban használt megoldás viszonylag szűk képszűrési és képfeldolgozási műveleteket alkalmaz, mégis lehetővé tesz vizuálisan követhető és viszonylag pontos, akár diagnosztikához használható MS-delineációt. Egyszerűségének és gyors működésének következtében az MFST továbbfejlesztett, képfeldolgozási funkcióira nézve kibővített megoldása pedig helyettesítheti az időigényes és komplex szegmentálási módszereket is. Az automatikus algoritmusok végrehajtási sebessége a képfelbontástól és az alkalmazott



8. ábra. A *Moiré Fringe Segmentation Tool* prototípusában végrehajtott küszöbölés (thresholding) eredménye

szegmentációs módszer összetettségétől és optimalizáltságától függ. Az illusztrációhoz felhasznált moiréfelvétel felbontása 1008 x 1304

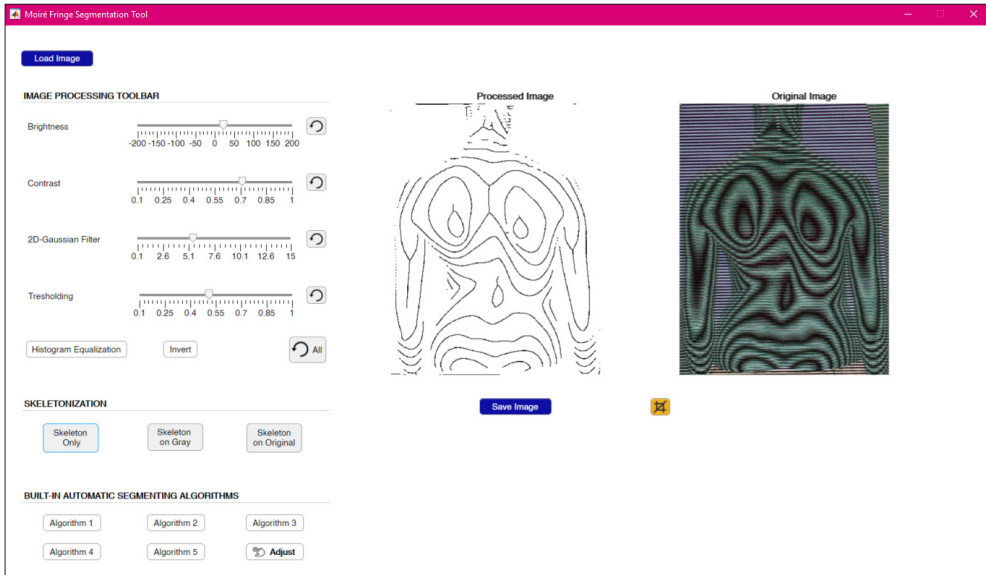


9. ábra. A *Moiré Fringe Segmentation Tool* prototípusában végrehajtott küszöbölés (thresholding) eredménye nagyítva

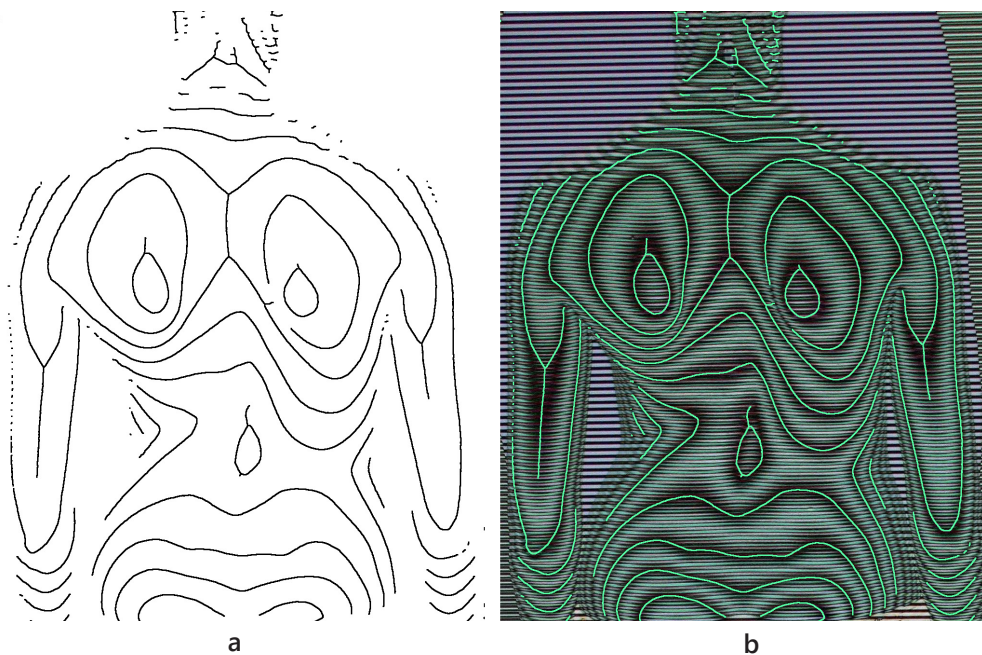
px, amit a statikus paramétereket alkalmazó automatikus algoritmus mintegy egy másodpercen belül dolgoz fel. A képfeldolgozás alsó közepkategóriás Windows 10 PC-rendszer konfigurációján került végrehajtásra (CPU: Intel® Core™ i5-8300H @ 2.30 GHz, GPU: NVIDIA GeForce GTX 1050 4 GB, RAM: 8 GB).

Képvásznak

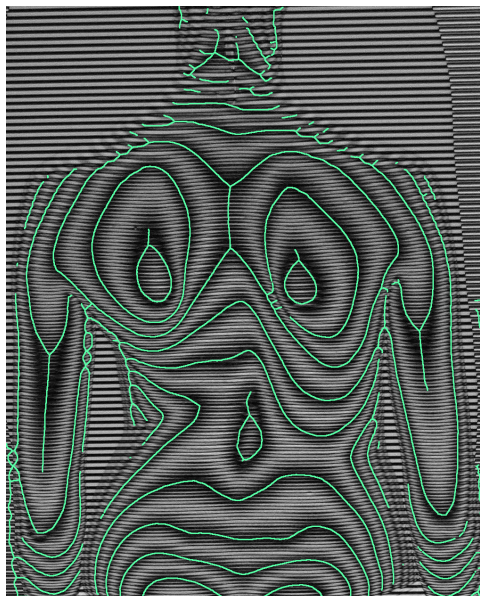
Az MFST grafikus felhasználói felületének jobb oldalán két képvászon található: az egyik az eredeti kép, amely referenciaként szolgál („*Original Image*”), a másik pedig a QRT-képfeldolgozás eredményét jeleníti meg („*Processed Image*”). Utóbbi a képfeldolgozó eszköztáron (a vásznaktól balra) végzett beavatkozásoknak megfelelően mutatja az eredeti moiréfelvétel szürkeárnyalatos másolatán végzett szegmentáció aktuális fázisait. A képfeldolgozásból eredő adatvesztés minimalizálása érdekében a felhasználó számára az eredeti moiréfelvétel („*Original Image*”) mind-




10. ábra. A Moiré Fringe Segmentation Tool prototípusában végrehajtott szkeletonizáció eredménye




11. ábra. A Moiré Fringe Segmentation Tool prototípusában végrehajtott szkeletonizáció eredménye nagyítva (a) és átfedésben az eredeti moiréfelvétellel (b)

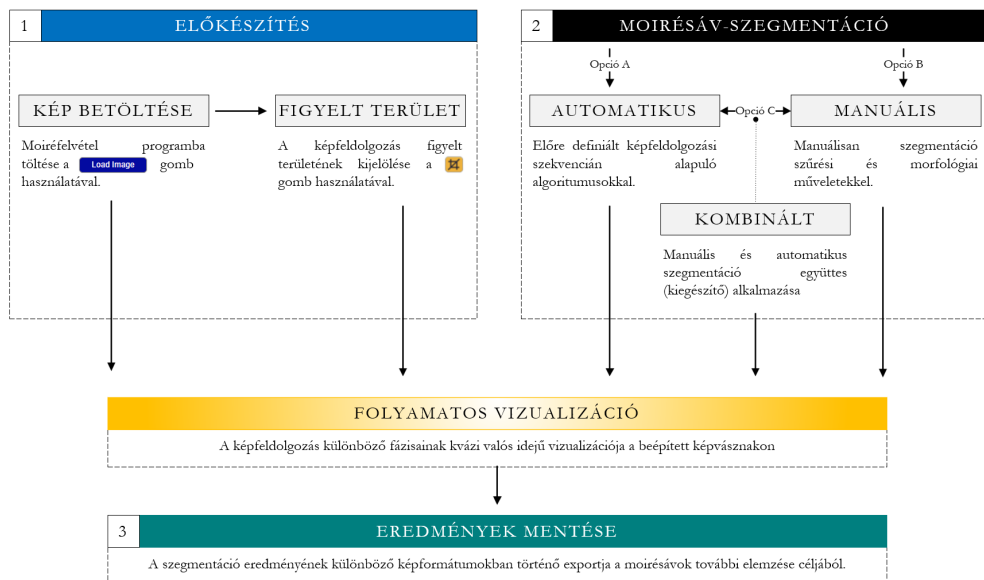


12. ábra. A Moiré Fringe Segmentation Tool prototípusába épített szegmentáló algoritmus eredménye nagyítva (az „Algorithm 1” gomb lenyomását követően)


végig látható marad. A két vászon alatt található kivágás gomb  használatával a bemeneti moiréfelvételek figyelt területének (ROI, *region of interest*) levágása végezhető téglalap-kijelölő segítségével.

Képfeldolgozó eszköztár


Az MFST prototípusának képfeldolgozó eszköztára biztosítja a programba betöltött („Load Image“ a bal felső sarokban) moiréfelvételek QRT szűrési és morfológiai finomhangolásait. A prototípusba hét különböző képfeldolgozási művelet került beépítésre: (1) fényerőszabályzás, (2) kontrasztjavítás, (3) 2-D Gauss-féle elmosás, (4) küszöbölés, (5) hisztogram kiegyenlítés, (6) inverzió és (7) szkeletonizáció. Az (1-4) műveletekhez állítható vízszintes skálák tartoznak reset funkcióval , az (5-7) műveletekhez pedig dedikált gombok tartoznak. Minden művelet QRT vizualizációt biztosít a vásznon („Processed Image“). Az összes képmódosítás visszaállítja



13. ábra. A Moiré Fringe Segmentation Tool prototípusában történő szegmentáció folyamata

sára szintén dedikált gomb  szolgál. Mivel a javasolt szegmentálási módszer utolsó lépése, a szkeletonizáció megjelenítésére több módszer is implementálásra került, a szkeletonizáció gombjai a képfeldolgozó eszköztár alján, külön sorban jelennek meg. Ezek a gombok a szkeletonizációs folyamat eredményét három kontextusban jelenítik meg: (a) csak a szkeletonizált kép szerepel („*Skeleton Only*“), (b) a szkeletonizált kép átfedésben az eredeti moiréfelvétellel szürkeárnyalatos másolatával („*Skeleton on Gray*“), (c) a szkeletonizált kép átfedésben az eredeti moiréfelvétellel („*Skeleton on Original*“). A képfeldolgozás eredményei a következő formátumokban exportálhatók ki „*Save Image*“ („kép mentése“) gomb használatával: (1) Windows Bitmap (.bmp), (2) JPEG 2000 (raw codestream, .j2c, .j2k), (3) JPEG 2000 (Part 1, .jpg, .jpeg), (4) Joint Photographic Experts Group (.jpg, .jpeg), (5) Portable Bitmap (.pbm), (6) Portable Graymap (.pgm), (7) Portable Network Graphics (.png), (8) Portable Pixmap (.ppm), (9) Sun Raster (.ras), (10) Tagged Image File Format (.tif, .tiff).

Beépített automata szegmentáló algoritmusok

A beépített algoritmusok képfeldolgozási műveletek előre definiált szekvenciáival végeznek önálló vagy a manuális szegmentációt kiegészítő delineációt. Az MFST prototípusába egyetlen algoritmus került beépítésre („*Algorithm 1*“), amely az előzetes kutatásban bevezetett automatikus szegmentálási eljárást követi. Az „*Algorithm 2-5*“ gombok a kutatás későbbi szakaszáig helyőrző (placeholder) szereppel bírnak. Az „*Adjust*“  („igazítás“) gomb megnyomásával az automatikus algoritmusok által adott eredmények finomhangolása végezhető manuálisan.

MÉGBESZÉLÉS

Az MFST prototípusa egy egyszerű, gyors, és a felvételek MS-jainak nagy részét pontosan

lekövető szegmentációt tesz lehetővé. Ugyanakkor az eredményeket árnyalja, hogy a prototípusba épített szűrési és morfológiai műveletek, amellet, hogy biztosítják az adaptív és rugalmas szegmentáció feltételeit, jellegükből adódóan adatvesztéshez, ezáltal pontatlan és/vagy sporadikus delineációhoz vezethetnek. A prototípus általánosan megbízható használhatósága érdekében az adatvesztést mérséklő és a hatékonyabb adatkinyerést növelő szegmentációs célzatú funkcióbővítés szükséges. Az MFST továbbfejlesztésének lehetséges módjai (1) a dilatáció, azaz az előtérben lévő pixelek körüli régiók fokozatos növelése; (2) a képelesítéshez alkalmazható felüláteresztő szűrők; (3) adaptív küszöbölés lokális és globális átlagértékek alapján; (4) bitenkénti XOR műveletek alul- és túlkontrasztált moiréfelvételek alapján; (5) fuzzy logikai rendszer³⁹ a manuális és előre definiált algoritmusok kombinálásához; (6) nagy mennyiségű mintaadat alapján mély gépi tanulás (*deep learning*) útján fejlesztett automatikusan szegmentáló algoritmusok; valamint (7) komplex mintaelemzésre alkalmas gyors Fourier-transzformáció (*Fast Fourier Transform*, FFT).⁴³

Az MFST-on alapuló képfeldolgozás természetesen nem váltja ki a röntgenfelvételek és más bevett képalkotó eljárások használatát, mivel különösen a fejlesztés első fázisában nem a scoliosis diagnosztikája, hanem a diagnosztikához megfelelő, szegmentált képi bemenet létrehozása a cél. Ez azt jelenti, hogy a szoftver a mai formájában a kutatások eszköze, így a potenciális felhasználói elsősorban a kutatás-fejlesztés számára hasznos bemenetet nyújtani képes egészségügyi és műszaki szakemberek. Ugyanakkor a jövőben, elegendő mennyiségű képi adat birtokában a gépi tanulás eszközével lehetőség nyílik arra, hogy az MS-ok szegmentációja automatikusan valósuljon meg. A megfelelő mennyiségű moiréfelvétel begyűjtésének és ezáltal a szoftver finomhangolásának hatékony és innovatív

módja, mely járulékos haszonként az egészségtudatosság és a tudománykommunikáció céljait is szolgálja, az ún. *citizen science* (CS) módszertan bevonása. A CS lényege, hogy szakirányú tudományos képzettséggel nem rendelkező személyek végeznek adatgyűjtést tudományos projekteket támogatva, jellemzően kutató-fejlesztő intézmények orientációjával.⁴⁴ A CS mint adatgyűjtési módszertan az utóbbi évtizedekben elnyerte a tudományos közösség legitimációját, és az orvostudomány terén is számos valid eredmény közzönhető neki.⁴⁵ Az adatgyűjtésen túl a CS képessé teszi az állampolgárokat arra, hogy tudományos kérdéseket, sőt akár válaszokat fogalmazzanak meg, és megosszák adataikat a tudományos közösséggel. A polgárok választ adhatnak a betegeket és az egészségügyi rendszert egyaránt érdeklő népegészségügyi kérdésekre, így a CS az egészségügyi kutatók legitim módszere.⁴⁶ Az MFST esetében a célközönség várhatóan a mozgásszervi betegségek iránt érdeklődőkből (testnevelők, edzők, védőnők, iskolai egészségvédelmi szakemberek) és érintettekből tevődik össze. Másfelől a szoftver által biztosított manuális MS-szegmentáció finomhangolásába bevonhatók informatika és képfeldolgozás iránt érdeklődő, az átlagos felhasználói szintnél némileg magasabb IKT-kompetenciákkal rendelkező, kísérletezésre hajlandó állampolgárok. A prototípusba ágyazható analitikai rendszer segítségével felhasználói adatok gyűjthetők, amelyek hozzájárulnak a szoftver jövőbeni fejlesztéséhez. A kinyert adatok által lekövethetővé válnak a felhasználó

nálók módszerei és preferenciái – különösen a szegmentálás folyamatainak sorrendisége, az egérmozgás és a műveletekre szánt idők tekintetében. A szoftver alkalmazói részéről tekintélyes mennyiségű adat gyűjthető a felhasználói élményre vonatkozóan is, így ez a vetülete (UX) is hatékonyan fejleszthető, valamint esetleges működési rendellenességei (ún. bugjai) is könnyen feltárhatók.

KÖVETKEZTETÉSEK

Ebben a tanulmányban a scolioticus gerinc moirémintázatainak szegmentálására irányuló kutatás második fázisa valósult meg, amelynek keretében bemutatásra került a *Moiré Fringe Segmentation Tool* szoftver-alapú alkalmazás prototípusa MS-ok detektálására és kontúrozására. A prototípus a MS-ok szegmentációját kvázi valós időben manuálisan állítható szűrési és morfológiai képfeldolgozási műveletekkel, valamint előre meghatározott szekvencián alapuló, beépített algoritmussal támogatja. A kutatás első fázisához hasonlóan a szoftver alkalmazhatóságát egy egyszerű, gyors és a felvételek MS-jainak nagy részét pontosan lekövető szegmentálás igazolja. Az eredmények azt mutatják, hogy az MFST szoftver prototípusa megfelelő alapot nyújt a MS-ok szegmentációjára irányuló további, kiterjesztett képfeldolgozási műveletekkel operáló kutatás-fejlesztéshez. Egyszerűségének és gyors működésének következtében, a prototípus továbbfejlesztett megoldása helyettesítheti az időigényes és komplex szegmentálási módszereket is.

A szerzők részvétele: Kutatásvezető, kutatási célok meghatározása [Conceptualization]: B.CS. Adatgazdász, adatok kezelése és metaadatok kezelése [Data curation]: B. CS. Kísérletvezető, adatgyűjtés lebonyolítása [Investigation]: B.CS. Módszertani szakember, modellalkotás [Methodology]: B.CS., H.E.G. Programozó, informatikai támogatás biztosítása [Software]: B.CS., M.A.D. Kutatási terv készítése és ellenőrzése, mentorálás [Supervision]: M.A.D., H.E.G., A.Á. Eredmények és módszertan ellenőrzése [Validation]: B.CS., H.E.G., M.A.D., A.Á., T-CS.M. Vizualizáció és adatmegjelenítés [Visualization]: B.CS. Eredeti kézirat megfogalmazása [Writing (original

draft]): B.CS., H.E.G. Kézirat végleges változatának megfogalmazása, lektorálási folyamatok kezelése [Writing (review & editing)]: B.CS., H.E.G.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetet mondanak a SALUS Orthopedtechnikai Kft. munkatársainak (Joó István, Prommer Katalin és Marlok Ferenc) a kutatáshoz szükséges moiréfelvételek rendelkezésre bocsátásáért.

Támogatás: A kutatómunka anyagi támogatásban nem részesült.

Összeférhetlenség: Nincs.

Rövidítések: CS - Citizen Science (állampolgári tudomány); FFT - Fast Fourier Transform (gyors Fourier-transzformáció); IKT - Információs és Kommunikációs Technológiák; IR - infrared (infravörös); MFST - Moiré Fringe Segmentation Tool; MS - moirésáv (moiré fringe); MT - moiré topográfia (moiré topography); QRT - quasi-real-time (kvázi valós idejű); ROI - region of interest (figyelt terület); UX - user experience (felhasználói élmény); XOR - logical eXclusive OR (kizáró vagy logika).

IRODALOM

1. *Labecka MK, Plandowska M.* Moiré topography as a screening and diagnostic tool-A systematic review. *PLoS One.* 2021;16(12):e0260858.
2. *Czaprowski D, Stolinski Ł, Tyrakowski M, Kozinoga M, Kotwicki T.* Non-structural misalignments of body posture in the sagittal plane. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018;13:6.
3. *Hawke F, Rome K, Evans AM.* The relationship between foot posture, body mass, age and ankle, lower-limb and whole-body flexibility in healthy children aged 7 to 15 years. *J Foot Ankle Res.* 2016;9:14.
4. *Evans AM.* The paediatric flat foot and general anthropometry in 140 Australian school children aged 7 - 10 years. *J Foot Ankle Res.* 2011;4(1):12.
5. *Martínez-Nova A, Gijón-Noguerón G, Alfageme-García P, Montes-Alguacil J, Evans AM.* Foot posture development in children aged 5 to 11 years: A three-year prospective study. *Gait & Posture.* 2018;62:280-4.
6. *Angarita-Fonseca A, Boneth-Collante M, Ariza-García CL, Parra-Patiño J, Corredor-Vargas JD, Villamizar-Niño AP.* Factors associated with non-specific low back pain in children aged 10-12 from Bucaramanga, Colombia: A cross-sectional study. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2019;32(5):739-47.
7. *Calvo-Muñoz I, Gómez-Conesa A, Sánchez-Meca J.* Prevalence of low back pain in children and adolescents: a meta-analysis. *BMC Pediatr.* 2013;13:14.
8. *Filho JNdS, Batista LA, Gurgel JL, Porto F.* Shadow Moiré technique for postural assessment: qualitative assessment protocol by intra- and inter-rater evaluation. *Journal of Physical Therapy Science.* 2017;29(2):356-60.
9. *Silva JG, Almeida MSd, Costa CGd, Rocha AF, Silva PMd, Silva RTGd, et al.* Moiré topography: an alternative to scoliosis evaluation in student's health. *Journal of Human Growth and Development.* 2014;24:62-6.
10. *Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, Czaprowski D, Schreiber S, de Mauroy JC, et al.* 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018;13:3.
11. *Caruncho MV.* The effects of diagnostic radiation. [Os efeitos da radiação diagnóstica]. *Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade.* 2011;6(19):116-7. [Portuguese].
12. *Brent RL.* Carcinogenic risks of prenatal ionizing radiation. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine.* 2014;19(3):203-13.

13. *Lin EC*. Radiation risk from medical imaging. *Mayo Clin Proc*. 2010;85(12):1142-6; quiz 6.
14. *Knott P, Sturm P, Lonner B, Cahill P, Betsch M, McCarthy R, et al*. Multicenter Comparison of 3D Spinal Measurements Using Surface Topography With Those From Conventional Radiography. *Spine Deformity*. 2016;4(2):98-103.
15. *Guidetti L, Bonavolontà V, Tito A, Reis VM, Gallotta MC, Baldari C*. Intra- and Interday Reliability of Spine Rasterstereography. *BioMed Research International*. 2013;2013:745480.
16. *Zheng Y-P, Lee TT-Y, Lai KK-L, Yip BH-K, Zhou G-Q, Jiang W-W, et al*. A reliability and validity study for Scolioscan: a radiation-free scoliosis assessment system using 3D ultrasound imaging. *Scoliosis and spinal disorders*. 2016;11(1):13.
17. *Lai KK-L, Lee TT-Y, Lee MK-S, Hui JC-H, Zheng Y-P*. Validation of Scolioscan Air-portable radiation-free three-dimensional ultrasound imaging assessment system for scoliosis. *Sensors (Basel)*. 2021;21(8):2858.
18. *Kwoł G, Yip J, Yick KL, Cheung MC, Tse CY, Ng SP, et al*. Postural screening for adolescent idiopathic scoliosis with infrared thermography. *Sci Rep*. 2017;7(1):14431.
19. *Takasaki H*. Moiré topography. *Applied optics*. 1970;9(6):1467-72.
20. *Anal Á*. Optikai úton generált Moiréfelületek hibaanalízise és identifikálása mérés-technikai alkalmazásokkal. [Doctoral dissertation]: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem; 2009.
21. *Gréczy I, Sárkány J, Tóth J, Nemes J, Bakay A*. Scoliosos szűrés Bács-Kiskun megyében Adams teszttel és moiré technikával. *Orv Hetil*. 1988;129(17):883-7.
22. *Petra B, Kata P, Ákos A*. Digitális moiré képek vizsgálata gerincferdüléses betegek nyomon követésére. *Biomechanica Hungarica*. 2014;7(1).
23. *Batouche M, Benlamri R, Kholladi M*. A computer vision system for diagnosing scoliosis using moiré images. *Computers in Biology and Medicine*. 1996;26(4):339-53.
24. *Adair I, Van Wijck M, Armstrong G*. Moiré topography in scoliosis screening. *Clinical orthopaedics and related research*. 1977;129:165-71.
25. *Ruggerone M, Austin JH*. Moiré topography in scoliosis. Correlations with vertebral lateral curvature as determined by radiography. *Phys Ther*. 1986;66(7):1072-7.
26. *Ápolási Szakmai Kollégium és a Magyar Gyógytornászok Társasága*. Az Egészségügyi Minisztérium szakmai protokollja. A scoliosis (az idiopathiás strukturális scoliosis) fizioterápiájáról. 2008. Available from: http://www.gyogytor-naszok.hu/regi/files/scoliosis_protokoll.pdf [cited 2018 March 12].
27. *Yeras AM, Peña RG, Junco R*. Moiré topography: alternative technique in health care. *Optics and Lasers in Engineering*. 2003;40(1-2):105-16.
28. *Hertz H, Russomano T, Porto F, Steiger A, de Azevedo DF, Gurgel J*. Development of shadow Moiré technique as an alternative low-cost method for postural evaluation. *Scientia Medica*. 2005;15(4):235-42.
29. *Porto F, Gurgel JL, Russomano T, Farinatti PDTV*. Moiré topography: characteristics and clinical application. *Gait & Posture*. 2010;32(3):422-4.
30. *Patias P, Grivas TB, Kaspiris A, Aggouris C, Drağoutos E*. A review of the trunk surface metrics used as Scoliosis and other deformities evaluation indices. *Scoliosis*. 2010;5(12):20.
31. *Batouche M, Benlamri R, editors*. A computer vision system for diagnosing scoliosis. *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*; 1994: IEEE.
32. *Kim HS, Ishikawa S, Ohtsuka Y, Shimizu H, Shinomiya T, Viergever MA*. Automatic scoliosis detection based on local centroids evaluation on moiré topographic images of human backs. *IEEE transactions on medical imaging*. 2001;20(12):1314-20.
33. *Porto F, Gurgel JL, Russomano T, Farinatti PT*. Moiré Topography: From Takasaki Till Present Day. *Recent Advances in Scoliosis: InTech Publications*; 2012. p. 103-18.
34. *Ikeda T, Terada H*. Development of the moiré method with special reference to its application to biostereometrics. *Optics & Laser Technology*. 1981;13(6):302-6.

35. Kim H, Ushijima H, Ishikawa S, Otsuka Y, Shimizu H, Shinomiya T, et al., editors. Scoliosis detection based on difference of apexes position and angle on Moiré topographic images. International Congress Series; 2004.
36. Balla P, Manhertz G, Antal A. Diagnostic moiré image evaluation in spinal deformities. Optica Applicata. 2016;46(3).
37. Zhi H, Johansson RB. Interpretation and classification of fringe patterns. Optics and lasers in engineering. 1992;17(1):9-25.
38. Zhi H, Johansson R, editors. Interpretation and classification of fringe patterns. 11th IAPR International Conference on Pattern Recognition Vol III Conference C: Image, Speech and Signal Analysis; 1992: IEEE Computer Society.
39. Woo WH, Yen KS. Moiré Fringe Segmentation Using Fuzzy Inference System. In: Ibrahim H, Iqbal S, Teoh S, Mustaffa M, editors. 9th International Conference on Robotic, Vision, Signal Processing and Power Applications Lecture Notes in Electrical Engineering; Singapore: Springer; 2017. p. 247-55.
40. Bogdán C, Magony AD, Wolfgang B, Antal Á, Tunyogi-Csapó M. Segmentation of moiré fringes of scoliotic spines using filtering and morphological operations. Acta Polytechnica Hungarica, (accepted for publication). 2023.
41. Wiklund ME, Wilcox SB. Designing usability into medical products: CRC Press; 2005.
42. MATLAB. (2018). 950.944444 (R2018b). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
43. Hladník A, Muck D, Stanić M, Čermič M. Fast Fourier Transform in Papermaking and Printing: Two Application Examples. Acta Polytechnica Hungarica. 2012;9:155-66.
44. Vohland K, Land-Zandstra A, Ceccaroni L, Lemmens R, Perelló J, Ponti M, et al. The science of citizen science: Springer Nature; 2021.
45. Wiggins A, Wilbanks J. The rise of citizen science in health and biomedical research. The American Journal of Bioethics. 2019;19(8):3-14.
46. Petersen C, Austin RR, Backonja U, Campos H, Chung AE, Hekler EB, et al. Citizen science to further precision medicine: from vision to implementation. JAMIA Open. 2019;3(1):2-8.