

# OPTIMÁLIS CSAVARMÉRET ÉS ELHELYEZÉSI POZÍCIÓ AJÁNLÁSA GERINCSEBÉSZETI MŰTÉTHEZ

## RECOMMENDATION OF OPTIMUM SCREW SIZE AND PLACEMENT POSITION FOR SPINE SURGERY

Kocsis Zoltán Tamás <sup>0009-0005-8430-6350</sup> 1 \*

<sup>1</sup> Győri SZC Jedlik Ányos Gépipari és Informatikai Technikum és Kollégium  
<https://doi.org/10.47833/2025.1.CSC.001>

### **Kulcsszavak:**

Orvostudomány  
Gerincsebészet  
Koordináta geometria  
Képfeldolgozás

### **Keywords:**

Medicine  
Spine surgery  
Coordinate geometry  
Image processing

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2024. szeptember 11  
Átdolgozva 2025. február 10.  
Elfogadva 2025. február 11.

### **Összefoglalás**

A gerinc több szakaszból áll, bonyolult felépítésű, ezért, gerincsebészet során többféle műtéti eljárásokat alkalmaznak. Vannak olyan műtétek melyek során különféle deformitások, esetleg sérülések miatt, speciális csavarokat kell elhelyezni a csigolyatestben. Ebben a cikkben bemutatásra kerül egy olyan kidolgozott algoritmus, ami a műtendő csigolyáról készült CT felvétel alapján, segít a műtétet végrehajtó orvosnak kiválasztani a felhasználandó csavart, valamint ezen a felvételen szemlélteti optimális elhelyezési pozícióban, optimális műtéti paraméterek figyelembevételével.

### **Abstract**

The spine consists of several sections and has a complicated structure, therefore, several surgical procedures are used during spine surgery. There are surgeries during which special screws must be placed in the vertebral body due to various deformities or injuries. This article presents a developed algorithm that, based on the CT image of the vertebra to be operated on, helps the doctor performing the operation to select the screw to be used, and on this image it is illustrated in the optimal placement position, taking into account optimal surgical parameters.

## 1. Bevezetés

Az orvos képek feldolgozhatóságának vizsgálatára irányuló eddigi kutatás során elért eredmények közé tartozott annak a felismerése, hogy, ha egy ilyen képen a koordináta geometriát alkalmazzuk, a műtétek előkészítéséhez felhasználható eredményeket kapunk [6][7].

Az első lépés az orvos által kiválasztott CT felvétel átkonvertálása volt egy a digitális képfeldolgozás által elfogadható képfórmátumba. Ezen a felvételen a megfelelő beállításokat alkalmazva sikerült meghatározni a műtendő gerinccsigolya kontúrvonalát. A meghatározott kontúrvonal segítségével sikerült megtalálni a gerinccsigolya középvonalát, és ezt felhasználva a műtendő pediculusk helyzetét a csigolyán belül. Ebből azt a következtetést sikerült levonni, hogy egy saját, erre a speciális célra kidolgozott algoritmus képes egy adott felvételen, a gerinccsigolyán a pediculusk helyzetét meghatározni [6]. Amikor olyan gerincsebészeti műtétet hajtanak végre, ahol csavart alkalmaznak, ismerni kell a csavar optimális bemeneti pozícióját. Ennek meghatározásában a pediculusk elhelyezkedése játszik fontos szerepet. Az elért eredmények közé tartozik a pediculusk legkisebb átmérőjének meghatározása, amely megadja a felhasználandó

\* Kapcsolattartó szerző. Email: [kocsis.zoltan.tamas@jedlik.eu](mailto:kocsis.zoltan.tamas@jedlik.eu)

csavar átmérőjét; valamint az átmérő középpontjának megállapítása, melynek segítségével sikerült előállítani a csavar bemeneti szögét. Mivel a kutatás során használt CT felvételek 512x512 pixelt alkotnak, s ez által koordináta rendszerként foghatók fel, a megfelelő matematikai (koordináta geometria) összefüggéseket használva a műtét során felhasználható eredményeket kaptunk. Mivel a csigolya középvonala már ismert, ez adhatja a nullpontot, ahonnan jobbra, illetve balra mozgással el tudjuk érni az optimális fúrési pozíciót, és szögét. Következésképp tehát levonható, hogy a CT felvétel alkalmas a műtétek során felhasználható eredmények meghatározására [7].

Ezeket az eredményeket felhasználva kidolgozásra került egy olyan modell, ami az előbb említett eredmények figyelembevételével alkalmas a képekből kinyert információkat feldolgozni és orvosi felügyelet mellett elvégezni a szükséges beavatkozást. Továbbá a korábbi szakaszhoz képest még további műtéthez használatos paraméter került meghatározásra.

A kutatás további szakaszában, számos, elvégzett műtét után készült CT felvétel tanulmányozása során világossá vált, hogy a műtétet végző orvosnak nagy segítséget nyújt, ha még az elvégzendő eljárás előtt, a meghatározott helyen és helyzetben szemléltetjük a műtét során felhasználandó csavart. Ez tette szükségessé a jelen cikkben bemutatott algoritmus megvalósítását. A megvalósítás előtt tanulmányozni kellett a gerincsebészethez használt csavarokat, továbbá a csavarok optimális elhelyezését a csigolyatestben. A cikkben bemutatásra kerülnek a felhasználható csavarok általános tulajdonságai, valamint azok az anatómiai tényezők, amelyek a csavar méreteinek és pozíciójának meghatározásához szükségesek. Végül a felhasznált ismeretek alapján elkészült, erre a célra fejlesztett algoritmus kerül szemléltetésre.

Az itt közölt eredmények jelenleg tesztelési fázisban vannak, amennyiben az eljárást végző orvosok is megfelelőnek találják a bemutatott algoritmus működését, akkor lesz alkalmazható valóságos környezetben.

Hasonló eljárást egy izraeli cég a Mazor robotics [24] alkalmaz, de az ott alkalmazott módszerek a műtét előkészítését teljes egészében az orvosra bízják. Az itt bemutatott eljárás ezt hivatott kiváltani úgy, hogy megkönnyíti az orvos tervező munkáját. Egy ajánlást ad a műtét elvégzésére, de ezt az orvos, amennyiben úgy ítéli meg, képes felülbírálni. Készült egy modell is az eljáráshoz, amely az eredményeket hivatott demonstrálni [25].

## 2. Gerincműtéthez használt csavarok

Ahhoz, hogy tisztában legyünk azzal, miért is kell egy csigolyatestet csavarral rögzíteni, feltétlenül meg kell ismerni a kiváltó indokokat, amelyek megkövetelik a műtétek elvégzését. Ezt a betegséget csigolyacsúszásnak (latin nevén spondylodesis vagy spondylosyndesis) nevezik, melynek számos kiváltó oka lehet. Az egyik leggyakoribb oka ennek a betegségnek fejlődési zavarhoz köthető, de okozhatja ezt a csigolyákat összekötő elemek kopása is. Valamint kiváltó oka lehet még törés, ficam, továbbá daganatos elváltozások is.

Műtéti kezelés akkor válik szükségessé, amikor ezek az elváltozások már a mindennapi életvitelt is megkeserítik. Olyan esetekben is el kell végezni ezt a beavatkozást, amikor az idegek annyira megszorulnak, hogy jelentős funkcióeltérés lép fel (pl. az izom erejének csökkenése, székelési, vizelési zavar, férfiaknál impotencia jelentkezése). [3] A különböző műtéti technikák ismertetésétől most eltekintünk, mivel ezeket az orvosok határozzák meg.

### 2.1. Csavarok típusai

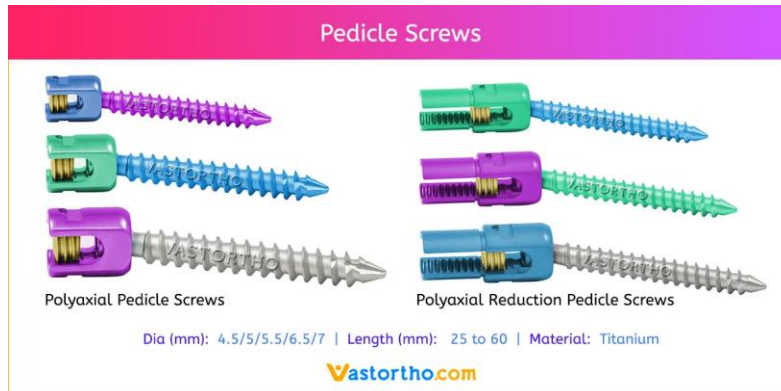
A gerincsebészet során használatos csavarok megadott orvostechikai szabványok figyelembevételével kerülnek gyártásra. Számos gyártó oldalát tanulmányozva [2][9][13] sikerült megismerni a műtét során használt csavarok fajtáit. A következőkben szemléltetésre kerül néhány a műtétek során alkalmazható csavar.

A világ jó néhány részén, legyen az India, Európa vagy az Egyesült Államok, találhatóak olyan orvostechikai eszközöket gyártó cégek, amelyek a gerincsebészet során használható csavarok gyártásával foglalkoznak. Ezen gyártók nyilvános katalógusait tanulmányozva összegyűjtésre kerültek azok a paraméterek, melyek kutatási szempontból szükségesek.

A csavarok átmérői mindig az aktuálisan műtendő csigolya méretétől függően kerülnek meghatározásra, ez átlagosan 4 - 8 mm lehet, 0.5 mm-es lépésközzel, de természetesen léteznek ezen a tartományon kívül eső csavarok is. Ezeket - a sérüléstől függően - gerincstabilizálásra

használják, ebből adódóan szükséges „túllógnia” az adott csigolyán. Innen adódik a hossz, ami átlagosan 30 -100 mm között helyezkedik el.

Az 1. ábrán néhány, a gerincműtétekhez használt csavar látható.



1. ábra, Néhány példa műtét közben használt csavarokra [13]

### 3. A csavarrajzoló algoritmus bemutatása

Az eredményes műtét tervezéséhez hozzá tartozik, hogy az eljárás során használt csavart az optimális paraméterek figyelembevételével szemléltesse a CT felvételen. A kutatás korábbi szakaszában számos olyan paramétert sikerült meghatározni, melyek alapján egy speciális csavarrajzoló algoritmus került fejlesztésre.

Ezek a paraméterek a következők:

- Meghatározott szögben szükséges elhelyezni a csavart.
- Adott a bemeneti pont, ahol a fúrást meg kell kezdeni a gerinccsigolyában.
- Adott a pediculus legkisebb átmérőjét alkotó szakasz felezőpontja, amelyen a csavarnak feltétlenül keresztül kell haladnia.

A műtétek során használatos csavarok nem valamilyen alkatrészek kötését hivatottak ellátni, ebből adódóan másképpen kell gondolni rájuk, mint például gépészeti alkalmazásuk során. A gépelemek, alkatrészek rendszerint meghatározott méretekkel rendelkeznek, mindig ugyanott és ugyanúgy kell elhelyezni azokat. Ezzel szemben egy emberi csigolya nem konkrét sablon alapján készül, így mindig minden esetben egyedi módszert kell alkalmazni az adott csavarokhoz.

Ahogy korábban már ismertetésre került [6][7], koordináta geometriai összefüggések kerültek felhasználásra a műteti paraméterek meghatározása, s a csavar szemléltetése során. Az ember sajátos felépítésének következtében a csavarok nem pontosan vízszintes, függőleges vagy akár 45 fokos szögben helyezkednek el, valamint függenek a csigolya méreteitől is, ezért úgy kellett implementálni az algoritmust, hogy képes legyen minden egyedi igényhez igazodni.

Egy korábban publikált cikkben ismertetésre került, hogy két pontot biztosan ismerünk (a fúrás bemeneti pontját és a pediculus középpontját) [7], amelyek pontosan a furat közepén helyezkednek el, így az általuk képviselt szakasz egyben a csavar középvonala is.

A pediculus legkisebb átmérője határozza meg a csavar maximális átmérőjét. Ismerjük a csavar középvonalát, melynek felhasználásával szemléltethető a csavartestet alkotó két vonal. A szemléltetéshez az ismert középvonalat két irányban kell eltolni, az eltolás mértéke az átmérő fele, vagyis a sugár. Jelen esetben párhuzamos eltolásról beszélünk, amelynél szintén a koordináta geometria megfelelő összefüggéseit alkalmaztuk. Mivel ismert a szakasz kezdő és végpontja, ezért ezekre a pontokra normálvektorokat határoztunk meg. A normálvektor az adott egyenesre merőleges, így ez alapján, valamint az előbb említett távolságban eltolva kaptuk a csavar széleit reprezentáló vonalakat.

Ismert az adott szakasz kezdő és végpontja, valamint az, hogy milyen mértékben szeretnénk a szakaszt eltolni. A kép pixelekből áll, így pixeles eltolást alkalmaztunk, de a valós képek miatt szükség volt mm pixel konverzió végrehajtására is. Az eltoláshoz alkalmazott képletet most csak egy pontra ismertetjük, de az algoritmusban az adott szakaszt alkotó koordináta párokra alkalmaztuk.

$$x_{1p} = x_1 + off * \frac{y_1 - y_2}{L} \quad (1)$$

$$y_{1p} = y_1 + off * \frac{x_1 - x_2}{L} \quad (2)$$

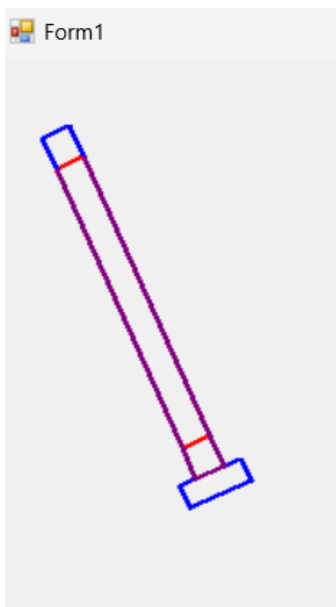
$$x_{2p} = x_2 + off * \frac{y_1 - y_2}{L} \quad (3)$$

$$y_{2p} = y_2 + off * \frac{x_1 - x_2}{L} \quad (4)$$

$$L = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (5)$$

Ahol az 1, 2, 3, 4 formulában az  $x_{1p}$ ,  $y_{1p}$ , valamint az  $x_{2p}$ ,  $y_{2p}$  jelentik az *off* pixelnyivel eltolt új szakasz kezdő és vég koordinátapárjait, az  $x_1$ ,  $y_1$  és  $x_2$ ,  $y_2$  párok pedig az eredeti szakasz koordinátapárjait. Az 5-ös formulában az  $L$  jelenti a két pont által meghatározott szakasz hosszát.

A csavar fejénél szintén párhuzamos eltolásokat alkalmaztunk. Itt már nem a két középpont által határolt szakasz lett felhasználva, hiszen ezek a csavar széleinek rajzolásához voltak szükségesek. Az szélet reprezentáló szakaszok a szélső vonalak két külső pontjai, amelyek a csavar végét alkotják, kerültek eltolásra. Ezek a kutatást nem befolyásolják, csak a megfelelő szemléltetés miatt kerültek bele. Ezzel az eljárással sikerült elérni azt, hogy mindegy milyen szögben helyezkedik el a csavar, hiszen rajzolásához csak a középvonal kezdő és végpontokat alkotó koordináta párokat kell megadni. A 2. ábrán látható egy példa az algoritmus működésére még nem CT felvételen.



2. ábra, Példa a csavarrajzoló algoritmus működésére.

A megfelelő szemléltetés miatt egyedi vonalrajzoló algoritmust használtunk. Némi kutatás után Xiaolin Wu vonalrajzoló algoritmusára [11][21] esett a választás. Ezt az eljárást 1991-ben mutatták be. A működéséről röviden annyit, hogy Bresenham vonalrajzoló algoritmusával szemben [22] ez képes élsimítást végezni, vagyis pontosabban rajzol. Az algoritmus a vonalon elhelyezkedő pixelpárok rajzolásából áll, mindegyiket a vonaltól való távolságnak megfelelően színezi ki.

#### 4. Csavarok szemléltetése CT felvételen

Korábban már számos műtéti paraméter került implementálásra a sikeres tervezéshez [6][7]. Újabb műtéti paraméterek meghatározása érdekében a gerincsebészet során alkalmazott műtéti eljárások további tanulmányozására volt szükség. A gépészet esetében általánosan elmondható, hogy egy furat készítésénél számít az anyag minősége, és az, hogy például egy hengeres testbe mekkora furatot készíthetünk úgy, hogy az anyag ne sérüljön, valamint ne keletkezzen anyagfáradás. A gépészetben erre használatosak a tervezési segédletek, azonban ezt az orvostudományban nem lenne szerencsés alkalmazni.

Az algoritmus kidolgozása előtt szükséges volt gerincsebészeti eljárásokat bemutató cikkeket tanulmányozni, melyek alapján meghatározásra került, hogy a csigolyanyúlványba (pediculus)

kerülő maximális furat mérete ennek a 80%-a, mínusz 0.5 mm [1][4][14][15][16][17][19][20]. Ebből kikövetkeztethető a csavar maximális mérete is. Ez az érték az, amivel el lehet kerülni a csigolyanyúlvány törését. Ha a meghatározott értéknél nagyobb furatot készítenénk, akkor a csont elgyengülne és elveszítené a kellő stabilitását, ami sérüléshez, csonttöréshez vezethet.

A furat átmérőjén kívül szintén fontos paraméter a furat maximális mélysége. Számos tanulmányban olvasható, hogy az optimális mélység az a csigolya magasságának 80 %-a [5][8][10][12][18]. Ez alatt a magasság alatt nem a csigolya tényleges magasságát kell érteni, hanem azt ahová a furatot készítjük. Ennek a pontos megállapítására az eddigi algoritmus nem volt képes, ami indokolta a továbbfejlesztését.

A fejlesztés korábbi szakaszában a csavar behatolási pontja, valamint a pediculus középpontja került meghatározásra. Ez a szakasz elegendő volt a fúró bemeneti szögének kiszámolására, arra azonban nem, hogy az adott vonalat követve az optimális fúrás mélység is megállapítható legyen. A továbbfejlesztéshez szintén a koordináta geometriát alkalmazva hozzájárult annak felismerése, hogy a megfelelő formula felhasználásával a két pont által határolt szakasz meghosszabbítható.

Adott a kezdőpont  $K(X_k, Y_k)$ , a végpont  $V(X_v, Y_v)$ , valamint az új végpont  $U(X_u, Y_u)$ , továbbá a hossz  $H$ , amivel a szakaszt szeretnénk meghosszabbítani. Az új végpont  $X_u$  koordinátája kiszámítható a 6-os formula, az új  $Y_u$  koordinátája pedig a 7-es formula segítségével:

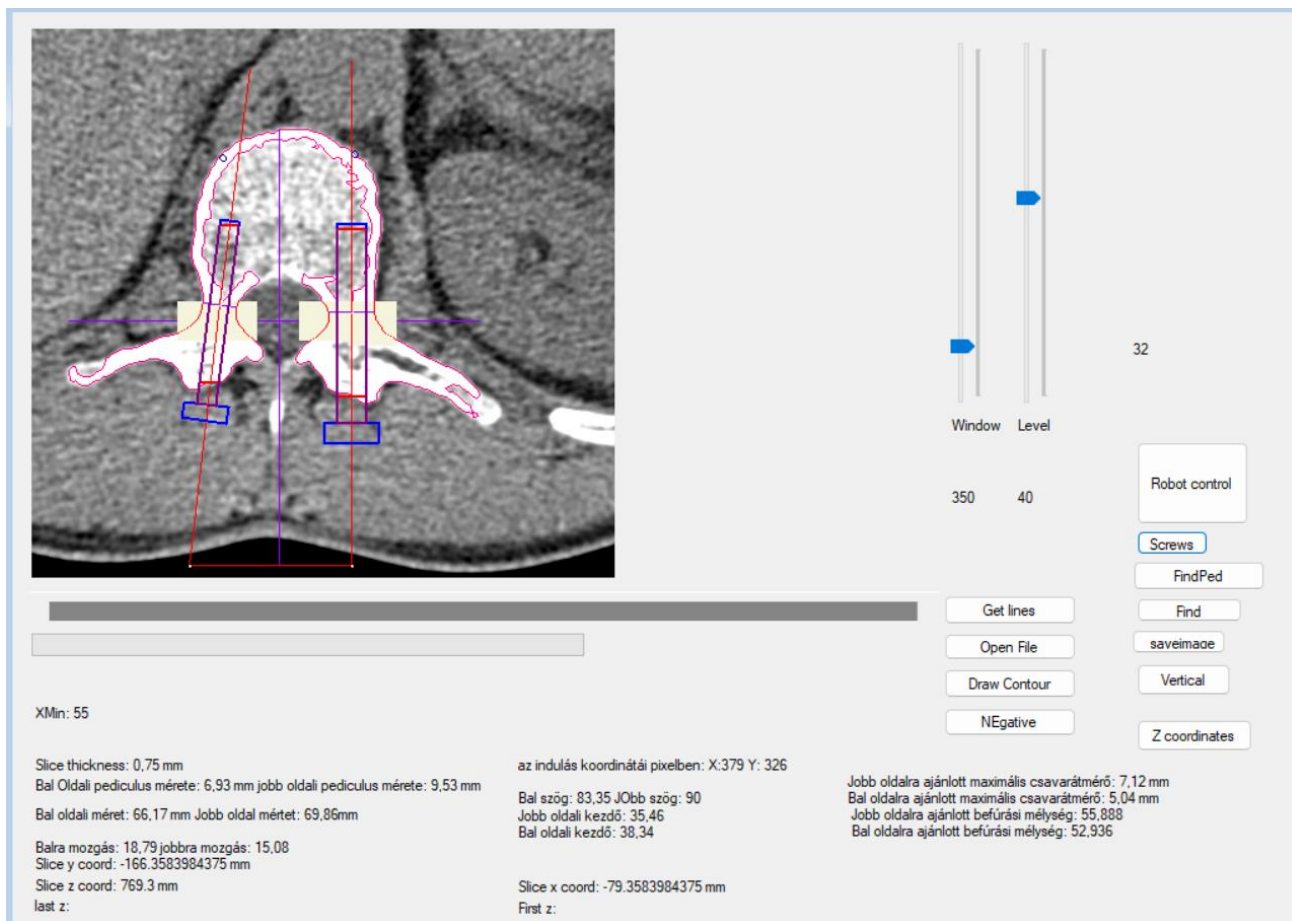
$$X_v = ((X_v - X_k) * H) + X_k \quad (6)$$

$$Y_v = ((Y_v - Y_k) * H) + Y_k \quad (7)$$

A vonalhosszabbítást az indokolta, hogy az eddig elért útvonal nem érte el a csigolya tetejét. A további műtéti paraméterek meghatározásához azonban szükséges volt ez az érték is. A fúró kezdőpontja már ismert volt, ezzel a fejlesztéssel ismertté vált a csigolya teteje is, így ezen két pont segítségével meghatározható a csigolya aktuális magassága, ebből pedig kiszámítható az optimális csavarelhelyezési mélység. A hosszabbítás mindig az épp aktuális képen szereplő csigolyához kerül optimalizálásra.

A fúró kezdőpontja és a pediculus középpontja között húzható egy egyenes, ami minden felvételen más és más hosszúságú szakaszt alkot. A kutatás korábbi fázisában a CT felvételen csak a középpontig húzott egyenes volt látható. Ez indokolta a továbbfejlesztést. Számos felvételt tanulmányozva világossá vált, hogy ha ezt a szakaszt kb. négyszeresére nagyítjuk fel, akkor egészen biztos, hogy a fúró útvonalát reprezentáló szakasz túlmutat a csigolya tetején. Ezt felhasználva meg tudjuk határozni a vonal és a csigolya kontúrvonalának a találkozási pontját. Ez a pont lesz a csigolya teteje, így a fúró kezdeti pontja, valamint ez a pont adja meg azt a távolságot, ahol a csavart el tudjuk helyezni. Az így kapott eredmények már elegendőek ahhoz, hogy a csavart optimális paraméterek felhasználásával szemléltessük egy CT képen. Ismertté vált a csavar maximális átmérője, valamint az a hossz ameddig a csigolyába hatolhat.

Az eredmény a helyére rajzolt csavarral és az adott műtéti paraméterekkel egy valós felvételen a 3. ábrán látható.



3. ábra Műtendő gerinccsigolya optimális műtéti paraméterekkel csavarral szemlélítve

#### 4.1. Következtetések a csavarrajzoló algoritusról

A továbbfejlesztett algoritmus a következőket valósította meg:

- Az előző eredmények pontosításával sikerült újabb a műtét tervezéséhez szükséges paramétereket meghatározni.
- Ezen paramétereket felhasználva olyan megjelenítést képes adni, amely az orvost segíti abban, hogy lássa, milyen lesz a műtét végkimenetele.

Mire ezt az állapotot sikerült elérni, számos vizuális kísérlet került megvalósításra. Ezekből kiderült, hogy melyek azok az esetek, amelyek ténylegesen segítséget nyújtanak az orvos számára. Elmondható, hogy ez az eljárás segíti a műtétek tervezését, mivel képes vizualizálni a végleges állapotot. Természetesen, ha az orvos úgy ítéli meg, hogy valamilyen szempontból ez nem elégíti ki az élettani vagy műtéti követelményeket, akkor lehetősége van az adott paraméterek megváltoztatására. Ez az állapot nem tekinthető véglegesnek, hiszen, ahogy a világ, úgy az orvostudomány is folyamatosan fejlődik, így ezt mindig figyelemmel kell kísérni, és az adott igényekhez alkalmazkodva kell pontosítani.

Jelen cikkben csak kétdimenziós esetben került bemutatásra a működés. Korábban már bemutatásra került a harmadik dimenzió koordinátáinak előállításának is [23]. A térbeli irányú elhelyezésre már megkezdődtek a fejlesztések, azonban ott még további pontosítások szükségesek.

Tovább nem került részletezésre, de mivel egy CT felvétel számos képből áll, a bemutatott eljárás képes az adott képszeleten előállítani a megfelelő műtéti paramétereket, valamint ez az algoritmus egy műtét előkészítését tervező szoftver része, aminek az alapja az, hogy a műtét előtt készüljön a páciensről felvétel, és feltételezi azt, hogy a kapott paraméterek teljesen megfelelnek a valóságnak.



Az itt bemutatott eredmények még csak tervezési fázisban vannak, a validálásuk még szükséges. Ehhez egyeztetni kell gerincsebészeti műtétet végző orvosokkal, és számos további valóságos felvételen kell ellenőrizni az algoritmus helyességét.

A jövőbeni tervek között szerepel egy gyakorló orvossal történő egyeztetés, amely során az orvos által elvégzett műtétet szimuláljuk ezzel az algoritmussal, majd az orvos ellenőrzi annak helyességét. Ezek alapján történnek majd a javítások, valamint az eljárás pontosítása is. A továbbfejlesztési lehetőségek között szerepel a mesterséges intelligencia alkalmazása a műtéti ajánláshoz, de amennyiben az orvos úgy ítéli meg, módot kell adni az eljárás orvos általi történő optimalizálásra is.

## Irodalomjegyzék

- [1] Agrawal, Mohit; Devarajan, Leve J1; Dharanipathy, Sundarakrishnan; Katiyar, Varidh; Singh, Pankaj K; Garg, Ajay1; Chandra, P S; Kale, Shashank S. Morphometric Analysis of C2 Pedicle in 247 Patients and Proposal for Trajectory and Size of Pedicle Screw. *Neurology India* 69(4):p 925-930, July–August 2021. | DOI: 10.4103/0028-3886.325374
- [2] DKSORTHO & Sharma Pharmaceutical Pvt. Ltd.. <https://www.spcpl.com/> (letöltés dátuma: 2024. 09. 11.)
- [3] Dr. Kóvári Viktor Zsolt idegsebész adjunktus, <https://gerincsebeszbudapest.hu/csigolyacsuszas-fuzio/#8> (letöltés dátuma: 2024. 09. 11.)
- [4] Grevenstein, D., Scheyerer, M. J., Meyer, C., Borggrefe, J., Hackl, M., Oikonomidis, S., ... Wegmann, K. (2020). Impact of lumbar pedicle screw positioning on screw stability - A biomechanical investigation. *Clinical Biomechanics*, 74, 66–72. doi:10.1016/j.clinbiomech.2020.02.013
- [5] Krag, Martin H. et al. "Depth of insertion of transpedicular vertebral screws into human vertebrae: effect upon screw-vertebra interface strength." *Journal of spinal disorders* 1 4 (1988): 287-94 .
- [6] Kocsis, Zoltán Tamás Számítógéppel támogatott képfeldolgozás gerincsebészeti alkalmazása In: Csizsár, Beáta; Bódog, Ferenc; Mező, Emerencia; Závodi, Bence (szerk.) VIII. INTERDISZCIPLINÁRIS DOKTORANDUSZ KONFERENCIA 2019 - TANULMÁNYKÖTET = 8th INTERDISCIPLINARY DOCTORAL CONFERENCE 2019 - CONFERENCE BOOK Pécs, Magyarország: Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat, (2019) pp. 137-150. ISBN: 9789634293729
- [7] Kocsis, Zoltán Tamás; Kovács, János A Novel Image Processing Algorithm for Determining the Optimal Base Point of the Screw for Spinal Surgery, *Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science* 7: 24 pp. 7-12., 6 p. (2021)
- [8] Nekhlopochny, O. S., Verbov, V. V., Karpinsky, M. Y., & Yaresko, O. V. (2021). Biomechanical evaluation of the pedicle screw insertion depth and role of cross-link in thoracolumbar junction fracture surgery: a finite element study under compressive loads. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 27(3), 25–32. <https://doi.org/10.25305/unj.230621>
- [9] Narang Medical Limited <https://www.orthopaedic-implants.com/> (letöltés dátuma: 2024. 09. 11.)
- [10] Nekhlopochny, O. S., Verbov, V. V., Karpinsky, M. Y., & Yaresko, O. V. (2021). Biomechanical evaluation of the pedicle screw insertion depth and role of cross-link in thoracolumbar junction fracture surgery: a finite element study under compressive loads. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 27(3), 25–32. <https://doi.org/10.25305/unj.230621>
- [11] Nguyen Thanh, C., Le, T.H.G., Nguyen, N.N.A., Nguyen, V.C. and Pham, T.T. 2024. Study of image reconstruction method for 2D gamma scan technique by anti-aliasing line "Xiaolin Wu" algorithm combined with simultaneous algebraic reconstruction algorithms and testing on MCNP simulation data. *Nuclear Science and Technology*. 12, 4 (Feb. 2024), 38-45. DOI: <https://doi.org/10.53747/nst.v12i4.397>
- [12] Matsukawa K, Konomi T, Matsubayashi K, Yamane J, Yato Y. Influence of Pedicle Screw Insertion Depth on Posterior Lumbar Interbody Fusion: Radiological Significance of Deeper Screw Placement. *Global Spine J.* 2024 Mar;14(2):470-477. doi: 10.1177/2192568222110142. Epub 2022 Jun 17. PMID: 35713986; PMCID: PMC10802553.
- [13] Vast Ortho: Orthopedic Implants Manufacturers <https://www.vastortho.com> (letöltés dátuma: 2024. 09. 11.)
- [14] Pragash, V., Douraiswami, B., & Subramani, S. (2020). Axis vertebral dimensions for safe screw placement: A CT normative data analysis. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. doi: 10.1016/j.jcot.2020.06.026
- [15] Petrone B, Albano J, Stockton R, Atlas AM, Aronica C, Grewal K. Demographic Analysis of Pedicle Diameter, and Estimated Pedicle Screw Length of the Lumbar Spine in a Diverse Population. *Int J Spine Surg.* 2021 Apr;15(2):259-265. doi: 10.14444/8035. Epub 2021 Apr 1. PMID: 33900983; PMCID: PMC8059400.
- [16] R (Renate), K., E (Elisabeth), V., AM (Angelika Maria), S., S (Sabine), K., R (Renate), W., & GM (Gloria Maria), H. (2021). Three-dimensional morphometry of the first two sacral segments and its impact on safe transiliac-transsacral screw placement. *Injury*. doi: 10.1016/j.injury.2021.06.029
- [17] Solitro GF, Welborn MC, Mehta AI, Amirouche F. How to Optimize Pedicle Screw Parameters for the Thoracic Spine? A Biomechanical and Finite Element Method Study. *Global Spine Journal.* 2024;14(1):187-194. doi:10.1177/21925682221099470
- [18] Soh, Tamara & Kho, Kangshi & Lim, Zhi Kai & Tandon, Ankit & Kaliya-Perumal, Arun-Kumar & Oh, Jacob. (2021). Morphological Parameters of the Thoracic Pedicle in an Asian Population: A Magnetic Resonance Imaging–Based Study of 3324 Pedicles. *Global Spine Journal.* 11. 437-441. 10.1177/2192568220906137.
- [19] Xu, C., Hou, Q., CHU, Y. et al. How to improve the safety of bicortical pedicle screw insertion in the thoracolumbar vertebrae: analysis base on three-dimensional CT reconstruction of patients in the prone position. *BMC Musculoskelet Disord* 21, 444 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03473-1>

- [20] Weriono, Weriono & Rusli, Meifal & Sahputra, Roni & Dahlan, Hendery. (2022). Finite element analysis of stress on thoracic and pedicle screw interface with various loading and bone quality. AIP Conference Proceedings. 2545. 020013. 10.1063/5.0103465.
- [21] Wu, X. (1991). An efficient antialiasing technique. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 25(4), 143–152. doi:10.1145/127719.122734
- [22] Vashakmadze, S. (2020). Modeling the Line: Bresenham's Algorithm, 1962–87. Architectural Theory Review, 24(3), 262–278. <https://doi.org/10.1080/13264826.2021.1930320>
- [23] Kocsis, Zoltán Tamás, Spine 3D navigation from 2D DICOM images In: Csiszár, Beáta; Hankó, Csilla; Kajos, Luca Fanni; Mező, Emerencia (szerk.) IX. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia 2020 [9th Interdisciplinary Doctoral Conference 2020]: Tanulmánykötet [Conference Book] Pécs, Magyarország: Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat (2020) 595 p. pp. 306-315., 10 p. Konferenciaközlemény (Könyvrészlet)
- [24] Mazor Robotics URL. <https://www.medtronic.com/ca-en/healthcare-professionals/products/spinal-orthopaedic/spine-robotics/mazor-x-stealth-edition.html> (letöltés dátuma: 2014.12.14)
- [25] Kocsis, Zoltán Tamás (2021) *Gerincműtő robot szimulációja Arduino mikrovezérlő segítségével = Spine Robot Simulation Using Arduino Microcontroller*. GRADUS, 8 (1). pp. 190-196. ISSN 2064-8014