

## A TÉRDÍZÜLET REPRODUKÁLHATÓ FLEXIÓS TENGELYÉNEK MEGHATÁROZÁSI MÓDSZERE

Andrónyi Kristóf<sup>1</sup>, Katona Gábor<sup>2</sup>, Krakovits Gábor<sup>2†</sup>

<sup>1</sup> Uzsoki Utcai Kórház, Ortopéd-traumatológiai Osztály

<sup>2</sup> Szent István Egyetem, Mechanikai és Géptani Intézet

[andronyi@gmail.com](mailto:andronyi@gmail.com)

DOI: 10.17489/biohun/2017/1/03

### Absztrakt

A térdízület flexiós tengelyének a pontos meghatározása mind a mozgáselemzések, mind a protézis beültetések szempontjából kiemelten fontos, ugyanakkor a rendelkezésre álló flexiós tengely meghatározási módszerek sokszor pontatlanok, nem reprodukálhatók. Célunk volt egy megbízható tengelymeghatározási módszer megalkotása, valamint ennek a különböző módszerekkel való összehasonlítása relevancia és reprodukálhatóság szempontjából. A femur condylusok hátsó görbülő felszínein alapuló flexiós tengely meghatározási módszer, a transzcylindrikus tengely (TCA) képes lehet a bizonytalan transepicondylaris tengely (TEA), hátsó condylaris vonal (PCL) és Whiteside vonal (WHL) helyett egy pontosabb támpontot nyújtani a térdprotézis rotációs beállításra vonatkozóan. A modellkísérlet során ezen tengely  $4^\circ$  alatti hibával volt meghatározható, szemben a PCL és TEA  $7^\circ$ -ot, WHL  $16^\circ$ -ot is meghaladó hibájával.

**Kulcsszavak:** térd, mozgásvizsgálat, flexiós tengely, transzcylindrikus tengely, interobszerver reprodukálhatóság

### Determination of a reproducible flexion axis of the knee joint

#### Abstract

The precise determination of the knee joint flexion axis is crucial for both kinematic analysis and prosthesis implantation. However current methods for flexion axis determination are inaccurate and irreproducible. Our goal was to create a reliable method for determining the flexion axis and to compare it with different methods for relevance and reproducibility. The flexion axis determination method based on the posterior surfaces of the femoral condyles, the transcylindrical axis (TCA) may be able to provide a more accurate basis for the rotation setting of the knee prosthesis instead of the uncertain transepicondylar axis (TEA), the posterior condylar line (PCL) and the Whiteside line (WHL). In the model experiment, this axis had a variability under  $4^\circ$ , compared with PCL and TEA  $7^\circ$ , WHL exceeding  $16^\circ$ .

**Keywords:** knee, motion analysis, flexion axis, transcylindrical axis, interobserver reproducibility

## 1. Bevezetés

A térdízület mozgásainak elemzéséhez elengedhetetlen a mozgást leíró tengelyek ismerete. Mivel a térdízület mozgásának legnagyobb része a hajlítás (flexió) tengelye mentén jön létre a mozgások elemzése szempontjából ennek a tengelynek a pontos meghatározása bír a legnagyobb jelentőséggel. A flexiós tengely a combcsont (femur) kötött, annak anatómiai pontjai alapján határozható meg. Ennek eredményeképpen a distális femur geometriájának leírása, modellezése, orientációs pontjainak, tengelyeinek meghatározása hosszú ideje a térdízületi kutatások középpontjában áll.<sup>1,2</sup>

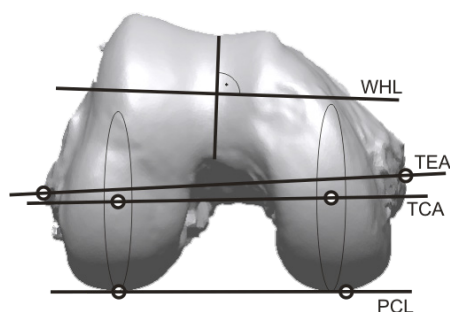
A térdízületi protetikai szempontjából is kiemelten fontos ennek a tengelynek a pontos ismerete, mert csak ezzel biztosítható az eredeti kinematika helyreállítása, ami a későbbi panaszmentes mozgás és hosszú implantátum élettartam alapja. A nem megfelelően beállított komponens számos probléma forrása lehet, úgy mint megváltozott tibiofemorális kinematika, felborult lágyrész egyensúly, instabilitás, megnövekedett nyíróerők és a térdkalács illeszkedési zavarai.

A térd flexiós tengelyét hagyományosan a tapintott transepicondylaris tengellyel (anatomical transepicondylar axis) közelítjük,<sup>3</sup> ennek oka, hogy a térdízület oldalszalagjai innen erednek. Mivel azt oldalszalagok a teljes mozgástományban biztosítják az ízület oldalirányú stabilitását logikus a feltételezés, hogy a flexió tengelyéből erednek. Ugyanakkor több tanulmány<sup>2</sup> is rámutat ennek pontatlanságára, aminek oka, hogy valójában nem pontszerű eredéstről van szó, hanem több köteges, nagyobb területen eredő és tapadó szalag rendszerekről. Az anatómiai epicondylaris tengely még pontos meghatározás esetén sem a flexió tengelyét adja, ezért helyette a térd protetikában a sebészi epicondylaris tengelyt használják, mely a mediális oldalon az epicondylus csúcsa helyett

az alatta lévő csontos árkot (sulcus) veszi alapul.

A térd protetika során a flexió tengelyének meghatározására, a femorális komponens pozicionálására leggyakrabban a hátulsó condylaris vonalat (posterior condylar line – PCL) használják, mely a két condylus leghátulsó pontjait összekötő egyenes (1. ábra). A protetika során a mechanikai tengely szerint resécált distális femur végre egy olyan sablont helyeznek fel, amelynek hátulsó nyúlványai feltámaszkodnak a condylusok hátulsó pontjain, így a tengely meglehetősen jól reprodukálható. Ugyanakkor a térd flexiós mozgástartományának mindössze egyetlen, a 90°-ban érintkező pontjait veszi figyelembe, így biomechanikai értelemben korlátozottan alkalmas a flexiós tengely meghatározására, különösen arthrotikus térdekben rosszul közelíti a flexió valódi tengelyét.

A flexiós tengely meghatározásához támpontot jelenhet a Whiteside vonal (Whiteside's line – WHL), amit a két condylus közti vályú határoz meg (1. ábra). Ebben a vályúban csúszik a térdkalács (patella) a flexió során, ennek megfelelően ez a tengely a flexió tengelyére merőleges és közvetlen biomechanikai kapcsolat nincs is a két tengely között. A két condylus közti árok rövidege miatt ez a tengely rendkívül bizonytalanul határozható csak meg, és nem is feltétlenül merőleges a flexió tengelyére.



1. ábra. A femur distális nézetből, rajta a különböző flexiós tengely-meghatározási módszerek

Elsősorban biomechanikai vizsgálatok során használatos az ún. cylindrikus tengely (transcylindrical axis – TCA),<sup>4</sup> amely a femur condylusok hátulsó sagitális, kört formáló görbületén alapul. Ezen felszín mentén történik a térd flexiós mozgása, így biomechanikai értelemben ideális módszernek tekinthető. Ezen módszer legfőbb hátránya, amely klinikai elterjedését is akadályozta, hogy csak számítógépen, CT illetve MR felvételeken volt meghatározható.

Biomechanikai vizsgálatok során széles körben használatos még a geometriai központ tengelye (geometric centre axis – GCA).<sup>5</sup> Ezen tengely meghatározási módszer rendkívül hasonlít a TCA meghatározási módszeréhez, itt a condylusokat legjobban kitöltő henger alapján történik a flexiós tengely meghatározása, ennek illesztése a rendszer lényegéből adódóan csak virtuális térben lehetséges. A két módszer között lényegében annyi a különbség, hogy a GCA esetében a két condylusra csak azonos nagyságú kör illeszhető, míg TCA esetén nincs ilyen megkötés. Megítélésünk szerint a két meghatározási módszer rendkívül hasonló eredményre vezet, ezért nem indokolt itt külön vizsgálni őket.

A térd protetika pontosabbá tételére fejlesztették ki a 90-es évek végén a navigációs rendszereket, ahol a vágási síkokat, és így a protézis végző helyzetét 3D számítógépes rendszer segíti. A navigációs rendszerek a fenti anatómiai pontok alapján határozzák meg a protézis helyzetét, így hiába pontos maga a rendszer, ha a bemenő adatok jelentős hibával terheltek. Ez magyarázhatja a navigációs rendszer használata mellett is előforduló helytelen protézis beültetéseket, ami miatt a navigációs rendszerek a technika gyors fejlődése és olcsóbbá válása ellenére sem tudtak széles körben elterjedni.<sup>6</sup>

Az implantátum pozícionálása során három szinten fordulhat elő hiba:<sup>7</sup>

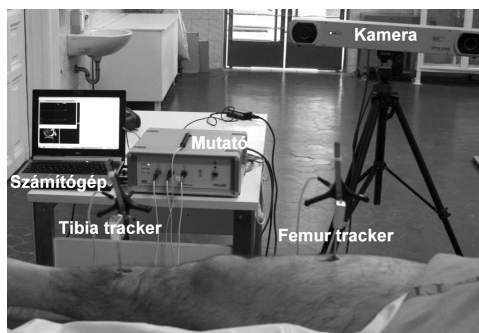
1. Egyéni variációk: az adott személy számára ideális tengelyállás a műtét során közvetlenül nem határozható meg, ezért másodlagos tengelyeket definiálunk, mint például a femur velőúr tengelye, amely alapján a mechanikai tengelyállásra következtetünk. Optimális esetben a valós és másodlagos tengelyek viszonya állandó, de a gyakorlatban számolni kell egyéni variációkkal.
2. Intraoperatív meghatározás: az anatómiai referencia pontok, amelyek alapján a pozícionálás történik, nem pontszerűek, ezek meghatározása pontatlan. Közismert például az epicondylusok meghatározásának bizonytalansága.
3. Technikai kivitelezés: a vágósablon pozícionálása, rögzítése, a fűrészelés kivitelezése, a protézis felhelyezése szintén hatással van az implantátum végző helyzetére.

Jelen tanulmány az első két szinttel foglalkozik, ugyanis a distális femur referenciapontjainak mind anatómiai helyzete variábilis, mind azok meghatározása bizonytalan. Összehasonlítottuk a fentiekben említett négyféle flexiós tengely (transepicondylaris tengely, Whiteside vonal, hátsó condyláris vonal, cylindrikus tengely) reprodukálhatóságát, valamint ezek változásának hatását a mozgásleíró függvényekre. További célunk volt a transcylindrikus (TCA) tengely meghatározására egy olyan módszer megalkotása, mellyel ezt intraoperatív körülmények közt is használni lehet.

A vizsgálatok valóságos cadaver mérések adatai alapján készült számítógépes modellel történtek. A modern számítógépes rendszerekben a modell élethűen ábrázolható, egyszerűen mozgatható, így a vizsgáló ezen a modellen is jól tájékozódhat.

## Módszer

Öt ép cadaver térdízületen végeztünk mozgásvizsgálatokat. A vizsgálatok friss, 25-53 éves férfi tetemeken történtek a Semmelweis Egyetem Igazságügyi Orvostani Intézetében (TUKEB 165-1/2002). A navigációs rendszer érzékelőit (tracker) 4 mm-es Schanz csavarral a femurhoz illetve a tibiához rögzítettük. A mozgási adatok detektálásához Polaris (Northern Digital Inc., Waterloo, Canada) infravörös elven működő navigációs rendszert használtunk. A csontokhoz rögzített érzékelőkön darabonként három infravörös led található, melyek térbeli pozícióját egy sztereo kamera 0,35 mm pontossággal meghatározza. A vizsgálóterben egy mutatóval lehet bázispontokat kijelölni (2. ábra).



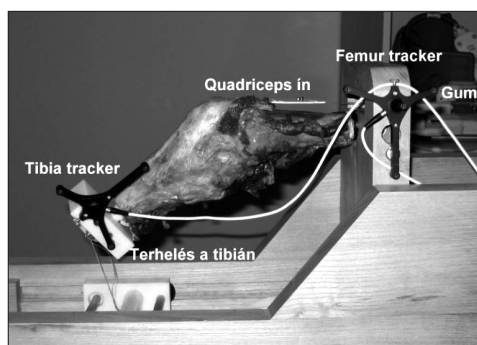
2. ábra. A femurhoz és tibiához rögzített érzékelők mozgásait a navigációs rendszer kamerája detektálta, és továbbította a számítógépnek

A bőr és az izomzat részleges lefejtése révén szabaddá tettük a csontfelszínt, ahová csontonként hat db markert helyeztünk el a későbbi regisztráció céljából, majd az ízületől 16 cm-es távolságra resecáltuk a csontokat. A kivett ízületet intracorticális rudak segítségével rögzítettük egy speciálisan erre a célra kialakított mozgató szerkezetbe, melyben a flexiót a tibiára helyezett változtatható irányú terhelés fokozásával hoztuk létre. Az extenziót a quadriceps inához varrt gumiszalagban létrejövő feszülés indukálta. Ily módon modellezni tudtuk a térd hajlítását terhelt állapotban (3. ábra).

A mozgásvizsgálatok után a térdízületről a lágyrészeket eltávolítottuk, és a porcos felszínt 3D lézer szkennelrel (ModelMaker H40, 3D Scanners LTD, UK) digitalizáltuk. A digitalizálás során nyert térbeli pontokra háromszögeléssel folytonos felületet illesztettünk, így a femur és tibia mint 3D objektum megjeleníthetővé vált. A korábban rögzített markerek segítségével a mozgási és geometriai adatokat összerendeztráltuk, így a két csont virtuális modellje ugyanazt a mozgáspályát írta le, mint a cadaver kísérlet során a valódi csontok.

## A cylindrikus tengely (TCA)

Régi megfigyelés, hogy a femur condylusok hátsó részének sagittális metszete jól közelíthető egy körívvel.<sup>4</sup> A bonyolult háromdimenziós anatómiának ez a leegyszerűsítése modellalkotásra nem alkalmas, hiszen sem a femur nem egyszerű henger, sem a tibia plató nem sík, valamint ez a körív csak a flexió második szakaszában, hozzávetőlegesen a 30°-120°-ig terjedő szögtartományban vesz részt a mozgásban. Ugyanakkor ez átöleli a mozgástartomány jelentős részét, és a flexió mozgások ezen felület mentén történnek, így a mozgások leírására kiválóan alkalmas. Az ezen alapuló tengely a funkcionális geometriát tükröző, tényleges flexió tengelyt adja.<sup>4</sup>



3. ábra. A mozgató szerkezet. A quadriceps inhoz rögzített gumiszalaggal extendáltuk, a tibiához kapcsolt terheléssel pedig flektáltuk az ízületet

Ezen körök meghatározása jellemzően MR illetve CT felvételeken történik. Az általunk alkalmazott metodika esetén a vizsgáló a számítógépes modellen kijelöl egy-egy görbét a femur condylusok hátulsó felén vezérpontok segítségével. Ezen görbékre a program iterációs eljárással egy-egy kört illeszt, és ezen köröknek a középpontjai határozzák meg a térd flexiós tengelyét, a cilindrikus tengelyt. Az általunk alkalmazott módszer előnye a CT-n és MR-en alapuló eljárásokkal szemben, hogy műtéti környezetben is alkalmazható navigációs rendszer használata esetén (5. ábra).

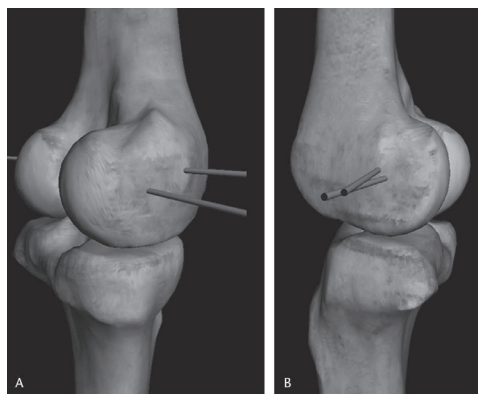
A térd biomechanikai vizsgálatánál legszélesebb körben alkalmazott Grood and Sunday szögértelmezést használtuk.<sup>8</sup> Ezen szögértelmezésnél a flexió a femur koordináta-rendszer keresztirányú tengelye (TEA/TCA), a rotáció a tibia mechanikai tengelye, az abdukción pedig az ún. lengőtengely körül történik, ez utóbbi a mozgás minden pillanatában vándorol, és kölcsönösen merőleges a fenti két tengelyre. A tibia keresztirányú tengelye a rotáció kiindulási állapotát határozza meg, viszont a görbék alakjára nincs hatással,<sup>8,9</sup> ezért nem okozott

problémát a vizsgálataink során, hogy ennek meghatározása hasonlóan bizonytalan, mint a TEA.

### Tengelyek definiálása a csontokon

A tibia mechanikai tengelyét a boka középpontja (külboka-belboka tengely felezőpontja), valamint a mediális eminencia pont határozza meg, a keresztirányú tengely pedig a külboka-belboka tengely.

A femur mechanikai tengelye a combfej középpontját az intercondylaris notchal összekötő egyenes. A combfej középpontjának meghatározásához combkörzéseket végeztünk a tetemen, így a femur tracker a combfej körül egy gömbfelület mentén mozgott, ebből matematikai módszerrel számítható a combfej középpontja, a módszer 3 mm alatti szórással detektálta a combfejközéppontot. Mivel a femur flexiós tengelye kiemelt jelentőséggel bír az adatok értelmezése szempontjából, ezért itt a hagyományosan használt transepicondylaris tengely (TEA) mellett a hátulsó condylaris tengelyt (PCL), a Whiteside's line-t (WHL)



4. ábra. A transepicondylaris (felső) és cilindrikus (alsó) tengely mediális (A) és laterális (B) nézetben.<sup>4</sup> A cilindrikus tengely a condylusok ívét követve a flexió tengelyét adja, míg a transepicondylaris tengely ettől anterior és proximális irányban helyezkedik el, az egyenesek kitérők.



5. ábra. A transcilindrikus tengely meghatározásának módja: a vizsgáló a femur condylusok hátulsó felén egy-egy ívet kijelöl, melyre a program kört illeszt. A két kör középpontja határozza meg a cilindrikus tengelyt (TCA).

és a transzcylindrikus tengelyt (TCA) (1. ábra) is teszteltünk a tengelyek reprodukálhatósági pontosságának az érdekében.

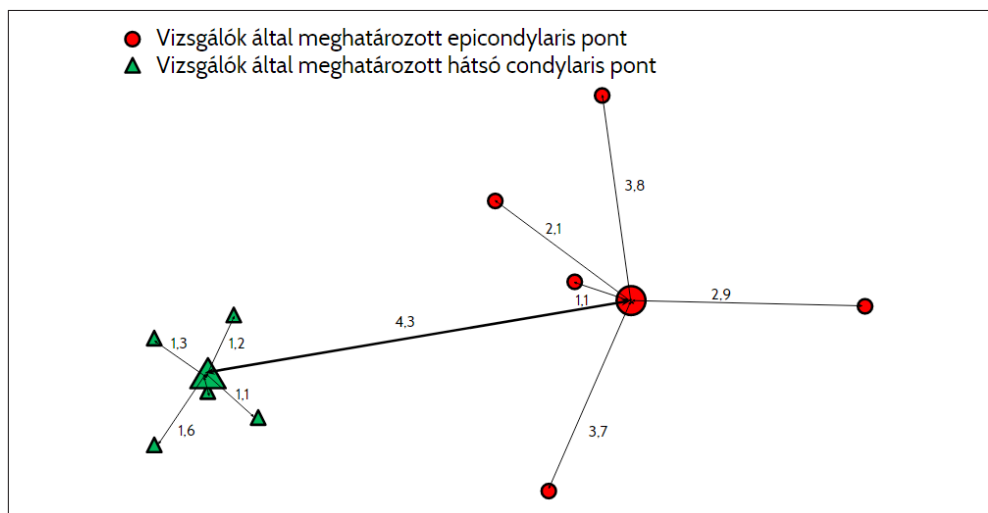
Kilenc, a térd sebészi anatómiájában jártas orvost illetve kutatót kértünk fel, hogy a számítógépes modellen azonosítsa a következő struktúrákat:

1. mediális és laterális epicondylus (transepicondylaris tengely – TEA)
2. condylusok leghátulsó pontjai (hátsó condylaris vonal – PCL)
3. intercondylaris trochlea legmélyebb pontjai (Whiteside's line – WHL)
4. femur condylusok hátsó sagittális görbülete (transzcylindrikus tengely – TCA)

A tengelyek meghatározása a csontok 3D számítógépes modelljén történt Rapidform XOR2 (INUS Technology, Inc., Seoul, KOREA) szoftverrel. A modell a program segítségével tetszőlegesen forgatható, illetve zoomolható. A TEA és PCL esetében a vizsgáló pontokat jelölt ki a felületen, míg a TCA és WHL esetében a condylusok hátsó felszínén, illetve a trochleában referenciapontokat jelölt ki, amelyekre a szoftver a modell felszínét követő görbét (spline-t) illeszt.

Végeredményben tehát mind az öt térdizületen a kilenc vizsgáló által meghatározott, négy-négy különböző koordináta rendszert azonosítottunk (térdenként harminchat koordináta-rendszer), de ezek egymástól csak a flexiós tengely irányában különböztek. Az adatok összehasonlítására statisztikai számítást végeztünk, minden vizsgált pontra vonatkozóan kiszámoltunk a pontok átlagos helyzetét (középállását), és ehhez viszonyítottuk az egyes vizsgálok pontjait. A pontok helyzetének számolása Microsoft Excel 2007 szoftverben történt.

A vizsgálok által megadott különböző típusú referenciapontokból, típusonként számítottuk az átlagos helyzetet, ezt hívtuk középállású pontnak. Ettől a középállású ponttól való távolságot tekintettük annak a mérőszámának, amely jellemezte a reprodukálhatóságot. A fenti módszerrel analóg módon vizsgáltuk a tengelyeket is, ebben az esetben nem távolságot, hanem a középállású tengely és a vizsgáló által meghatározott tengely által bezárt szöget vizsgáltuk. Néztük még továbbá, hogy a középállású pontok, illetve tengelyek milyen viszonyban vannak egymással (6. ábra).



6. ábra. Az adatok statisztikai értékelése

## Eredmények

### A különböző flexiós-tengely meghatározási módszerek reprodukálhatósága

A kilenc vizsgáló által kiértékelt öt térdízületen minden egyes tengelytípus összesen 45 alkalommal határoztuk meg. Az 1. táblázatban a térdenként számított középállású ponttól való távolságoknál láthatjuk, hogy a condylusok középpontjait átlagosan 1,62 illetve 1,73 mm-es pontossággal lehetett meghatározni. Ezzel szemben az epicondylusokat 4,15 illetve 3,98, a hátulsó condyláris pontokat pedig 3,1 illetve 3,35 mm-es pontossággal. A Whiteside vonal esetében ez a paraméter értelmezhetetlen, hiszen ott nem két diszkrét pont határozza meg a tengelyt.

A tengelyek irányának összehasonlításakor azt láthatjuk, hogy a transzcylindrikus tengely (TCA) átlagosan alig  $1^\circ$ -ot tér el a középállástól, és a legnagyobb eltérés is  $4^\circ$  alatt marad. A reprodukálhatóság szempontjából ezt a hátulsó condyláris vonal (PCL) követi, de már itt is hozzávetőlegesen dupla hibával számolhatunk. A Whiteside vonal (WHL) és a transepicondylaris tengely (TEA) átlagosan kicsit több mint  $3^\circ$ -kal tér el a középállástól, de a WHL esetében rendkívül nagy szórást látunk, a legnagyobb eltérés a  $16^\circ$ -ot is meghaladja. Az összes tengely közül tehát a TCA a

leginkább pontosan meghatározható (2. szintű hiba - reprodukálhatóság).

Jelentőséggel bír továbbá, hogy a fentiekben meghatározott tengelyek a sok vizsgáló általában végül is azonos flexiós tengelyt definiálnak-e egy adott térden, vagy az anatómiai különbségek miatt különböző módszerekkel más és más irányú tengelyt kapunk. Ezért minden térden a legmegbízhatóbbnak ítélt középállású TCA-hoz hasonlítottuk az adott térden a kilenc vizsgáló által meghatározott középállású tengelyeket. Azt látjuk, hogy a PCL közelíti legjobban ezt a tengelyirányt, átlagosan  $1,38^\circ$ -kal tér el, és a legnagyobb eltérés is csak  $2,43^\circ$ . Ezzel szemben a TEA esetében  $2,62^\circ$  és  $5,79^\circ$  közt, a WHL esetében pedig  $1,66^\circ$  és  $9,22^\circ$  közt változott az eltérés, jelezve, hogy ezen meghatározási módszerek nagyon különböző eredményre vezetnek az egyéni anatómiától függően.

Nincs tehát olyan állandó szögérték, amivel a TEA-t vagy WHL-t korrigálva a flexió tengelyét kapnánk (1. szintű hiba – megbízhatóság, 1. táblázat).

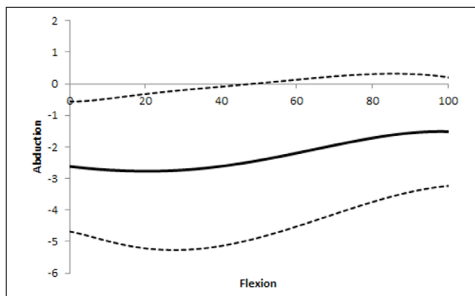
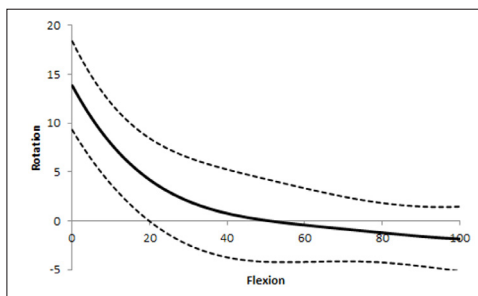
### A térd mozgása terhelt állapotban

Az öt térdízület mozgásait kiszámítottuk a legmegbízhatóbbnak bizonyult középállású

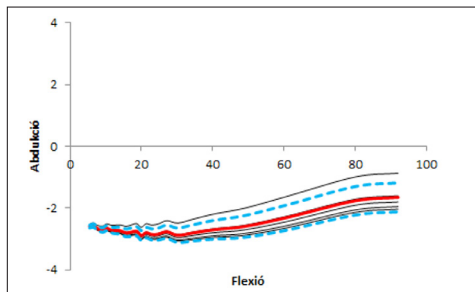
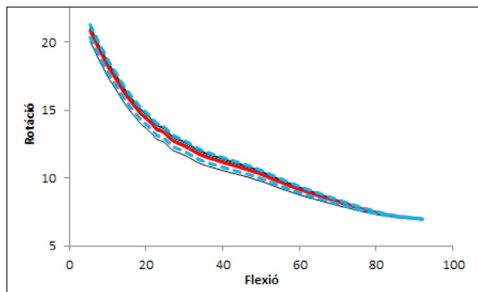
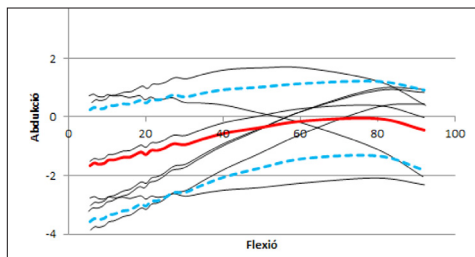
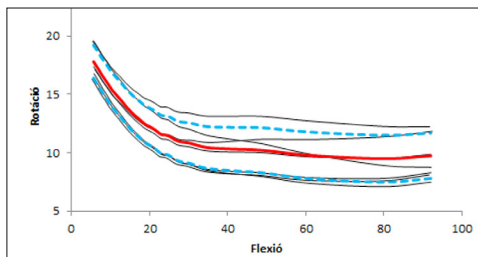
Egyenes	Irány	Középállású ponttól való távolság (mm)			Középállású tengellyel bezárt szög			Középállású tengely középállású TCA-val bezárt szöge			
		átlag	szórás	max	átlag	szórás	max	átlag	szórás	min	max
TCA	lat	1,62	2,28	4,93	1,04°	0,75°	3,81°	-			
	med	1,73	2,25	4,59							
PCL	lat	3,10	1,98	8,50	2,20°	1,87°	7,38°	1,38°	0,85°	0,29°	2,43°
	med	3,35	1,66	6,99							
TEA	lat	4,15	1,04	11,44	3,23°	1,78°	7,87°	4,32°	1,15°	2,62°	5,79°
	med	3,98	1,00	9,89							
WHL	-	-			3,12°	2,95°	16,12°	4,69°	3,39°	1,66°	9,22°

1. táblázat. A transzcylindrikus (TCA), transepicondylaris tengely (TEA), a hátulsó condyláris vonal (PCL) és a Whiteside vonal (WHL) reprodukálhatósága, illetve egymással bezárt szögük.

TCA segítségével, majd átlagoltuk, és szórást számoltunk (7. ábra). A cadaver ízületek a szimulált terhelés mellett nyújtott helyzetben átlagosan 14°-os kirotációban álltak. A korai flexió szakaszán a végrotációnak megfelelően gyorsan rotálódik az ízület, majd kisebb mértékű, de folyamatos berotáció zajlik, és kb. 90°-os flexió mellett áll be az ízület 0°-os középállásba. A további hajlítás során már csak minimális mértékű berotáció következik. A vizsgálat térdízületek nyújtott állapotban átlagosan 2°-os varus állásban voltak és az egész mozgástartományban alig változott ez az érték. Az adatok szórása a rotáció esetén 1,7-3,7°, abdukciónál 0,2-1,1° közt változott.



7. ábra. Az öt térd rotációjának és abdukciónak átlaga és szórása



8. ábra. Az 1. mérés kiértékelése különböző vizsgálok által meghatározott epicondylaris (felül) és cylindrikus (alul) tengelyek esetén, feketével az egyes mérések, pirossal az átlag, kékkel a szórás



A TCA-t a különböző vizsgálók nagy biztonsággal tudták meghatározni, ennek megfelelően az adatok kiértékelésekor ugyanarra a mozgásra hasonló kinematikai leírást kaptuk, a szórások sem az abdukció, sem a rotáció esetében nem haladták meg a  $0,5^\circ$ -ot. A flexió tengelyének módosítása jelentősen torzította a görbék alakját, ezért pontos meghatározása rendkívül fontos.

## Diszkusszió

A transzcylindrikus tengely (TCA) a térd funkcionális geometriáján alapuló valós flexió tengelyt adja, és lényegesen pontosabban meghatározható, mint a hagyományosan használt transepicondylaris tengely (TEA). Ennek különösen nagy jelentősége van a térd mozgásvizsgálatában, valamint a navigációs térdízületi arthroplastikában. A TCA-t több szerző is leírta,<sup>4</sup> de ennek gyakorlati alkalmazása nem terjedt el,<sup>9</sup> mivel hiányoztak azok a módszerek, amelyekkel műtéti környezetben alkalmazni lehetne.

Az általunk használt módszer a TCA meghatározására a korábbi módszerekkel szemben műtéti környezetben is alkalmazható, mivel nem igényel előzetes CT illetve MR felvételt. A korábbi módszerek a csontos felszínt vették alapul, mivel a képpalkotó vizsgálatokból ez rekonstruálható jól, de a mozgás a porc felszínen történik. A térdízület porcvastagsága nem állandó, ezért a porc felszín alkalmazása jobban tükrözi a funkcionális geometriát.

A hagyományos CT illetve MR felvételeken történő tengely-meghatározás esetén az illesztett kör síkját a szeletelés iránya szabja meg, ezzel szemben az általunk definiált eljárással a vizsgáló maga választhatja ki az ideális ívet, amire a program egy iterációs eljárással illeszti a legjobban illeszkedő kört. A biomechanikai gyakorlatban elterjedt hasonló tengelymeghatározások esetében (GCA

- geometric centre axis)<sup>5</sup> azonos sugarú kört illesztettek a két condylusra, így hengerként közelítve a femur geometriáját, holott a mediális condylus nagyobb, ezért nem tettünk olyan megszorítást, hogy a két kör sugara azonos legyen.

A TCA használatával a térdízületi endoprotézis a térd eredeti flexió tengelye szerint kerül beültetésre, ezért a mozgás az eredeti kinematikát követi, így várhatóan kisebb valószínűséggel következnek be olyan komplikációk, mint a nem megfelelő szalag egyensúly vagy térdkalács illeszkedés, ami elsősorban a femorális komponens nem megfelelő rotációban történt beültetésére vezethető vissza. Jól rávilágít a jelenség okára a különböző vizsgálók által meghatározott epicondylaris tengelyek szerinti mozgáskiértékelés, amelyekben a hibás tengelyállás az eredeti kinematikától jelentősen eltérő eredményeket adott. Egy ilyen helytelen tengely szerint beültetett protézisnek jóval a fiziológiai korlátokat meghaladó kényszermozgásokat kellene saját magához képest elviselnie, ahhoz, hogy a térd globális kinematikája megmaradjon. Mivel ez bizonyos határon túl nem lehetséges, az ízületre visszahatva a mozgásokat kényszerpályára viszi, ezzel megváltoztatva az eredeti kinematikát. A helyes beültetés önmagában csak az alapot teremti meg a kinematika helyreállítására, maga a mozgás elsősorban a protézisen múlik. A mai térdprotézisek többsége a végrotációt nem veszi figyelembe, és kétdimenziós csuklómozgássá redukálja a kinematikát. A rotációs mozgásokat nem irányítják, csak bizonyos korlátok közt engedik, vagy non-constrain geometriai kialakítással, vagy forgó tálcsa tibiális komponenssel. A 90-es évek vége óta használják a modern biomechanikai elvek alapján fejlesztett "medial-pivot" térdprotéziseket, melyek az egyszerű csuklómozgás helyett a mediális femur condylus körüli elfordulást és végrotációt teszik lehetővé, biztató közép- és hosszú távú eredményeket felmutatva.<sup>10</sup>

A TCA meghatározás módszerének korlátai is vannak, a condylusok hátulsó ívére csak matematikai algoritmusokkal lehet kört illeszteni, ezért használatához navigációs rendszerre van szükség. A navigáció egyre inkább elérhetővé válik, de mivel a kezdeti rendszerek pont a beemelő adatok bizonytalansága miatt nem tudtak látványos előnyt felmutatni a hagyományos instrumentáriumokkal szemben, nem tudtak széles körben elterjedni.<sup>6</sup> Ezen új funkció beépítésével a navigációs rendszerek pontosabbá tehetőek, így segítve a sebészt az optimális eredmény elérésében, ugyanakkor a klinikai alkalmazás előtt számos további tanulmány szükséges.

A cylindrikus tengely meghatározás a térd aktuális flexiós tengelyét adja meg, ami bizonyos esetekben nem azonos a térdprotézis beültetés során elérni kívánt flexiós tengellyel. Bizonyos esetekben (pl. hypoplasiás laterális femur condylus okozta valgus tengelyállás esetén) a protézis beültetés során terápiás cél a hibás tengelyállás korrigálása, így a protézist nem a cylindrikus tengely alapján kell beültetni.

A kutatás során megalkotott újfajta flexiós tengely meghatározás (TCA) ígéretes lehetőségeket rejt a térdízületi endoprotetika pontosabbá tételében, de a navigációs rendszerekbe való beépítése előtt fontos megállapítani, hogy műtéti környezetben, arthrotikus térdízületeken is képes-e nagyobb pontosságot nyújtani a jelenleg használatos módszerekhez képest.

### Összefoglalás

A térd flexiós tengelyének meghatározására alkotott módszer, a transzcylindrikus tengely (TCA), képes lehet a bizonytalan transepicondylaris tengely (TEA), hátulsó condylaris vonal (PCL) és Whiteside vonal (WHL) helyett egy pontosabb támpontot nyújtani a térdprotézis rotációs beállításra vonatkozóan. A modellkísérlet során ezen tengely  $4^\circ$  alatti hibával volt meghatározható, szemben a PCL és TEA  $7^\circ$ -ot, WHL  $16^\circ$ -ot is meghaladó hibájával. A módszernek a mozgásvizsgálatok során is nagy jelentősége lehet, mivel a kinematikai kiértékelés során kapott eredmények nagymértékben függenek a tengelyállástól.

## IRODALOM

1. Freeman MAR, Pınşkerova V. The movement of the normal tibio-femoral joint. *J Biomech* 2005; 38:197–208.
2. Berger RA, Rubash HE, Seel MJ, Thompson WH, Crosse LS. Determining the rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty using the epicondylar axis. *Clin Orthop Relat Res &NA* 1993;40-7.
3. Churchill DL, Incavo SJ, Johnson CC, Beynon BD. The transepicondylar axis approximates the optimal flexion axis of the knee. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1998;III-8.
4. Eckhoff D, Hogan C, DiMatteo L, Robinson M, Bach J. Difference between the epicondylar and cylindrical axis of the knee. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2007; 461:238-244.
5. Most E, Axe J, Rubash H, Li G. Sensitivity of the knee joint kinematics calculation to selection of flexion axes. *Journal of Biomechanics* 2004;37:1743-8.
6. Mont MA, Banerjee S. Navigation in total knee arthroplasty: truth, myths, and controversies. *The American Journal of Orthopaedics* 2013;42: 493–5.

7. Victor, J. et al. A common reference frame for describing rotation of the distal femur: a CT-based kinematic study using cadavers. J Bone Joint Surg Br 2009;91:683–90
8. Grood, ES, Suntay WJ. A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee. J Biomech Eng 1983;105:136
9. Morton NA, Maletsky LP, Pal S, Laz PJ. Effect of variability in anatomical landmark location on knee kinematic description. J Orthop Res 2007; 25:1221–30
10. Fitch DA, Sedacki K, Yang Y. Mid- to long-term outcomes of a medial-pivot system for primary total knee replacement: a systematic review and meta-analysis. Bone Joint Res 2014;3:297–304.

---

*A szerzők szeretnének köszönetet mondani Renner Gábornak és Szántó Györgynek (MTA-SZTAKI) a programozási feladatok segítségével, M. Csizmadia Bélának (SZIE-GEK) a mozgató szerkezet tervezésében, Falk Györgynek (Varinex Zrt.) az adatfeldolgozás segítségével, és a vizsgálatban résztvevőknek.*

**Andrónyi Kristóf**

Uzsoki Utcai Kórház, Ortopéd-traumatológiai Osztály  
H-1145 Budapest, Uzsoki u. 29-41.  
Tel.: (+36) 20 346-9101