

## A MAGAS TIBIA OSTEOTOMIA SZEREPE A VARUS GONARTHROSIS KEZELÉSÉBEN – NARRATÍV IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### THE ROLE OF THE HIGH TIBIAL OSTEOTOMY IN THE TREATMENT OF VARUS GONARTHROSIS – NARRATIVE REVIEW OF THE LITERATURE

GÖMÖRI ANDRÁS MÉNRÓT<sup>1</sup>

Borsod-Abaúj-Zemplén Vármegyei Központi Kórház és Egyetemi Oktatókórház,  
Traumatológiai Osztály

**Összefoglalás:** A magas tibia osteotomia beavatkozás célját, indikációját, az optimális korrekcióval kapcsolatos kérdéseket, az osteotomia típusait, a különböző típusok előnyeit, hátrányait részletezem. Kitérek a magas tibia osteotomiát követő protetizálás technikai nehézségeire, választ kerestem arra a kérdésre, hogy a magas tibia osteotomia javasolható-e fiatal, aktív betegek esetében a varus gonarthrosis műtéti kezelésében. A magas tibia osteotomiát, mint ízületmegtartó műtétet, az 1950-es évektől alkalmazzák a varus gonarthrosis kezelésében. A megfelelően korrigált osteotomia úgy balanszírozza a terhelési viszonyokat, hogy a mediális compartmentben a terhelés csökken, de a laterális compartmentben nem teremt degeneratív folyamatot elindító fokozott terhelést. Az optimálisan korrigált tengelyviszonyok esetén a tehermentesített mediális compartmentben regeneratív porc alakul ki. A magas tibia osteotomia hozzávetőlegesen tíz évig biztosít fájdalommentes funkciót, utána az esetek nagy részében szükséges a térd protetizálása. A magas tibia osteotomiát követő totál térdprotézis tízéves túlélése kissé alacsonyabb, mint a primer totál térdprotézis tízéves túlélése, de a különbség nem szignifikáns, azaz a magas tibia osteotomia nem befolyásolja negatívan az osteotomia után végzett totál térdprotézis kimenetelét, emiatt az magas tibia osteotomia a fiatal, aktív betegek esetében effektív, a proteizálást késleltető műtéti beavatkozásnak tekinthető a varus gonarthrosis kezelésében.

**Kulcsszavak:** *magas tibia osteotomia, varus gonarthrosis*

**Abstract:** The goal and the indication of high tibial osteotomy, the questions about optimal correction, the types of the osteotomy and the pros and cons of those were evaluated. The technical difficulties of total knee arthroplasty, done after high tibial osteotomy, were examined while searching for an answer for the following question: Is the high tibial osteotomy recommended for relatively young patient with knee osteoarthritis? High tibial osteotomy, as a joint conserving method, was used from the 1950s to treat osteoarthritis of the knee with varus deformity (varus gonarthrosis). If the osteotomy uses adequate correction, it will balance the loads of the joint surfaces, decreasing it in the medial compartment, while increasing it in the lateral compartment, still not causing degenerative process. In the medial

<sup>1</sup> Levelező szerző: Gömöri András Ménrót, 3526 Miskolc, Szentpéteri kapu 72–76., Traumatológia, e-mail: gomoria88@gmail.com

compartment, with reduced load, regenerative cartilage will occur in case of an optimally corrected axis. The painless function after high tibial osteotomy is guaranteed for about ten years, after which arthroplasty of the knee is necessary most of the time.

**Keywords:** *high tibial osteotomy, varus gonarthrosis*

## BEVEZETÉS

A magas tibia osteotomia (MTO) a mediális unicondylar felszínpótlás mellett a varus gonarthrosis műtéti kezelésének széles körben elfogadott eleme, különösen a viszonylag fiatal munkaképes betegeknél, akiknél várhatóan kiválóan csökkenti a fájdalmat és javítja a funkciót [1–4].

Az alsó végtag mechanikai tengelye a femurfej középpontját köti össze a felső ugró ízület centrumával. Optimális esetben a mechanikai tengely a térdízületet annak centrumában, varus deformitásnál attól mediálisan keresztezi [5].

A mechanikai tengelyhez képest a tibia ízfelszíne 3°-os varusban, a femurfelszín 2-3° valgusban van [6]. Egy fokkal nagyobb varus 5%-kal növeli a mediális compartmentre (MC) jutó terhelést [7], 2°-os varus már nagy valószínűséggel degeneratív folyamatot indít el az MC-ben, mert a megnövekedett terhelés porcvesztéshez vezet az MC-ben, a porcvesztés tovább fokozza a varus irányú deformitást, circulus vitiosus alakul ki [8].

Az MTO biomechanikai célja a tengelyviszonyok helyreállítása révén valósul meg, a terhelés a degeneratív folyamatban érintett MC-ről az ép, laterális compartmentre (LC) tolódik [9].

Az MC-ben csökkenő nyomás redukálja a fájdalmat és késlelteti az arthrosis progresszióját, megszakítva a circulus vitiosust [10, 11].

A varus deformitás elégtelen korrekciója nem csökkenti a fájdalmat; a túlzott korrekció degeneratív folyamat kialakulásához vezet az LC-ben [8, 12, 13].

Az MC-re és LC-re jutó terhelés balanszírozása az MTO legfontosabb célja. Konszenzus alakult ki abból a szempontból, hogy az enyhe túlkorrekció biztosítja az MC tehermentesítését, anélkül, hogy az LC-ben fokozott terhelés alakulna ki [14–16]. Az optimális túlkorrekció mértéke vitatott, talán a Fujisawa [17] által javasolt 3°-os túlkorrekció (3°-os valgus) a legelfogadottabb. A femorotibialis tengely 1°-os változása 51 N-al, a kontaktterhelés pontok 1 milliméteres mediolaterális elmozdulása 41 N-al csökkenti az MC-re jutó terhelést [18], Martay [19] szerint 1,7°-1,9°-os túlkorrekció biztosítja az ideális erőeloszlást, 5° túlkorrekció már az ízületi rés ferdeségéhez, nyíró erők kialakulásához vezet [20]. Zheng [21] 2,9-4,3°-os túlkorrekciót javasol, Trad és mtsai. [22] szerint 4,5° túlkorrekciónál valósul meg az ideális erőeloszlás. A megfelelően korrigált tengelyviszonyok esetén a tehermentesített MC-ben regeneratív porc alakul ki [23, 24].

A cikk elsődleges célja bemutatni a felhasználható technikák sokszínűségét, azok előnyeit, illetve hátrányait. Arra a kérdésre is kerestem a választ, hogy fiatal, munkaképes betegek esetén felhasználhatóak-e a részletezett technikák a tengelyeltérés mellett kialakuló térd ízületi arthrosis kezelésében.

## MÓDSZEREK

Az irodalmi áttekintéshez a Pubmed nyilvános adatbázisát használtam (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>). Elsősorban a különféle műtéti eljárások első leírását kerestem, az áttekintés ezeket részletezi. A különféle módszerekről szerzett tapasztalatokat, azok előnyeit és hátrányait további közlemények írták le. Az irodalmi áttekintés során talált törzssanyagot nem tartottam alkalmasnak arra, hogy statisztikai értelemben erős metaanalízist készítssek.

Az 1950 és 2019 közötti időszakot átölelő kutatás során az eredeti témát teljeskörűen próbáltam bevonni. A keresés során nagy mennyiségű járulékos tudásanyaggal szembesültem, ami nem köthető szorosan a kutatási témámhoz, ezért számos kizáró kritériumot határoztam meg.

A fertőzések, a szövetátültetés és biotechnológia, a szövődmények, a robotika, a hátsó keresztszalag, a navigációs lehetőségek, a 3D nyomtatás, a rotációs hibák, a járásanalízis, az ultrahangon alapuló eljárások, a vérplazma használata, az Achilles-ín és a meniscusok járulékos problémái, és a törések nem tartoztak a szűken vizsgált kutatási anyaghoz.

A keresőszavak jelentős része trunkált formában került meghatározásra a különféle nyelvi és helyesírási lehetőségek kizárása céljából.

Az alábbi „string”-et használtam:

((((((((((((((high tibia\* osteotom\* AND (1950:2019[pdat]) AND (humans[filt])) NOT infe\*) NOT transpl\*) NOT complic\*) NOT instab\*) NOT robot\*) NOT PCL) NOT navig\*) NOT print\*) NOT rotat\*) NOT gait) NOT ultrasound) NOT plasma) NOT Achilles) NOT menisc\*) NOT fracture)

## EREDMÉNYEK

Az MTO-val kapcsolatban az elmúlt közel 70 évben több mint 2000 egyedi közleményt találtam. A további szűrések során 324 találatot kaptam. Ezek közül összesen 48 tartozott a „clinical trial”, „randomized controlled trial” és „review” kategóriákba. A szakmában megkerülhetetlennek tekinthető közlésekkel kiegészítve összesen 64 hivatkozást használtam.

## MEGBESZÉLÉS

### Osteomiatiptusok

A magas tibia osteotomiának 3 fő típusát ismerjük, ezek: a nyitó, a záró ék és a dóm osteotomia. Az elmúlt évtizedekben a nyitó és záró ék osteotomiának számos módosítását dolgozták ki.

#### Nyitó ék osteotomia

A tibia platóval párhuzamosan, attól 2 cm-rel distálisan (a supratubercularis régióban) mediális osteotomia, a laterális corticalis sértetlen marad. A korrekció a csontfelszínnek távolításával (nyitásával) valósul meg. A korrigált helyzetet lemezes

osteosynthesis biztosítja. A mediálisan megnyíló rés csonttal (saját vagy donor csont), vagy implantátummal (pl. hydroxyapatit anyagú) tölthető ki.

- Előnyök: pontos korrekció, viszonylag jó, 10 éves túlélés, nagy mozgásterjedelem, lágyrészkímélő technika, a proximális tibiofibularis ízület ép marad [25–28].
- Hátrányok: a tibia ízfelszín sagittális irányban mérhető hátrafelé dőlése (tibial slope, TS) nő, a végtag hosszabbodik, a patella magassága csökken, a laterális corticalis törés incidenciája magas [25, 27–29]. Az MC-ben a nyitó ék osteotomia után a nyomás fokozódik, az elérhető korrekció limitált [26, 30, 31].

### ***Biplanaris osteotomia***

A supratuberculáris nyitó ék osteotomia után, különösen nagyobb korrekció esetén csökken a patella magassága [32], a patellofemorális kontakt stressz nő, mert a tuberositas tibiae laterális is distális helyzetbe kerül [33].

A nyitó ék osteotomia után jelentkező patellofemorális problémák miatt merült fel a nyitó ék osteotomia módosításának igénye, ezért kidolgozták a biplanaris osteotomiát.

A biplanaris osteotomia kettő, egymásra merőleges osteotomiát jelent, egy a hagyományos nyitó ék osteotómiával megegyező horizontálist és egy másik, erre merőleges a tibia platótól 4-5 centiméterrel disztális irányba vezetett osteotomiát. A biplanaris osteotomia után a tuberositas tibiae a tibia metaphysisével egy blokkban marad, azaz a tuberositas tibiae helyzete nem változik, nem alakul ki patella infera [34].

- Előny: a tuberositas tibiae helyzete nem változik, nem alakul ki patella infera.
- Hátrány: technikailag nehéz.

### ***Hemicallotasis***

A hemicallotasis egy nyitó ék technika, a postoperatív korrekció radiológiai kontroll alatt történik. A hagyományos mediális osteotomia után a metaphysealis csontba (az osteotómiától proximálisan) négy, a diaphysisbe (az osteotómiától disztálisan) kettő pinto (Schanz-csavar) helyeznek, a pineket külső rögzítővel (fixateur externe, FE) kötik össze, majd a csontfelszíneket fokozatosan távolítják egymástól az FE-re szerelt distractorral (a beteg végzi az előírás szerint, újabban létezik motorizált, automatizált formája is).

- Előnyök: könnyű műtéti technika, nagyon pontos korrekció [35–37].
- Hátrány: a külső rögzítő a beteg számára kényelmetlen, fennáll a pin infekció veszélye.

### ***Záró ék osteotomia***

A tibia platóval párhuzamosan, attól 2 cm-rel disztálisan (a supratuberculáris régióban) laterális osteotomia, a mediális corticalis ép marad. Az előzetesen meghatározott korrekció szögének megfelelő szögben történik a distalis osteotomia, melynek

révén laterális bázisú éket távolítanak el. A tibia distalis részének valgizálásával a csontfelszínek záródnak, az elért korrekciót kapocs, vagy lemez biztosítja. Az osteotomiatípus a fibula osteotomiáját, vagy a proximális tibiofemorális ízület „oldását” igényli.

- Előnyök: pontos korrekció, 10 éves túlélés, viszonylag nagy mozgásterjedelm, az osteotomia rögzítéséhez elegendő minimális osteosynthesys (kapocs), a fémeltávolítás (2. műtét) elkerülhető.
- Hátrányok: limitált korrekció, laterális csontvesztés, fibula osteotomia, vagy a proximális tibiofemorális ízület oldása szükséges a korrekcióhoz, a TS csökken [38].

### ***Inverz „V” osteotomia [39]***

Az osteotomia proximális végpontjából (a tibia platótól 3 cm-rel distalisan a tibia condylus centrumában) 55-55°-os distal felé irányuló mediális és laterális osteotomia. A laterálisan eltávolított éket a valgizálás után megnyíló mediális résbe helyezik, az osteotomiát lemezzel rögzítik.

- Előnyök: nagy korrekciós lehetőség, nem változik a tibial slope, a patella magassága és a végtag hossza.
- Hátrány: technikailag nehéz.

### ***Kombinált (záró-nyitó ék osteotomia) [26, 40]***

A tibia platóval párhuzamosan, attól 2 cm-rel distalisan (a supratuberculáris régióban) komplett osteotomia. Az előzetesen meghatározott korrekció szögének megfelelő szögben történik a distalis osteotomia, mely a tibia condylusok centrumáig ér (fél ék), melynek révén laterális bázisú (fél) éket távolítanak el. A tibia distalis részének valgizálásával a csontfelszínek laterálisan záródnak (biztosítva a korrekciót), mediálisan eltávolodnak egymástól. A laterálisan eltávolított fél éket a mediális megnyíló résbe helyezik. A korrekció 2 kapoccsal, vagy lemezzel tartható meg.

- Előnyök: jelentős korrekciós lehetőség, a tibia condylusok csak minimálisan transzponálódnak, a tibial slope és a patella magassága gyakorlatilag nem változik [26, 40, 41].
- Hátrányok: a műtét technikailag nehéz, fibula osteotomia, vagy a proximális tibiofemorális ízület oldása szükséges a korrekcióhoz, a mediális corticalis megszakad, laterális és mediális rögzítés szükséges [26, 40].

### ***Dóm osteotomia [26]***

A supratuberculáris régióban ívelt osteotomia, a korrekció az ívelt osteotomia mentén a distalis tibia fragmentum valgizálásával érhető el, a korrekciót kapocs, vagy lemezes osteosynthesis biztosítja.

- Előny: az osteotomia révén „korlátlan” korrekció érhető el.
- Hátrányok:

- a beavatkozás technikailag nehéz, a tibia condylusok jelentős transzpozíciójával jár, a TS csökken [26, 42].
- A degeneratív folyamat progressziója miatt hosszú távon körülbelül 25%-ban szükségessé válik az MTO – totál térd protézis (TTP) konverzió [43, 44].

### **Az osteotomia rögzítése**

Az MTO instabil állapotot eredményez, az osteotomia rögzítése szükséges. Az optimális rögzítés alapvető jelentőségű az MTO sikeres kimenetele szempontjából. A kapszokkal történő rögzítés elegendő a korrekció megtartásához, de teljes tehermentesítést igényel [26]. A hagyományos lemezes rögzítéssel szemben a szögstabil lemezek csökkentik az implantátumra és csontra jutó terhelést [45].

Az úgynevezett „one leg” implantátumok a kisebb súlyú betegeknél használhatók, a túlsúlyos betegeknél a „two-leg”, azaz „L” vagy „T” formájú implantátumok alkalmazása javasolt. A „T” és „L” alakú, vagy széles „I” alakú lemezek szögstabil csavarok nélkül is megfelelő stabilitást biztosítanak, ha a proximális tibia hangsúlyozottan konkáv preformált lemezek használhatók [46].

A hemicallotasisnál külső rögzítővel stabilizálják az osteotomiát [35–37].

### **Az MTO-TTP konverzió technikai nehézségei**

Az MTO után gyakori patella infera, valamint hegesedés kialakulása az osteotomia és a környező lágyrészek között [30, 42, 43, 47–50].

A konverzió során a hegesedés a subperiosteális feltárást, [49–51] a patella infera a patella eversióját nehezíti, az eversio közben fennáll a tuberositas tibiae avulsiójának veszélye [42, 43, 47, 49–52], feltárást közben „quadiceps turndown”, [50] vagy a tuberositas tibiae osteotomiája szükséges lehet [51].

Nehézséget jelenthet a pontos korrekció megvalósítása, és a korrekció megőrzése [53, 54], a konverzió során elégtelen, vagy túlzott korrekció alakulhat ki, a megfelelő lágyrészbalanszírozás nem mindig valósítható meg [26, 50].

Az MTO után a tibia condylusok a tibia tengelyéhez képest transzponálódnak. Minél nagyobb a korrekció, annál nagyobb a transzpozíció mértéke [20]. Minél nagyobb a varus deformitás centruma és a korrekció centruma közötti távolság, annál nagyobb a transzpozíció [26]. A transzpozíció nehezíti a megfelelő tengelyviszonyok beállítását és a tibia komponens optimális pozicionálását a konverzió közben [50, 51].

Különösen a záró ék osteotomia után alakulhat „bajonett” forma a laterális tibia condylus területén, ami konverzió közben impingementet eredményezhet a tibia komponens szára és a laterális corticalis között. Az impingement a tibia komponens mediális helyzetét, alulméretezettségét okozhatja [47, 50, 51].

A laterális csontvesztés miatt a praecosteomiás laterális ízületi rés magasságának helyreállítása csak vastagabb inserttel oldható meg [26, 47, 50, 51, 55].

Az MTO után változik a TS, a záró ék és dóm osteotomia után csökken, a nyitó ék osteotomia után nő [13, 30, 31, 42, 53, 56–58].

A konverzió során a csökkent TS jelentős resectiót igényelhet a tibia hátsó részén, ami gyengíti a ligamentum cruciatum posterius (LCP) tapadását [59].

Az MTO ritka esetben vezet végleges enyhüléshez, de időt nyerhetünk vele, ami a legtöbb esetben kevesebb, mint tíz év és végül a betegek jelentős részének TTP-beültetésre van szüksége [60]. Megőrizhetjük az MTO-TTP-konverzió lehetőségét, ha az MTO során elkerüljük a tibia condylus jelentős transzpozícióját.

### A térden belüli terhelési viszonyok változása

A varus gonarthrosis megváltoztatja a térd kinematikáját és a normál járásmintát. A tengelyviszonyok korrekciója sikeresen javítja az arthrosisos járást, javítja a járási képesség percepcióját [14, 61, 62].

### KÖVETKEZTETÉS

Az MTO-t követő TTP 10 éves túlélése kissé alacsonyabb, mint a primer TTP 10 éves túlélése (88% vs. 92%). A különbség nem szignifikáns, azaz az MTO nem befolyásolja negatívan az osteotomia után végzett TTP kimenetelét statisztikailag kimutatható formában [63, 64].

Összességében az MTO a fiatal, aktív betegek esetében effektív, a proteizálást késleltető műtéti beavatkozásnak tekinthető a varus gonarthrosis kezelésében.

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Lee, O. S., Lee, E. S., Lee, Y. S. (2019). Disparity between preoperative target correction amount and postoperative correction amount in open wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg. Relat. Res.*, 2019 Jun. 1, 31 (2), pp. 126–31.
- [2] Lee, H. I., Park, D., Cho, J. (2018). Clinical and radiological results with second-look arthroscopic findings after open wedge high tibial osteotomy without arthroscopic procedures for medial meniscal root tears. *Knee Surg. Relat. Res.*, 2018 Mar. 1, 30 (1), pp. 34–41.
- [3] Nha, K. W., Shin, Y. S., Kwon, H. M., Sim, J. A., Na, Y. G. (2019). Navigated versus conventional technique in High Tibial Osteotomy: A Meta-Analysis focusing on weight bearing effect. *Knee Surg. Relat. Res.*, 2019 Jun. 1, 31 (2), pp. 81–102.
- [4] Zsákai, Z., Nadianmehr, B., Oláh, C., Papp, M., Veréb, G. (2021). Medial Unicompartmental Knee Arthroplasty: Correlation Between Components' Malalignment and Long-term Outcome in Obese Patients. *Trauma Mon [Internet]*. 2017 Oct. 7 [cited 2021 Jun. 13], 23 (3). Available from: <http://traumamon.com/en/articles/60096.html>

- 
- [5] Amis, A. A. (2013). Biomechanics of high tibial osteotomy. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 21 (1), pp. 197–205.
- [6] Bellemans, J., Colyn, W., Vandenuecker, H., Victor, J. (2012). The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 470 (1), pp. 45–53.
- [7] Halder, A., Kutzner, I., Graichen, F., Heinlein, B., Beier, A., Bergmann, G. (2012). Influence of limb alignment on mediolateral loading in total knee replacement: in vivo measurements in five patients. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 2012 Jun. 6, 94 (11), pp. 1023–9.
- [8] Dugdale, T. W., Noyes, F. R., Styer, D. (1992). Preoperative planning for high tibial osteotomy. The effect of lateral tibiofemoral separation and tibiofemoral length. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, (274), pp. 248–64.
- [9] Spahn, G., Klinger, H., Harth, P., Hofmann, G. (2012). Knorpelregeneration nach valgusierender Tibiakopfosteotomie. Ergebnisse einer arthroskopischen Studie. *Z. Orthop. Unfall.*, 2012 Jun., 150 (03), pp. 272–9.
- [10] Black, M. S., d'Entremont, A. G., McCormack, R. G., Hansen, G., Carr, D., Wilson, D. R. (2018). The effect of wedge and tibial slope angles on knee contact pressure and kinematics following medial opening-wedge high tibial osteotomy. *Clin. Biomech.* (Bristol, Avon), 2018 Jan., 51, pp. 17–25.
- [11] Song, S. J., Bae, D. K. (2016). Computer-Assisted Navigation in High Tibial Osteotomy. *Clin. Orthop. Surg.*, 8 (4), p. 349.
- [12] Coventry, M. B., Ilstrup, D. M., Wallrichs, S. L. (1993). Proximal tibial osteotomy. A critical long-term study of eighty-seven cases. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 1993 Feb., 75 (2), pp. 196–201.
- [13] Hernigou, P., Medevielle, D., Debeyre, J., Goutallier, D. (1987). Proximal tibial osteotomy for osteoarthritis with varus deformity. A ten to thirteen-year follow-up study. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 1987 Mar., 69 (3), 332–54.
- [14] Leitch, K. M., Birmingham, T. B., Dunning, C. E., Giffin, J. R. (2015). Medial opening wedge high tibial osteotomy alters knee moments in multiple planes during walking and stair ascent. *Gait & Posture*, 2015 Jul., 42 (2), pp. 165–71.
- [15] Marriott, K., Birmingham, T. B., Kean, C. O., Hui, C., Jenkyn, T. R., Giffin, J. R. (2015). Five-Year Changes in Gait Biomechanics After Concomitant High Tibial Osteotomy and ACL Reconstruction in Patients with Medial Knee Osteoarthritis. *Am. J. Sports Med.*, 2015 Sep., 43 (9), pp. 2277–85.
- [16] da Silva, H. G. P. V., Zorzi, A. R., da Silva, H. P. V., de Miranda JB. Gait analysis in short-term follow-up of medial opening wedge high tibial osteotomy. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2018 Jul., 28 (5), 939–46.



- [17] Fujisawa, Y., Masuhara, K., Shiomi, S. (1979). The effect of high tibial osteotomy on osteoarthritis of the knee. An arthroscopic study of 54 knee joints. *Orthop. Clin. North Am.*, 1979 Jul., 10 (3), pp. 585–608.
- [18] Lerner, Z. F., DeMers, M. S., Delp, S. L., Browning, R. C. (2015). How tibi-femoral alignment and contact locations affect predictions of medial and lateral tibiofemoral contact forces. *J. Biomech.*, 2015 Feb., 48 (4), pp. 644–50.
- [19] Martay, J. L., Palmer, A. J., Bangerter, N. K., Clare, S., Monk, A. P., Brown, C. P. et al. (2018). A preliminary modeling investigation into the safe correction zone for high tibial osteotomy. *The Knee*, 2018 Mar., 25 (2), pp. 286–95.
- [20] Nakayama, H., Schröter, S., Yamamoto, C., Iseki, T., Kanto, R., Kurosaka, K. et al. (2018). Large correction in opening wedge high tibial osteotomy with resultant joint-line obliquity induces excessive shear stress on the articular cartilage. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2018 Jun., 26 (6), 1873–8.
- [21] Zheng, K., Scholes, C. J., Chen, J., Parker, D., Li, Q. (2017). Multiobjective optimization of cartilage stress for non-invasive, patient-specific recommendations of high tibial osteotomy correction angle – a novel method to investigate alignment correction. *Medical Engineering & Physics*, 2017 Apr., 42, pp. 26–34.
- [22] Trad, Z., Barkaoui, A., Chafra, M., Tavares, J. M. R. (2018). Finite element analysis of the effect of high tibial osteotomy correction angle on articular cartilage loading. *Proc. Inst. Mech. Eng H*. 2018 Jun;232(6):553–64.
- [23] Koshino, T., Wada, S., Ara, Y., Saito, T. (2003). Regeneration of degenerated articular cartilage after high tibial valgus osteotomy for medial compartmental osteoarthritis of the knee. *The Knee*, 2003 Sep, 10 (3), pp. 229–36.
- [24] Okahashi, K., Fujisawa, Y., Sugimoto, K., Tanaka, Y. (2010). Cartilage regeneration of knee OA after High Tibial Osteotomy: *Techniques in Knee Surgery*, 2010 Jun., 9 (2), pp. 95–100.
- [25] Sun, H., Zhou, L., Li, F., Duan, J. (2016). Comparison between Closing-Wedge and Opening-Wedge High Tibial Osteotomy in patients with Medial Knee Osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *J. Knee Surg.*, 2016 May 24, 30 (02), pp. 158–65.
- [26] Duivenvoorden, T., van Diggele, P., Reijman, M., Bos, P. K., van Egmond, J., Bierma-Zeinstra, S. M. A. et al. (2017). Adverse events and survival after closing- and opening-wedge high tibial osteotomy: a comparative study of 412 patients. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2017 Mar., 25 (3), pp. 895–901.
- [27] Lee, O. S., Ahn, S., Lee, Y. (2019). Comparison of the Leg-Length Change between Opening- and Closing-Wedge High Tibial Osteotomy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Knee Surg.*, 2019 Apr., 32 (04), pp. 372–9.

- 
- [28] Wu, L., Lin, J., Jin, Z., Cai, X., Gao, W. (2017). Comparison of clinical and radiological outcomes between opening-wedge and closing-wedge high tibial osteotomy: A comprehensive meta-analysis. Nazarian A, editor. *PLoS ONE*, 2017 Feb. 9, 12 (2), e0171700.
- [29] van Egmond, N., van Grinsven, S., van Loon, C. J. M., Gaasbeek, R. D., van Kampen, A. (2016). Better clinical results after closed- compared to open-wedge high tibial osteotomy in patients with medial knee osteoarthritis and varus leg alignment. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 24 (1), pp. 34–41.
- [30] Geiger, F., Sabo, D. (2004). Tibiakopfumstellung mittels Fixateur externe. *Der Orthopäde*, 2004 Feb. 1, 33 (2), pp. 161–9.
- [31] Jakob, R. P., Jacobi, M. (2004). Die zuklappende Tibiakopfosteotomie in der Behandlung der unikompartimentären Arthrose. *Der Orthopäde*. 2004 Feb. 1, 33 (2), pp. 143–52.
- [32] Amzallag, J., Pujol, N., Maqdes, A., Beaufils, P., Judet, T., Catonne, Y. (2013). Patellar height modification after high tibial osteotomy by either medial opening-wedge or lateral closing-wedge osteotomies. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 21 (1), pp. 255–9.
- [33] Stoffel, K., Willers, C., Korshid, O., Kuster, M. (2007). Patellofemoral contact pressure following high tibial osteotomy: a cadaveric study. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthr.*, 2007 Aug. 31, 15 (9), pp. 1094–100.
- [34] Kloos, F., Becher, C., Fleischer, B., Feucht, M. J., Hohloch, L., Südkamp, N. et al. (2019). High tibial osteotomy increases patellofemoral pressure if ad-verted proximal, while open-wedge HTO with distal biplanar osteotomy dis-charges the patellofemoral joint: different open-wedge high tibial osteotomies compared to an extra-articular unloading device. *Knee Surg. Sports Trau-matol. Arthrosc.*, 2019 Jul., 27 (7), pp. 2334–44.
- [35] Calista, F., Pegreff, P. (1996). High tibial osteotomy: osteotomy in minus or hemicallotasis with EAF? *Chir. Organi. Mov.*, 1996 Jun., 81 (2), pp. 155–63.
- [36] Klinger, H. M., Lorenz, F., Härer, T. (2001). Open wedge tibial osteotomy by hemicallotasis for medial compartment osteoarthritis. *Arch. Orth. Traum. Surg.*, 2001 May 22, 121 (5), pp. 245–7.
- [37] Magyar, G., Toksvig-Larsen, S., Lindstrand, A. (1999). Hemicallotasis open-wedge osteotomy for osteoarthritis of the knee: COMPLICATIONS IN 308 OPERATIONS. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 1999 May, 81-B (3), pp. 449–51.
- [38] Murphy, S. B. (1994). Tibial osteotomy for genu varum. Indications, preoper-ative planning, and technique. *Orthop. Clin. North Am.*, 1994 Jul, 25 (3), pp. 477–82.

- 
- [39] Kondo, E., Yasuda, K., Yabuuchi, K., Aoki, Y., Inoue, M., Iwasaki, N. et al. (2018). Inverted V-shaped high tibial osteotomy for medial osteoarthritic knees with severe varus deformity. *Arthrosc. Tech.*, 2018 Oct, 7 (10), e999–1012.
- [40] Papp, M., Csernátó, Z., Kazai, S., Károlyi, Z., Róde, L. (2007). The patella and tibial condyle position after combined and after closing wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2007 Jun. 11, 15 (6), pp. 769–80.
- [41] Papp, M., Róde, L., Fegyverneki, S., Kazai, S. (2006). Short- and Mid-term Results After Combined High Tibial Osteotomy. *Orthopedics*, 2006 Nov., 29 (11), pp. 1014–20.
- [42] Nakamura, E., Mizuta, H., Kudo, S., Takagi, K., Sakamoto, K. (2001). Open-wedge osteotomy of the proximal tibia with hemicallotasis. *The Journal of Bone and Joint Surgery British volume*, 2001 Nov., 83-B(8), pp. 1111–5.
- [43] Aglietti, P., Buzzi, R., Vena, L. M., Baldini, A., Mondaini, A. (2003). High tibial valgus osteotomy for medial gonarthrosis: a 10- to 21-year study. *J. Knee Surg.*, 16 (1), pp. 21–6.
- [44] Virolainen, P., Aro, H. T. (2004). High tibial osteotomy for the treatment of osteoarthritis of the knee: a review of the literature and a meta-analysis of follow-up studies. *Arch. Orthop. Trauma. Surg.*, 2004 May 1, 124 (4), pp. 258–61.
- [45] Luo, C. A., Hua, S. Y., Lin, S. C., Chen, C. M., Tseng, C. S. (2013). Stress and stability comparison between different systems for high tibial osteotomies. *BMC Musculoskelet Disord.*, 2013 Dec., 14 (1), p. 110.
- [46] Luo, C. A., Hwa, S. Y., Lin, S. C., Chen, C. M., Tseng, C. S. (2015). Placement-induced effects on high tibial osteotomized construct - biomechanical tests and finite-element analyses. *BMC Musculoskelet Disord.*, 2015 Dec., 16 (1), p. 235.
- [47] Meding, J. B., Keating, E. M., Ritter, M. A., Faris, P. M. (2000). Total knee arthroplasty after high tibial osteotomy. A comparison study in patients who had bilateral total knee replacement. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 2000 Sep., 82 (9), pp. 1252–9.
- [48] Parvizi, J., Hanssen, A. D., Spanghel, M. J. (2004). Total Knee Arthroplasty following Proximal Tibial Osteotomy: risk factors for failure. *J. Bone Joint Surg.*, 2004 Mar., 86 (3), pp. 474–9.
- [49] Scuderi, G. R., Windsor, R. E., Insall, J. N. (1989). Observations on patellar height after proximal tibial osteotomy. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 1989 Feb., 71 (2), pp. 245–8.

- 
- [50] Windsor, R. E., Insall, J. N., Vince, K. G. (1988). Technical considerations of total knee arthroplasty after proximal tibial osteotomy. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 1988 Apr., 70 (4), pp. 547–55.
- [51] Katz, M. M., Hungerford, D. S., Krackow, K. A., Lennox, D. W. (1987). Results of total knee arthroplasty after failed proximal tibial osteotomy for osteoarthritis. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 1987 Feb., 69 (2), pp. 225–33.
- [52] Closkey, R. F., Windsor, R. E. (2001). Alterations in the patella after a high tibial or distal femoral osteotomy. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, (389) pp. 51–6.
- [53] Billings, A., Scott, D. F., Camargo, M. P., Hofmann, A. A. (2000). High tibial osteotomy with a calibrated osteotomy guide, rigid internal fixation, and early motion. Long-term follow-up. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 82 (1), pp. 70–9.
- [54] Magyar, G., Toksvig-Larsen, S., Lindstrand, A. (1999). Changes in osseous correction after proximal tibial osteotomy: Radiostereometry of closed- and open-wedge osteotomy in 33 patients. *Acta Orthop. Scand.*, 1999 Jan., 70 (5), pp. 473–7.
- [55] Hofmann, A. A., Kane, K. R. (1994). Total knee arthroplasty after high tibial osteotomy. *Orthopedics*, 1994 Sep., 17 (9), pp. 887–90.
- [56] Cullu, E., Aydoğdu, S., Alparslan, B., Sur, H. (2005). Tibial slope changes following dome-type high tibial osteotomy. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 13 (1), pp. 38–43.
- [57] Lobenhoffer, P., Agneskirchner, J., Zoch, W. (2004). Die öffnende valgisiere Osteotomie der proximalen Tibia mit Fixation durch einen medialen Plattenfixateur. *Der Orthopäde*, 2004 Feb. 1, 33 (2), pp. 153–60.
- [58] Marti, C. B., Gautier, E., Wachtl, S. W., Jakob, R. P. (2004). Accuracy of frontal and sagittal plane correction in open-wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy*, 2004 Apr., 20 (4), pp. 366–72.
- [59] Walther, M., König, A., Kirschner, S., Gohlke, F. (2000). Results of posterior cruciate-retaining unconstrained total knee arthroplasty after proximal tibial osteotomy for osteoarthritis. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 2000 Feb. 15, 120 (3–4), pp. 166–70.
- [60] Insall, J. N., Joseph, D. M., Msika, C. (1984). High tibial osteotomy for varus gonarthrosis. A long-term follow-up study. *J. Bone Joint Surg. Am.*, 1984 Sep., 66 (7), pp. 1040–8.
- [61] Kim, Y. H., Dorj, A., Han, A., Kim, K., Nha, K. W. (2016). Improvements in spinal alignment after high tibial osteotomy in patients with medial compartment knee osteoarthritis. *Gait & Posture*, 2016 Jul., 48, pp. 131–6.

- 
- [62] Lind, M., McClelland, J., Wittwer, J. E., Whitehead, T. S., Feller, J. A., Webster, K. E. (2013). Gait analysis of walking before and after medial opening wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 2013 Jan., 21 (1), pp. 74–81.
  - [63] Badawy, M., Fenstad, A. M., Indrekvam, K., Havelin, L. I., Furnes, O. (2015). The risk of revision in total knee arthroplasty is not affected by previous high tibial osteotomy. *Acta Orthop.*, 86 (6), pp. 734–9.
  - [64] Niinimäki, T., Eskelinen, A., Ohtonen, P., Puhto, A. P., Mann, B. S., Leppilähti, J. (2014). Total knee arthroplasty after high tibial osteotomy: a registry-based case–control study of 1,036 knees. *Arch. Orthop. Trauma. Surg.*, 2014 Jan., 134 (1), pp. 73–7.