

Přínos kinematické počítačové 2D a 3D navigace k přesnosti provedení valgizační osteotomie proximální tibie s klínem otevřeným mediálně

Computer-Assisted Kinematic 2D and 3D Navigation in Medial Opening-Wedge High-Tibial Valgus Osteotomy

F. OKÁL¹, R. HART^{1,2}, M. KOMZÁK¹, A. SAFI¹

¹ Ortopedicko-traumatologické oddělení Nemocnice Znojmo

² Klinika traumatologie v Úrazové nemocnici v Brně, Lékařská fakulta Masarykovy univerzity, Brno

ABSTRACT

PURPOSE OF THE STUDY

The aim of the study was to assess the accuracy of axis deformity correction achieved by high-tibial valgus osteotomy either without or with a computer-assisted kinematic navigation system, on the basis of comparing the planned and the achieved frontal axis of the leg. Comparisons of mechanical axis deviation were made using both pre- and post-operative measurements with the planning software and intra-operative measurements with the navigation system before and after osteotomy. In addition, the aim was to test the hypothesis that the use of 3D navigation, as compared with 2D navigation, would help reduce changes in the tibial plateau slope

MATERIAL AND METHODS

In the period 2008–2011, high-tibial osteotomy was performed in 68 patients. Twenty-one patients (group 1) underwent osteotomy without the use of navigation and 47 patients (group 2) had osteotomy with a computer-assisted navigation system (32 with 2D navigation and 15 with 3D navigation). Using the planning software, the mechanical leg axis before and after surgery and the anatomical dorsal proximal tibial angle in the sagittal plane were assessed. Medial opening-wedge high-tibial valgus osteotomy was carried out in all patients. When using 2D navigation, the mechanical leg axis was measured intra-operatively before osteotomy and then after osteosynthesis which included a simulated axial load of the heel. When using 3D navigation, the procedure was identical and furthermore involved a measurement of the tibial plateau slope obtained with an additional probe in the proximal fragment. The results were characterised using descriptive statistics and their significance was evaluated using the Mann-Whitney U test and Wilcoxon's test, with the level of significance set at $p < 0.05$.

RESULTS

In group 1, osteotomy resulted in good correction of the mechanical axis in nine patients (43%), inadequate correction in nine (43%) and overcorrection in three (14%) patients. In group 2 with the use of navigation, accurate correction of the mechanical leg axis was achieved in 24 patients (51%), undercorrection was recorded in 21 (45%) and overcorrection in two (4%) patients. The difference in outcomes between the two groups was not statistically significant ($p = 0.73$). The average correction of the mechanical axis based on comparing measurements on pre- and post-operative radiographs was 9.1 degrees (range, 5–27 degrees); the average correction of the axis visualised intra-operatively was 8.7 degrees (range, 4–27 degrees). The difference was not significant ($p = 0.1615$) and confirmed our hypothesis that the accuracy of measuring the mechanical axis was not influenced by the method used. The average change in the dorsal slope of the tibial plateau following osteotomy without navigation was 0.9 degrees (range, –8.9 to 9.0 degrees) and that after osteotomy with intra-operative visualisation of the proximal tibial slope was 0.3 degrees (range, –4 to 4 degrees). This difference was not statistically significant ($p = 0.813$).

DISCUSSION

A good clinical outcome of high-tibial valgus osteotomy depends on achieving accurate correction of the mechanical leg axis with partial load transfer to the lateral compartment of the knee.

CONCLUSIONS

Although the number of cases with good correction was slightly higher in the patients undergoing osteotomy with navigation, the difference was not significant. Intra-operative visualisation of the mechanical axis proved sufficiently accurate on comparison with the pre-operative planning based on weight-bearing radiography of the leg. A simulated axial load of the heel included in the kinematic navigation system does not sufficiently correspond to normal weight-bearing and therefore an undercorrection of the deformity might occur. Using 3D navigation had no marked effect on a change in the slope of the tibial plateau.

Key words: high-tibial osteotomy, open wedge, computer-assisted navigation, tibial slope.

ÚVOD

Varózní postavení kolenního kloubu může vést k rozvoji nebo zhoršení mediální gonartrózy přetížením mediálního kompartmentu. Rozšíření implantací totálních a unikompartmentálních náhrad kolenního kloubu vedlo k poklesu počtu prováděných korekčních osteotomií. Endoprotézy však zejména u mladších pacientů mohou vést ke špatným výsledkům (15). Naproti tomu vysoká tibiální osteotomie je metoda s dobrými výsledky zejména u mladších a aktivních pacientů (17, 18). Cílem valgizační osteotomie je redukce přetížení vnitřního kompartmentu posunem mechanické osy laterálně od středu kolenního kloubu. Zlepšením předoperačního plánování, techniky provedení operace a díky novým možnostem úhlově stabilních dlah se stala korekční osteotomie znovu oblíbenější. Úhlově stabilní implantáty umožňují stabilní fixaci a brzkou rehabilitaci (14, 24). Předpokladem k dlouhodobému dobrému výsledku je přesná korekce (22) nebo mírné překorigování do valgosity 2° až 5° v závislosti na rozsahu poškození chrupavky (1, 21). Ke zvýšení přesnosti korekce pomocí osteotomie bylo vyvinuto několik metod. Patří sem například zjišťování mechanické osy proložením kabelu elektrokauteru středem hlavice kyčelního kloubu a středem hlezna pod skiaskopickou kontrolou. Průsečík kabelu se šterbinou kolenního kloubu ukáže vzdálenost od středu kolenního kloubu (19). Počítačová kinematická navigace přináší zpřesnění vysoké tibiální osteotomie s klínem otevřeným mediálně a dovoluje sledovat kontinuálně během operace osu končetiny ve frontální rovině a dále sklon tibiálního plató v sagitální rovině při použití třídimenziónní (3D) navigace (6). Cílem předložené studie bylo zjistit přesnost valgizační osteotomie proximální tibie provedené bez a s pomocí počítačové kinematické navigace, porovnáním plánované a výsledné osy dolní končetiny ve frontální rovině. Nulová hypotéza zněla, že není rozdíl v použité metodě, tedy, že obě metody jsou při úspěšnosti

dosažení cílového intervalu korekce rovnocenné. Dále byla srovnána odchylka osy dolní končetiny naměřená jak pomocí systému plánovací stanice z rentgenového snímku před a po operaci, tak pomocí kinematické počítačové navigace peroperačně před a po provedení osteotomie. Byla postulována nulová hypotéza, že celková naměřená korekce osy končetiny není ovlivněna použitou měřicí metodou. Dalším cílem bylo odpovědět na otázku, jestli použití 3D navigace přispěje k omezení změny sklonu tibiálního plató v porovnání s dvojdimenzionální (2D) navigací. Nulová hypotéza byla, že výsledný sklon tibiálního plató není ovlivněn druhem použité navigace.

MATERIÁL A METODIKA

V období 2008–2011 bylo celkem provedeno 68 osteotomií proximální tibie s klínem otevřeným mediálně. Bez navigace bylo operováno 10 mužů a 11 žen, průměrný věk 56 let (31–62). Kinematická navigace byla užitá ve 32 případech s využitím 2D navigace



Obr. 1. Držák markeru 3D navigace v proximálním fragmentu tibie fixovaný pomocí 2 Kirschnerových drátů.

a v 15 případech s využitím 3D varianty. Jednalo se o 30 mužů a 17 žen s průměrným věkem 52 let (22–65). Předoperačně byl u všech pacientů zhotoven předozadní zátěžový snímek celé dolní končetiny ve stoje v nulové rotaci a plné extenzi a snímek kolena na dlouhý formát v boční projekci. K předoperačnímu plánování byl použit PACS (picture archiving and communication system) firmy AGFA (IMPAX™6.x) s plánovacím modulem mediCAD®2,06 (Hectec, Altfraunhofen, Germany). V předozadní projekci byla vyhodnocena předoperační mechanická osa dolní končetiny (mFA-mTA: mechanical femoral axis – mechanical tibial axis angle). V sagitální rovině byl z boční projekce stanoven anatomický dorzální proximální tibiální úhel (aDPTA: anatomic dorsal proximal tibial angle). Dále byla naplánována osteotomie, přičemž klín rozevření byl zvolen tak, aby Mikuliczova linie procházela 30 % až 40 % laterálně od středu kolenního kloubu místem Fujisawova bodu, což odpovídá korekci do mírné valgosity 3° (3).

Osteotomie byla prováděna standardně z „L“ řezu v úrovni kloubní štěrbiny a kolem tuberositas tibie distálně ve střeni čáře. Po mobilizaci povrchní porce vnitřního postranního vazy a jeho částečném subperiosteálním uvolnění bylo založeno za zadní hranu tibie tupé Hohmannovo elevatorium. Dále byl zaveden Kirschnerův drát ve směru budoucí osteotomie mířící na apex hlavice fibuly. Osteotomie byla provedena vibrační pilou těsně nad nebo pod zavedeným drátem s ponecháním neporušeného laterálního kortexu tibie. Zvolena byla jednorovinná nebo dvourovinná osteotomie dle její výšky vzhledem k tuberositas tibiae. Rozevření osteotomie bylo provedeno do požadované předoperačně naplánované šíře. Stabilní osteosyntézy bylo dosaženo úhlově stabilní dlahou, při rozevření osteotomie nad 10 mm byl defekt vyplněn kostním substituentem. U 21 kolen nebyla peroperačně využita počítačová navigace. Kinematická počítačová navigace byla použita na peroperační určení mechanické osy u 47 kolen. Výběr byl prováděn randomizovaně za užití předdefinovaného počítačového plánu s pravděpodobností zařazení do skupiny nenavigované a navigované provedených osteotomií v poměru 1:2 (Random Number Generator Software). Z toho 32 osteotomií bylo provedeno pomocí 2D navigace (software verze 2D) a 15 pomocí 3D navigace (OrthoPilot; B. Braun Aesculap, Tuttlingen, Germany; software verze 1.3–3D). Výběr byl opět prováděn randomizovaně s nastavenou pravděpodobností zařazení do skupiny 3D a 2D navigace v poměru 1:2 (Random Number Generator Software). Z přídatných bodových incizí ve střední části tibie a dolní třetině diafýzy femuru byly pomocí bikortikálních samovrtaných šroubů připevněny držáky aktivních markerů kinematické navigace. Mechanická osa končetiny byla determinována kinematickým určením centra rotace kyčelního, hlezenního a kolenního kloubu. Zaregistrovány byly pointerem s markerem anatomické orientační body: mediální a laterální epikondyl femuru, mediální a laterální kotník, centrum hlezna a nejmediálněji bod tibiálního plató. V případě použití 3D navigované os-

teotomie byl upevněn do budoucího proximálního fragmentu tibie držák markeru pomocí 2 Kirschnerových drátů (obr. 1). Zaregistrované byly výchozí hodnoty mechanické osy dolní končetiny (mFA-mTA) naměřené počítačovou navigací před provedením osteotomie. Zátěž byla během operace imitována axiálním tlakem na patu v ose operované dolní končetiny. Dále byla testována stabilita kolenního kloubu při varus a valgus stress testu se zaznamenáním změny mFA-mTA. Dosažení korekce po osteotomii do požadované hodnoty 3° valgus bylo sledováno pomocí navigace. Při provádění osteotomie s využitím 3D navigace bylo kontrolováno zachování sklonu tibiálního plató a torze pomocí markeru umístěného do proximálního fragmentu tibie. Po fixaci osteotomie dlahou byla zaznamenána pooperační osa dolní končetiny (mFA-mTA), přičemž zátěž byla opět simulována tlakem na patu. Kontrolní rentgenový předozadní snímek celé dolní končetiny (ve frontální rovině) v zátěži a v boční projekci byl pořízen 6. týden po operaci. K měření mFA-mTA ve frontální rovině a aDPTA byla znovu použita plánovací jednotka PACS. Za cílovou hodnotu byla považována korekce 3° valgus (v rozmezí 2° až 5° valgus), hodnota pod daný interval ve smyslu varus byla považována za nedostatečnou korekci a hodnota nad tento interval do valgosity byla považována za překorigování. Výsledky byly zaznamenány do tabulky k dalšímu statistickému zpracování. Záporné hodnoty ve smyslu varus a pozitivní hodnoty ve smyslu valgus byly zvoleny pro údaje v úhlových stupních. Ke statistickému zpracování byly užity popisné statistické metody a k vyhodnocení statistické významnosti výsledků Mann-Whitney U test a Wilcoxonův test. Neparametrický nepárový Mann-Whitney U test byl zvolen k rozhodnutí o statistické významnosti rozdílu mezi výsledky nenavigovaných a navigovaných osteotomií. Hladina významnosti byla nastavená na $p < 0,05$.

VÝSLEDKY

U všech pacientů bylo předoperačně dle radiologického plánování zjištěno varózní postavení v kolenním kloubu s průměrnou hodnotou $-6,1^\circ$ ($-12,8^\circ$ až -2°) pro nenavigované a $-7,2^\circ$ (-28° až -3°) pro navigované případy. U pacientů bez použití navigace bylo průměrně dosaženo dle pooperačního měření ze snímku celé dolní končetiny korekce mFA-mTA na hodnotu $2,4^\circ$ (od $-2,8^\circ$ do $6,7^\circ$) a u pacientu s použitím kinematické navigace na hodnotu $1,9^\circ$ (od $-2,7^\circ$ do 6°) (graf 1 a graf 2). Z nenavigovaných osteotomií bylo 9 (43 %) v intervalu přesné korekce, 9 (43 %) v rozmezí nedostatečné korekce a 3 (14 %) v pásmu překorigování. Mechanická osa dolních končetin operovaných pomocí navigace byla ve 24 (51 %) případech přesně korigována, ve 21 (45 %) případech podkorigována a ve 2 (4 %) případech překorigována (graf 3). Při $p = 0,73$ nulovou hypotézu nezamítáme, v našem souboru nenavigovaná technika osteotomie dosahuje přesnosti korekce bez signifikantního rozdílu vůči navigované technice osteotomie.

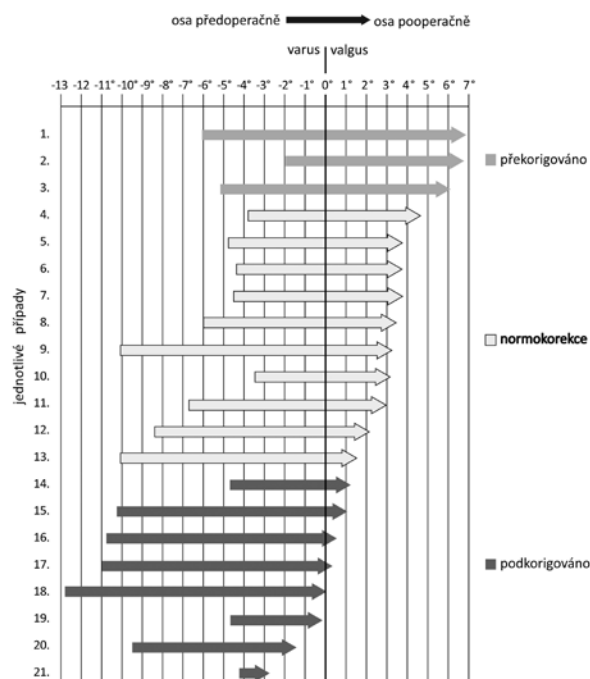
Dále byla srovnávána odchylka osy dolní končetiny naměřená pomocí systému (mediCAD[®]2,06) před a po operaci, a pomocí kinematické počítačové navigace peroperačně. Průměrná předoperační varozita u navigovaných kolen dle plánování byla $-7,2^\circ$ (od -28° do -3°) a dle peroperační navigace před provedením osteotomie byla $-6,3^\circ$ (od -27° do -1°). Pooperační mechanická osa dolní končetiny změřená z anteroposteriorního snímku celé dolní končetiny v zátěži byla průměrně $1,9^\circ$ (od $-2,7^\circ$ do 6°) a peroperačně zjištěná osa pomocí navigace po provedení osteotomie a její fixaci byla $2,4^\circ$ (od 0° do 5°). Průměrně byly zaznamenány hodnoty pomocí navigace během operace o $0,9^\circ$ menší směrem k valgozitě před osteotomií a o $0,5^\circ$ po provedení osteotomie a její fixaci v porovnání s radiologickým vyhodnocením.

Při porovnání vzájemného vztahu plánování pomocí rentgenových snímků a navigace byla zjišťována korelace mezi změnou celkové korekce osy dolní končetiny při odečtu z předoperačního a pooperačního plánování a celkové změny osy končetiny zjištěné peroperačně pomocí navigace. Průměrně bylo dle mechanické osy odečtené ze snímku předoperačně a pooperačně dosaženo korekce o $9,1^\circ$ ($5,0^\circ$ – $27,0^\circ$) v porovnání s dosažením průměrné korekce $8,7^\circ$ (4° – 27°) dle peroperační navigace. Byla zhodnocena míra korelace zaznamenaných dat pro jednotlivé případy a užitou metodu měření (graf 4). Při $N = 47$ je $p < 0,001$, daná korelace je tedy významná na hladině $p < 0,05$. Vzhledem k nízkému N a výrazné shodě hodnot odečtených pomocí navigace a PACS byl zvolen neparametrický párový Wilcoxonův test k potvrzení nulové hypotézy, že celková zaznamenaná změna osy končetiny není ovlivněna použitou měřicí metodou. Výsledkem je $p = 0,1615$, nemáme tedy dostatečný důkaz pro zamítnutí nulové hypotézy. Nelze proto říci, že by měření korekce osy končetiny pomocí navigace bylo rozdílné od hodnot získaných z rentgenových snímků.

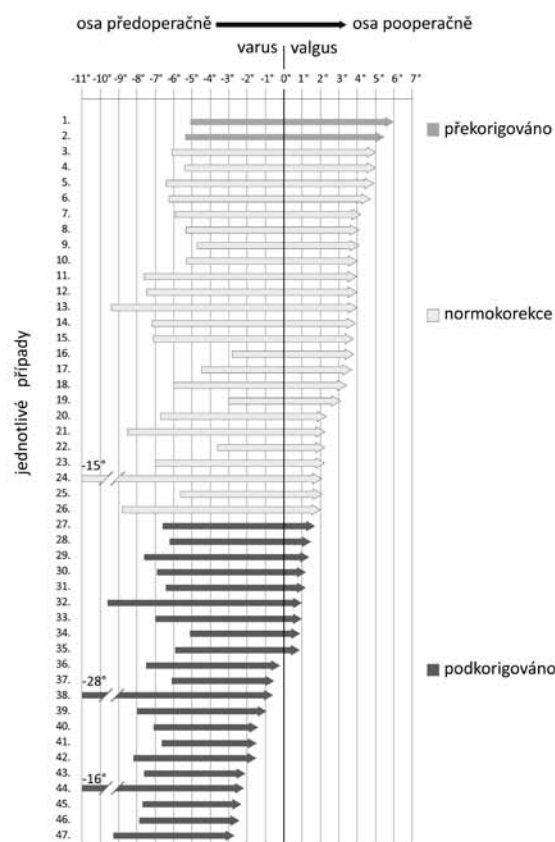
Odpověď na otázku, jestli použití 3D navigace přispěje k omezení změny sklonu tibiálního platů v porovnání s operací bez jeho monitorace, byla zjišťována stanovením změny aDPTA proti výchozímu stavu před operací. Průměrná změna aDPTA po provedení osteotomie bez peroperační kontroly (2D) byla ve smyslu zvětšení zadního sklonu tibiálního platů o $0,9^\circ$ (od $-8,9^\circ$ do 9°) a při osteotomii za asistence 3D navigace o $0,3^\circ$ (od -4° do 4°). Statistická významnost nalezeného rozdílu byla analyzována Mann-Whitney U testem. Při výsledném $p = 0,813$ nulovou hypotézu nezamítáme, a tedy změna zadního sklonu proximální tibie během osteotomie není signifikantně ovlivněna druhem použité navigace.

DISKUSE

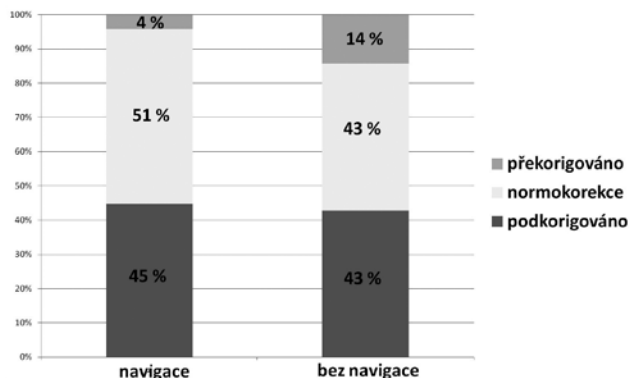
Korekce postavení proximální tibie do valgozity může být provedena osteotomií s vytěžením klínu z laterální strany v principu dle Coventryho (2), obloukovou osteotomií, prostou osteotomií s posunem nebo osteotomií s otevřeným úhlem mediálně. V minulosti byla oblíbená oblouková osteotomie tibie s nutností přerušování fibuly a možností korekce jen ve frontální rovině (8, 23). Výhodou Coventryho postupu je kostěný kontakt



Graf 1. Celková korekce ve stupních u nenavigovaných kolen, seřazeno od výsledného překorigování k nedostatečné korekci pro jednotlivá kolena.



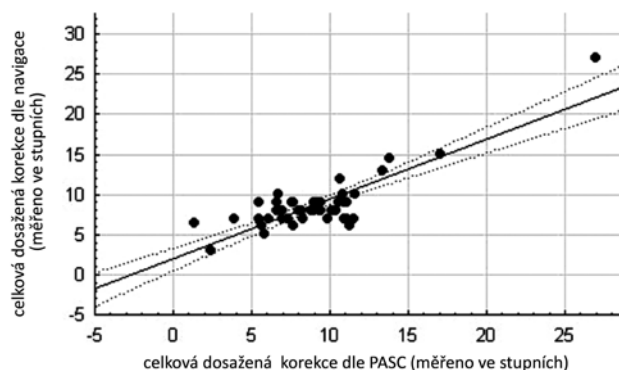
Graf 2. Celková korekce ve stupních u navigovaných kolen, seřazeno od výsledného překorigování k nedostatečné korekci pro jednotlivá kolena.



Graf 3. Vyšší procento dosažení správné korekce v intervalu 2°–5° valgus pomocí navigace oproti výsledku bez navigace.

v místě osteotomie. Nevýhodou je rozsáhlý operační přístup, zvýšené riziko poranění peroneálního nervu a nemožnost přesné korekce po vytěžení klínu. Nejpresnější korekce je dosaženo při kontrolovaném posunu pomocí naloženého zevního fixátoru, i když použití tohoto postupu může být problematické pro infekční komplikace až ve 33 % případů, ztrátu dosažené korekce po odstranění fixačního aparátu a pro riziko poškození nervových struktur (4, 25). Mezi výhody osteotomie s rozevřením klínu na mediální straně patří šetření měkkých tkání, není nutnost osteotomie fibuly nebo rozvolnění horního fibulotibiálního skloubení (9), je sniženo riziko poškození peroneálního nervu a především možnost jemné korekce rozevřením osteotomie (16). Během rozevření osteotomie se tonizují mediální stabilizační struktury. Potenciální nevýhodou může být vznik patella baja a z toho vyplývající zvýšení tlaku na femoropatellární kloub, stejně jako prodloužená doba hojení v souvislosti s rozevřením osteotomie. Použití kostního štěpu není nutné při osteosyntéze pomocí úhlově stabilního implantátu (7, 12). Osteotomie s otevřeným úhlem mediálně fixovaná pomocí úhlově stabilních implantátů zvyšuje tedy přesnost korekce a je doporučovaná technikou (7).

Rozvoj počítačové navigace umožnil peroperačně sledovat mechanickou osu končetiny. Navigace je excelentní metodou s vysokým stupněm reproducibility a přesnosti, čímž pomáhá zamezit nedostatečné nebo nadměrné korekci (11). Navigace pro osteotomie horní tibie je dostupná i v 3D provedení s možností simultánní monitorace sklonu proximálního fragmentu jak ve frontální rovině, tak i v sagitální rovině stejně jako jeho torze (přidáním markeru na proximální tibií) (6, 26). Kontrola předozadního sklonu tibiálního platů má význam zejména při provádění osteotomie u varózních kolen s přítomností anteroposteriorní instability. U poškození předního zkříženého vazy je preferováno zmenšení posteriorního sklonu tibiálního platů a u poškození zadního zkříženého vazy je naopak žádoucí zvětšení jeho sklonu (10). Použití navigace nepřináší žádné významné komplikace. Nevýhodou této techniky je pouze nevýrazné prodlouže-



Graf 4. Zobrazení vysoké míry korelace mezi dosaženou korekcí měřenou z rentgenového snímku a pomocí peroperační navigace pro jednotlivá kolena.

ní operačního času o zavedení držáků markerů ze dvou přidavných bodových incizí a o sběr dat. Podstatným přínosem navigace například proti kabelové metodě je však eliminace radiace (6).

Předoperační plánování a pooperační kontrola je založená na zhotovení předozadního snímku celé dolní končetiny v zátěži tak, aby česka směřovala dopředu, přičemž koleno nesmí být v semiflexi. Na plánování z digitalizovaných snímků je třeba využít speciální plánovací software. Předchozí studie ukázaly vysokou přesnost opakovaných měření a signifikantně nižší variabilitu výsledků získaných pomocí plánovacího softwaru ve srovnání s konvenčními metodami určení a konstrukce základních úhlů (5, 21). Hlavním problémem je peroperační implementace naplánovaných hodnot, a to zejména šíře rozevření klínu osteotomie. Většina operátorů stále spoléhá na vizuální kontrolu a event. kabelovou metodu (13). Pravidlo, že šíře rozevření osteotomie v milimetrech odpovídá korekci v úhlových stupních, informuje o změně mFA-mTA jen velmi nepřesně a slouží pouze k přibližnému dosažení korekce, obzvláště u vysokých osob může toto pravidlo vést k nedostatečnému rozevření osteotomie (20). Plánovací software dovolu-je chirurgovi kontrolovat výsledky.

ZÁVĚR

I když v našem souboru je procento případů ideální korekce vyšší při užití navigace, nejedná se o statisticky významný rozdíl. Studie ukázala uspokojivou míru shody zobrazení mechanické osy navigací během operace ve srovnání s plánováním pomocí rentgenového snímku končetiny v zátěži. Nejvyšší korelace měření je dosahováno při určení celkové míry korekce. Je zde však mírná tendence navigace k podkorigování zobrazení varózní deformity na začátku operace, což lze vysvětlit nedostatečnou simulací zátěže při tlaku na patu v ose dolní končetiny během navigace a z toho též vyplývající nedostatečnou výslednou korekci do valgosity. Změna sklonu tibiálního platů nebyla významně ovlivněna použitím 3D navigace.

Literatura

1. COLE, B. J., HARNER, C. D.: Degenerative arthritis of the knee in active patients: evaluation and management. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, 7: 389–402, 1999.
2. COVENTRY, M. B., ILSTRUP, D. M., WALLRICHS, S. L.: Proximal tibial Osteotomy. A critical long-term study of eighty-seven cases. *J. Bone Jt Surg.*, 75-A: 196–201, 1993.
3. FUJISAWA, Y., MASUHARA, K., SHIOMI, S.: The effect of high tibial osteotomy on osteoarthritis of the knee: An arthroscopic study of 54 knee joints. *Orthop. Clin. North Am.*, 10: 585–608, 1979.
4. GEIGER, F., SCHNEIDER, U., LUKOSCHEK, M., EWERBECK, V.: External fixation in proximal tibial osteotomy: a comparison of three methods. *Int. Orthop.*, 23: 160–163, 1999.
5. HANKEMEIER, S., GOSLING, T., RICHTER, M., HUFNER, T., HOCHHAUSEN, C., KRETTEK, C.: Computer-assisted analysis of lower limb geometry: higher intraobserver reliability compared to conventional method. *Comput. Aided Surg.*, 11: 81–86, 2006.
6. HANKEMEIER, S., HÜFNER, T., WANG, G., et al.: Navigated open wedge high tibial osteotomy: advantages and disadvantages compared to the conventional technique in a cadaver study. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 14: 917–921, 2006.
7. HANKEMEIER, S., MOMMSEN, P., KRETTEK, C., JAGODZINSKI, M., BRAND, J., MEYER, C., MELLER, R.: Accuracy of high tibial osteotomy: comparison between open- and closed-wedge technique. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 18: 1328–1333, 2010.
8. HART, R.: Rentgenologická analýza osového postavení dolní končetiny před a po vysoké tibiální obloukové osteotomii. *Acta Chir. orthop. Traum. čech.*, 64, 25–28, 1997.
9. HART, R., JANEČEK, M., BUČEK, P.: Náš přístup k řešení artrózy mediálního kompartmentu kolenního kloubu. *Úraz. Chir.*, 10: 27–34, 2002.
10. HART, R., ŠTIPČÁK, V.: Přední zkřížený vaz kolenního kloubu. 1. vyd. Praha, Maxdorf Jessenius, 2010.
11. HART, R., ŠTIPČÁK, V., KUČERA, B., FILAN, P., DECORDEIRO, J.: Präzise computergestützte Beinachsenkorrektur mit öffnender valgusierender Tibiakopfosteotomie. *Orthopäde*, 36: 577–581, 2007.
12. HOELL, S., SUTTMOELLER, J., STOLL, V., et al.: The high tibial osteotomy, open versus closed wedge a comparison of methods in 108 patients. *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, 125: 638–643, 2005.
13. HOOPER, G., LESLIE, H., BURN, J., SCHOUTEN, R., BECI, I.: Oblique upper tibial opening wedge osteotomy for genu varum. *Oper. Orthop. Traumatol.*, 17: 662–673, 2005.
14. HORÁČEK, D., ČECH, O., WEISSINGER, M.: Valgizační vysoká osteotomie tibie u genu varum arthriticum rozevřením klínu z vnitřní strany stabilizovaná úhlově stabilní dlahou TomoFix: Operační technika: In: *Acta Chir. orthop. Traum. čech.* 73: 197, 2006.
15. JULIN, J., JÄMSEN, E., PUOLAKKA, T., KONTTINEN, Y. T., MOILANEN, Y.: Younger age increases the risk of early prosthesis failure following primary total knee replacement for osteoarthritis. *Acta Orthop.*, 81: 413–419, 2010.
16. KELLY, M. A., DALURY, D. F., KIM, R. H., BACKSTEIN, D.: The new arthritic patient and nonarthroplasty treatment options. *J. Bone Jt Surg.*, 91-A (Suppl. 5): 40–42, 2009.
17. KETTELKAMP, D. B., WENGER, D. R., CHAO, E. Y., et al.: Results of proximal tibial osteotomy. The effects of tibiofemoral angle, stance-phase flexion-extension, and medial-plateau force. *J. Bone Jt Surg.*, 58-A: 952–960, 1976.
18. KOSCHINO, T., MORIL, T., WADA, J., et al.: High tibial osteotomy with fixation by a blade plate for medial compartment osteoarthritis of the knee. *Orthop. Clin. North Am.*, 20: 227–243, 1989.
19. KRETTEK, C., MICLAU, T., GRÜN, O., et al.: Intraoperative control of axes, rotation and length in femoral and tibial fractures. Technical note. *Injury*, 29: 29–39, 1998.
20. MIHALKO, W. M., KRACKOW, K. A.: Preoperative planning for lower extremity osteotomies: an analysis using 4 different methods and 3 different osteotomy techniques. *J. Arthroplasty*, 16: 322–329, 2001.
21. PALEY, D., HERZENBERG, J. E., TETSWORTH, K., et al.: Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop. Clin. North Am.*, 25: 425–465, 1994.
22. SPRENGER, T. R., DOERZBACHER, J. F.: Tibial osteotomy for the treatment of varus gonarthrosis. Survival and failure analysis to twenty-two years. *J. Bone Jt Surg.*, 85-A: 469–474, 2003.
23. SUNDARAM, N. A., HALLETT, J. P., SULLIVAN, M. F.: Dome osteotomy of the tibia for osteoarthritis of the knee. *J. Bone Jt Surg.*, 68-B: 782–6, 1986.
24. TAKEUCHI, R., ISHAKAWA, H., ARATAKE, M., SAITO, I. et al.: Medial opening wedge high tibial osteotomy with early full weight bearing. *Arthroscopy*, 25: 46–53, 2009.
25. WILSON, N. A., SCHERL, S. A., CRAMER, K. E.: Complications of high tibial osteotomy with external fixation in adolescent Blount's disease. *Orthopedics*, 30: 848–852, 2007.
26. YAMAMOTO, Y. et al.: Validation of Computer-assisted open-wedge high tibial osteotomy using three-dimensional navigation. *Orthopedics*, 31 (10 Suppl.): 68–71, 2008.

Korespondující autor:

MUDr. František Okál

Ortopedicko-traumatologické oddělení

Nemocnice Znojmo

E-mail: frantisekokal@gmail.com