

# Totální náhrada prvního metatarzofalangeálního skloubení Medin PH-Flex a její vliv na biomechaniku přednoží v propulzní fázi krokového cyklu

## Total Replacement of the First Metatarsophalangeal Joint by Medin PH-Flex and Its Effect on Forefoot Biomechanics in the Propulsion Phase of the Gait Cycle

S. POPELKA ML.<sup>1</sup>, V. BARTÁK<sup>1</sup>, M. MAZURA<sup>1</sup>, J. KLOUDA<sup>2</sup>, I. LANDOR<sup>1</sup>, R. HROMÁDKA<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Ortopedická klinika 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice v Motole, Praha

<sup>2</sup> Ortopedické oddělení Nemocnice České Budějovice

<sup>3</sup> Anatomický ústav 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy, Praha

### ABSTRACT

#### PURPOSE OF THE STUDY

Total arthroplasty of the first metatarsophalangeal joint is one of the surgical treatment options for patients with advanced hallux rigidus. This study evaluates the pressure changes in the propulsion phase of the gait cycle using dynamic pedobarography after the total arthroplasty of the first metatarsophalangeal joint by Medin PH-Flex and their comparison with the control groups of patients with hallux rigidus and with asymptomatic patients.

#### MATERIAL AND METHODS

Dynamic pedobarograph was used to evaluate 15 first MTP joint replacements by Medin PH-Flex implants in 12 female patients, the average time since joint replacement was 3.5 years (1.5 to 5.5 years). The control group consisted of 13 forefeet in 12 patients with hallux rigidus of Grade 3 and Grade 4 according to the Coughlin classification and 17 healthy patients with no clear foot deformity, i.e. of a total of 34 forefeet. A zone for each metatarsal (M1-M5) and the big toe area (T1) were defined with the use of an integrated software. The difference between the pressure under the big toe area and the first metatarsal bone - hallux stiffness (T1-M1) and the forefoot balance parameter, i.e. the difference between the pressures under the medial and lateral half of the forefoot ((M1+M2)-(M3+M4+M5)), was obtained. The parameters were evaluated for each group during the propulsion phase of the gait, i.e. from 55% to 100% of the stance phase and from 75% to 100% of the stance phase, i.e. that part of propulsion when the greatest pressure is exerted on the big toe.

#### RESULTS

For the HS parameter (T1-M1) in 55% to 100% of the stance phase, the median value was  $-0.66 \pm 1.22$  (-1.90 to 1.45) in the control group,  $-0.85 \pm 1.94$  (-1.40 to 3.80) in patients with hallux rigidus, and  $-0.10 \pm 1.48$  (-1.30 to 2.40) in patients after the first MTP joint replacement. The median forefoot balance parameter from 55% of the stance phase was  $-3.48 \pm 2.45$  (-6.90 to 0.68) in healthy patients and  $-4.43 \pm 2.72$  (-6.98 to 0.23) in hallux rigidus patients. In patients after the joint replacement, the value was  $-3.00 \pm 2.46$  (-6.20 to 0.40). The data were statistically analysed by the Dunnett's and Tukey's multiple comparison tests. The hallux stiffness parameter showed a significant improvement after the joint replacement compared to patients with hallux rigidus ( $p < 0.0001$ ). No statistical significance was confirmed when comparing the joint replacement cases and the healthy patients from the control group ( $p = 0.0007$  and  $p = 0.0010$ , respectively). As concerns the forefoot balance parameter, a significant difference was reported in patients with joint replacement compared to healthy patients from the control group and patients with hallux rigidus ( $p < 0.0001$ ).

#### DISCUSSION

The published pedobarographic studies differ in terms of the methodology used, the patient population and the parameters examined. The pedobarographic studies after the replacement of the first MTP joint or after its arthrodesis present inconclusive outcomes. According to the available literature, the joint replacement has the potential to improve mediolateral forefoot loading and to partially restore the weight-bearing function of the first ray. Our analysis of the HS parameter suggests that the MTP joint replacement can improve the big toe function compared to patients with hallux rigidus but fails to achieve the functional outcomes of healthy patients. When evaluating the forefoot balance (FB) parameter, we can observe less loading on the lateral half of the forefoot in the propulsion phase compared to hallux rigidus. Nonetheless, the joint replacement is unable to restore the physiological loading of the foot.

#### CONCLUSIONS

The first MTP joint replacement has the potential to improve forefoot function and to bring it closer to that of a healthy person, even though achieving physiological loading of the forefoot is unrealistic. Additional studies will be needed to confirm that the indication for the first MTP joint replacement is justified in hallux rigidus in terms of the effect on forefoot biomechanics.

**Key words:** hallux rigidus, total replacement of the first MTP joint, dynamic pedobarography, footscan.

## ÚVOD

Totální náhrada prvního metatarzofalangeálního skloubení (MTP) byla mnohokrát diskutována v odborné literatuře (8, 9, 10, 15). Za posledních 50 let vývoje byla postupně představena a zavedena do praxe celá řada modelů těchto náhrad s nejrůznějšími výsledky. Rozhodnutí o implantaci totální náhrady I. MTP kloubu musí být vždy zodpovědné a dobře uvážené, a to vzhledem k často rozporuplným výsledkům.

Pacienti s hallux rigidus mají vlivem bolestivého a omezeného pohybu I. MTP skloubení tendenci vytáčet nohu do supinace s výsledným přetěžováním laterální části nohy. Tato změna v dynamice chůze pak sekundárně ovlivňuje celou dolní končetinu a dochází k sekundárním změnám v hlezenním a kolenním kloubu (2, 5, 11). Změna v zatěžování nohy vede ke změně rozložení zátěže na chodidlo a celkový přenos sil v rámci krokového cyklu je alterován. Cílem implantace náhrady je redukce bolesti spolu se zachováním hybnosti I. MTP kloubu a zlepšení zátěže mediální části nohy.

Výsledné změny v dynamice chůze a rozložení zátěže v oblasti přednoží po implantaci totální náhrady I. MTP kloubu zůstávají nejasné. V odborné literatuře se můžeme setkat s hodnocením různých typů totálních náhrad I. MTP kloubů (8, 9, 10), avšak jen minimum studií se zabývá změnou zátěže nohy po operaci. Jednou z možností vyhodnocení změny zátěže chodidla je i měření změny zátěže na jednotlivé tlakové pole chodidla pomocí dynamického pedobarografu (14, 17).

Naše práce hodnotí rozložení zátěže chodidla v propulzní fázi krokového cyklu po implantaci totální náhrady I. MTP kloubu pomocí dynamického pedobarografu. Cílem studie je tedy posoudit tlakové změny na chodidle po implantaci totální náhrady I. MTP skloubení a jejich srovnání s kontrolními skupinami pacientů s hallux rigidus a asymptomatickými pacienty bez deformity přednoží.

## MATERIÁL A METODIKA

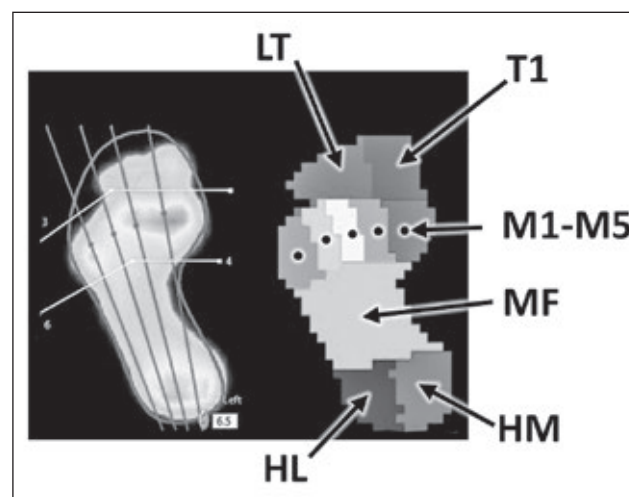
V první sledované a vyšetřované skupině studie byli pacienti po implantaci náhrady I. MTP kloubu Medin PH-Flex. Do studie bylo zařazeno celkem 12 pacientek, kdy u 3 z nich byla provedena oboustranná náhrada. Celkem tedy bylo hodnoceno 15 náhrad, které byly implantovány na 1. ortopedické klinice FN v Motol mezi lety 2011 a 2016. Podmínkou zařazení do studie byl alespoň roční odstup od provedení výkonu a dobrá integrace náhrady na rtg snímku. Pacientky byly průměrně vyšetřovány 3,5 roku po implantaci (1,5 až 5,5 roku).

V druhé vyšetřované skupině studie byli pacienti s hallux rigidus 3. a 4. stadia dle Coughlinovy klasifikace (5). Jednalo se o 11 žen a 1 muže, který trpěl oboustranným postižením. Celkem bylo do studie zařazeno 13 přednoží. Podmínkou zařazení do studie bylo primární artritické postižení I. MTP kloubu, bez předchozích operací v oblasti přednoží a bez další zjevné deformity nohy.

Třetí skupinou ve studii pak byli zdraví pacienti bez jasné deformity přednoží, bez patrného plochonoží a s fyziologickým rozsahem pohybu I. MTP skloubení. Zde bylo vyšetřeno celkem 17 pacientů, z toho 11 žen a 6 mužů. Kontrolní skupina tedy zahrnovala 34 vyšetřených přednoží.

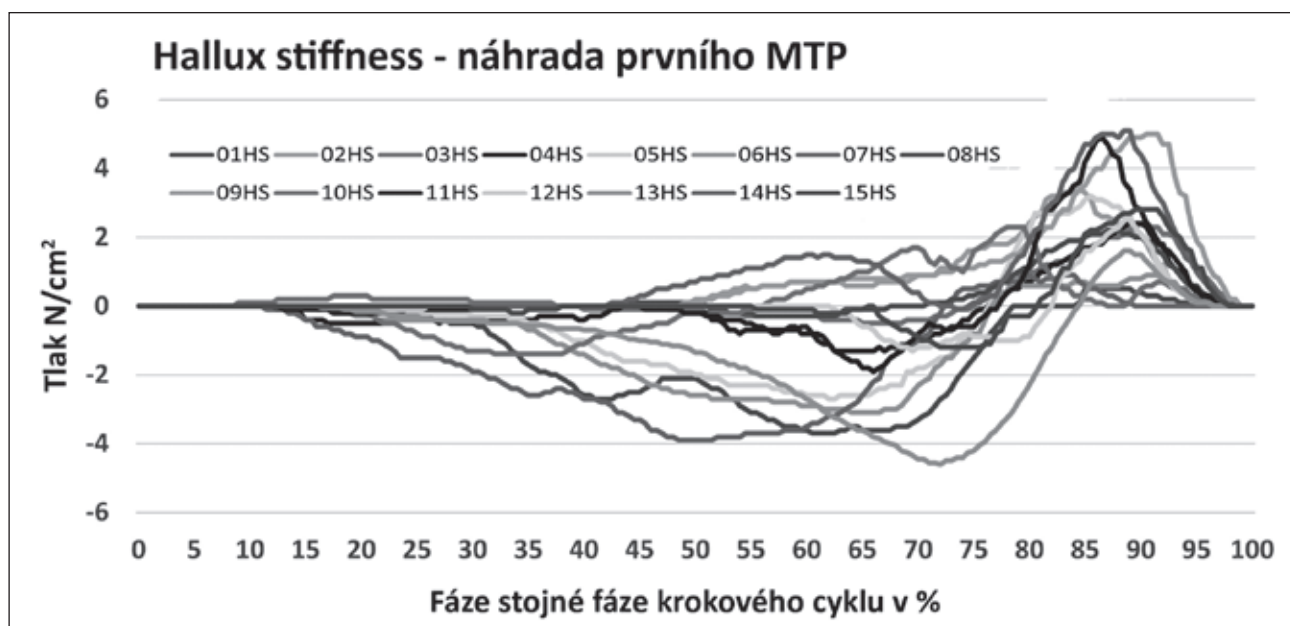
Jednotliví pacienti ve všech třech skupinách byli vyšetřováni pomocí dynamického pedobarografu Footscan RS scan international (Belgie) a vyhodnocování integrovaným softwarem přístroje. Tlaková deska o délce 1 metru byla uložena na podlaze ve vyšetřovacím chodníku ambulance. Pedobarograf zaznamenával rozložení tlaků v oblasti chodidla po celou dobu stejné fáze krokového cyklu s frekvencí 500 Hz a výsledné tlaky byly zaznamenány v N/cm<sup>2</sup>. Data byla získávána od prvního kontaktu paty vyšetřované nohy (heel contact) s podložkou až po konec propulzní fáze kroku, která je určena odrazem palce (toe off) od podložky. Záznam stejné fáze byl následně rozdělen procentuálně od 0 % až po 100 %. Hlavním důvodem procentuálního rozdělení dat bylo, že každý krok trvá jinou dobu. Přístroj zaznamenával všechny fáze krokového cyklu, nicméně v naší studii jsme vyhodnocovali propulzní fázi (55 % až 100 % stejné fáze cyklu), která je důležitá pro hodnocení funkce prvního MTP skloubení.

Během celé stejné fáze zaznamenávala tlaková deska průběh a rozložení tlaků mezi několika definovanými oblastmi chodidla. Oblast paty, která je dále dělena na mediální a laterální část (heel medial HM, heel lateral HL), oblast střední nohy (midfoot, MF), 5 zón pro jednotlivé nártní kosti (metatarsus, M1 až M5), oblast pod proximálním a distálním článkem palce (big toe, T1) a oblast pod ostatními prsty nohy (lesser toes, LT) (obr. 1).



Obr. 1. Pedobarografický záznam levého chodidla s definovanými zónami. HM – mediální část paty, HL – laterální část paty, MF – oblast střední nohy, M1–M5 – oblasti pro 1.–5. metatars, T1 – oblast palce, LT – oblast 2.–5. prstu.

Fig. 1. Pedobarographic record of the left foot with defined zones. HM – medial part of the heel, HL – lateral part of the heel, MF – area of the midfoot, M1–M5 – areas for the 1<sup>st</sup>–5<sup>th</sup> metatarsal, T1 – area of the big toe, LT – area of 2<sup>nd</sup>–5<sup>th</sup> toe.



Obr. 2. Znárodnění a vývoj parametru hallux stiffness (T1–M1) u 15 pacientů po implantaci TEP Medin PF-flex během celé stojné fáze krokového cyklu (0–100 %).

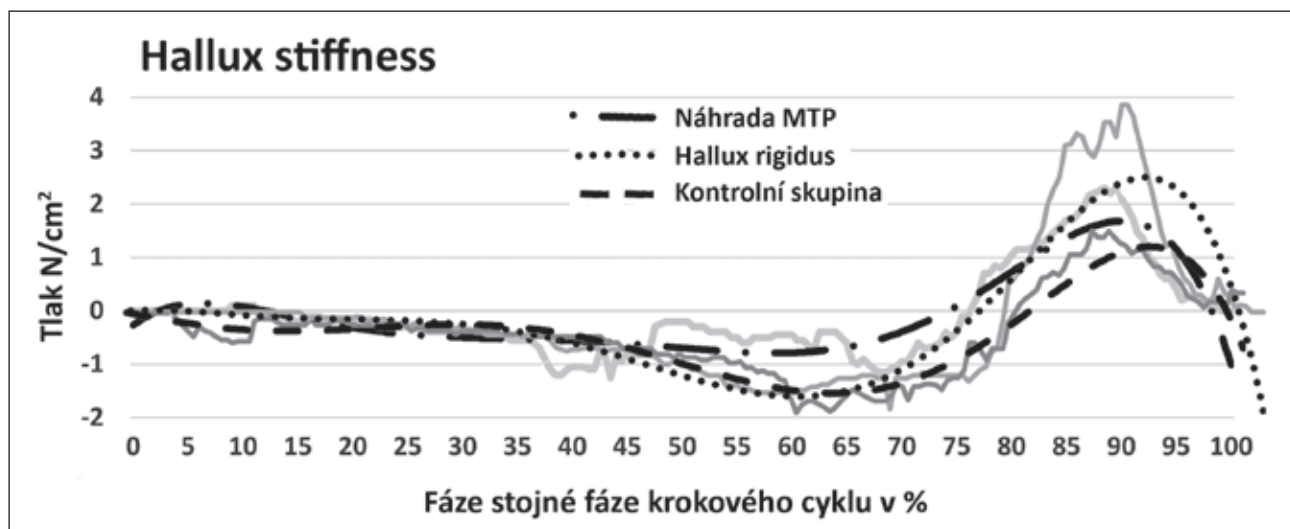
Fig. 2. Graphical representation and development of the hallux stiffness parameter (T1–M1) in 15 patients after TEP Medin PF-flex replacement during the entire stance phase of the gait cycle (0–100%).

Každý z pacientů byl opakovaně testován chůzí po tlakové desce dynamického pedobarografu, dokud nebylo zaznamenáno 5 validních měření pro každou vyšetřovanou nohu. Validita měření byla posuzována pomocí integrovaného softwaru tak, aby byly zaznamenány tlaky po celou dobu trvání stojné fáze krokového cyklu. Zaměření jednotlivých zón přednoží probíhalo automaticky dle výpočtu softwaru, avšak v případě potřeby byly jednotlivé zóny definovány a upraveny autory studie tak, aby jednotlivé zóny korespondovaly s daným otiskem nohy na pedobarografu (obr. 1). Každé

z pěti měření bylo u všech pacientů zpracováno, analyzováno a výsledkem bylo průměrné zatížení jednotlivých částí chodidla každého pacienta ve stejné fázi kroku.

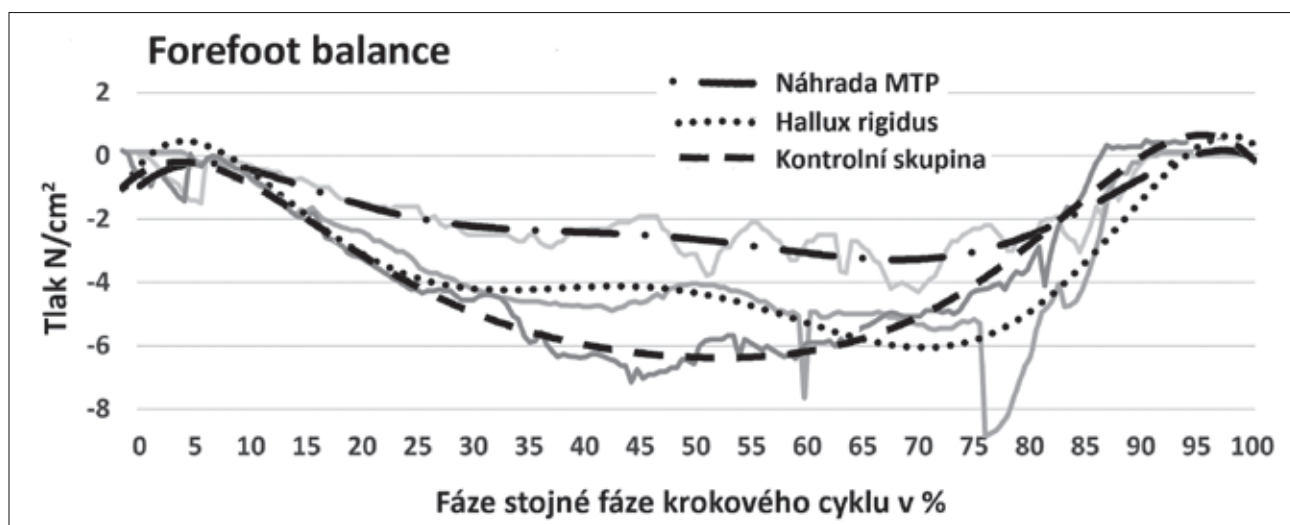
Analýza výsledků jednotlivých měření byla následně zaměřena na porovnání změn mezi jednotlivými zónami zájmu na chodidle v oblasti přednoží ve všech třech skupinách pacientů (TEP, hallux rigidus a kontrolní skupina).

Hodnocena byla tuhost prvního MTP skloubení nohy tzn. **hallux stiffness (HS)**, která byla měřena jako rozdíl tlaků v poli pro palec (T1) a pole pro první nártní



Obr. 3. Průběh mediánu pro parametr hallux stiffness (HS) během celé stojné fáze krokového cyklu u pacientů s hallux rigidus, zdravých pacientů a po náhradě I. MTP skloubení Medin PH-Flex.

Fig. 3. The course of the median for the hallux stiffness (HS) parameter during the entire stance phase of the gait cycle in patients with hallux rigidus, healthy patients and after the first MTP joint replacement by Medin PH-Flex.



Obr. 4. Průběh mediánu pro parametr forefoot balance (FB) během celé stojné fáze krokového cyklu u 3 sledovaných skupin pacientů.

Fig. 4. The course of the median for the forefoot balance (FB) parameter during the entire stance phase of the gait cycle in the 3 followed-up groups of patients.

kost (M1). Výsledný rozdíl hodnot tlaků byl zaznamenán pro všechny části stojné fáze krokového cyklu. Druhým parametrem bylo zhodnocení rozložení zátěže mezi mediální a laterální část přednoží, tzn. **forefoot ballance (FB)**. Tento parametr byl definován jako rozdíl mezi součtem tlaků pod 1. a 2. metatarsem a 3. až 5. metatarzem ((M1+M2) - (M3+M4+M5)).

Z pěti jednotlivých měření u každého pacienta byl po zaměření jednotlivých zón získán průměrný průběh křivky pro sledované parametry, tedy hallux stiffness a forefoot balance (obr. 2). Naměřené parametry jsme porovnali mezi jednotlivými skupinami pacientů, tedy po implantaci náhrady Medin PH-flex, pacientů s hallux rigidus a zdravé kontrolní skupiny. Parametry HS

Tab. 1. Hodnoty pro parametry FB a HS u sledovaných skupin pacientů pro propulzní fázi krokového cyklu od 55 % do 100 %  
Table 1. Values of FB and HS parameters in the followed-up groups of patients for propulsion phase of the gait cycle from 55% to 100%

	Kontrolní skupina	Hallux rigidus	Náhrada MTP
HS (T1-M1)	-0,66 ± 1,22 rozsah (-1,90 až 1,45)	-0,85 ± 1,94 rozsah (-1,40 až 3,80)	-0,10 ± 1,48 rozsah (-1,30 až 2,40)
FB (M1+M2)-(M3+M4+M5)	-3,48 ± 2,45 rozsah (-6,90 až 0,68)	-4,43 ± 2,72 rozsah (-6,98 až 0,23)	-3,00 ± 2,46 rozsah (-6,20 až 0,40)

HS – hallux stiffness, rozdíl tlaků pod palcem nohy (T1) a pod prvním metatarzem (M1)  
FB – forefoot balance, rozdíl tlaků pod mediální stranou přednoží (M1+M2) a laterální (M3+M4+M5)  
Medián ± směrodatná odchylka (rozsah hodnot)

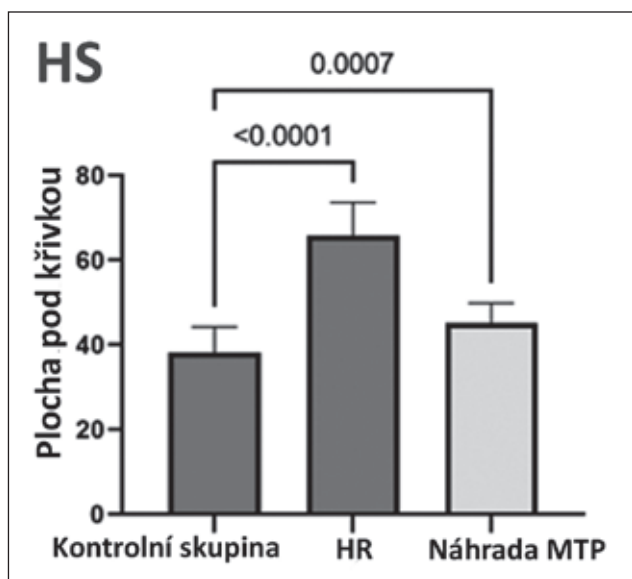
HS – hallux stiffness, difference in pressures under the big toe (T1) and under the first metatarsus (M1)  
FB – forefoot balance, difference in pressures under the medial side of the forefoot (M1+M2) and the lateral side of the forefoot (M3+M4+M5)  
Median ± standard deviation (range of values)

Tab. 2. Hodnoty pro parametry FB a HS u sledovaných skupin pacientů, propulzní fáze krokového cyklu od 75 % do 100 %  
Table 2. Values of FB and HS parameters in the followed-up groups of patients, propulsion phase of the gait cycle from 75% to 100%

	Kontrolní skupina	Hallux rigidus	Náhrada MTP
HS (T1-M1)	-0,60 ± 0,89 rozsah (-0,85 až 1,45)	1,65 ± 1,42 rozsah (-1,00 až 3,80)	1,10 ± 1,01 rozsah (-0,20 až 2,40)
FB (M1+M2)-(M3+M4+M5)	-1,60 ± 1,92 rozsah (-4,28 až 0,40)	-3,44 ± 2,17 rozsah (-6,28 až -0,05)	-2,00 ± 1,36 rozsah (-3,80 až 2,47)

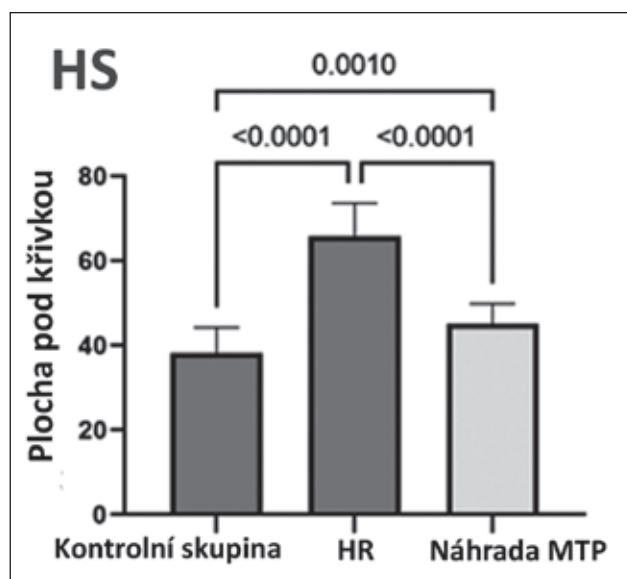
HS – hallux stiffness, rozdíl tlaků pod palcem nohy (T1) a pod prvním metatarzem (M1)  
FB – forefoot balance, rozdíl tlaků pod mediální stranou přednoží (M1+M2) a laterální (M3+M4+M5)  
Medián ± směrodatná odchylka (rozsah hodnot)

HS – hallux stiffness, difference in pressures under the big toe (T1) and under the first metatarsus (M1)  
FB – forefoot balance, difference in pressures under the medial side of the forefoot (M1+M2) and the lateral side of the forefoot (M3+M4+M5)  
Median ± standard deviation (range of values)



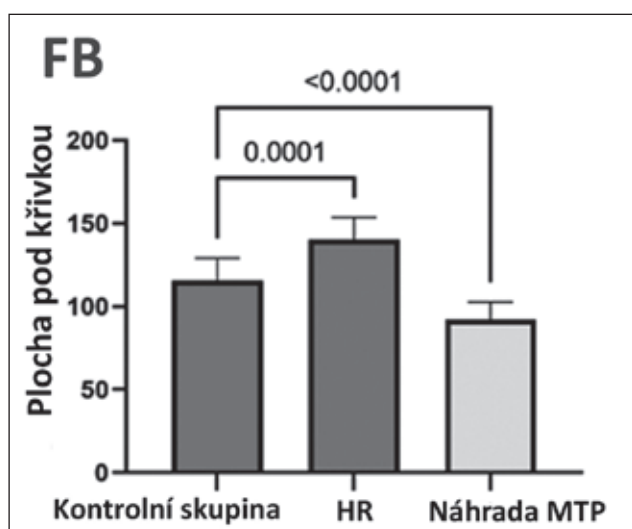
Graf 1a. Dunnettův multiple comparison test pro parametr hallux stiffness (HS) 55–100 % stejné fáze kroku.

Graph 1a. Dunnett's multiple comparison test for hallux stiffness (HS) parameter for 55–100% of the stance phase of the gait.



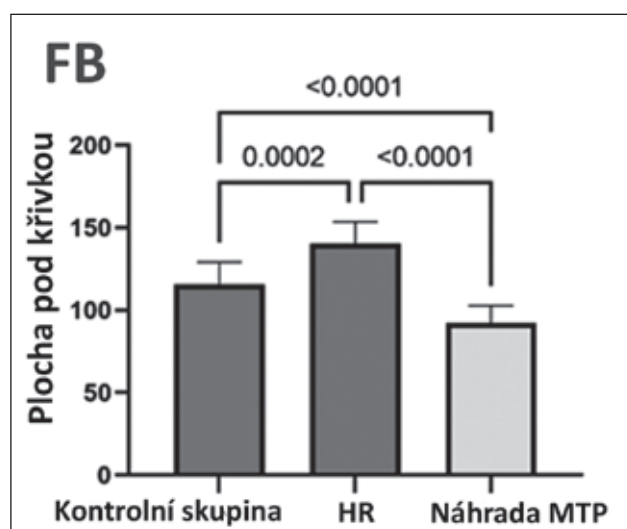
Graf 1b. Tukeyho multiple comparison test pro parametr hallux stiffness (HS) 55–100 % stejné fáze kroku.

Graph 1b. Tukey's multiple comparison test for hallux stiffness (HS) parameter for 55–100% of the stance phase of the gait.



Graf 1c. Dunnettův multiple comparison test pro parametr forefoot ballance (FB) 55–100 % stejné fáze kroku.

Graph 1c. Dunnett's multiple comparison test for forefoot ballance (FB) parameter for 55–100% of the stance phase of the gait.



Graf 1d. Tukeyův multiple comparison pro parametr forefoot ballance (FB) 55–100 % stejné fáze kroku.

Graph 1d. Tukey's multiple comparison for forefoot ballance (FB) parameter for 55–100% of the stance phase of the gait.

a FB byly vyhodnocovány u jednotlivých skupin pacientů jednak od 55 % do 100 % trvání stejné fáze krokového cyklu (celá propulzní fáze) a dále od 75 % do 100 % krokového cyklu, tedy té části propulzní fáze, kdy je vyvíjen největší tlak na oblast palce.

## VÝSLEDKY

Z výsledků měření byly získány průměrné křivky (mediány jednotlivých hodnot) pro parametry hallux

stifnes (HS) a forefoot balance (FB) ve třech skupinách pacientů (obr. 3 a obr. 4). Hodnocena byla následně data z propulzní fáze kroku od 55 % až 100 % a propulzní fáze kroku od 75 % do 100 %. Statisticky byla vyhodnocena data Dunnettovým a Tukeyho srovnávacími testy (graf 1a až 1d), které hodnotily celkovou změnu průběhu polymorfních křivek. Testy porovnávaly křivky způsobem, kdy vzájemně hodnotily měřené plochy mezi osou X a křivkami v grafech (tj. plocha pod křivkou).

Pro parametr HS v 55 % až 100 % stejné fáze jsme zaznamenali hodnotu mediánu u kontrolní skupiny  $-0,66 \pm 1,22$  (-1,90 až 1,45), u pacientů s hallux rigidus  $-0,85 \pm 1,94$  (-1,40 až 3,80) a u pacientů po náhradě I. MTP  $-0,10 \pm 1,48$  (-1,30 až 2,40) (Tab. 1). Od 75 % krokového cyklu byl medián pro parametr HS u zdravých pacientů  $-0,60 \pm 0,89$  (-0,85 až 1,45), u pacientů s hallux rigidus  $1,65 \pm 1,42$  (-1,00 až 3,80) a po náhradě  $1,10 \pm 1,01$  (-0,20 až 2,40) (Tab. 2).

Medián parametru forefoot balance od 55 % stejné fáze byl u zdravých pacientů  $-3,48 \pm 2,45$  (-6,90 až 0,68), v případě hallux rigidus  $-4,43 \pm 2,72$  (-6,98 až 0,23). U pacientů po náhradě hodnota dosahovala  $-3,00 \pm 2,46$  (-6,20 až 0,40) (tab. 1). Při hodnocení stejného parametru od 75 % stejné fáze dále, dosahovali zdraví pacienti hodnot  $1,60 \pm 1,92$  (-4,28 až 0,40), u pacientů s hallux rigidus  $-3,44 \pm 2,17$  (-6,28 až -0,05) a u pacientů po náhradě jsme zaznamenali hodnoty  $-2,00 \pm 1,36$  (-3,80 až 2,47). (Tab. 2).

Statisticky hodnotí Dunnettův test výsledky (plochy pod křivkami) z kontrolní skupiny vůči HS a FB. Tukeyho srovnávací test hodnotí plochy pod křivkami kontrolní skupiny, HS a FB vzájemně mezi sebou.

U parametru hallux stiffness došlo k signifikantnímu zlepšení po implantaci kloubní náhrady ve srovnání s pacienty postižených hallux rigidus ( $p < 0,0001$ , graf 1b). Při porovnání pacientů po náhradě se zdravými kontrolami jsme neprokázali statistickou významnost v porovnání ploch pod křivkou ( $p=0,0007$  respektive  $p=0,0010$ , graf 1a,b). Při hodnocení parametru forefoot ballance jsme zaznamenali signifikantní rozdíl u pacientů s náhradou ve srovnání se zdravými kontrolami a pacienty s hallux rigidus ( $p < 0,0001$ , graf 1d)

## DISKUSE

Vyhodnocení funkce nohy po implantaci náhrady prvního MTP skloubení je obtížné. Jednou z možností objektivního vyhodnocení je měření pomocí pedobarografu, přístroje zaznamenávajícího tlakové změny pod jednotlivými částmi chodidla při chůzi. Tímto způsobem je možné zhodnotit vliv kloubní náhrady na funkci nohy při chůzi (14, 17). V případě postižení prvního paprsku nohy s deformitou typu hallux rigidus, dochází ke změně zátěže a pacient používá výrazněji laterální stranu nohy při odrazu, než by měl za fyziologických poměrů (11).

V odborné literatuře můžeme nalézt velmi málo studií zabývajících se touto problematikou. Jednotlivé publikace se významně liší co do použité metodiky, souboru pacientů a sledovaných parametrů (16). Ačkoli je validita pedobarografického vyšetření a reprodukovatelnost výsledků některými autory zpochybňována (3), má v určitých oblastech velký význam. Příkladem je využití v preventivních programech vzniku defektů v zátěžových místech u pacientů s diabetes mellitus (18).

V naší studii jsme použili parametry definované integrovaným softwarem a měřené pedobarografem firmy RS International pro vyhodnocení funkčnosti před-

noží. Parametr hallux stiffness (HS) je obtížné hodnotit po celou dobu propulzní fáze krokového cyklu, tedy od 55 % do 100 % stejné fáze. HS obecně nabývá negativních hodnot v počáteční fázi propulze, jelikož převládá tlak v oblasti prvního metatarzu (M1), zatímco tlak na oblast palce je velmi malý (obr. 3). Nicméně od 75 % cyklu se parametr zvětšuje do pozitivních hodnot, kdy dochází k nárůstu tlaku v oblasti palce (T1). Mezi jednotlivými skupinami se hodnota HS lišila především od 75 % cyklu, kdy dochází k výraznějšímu zapojování palce v odrazu nohy.

Průběh křivek parametru HS se mezi jednotlivými skupinami lišil. Od 55 % krokového cyklu nabýval medián HS negativních hodnot napříč všemi skupinami. U kontrolní skupiny byla jeho hodnota  $-0,66$ , u pacientů s hallux rigidus  $-0,85$  a u pacientů po náhradě MTP  $-0,10$  (tab. 1). Od 75 % krokového cyklu se ale již naměřené hodnoty HS u jednotlivých skupin výrazněji liší. Medián HS byl u zdravých pacientů  $-0,60$ , u pacientů s hallux rigidus  $1,65$  a po náhradě  $1,10$  (tab. 2). U zdravých pacientů zůstává medián HS na negativních hodnotách, ale je pozitivní u pacientů s hallux rigidus a po náhradě MTP.

Tento výsledek lze přičítat omezení hybnosti MTP kloubu, které jsme v našem souboru pacientů po náhradě Medin PH-Flex pozorovali, a kdy byl rozsah pohybu průměrně  $36^\circ$  ( $15^\circ$ - $60^\circ$ ), s průměrnou dorzální flexí  $28,6^\circ$  (rozsah,  $10^\circ$ - $55^\circ$ ) (15). Tlak pod rigidním palcem zůstává při odvalu nohy zvýšený vlivem nedostatečné dorzální flexe v I. MTP skloubení a výsledný průběh křivky zátěže je tak strmější a dosahuje vyšších hodnot ve srovnání se zdravými pacienty. Z analýzy parametru HS tedy vyplývá, že náhrada MTP skloubení dokáže zlepšit funkci palce oproti pacientům s hallux rigidus, ale nedokáže dosáhnout funkce zdravých pacientů.

Dalším z parametrů byl forefoot balance (FB), který vypovídá o rozložení zátěže mezi mediální a laterální stranou nohy ve stejné fázi cyklu. Medián hodnoty FB činil u zdravých pacientů  $-3,48$ , v případě hallux rigidus pacienti dosahovali zápornějších hodnot při přetěžování laterální strany přednoží, a to  $-4,43$ . U pacientů po náhradě hodnota mediánu dosahovala  $-3,00$ . Z hlediska časového rozložení zátěže dochází k dřívějšímu přenosu zátěže na laterální stranu nohy (oblast 3. až 5. metatarzu) u kontrolní skupiny zdravých pacientů, než je tomu u pacientů s hallux rigidus a pacientů po náhradě I. MTP kloubu. Zde můžeme pozorovat výraznější růst křivky od 77 % stejné fáze u hallux rigidus, respektive od 85 % u pacientů po náhradě. Nárůst křivky je pak u zdravých pacientů mnohem plynulejší (obr. 4). Při statistickém vyhodnocení plochy pod křivkou jsme zaznamenali signifikantní změnu mezi náhradou MTP kloubu palce a zdravými kontrolami ( $p < 0,0001$ ) a rovněž tak mezi náhradou MTP a pacienty s hallux rigidus ( $p < 0,0001$ ). Průběh křivky se tedy liší a náhrada není dle našich výsledků schopna restaurovat fyziologické zatěžování nohy, ačkoli můžeme v propulzní fázi pozorovat menší zatěžování laterální poloviny přednoží ve srovnání s hallux rigidus.

Z hlediska hodnocení hallux rigidus a prováděných operací pomocí dynamické pedobarografie můžeme v literatuře nalézt různé závěry (16). Provedení artrodézy palce je mnohými považováno za zlatý standard operační léčby pokročilých stadií hallux rigidus (7). V dostupných studiích se významně zvyšuje zátěž pod prvním paprskem. Dochází tedy k obnovení nosné funkce prvního paprsku. Jak ve své studii prokázal Chraim (4), po provedení artrodézy I. MTP kloubu byla zaznamenána zvýšená síla pod palcem a hlavicí prvního metatarzu ve srovnání s neoperovanou zdravou stranou a došlo tedy ke zvýšení zatěžování prvního paprsku. De Frino (6) rovněž pozoroval obnovení nosné funkce prvního paprsku nohy, kdy maximum zátěže bylo prokázáno v oblasti palce. V další studii věnované pedobarografickému vyšetření po artrodéze I. MTP kloubu, prokázal Brodsky (1) zvýšení maximální odrazové síly hlezna a prodloužení stejné fáze krokového cyklu na operované noze. Zlepšila se tedy propulzní síla operované nohy a zlepšila se schopnost zatěžování a stabilita při chůzi.

Stevens a Meijer (19) se zabývali analýzou kompenzace nohy po provedení artrodézy I. MTP kloubu. Pacienti po artrodéze vykazovali sníženou everzi zadonoží v polovině průběhu stejné fáze, která byla následována zvýšenou vnitřní rotací zadní nohy během terminální části stejné fáze, a nakonec větší supinací a menší adukcí přednoží ve fázi preswingu. Oblast prvního paprsku byla po artrodéze méně zatěžována ve srovnání s ostatními metatarzy. Závěr studie je, že přednoží a zadní noha dokáží kompenzovat ztrátu pohybu v I. MTP kloubu a přiblížit se normálnímu krokovému cyklu. Rigidní první MTP skloubení bylo ale méně zatěžováno ve srovnání s ostatními metatarzy.

Pedobarografických studií po provedení totální náhrady prvního MTP kloubu není mnoho, ale z dostupných zdrojů se jeví, že náhrada má potenciál zlepšit mediolaterální zatížení přednoží a částečně obnovit nosnou funkci prvního paprsku. K tomuto závěru došli ve své práci autoři hodnotící 33 náhrad Rotoglide (17). Tato prospektivní studie prokázala významný nárůst tlaků pod prvním MTP kloubem, kdy se výsledné zatěžování přiblížilo zdravé noze se snížením zátěže laterální strany nohy pod pátým metatarzem. Oproti těmto slibným výsledkům některých studií Nüesch (14) ve své práci pozoroval pooperační zvýšení tlaků spíše pod laterální polovinou přednoží hlavně u těch pacientů, kteří nedosahovali dostatečné dorsiflexe I. MTP skloubení po náhradě. Zátěž zadní nohy, mediálního pilíře a oblasti palce se významně nezměnila. Výsledkem tedy bylo přetrvávání nefyziologického zatěžování přednoží s přetížením jeho laterální strany.

Z pedobarografických a klinických studií naopak vyplývá nevhodnost jiných operačních výkonů, typu silastikových náhrad (12) či operace dle Brandesa-Keller (13). Výkony nemají dle výsledků potenciál obnovit nosnou funkci prvního paprsku (20) a v případě resekcí artroplastiky mnohdy ani nedochází ke kontaktu palce s podložkou (13).

## ZÁVĚR

Náhrada I. MTP skloubení má dle našich výsledků potenciál zlepšit funkci přednoží a přiblížit ji funkci zdravého jedince. Vlivem uvolnění hybnosti palce došlo ke zlepšení především parametru hallux stiffness, který se zároveň přiblížil hodnotám zdravých nohou. Ve studii jsme prokázali potenciál náhrady I. MTP kloubu zlepšit funkci prvního paprsku nohy. Nicméně dosáhnout normální funkce v porovnání se zdravou končetinou není reálné. Jako zásadní se dle našich výsledků jeví snaha o maximální možný rozsah pohybu I. MTP kloubu po náhradě, se zvláštním důrazem na dorzální flexi. Bude zapotřebí dalších studií s jasným designem k potvrzení oprávněnosti implantace náhrady I. MTP kloubu v indikaci hallux rigidus z hlediska vlivu na biomechaniku přednoží. Nicméně se dle našich výsledků náhrada I. MTP kloubu jeví jako validní alternativa v léčbě pokročilého hallux rigidus za dodržení správné indikace, volby vhodného implantátu a správného technického provedení operace.

## Literatura

1. Brodsky WJ, Baum BS, Pollo FE, Metha H. Prospective gait analysis in patients with first metatarsophalangeal joint arthrodesis for hallux rigidus. *Foot Ankle Int.* 2007;28:162–165.
2. Cansel AJM, Stevens J, Bijnens W, Witlox AM, Meijer K. Hallux rigidus affects lower limb kinematics assessed with the Gait Profile Score. *Gait Posture.* 2021;84:273–279.
3. Choi YR, Lee HS, Kim DE, Lee DH, Kim JM, Ahn JY. The diagnostic value of pedobarography. *Orthopedics.* 2014;37:106–107.
4. Chraim M, Bock P, Alrabai HM, Trnka HJ. Long-term outcome of first metatarsophalangeal fusion in the treatment of severe hallux rigidus. *Int Orthop.* 2016;40:2401–2408.
5. Coughlin MJ, Shurnas PS. Hallux rigidus: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot Ankle Int.* 2003;24:731–743.
6. DeFrino PF, Brodsky JW, Pollo FE, Crenshaw SJ. First metatarsophalangeal arthrodesis: a clinical, pedobarographic and gait analysis study. *Foot Ankle Int.* 2002;23:496–502.
7. Gibson JNA, Thomson CE. Arthrodesis or total replacement arthroplasty for hallux rigidus: a randomized controlled trial. *Foot Ankle Int.* 2005;26:680–690.
8. Gupta S, Masud S. Long term results of the Toefit-Plus replacement for first metatarsophalangeal joint arthritis. *Foot (Edinb).* 2017;31:67–71.
9. Karpe P, Killen MC, Chauhan A, Pollock R, Limaye R. Early results of Roto-glide joint arthroplasty for treatment of hallux rigidus. *Foot (Edinb).* 2018;34:58–62.
10. Kolodziej L, Bohatyrewicz A, Zietek P. First metatarsophalangeal joint replacement with modular three-component press-fit implant. Preliminary report. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2013;80:64–68.
11. Maceira E, Monteagudo M. Functional hallux rigidus and the Achilles-calcaneus-plantar system. *Foot Ankle Clin.* 2014;19:669–699.
12. Mahieu C, Chaput A, Bouillet R. The treatment of rigid hallux using Swanson's silastic implant (single and double stem). Clinical, radiological and pedobarographic review with a 16-year maximum follow-up. *Acta Orthop Belg.* 1992;58:314–324.
13. Nikratowicz P, Wóznik W, Lukasz L, Wierusz-Kozłowska M. [Pedobarographic evaluation of the foot after Keller's procedure for Hallux valgus and Hallux rigidus]. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol.* 2009;74:224–227.
14. Nüesch C, Mündermann A, Horisberger M. Mid-term functional outcome of a total arthroplasty of the first metatarsophalangeal joint. *Clin Biomech.* 2017;41:9–13.

15. Popelka S ml, Hromádka R, Barták V, Klouda J, Landor I, Popelka S. Naše zkušenosti s totální náhradou prvního metatarzofalangeálního kloubu palce PH-Flex Medin. Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 2017;84:380–385.
16. Rajan R, Mishra A. A systematic review of total arthroplasty and arthrodesis for end-stage hallux rigidus: A biomechanical perspective. The Foot. 2021;Dec;49:101838.
17. Rajan RA, Kodumuri P, Papamerkouriou Y, Kerr M, Evans H. A consecutive, prospective analysis of the Rotoglide 1<sup>st</sup> metatarsophalangeal joint replacement. Foot. 2019;39:72–75.
18. Skopljak A, Muftic M, Sukalo A, Masic I, Zunic L. Pedobarography in diagnosis and clinical application. Acta Inform Med. 2014;22:374–378.
19. Stevens J, Meijer K, Bijlens W, Fuchs MCHW, van Rhijn LW, Hermus JPS, van Hove S, Poeze M, Witlox AM. Gait analysis of foot compensation after arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint. Foot Ankle Int. 2017;38:181–191.
20. Zembsch A, Trnka HJ, Ritschl P. Correction of hallux valgus. Metatarsal osteotomy versus excision arthroplasty. Clin Orthop Relat Res. 2000;376:183–194.

**Korespondující autor:**

MUDr. Stanislav Popelka  
Ortopedická klinika I. LF UK a FN v Motole  
V úvalu 84  
150 06 Praha 5  
E-mail: stan2005@volny.cz