

Univerzita Karlova v Praze

1. lékařská fakulta

Postgraduální doktorský program v biomedicině

Studijní obor: Experimentální chirurgie



MUDr. Stanislav Popelka

Klinické výsledky endoprotézy prvního
metatarsofalangového skloubení PH-Flex Medin
a její vliv na biomechaniku přednoží v propulzní fázi krokového cyklu.

*Clinical outcomes of first
metatarsophalangeal joint prosthesis PH-Flex Medin
and its effect on the biomechanics of the forefoot in the propulsion phase of the
gait cycle.*

Disertační práce

Školitel: Doc. MUDr. Rastislav Hromádka, Ph.D.

Praha, 2023

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem řádně uvedl a citoval všechny použité prameny a literaturu. Současně prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací.

V Praze, 10.7.2023

MUDr. Stanislav Popelka

Podpis

Identifikační záznam

POPELKA, Stanislav. **Klinické výsledky endoprotézy prvního metatarsofalangového skloubení PH-Flex Medin a její vliv na biomechaniku přednoží v propulzní fázi krokového cyklu.** [Clinical outcomes of first metatarsophalangeal joint prosthesis PH-Flex Medin and its effect on the biomechanics of the forefoot in the propulsion phase of the gait cycle]. Praha, 2023. Počet stran 91, počet příloh 3. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta, Ortopedická klinika 1. LF UK a FN Motol. Vedoucí práce Hromádka, Rastislav.

Abstrakt

Předložená disertační práce popisuje studii zaměřenou na hodnocení výsledků implantace náhrady prvního metatarsofalangového (MTP) skloubení palce. Náhrada skloubení PH-Flex byla vyvinuta na Ortopedické klinice 1. LF UK ve spolupráci s firmou Medin s.r.o. a v letech 2007 až 2011 proběhly klinické zkoušky. V letech 2011 až 2016 byla protéza používaná v běžné plánované operativě a byla postupně upravována indikační kritéria pro její implantaci. Disertační práce souhrnně předkládá výsledky odborných publikací, které vznikly na naší klinice ve spojení s 5letým obdobím implantace náhrady.

První část předkládané disertační práce zahrnuje výsledky a klinické výstupy, které byly publikovány v roce 2017. Retrospektivní studie hodnotila ucelený soubor 31 pacientů po implantaci 35 totálních náhrad prvního MTP skloubení. Ve 4 případech byla provedena oboustranná implantace. Podmínkou zařazení do studie byla doba sledování delší než 6 měsíců. V 30 případech byla náhrada indikována u pacientů s hallux rigidus stupně 3 a 4 dle Coughlina. Ve 4 případech se jednalo konverzi hemiartroplastiky MTP na totální náhradu a u jedné pacientky byla implantace totální náhrady indikována z důvodu selhání silastikové náhrady prvního MTP kloubu. Výsledky byly hodnoceny nejenom radiologicky, ale také dle skóre American Orthopaedic Foot and Ankle Society Hallux Metatarsophalangeal (AOFAS). Z hlediska hodnocení AOFAS skóre bylo v našem souboru dosaženo signifikantního zlepšení. Předoperačně činilo AOFAS skóre průměrně 55,6 bodu (35-65). Po operaci činila průměrná hodnota AOFAS skóre 80,8 bodů (65-95).

Druhá část předkládané disertační práce zahrnuje výsledky publikované v roce 2023, které byly získány měřením pacientů na dynamickém pedobarografu Footscan RS scan International. V odborné práci bylo zhodnoceno 15 implantovaných náhrad u 12 pacientek, které souhlasily se zařazením do pedobarografické části studie. Získané výsledky byly zpracovány a analyzovány pomocí integrovaného softwaru (RS Scan International). Hodnoceny byly parametry vhodné k posouzení funkce přednoží po implantaci náhrady, a to hallux stiffness hodnotící tuhost I. MTP kloubu a forefoot ballance, posuzující rozložení zátěže mezi laterální a mediální polovinu přednoží. Hodnocené parametry byly srovnány u pacientů po náhradě I. MTP kloubu, zdravých pacientů a pacientů s pokročilým hallux rigidus.

Výsledky pedobarografické studie dokládají schopnost náhrady zlepšit funkci přednoží po implantaci totální náhrady I. MTP kloubu a přiblížit ji funkci přednoží u zdravých pacientů, ačkoli obnovit zcela fyziologickou biomechaniku přednoží nedokáže.

Na základě zhodnocení výsledků jsme dále upravili naše indikační schéma a operační techniku. Z hlediska stupně postižení prvního MTP skloubení dle Coughlinovy stupnice jsme přestali k náhradě indikovat pacienty s postižením 4. stupněm dle Coughlina, kde je již značně omezená hybnost palce a jsou postiženy sezamské kosti. Kloubní náhradou je v těchto případech velmi obtížné zlepšit rozsah pohybu. K implantaci preferujeme pacienty se stupněm 3 dle Coughlina, s uspokojivým, ale bolestivým rozsahem pohybu prvního MTP kloubu.

Klíčová slova

Hallux rigidus, Metatarsalgia, Osteoartróza prvního metatarsofalangového skloubení, Artrodéza prvního metatarsofalangového skloubení, Náhrada prvního metatarsofalangového skloubení, Dynamická pedobarografie

Abstract

The dissertation evaluates the results of a first metatarsophalangeal (MTP) joint replacement. The PH-Flex MTP joint replacement was developed at the 1st Department of Orthopaedics, the first faculty of medicine in conjunction with the Medin s.r.o. company. The clinical trials ran between 2007 and 2011. Between 2011 and 2016, the implant was used in clinical practice, where the indication criteria of its use were gradually adjusted. This work summarises publications originating in our department, evaluating the 5-year period during which the implant was used and the results of its use.

In the first part of the dissertation, we present the retrospective study evaluating a group of 31 patients after the implantation of 35 MTP joint replacements was published in 2017. Bilateral surgery was performed on 4 patients. A minimum follow-up of 6 months was required for inclusion in the study. In 30 cases, the indication was 1st MTP joint arthritis of grades 3 and 4 according to the Coughlin classification. A conversion from hemiarthroplasty to total arthroplasty was performed in 4 patients, and in 1 case, the surgery was performed as a revision from a failed silastic 1st MTP joint replacement. The evaluation was performed not only radiographically but also according to the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Hallux Metatarsophalangeal (AOFAS) scoring system. The AOFAS scores showed a significant improvement in our patient cohort from preoperatively to postoperatively. The mean preoperative AOFAS score was 55.6 (33-65), with a mean postoperative score of 80.8 (65-95).

The second part of the dissertation is based on evaluating 15 implanted prostheses in 12 patients. The obtained results were processed and analysed using the integrated dynamic pedobarograph software Footscan RS scan International. The study evaluated parameters suitable for assessing the function of the forefoot after implantation of the prosthesis, namely hallux stiffness evaluating the stiffness of the I. MTP joint and forefoot balance considering the load distribution between the lateral and medial half of the forefoot. The results of the pedobarographic study demonstrate the ability of the prosthesis to improve the function of the forefoot after the implantation of a total replacement of the first MTP joint and bring it closer to the function of the forefoot in healthy patients, although it cannot completely restore the physiological biomechanics of the forefoot.

Based on the result of this study, we adjusted our indication criteria and operative technique. We stopped indicating patients with grade 4 osteoarthritis according to the Coughlin classification, where there is a marked limitation of the range of movement and the sesamoid bones are affected. It is challenging to achieve an improvement in the range of motion in these cases. An ideal indication is grade 3 osteoarthritis, according to the Coughlin classification, with a painful but acceptable range of motion of the 1st MTP joint.

Key words:

First metatarsophalangeal joint arthritis, Metatarsalgia, First metatarsophalangeal joint fusion, First metatarsophalangeal joint replacement, Dynamic pedobarography, Hallux rigidus

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval svému školiteli, Doc. MUDr. Rastislavu Hromádkovi, Ph.D., který mi umožnil seznámení se se zajímavou částí ortopedie.

Dále bych rád poděkoval všem lékařům Ortopedické kliniky 1. LF UK a FN Motol, s nimiž jsem měl a mám tu čest spolupracovat, za vytvoření přátelské atmosféry a pomoc v mých ortopedických začátcích.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za podporu během mého dlouhého studia.

Seznam použitých zkratek

AOFAS – American Orthopaedic Foot & Ankle Society

AP – aponeurosis plantaris

CT – výpočetní (počítačová) tomografie

DMAA – distal metatarsal articular angle

EHL – m. extensor hallucis longus

FDB – m. flexor digitorum brevis

FDL – m. flexor digitorum longus

FHB – m. flexor hallucis brevis

FHBL – caput laterale m. flexor hallucis brevis

FHBM – caput mediale m. flexor hallucis brevis

FHL – m. flexor hallucis longus

LCL – lig. collaterale laterale

LMTP – lig. metatarsale transversum profundum

LMTS – lig. metatarsale transversum superficiale

MTP – metatarsofalangový

MTT – metatars

NMR – nukleární magnetická rezonance

PP – plantární ploténka, fibrocartilago plantaris metatarsofalangového skloubení

ROM – rozsah pohybu (range of motion)

RTG – rentgenový

TMT – tarsometatarsální

Obrazová dokumentace

Pokud není uvedeno jinak, je autorem kreseb a grafických úprav Doc. MUDr. Rastislav Hromádka, Ph.D.

Obsah

1. Úvod.....	10
1.1. Úvod disertační práce.....	10
1.2. Historie – hallux rigidus.....	11
2. Anatomie prvního paprsku nohy.....	13
2.1. Anatomie prvního metatarsofalangového skloubení.....	13
2.2. Anatomie prvního tarsometatarsálního skloubení.....	15
2.3. Aponeurosis plantaris a windlass mechanismus.....	16
2.4. Svaly nohy.....	19
3. Hallux rigidus – patologická anatomie a patofysiologie.....	20
4. Diagnostika hallux rigidus.....	23
4.1. Fyzikální vyšetření.....	23
4.2. Zobrazovací metody.....	24
4.3. Klinické klasifikace.....	27
5. Konzervativní léčba hallux rigidus.....	31
6. Operační léčba hallux rigidus.....	34
6.1. Kloub zachovávajících operace.....	34
6.2. Kloub nezachovávající operace.....	39
7. Historie náhrad prvního metatarsofalangového skloubení.....	41
7.1. Hemiartroplastiky.....	42
7.2. Totální náhrady prvního metatarsofalangového skloubení.....	43
7.3. Interpoziční plastiky.....	48
8. Vývoj náhrady na naší klinice.....	49
8.1. Anatomická studie.....	49
8.2. Popis implantátu.....	52
8.3. Instrumentarium a poznámky k operační technice.....	54
9. Klinické výsledky.....	57
9.1. Úvod do experimentální práce.....	57
9.2. Materiál a metoda.....	57
9.3. Výsledky.....	65
9.4. Diskuse.....	76
10. Závěr.....	85
11. Literatura.....	86

1. Úvod

1.1. Úvod disertační práce

Hallux rigidus je postižení přednoží projevující se progresivní ztrátou rozsahu pohybu palce nohy. Nejčastější příčinou vzniku této diagnózy jsou degenerativní změny prvního metatarsofalangového skloubení. Rozsah pohybu se omezuje zejména ve směru dorsální flexe skloubení, na rentgenových snímcích tvorbou okrajových osteofytů a změnou osového postavení palce nohy.

Jedná se o velmi rozšířenou vadu v oblasti nohy v současné populaci, která bývá velmi častým důvodem návštěvy ortopedické ambulance. Onemocnění má pro svého nositele mnoho důsledků a svým často bolestivým průběhem představuje významný faktor omezující pracovní i volnočasové aktivity a vede tím ke snížení kvality života pacienta.

Nejedná se přitom pouze o postižení přednoží a nohy. Bolestivé omezení rozsahu pohybu prvního metatarsofalangového skloubení se sebou přináší výrazné ovlivnění dolní končetiny jako celku (Coughlin a Shurnas 2003). Pacient s bolestivým základním kloubem palce vytáčí přednoží do supinace ve snaze odlehčit bolestivému kloubu a přetěžuje laterální stranu přednoží. Ve snaze kompenzovat změněnou funkci nohy dochází k sekundárním změnám v hlezenním a kolenním kloubu a jejich následnému přetěžování (Maceira a Monteagudo 2014).

I přes výrazný pokrok ve studiu tohoto onemocnění, ke kterému došlo v posledních několika dekádách, není problematika hallux rigidus do dnešní doby uspokojivě vyřešena. Složitá biomechanika a anatomická stavba nohy je důvodem mnoha nejasností při studiu hallux rigidus. Kontroverze a nejasnosti stále panují jak v oblasti etiologie a patogeneze, tak i v algoritmech jeho léčby (Kunnasegaran a Thevendran 2015). Byla navržena celá řada metod konzervativní léčby a operačních technik, které jsou prováděny různými autory v nejrůznějších modifikacích ve snaze navrácení pacienta do běžného života s cílem zajistit mu nebolestivou funkci nohy.

Nicméně žádný z dosud používaných postupů problematiku hallux rigidus zcela nevyřešil. Jedná se o celou řadu nejrůznějších výkonů, jejichž indikace je velmi různorodá a je zapotřebí pochopit a správně interpretovat obtíže pacienta, exaktně vyhodnotit rentgenologický nálezn, vnímat potřeby, očekávání a pohybové nároky pacienta. Jen tak je možné zvolit takový typ operačního zákroku, ze kterého bude pacient skutečně profitovat.

Rozvoj endoprotetiky v druhé polovině 20. století ovlivnil i oblast prvního metatarsofalangového kloubu. S rozvojem nových materiálů začaly nacházet uplatnění

v léčbě hallux rigidus i kloubní náhrady, které jsou rovněž rozmanité, co se týče materiálové konstrukce a způsobu použití. Ačkoli zprvopočátku představovaly kloubní náhrady velký příslib pro pacienty s hallux rigidus, nebyla doposud problematika náhrady prvního metatarsofalangového skloubení uspokojivě vyřešena. Mnoho modelů náhrad vykazovalo spíše rozpačité výsledky a některé dokonce představovaly pro pacienta katastrofu. Zcela nejasný pak zůstává vliv implantovaných náhrad na biomechaniku přednoží.

Z tohoto důvodu se rovněž na Ortopedické klinice 1. LF UK a FN Motol věnujeme endoprotetice prvního metatarsofalangového skloubení. Výsledkem práce kolektivu autorů byly anatomické studie prvního metatarsofalangového kloubu, ze kterých rezultovalo navržení a vývoj vlastní náhrady originální konstrukce PH-Flex Medin. Tato endoprotéza nakonec došla klinického uplatnění.

Tato disertační práce si klade za cíl shrnout současné poznatky o léčbě hallux rigidus speciálně s přihlédnutím na používání kloubní náhrady. Shrnout klinické výsledky a naše zkušenosti s použitím kloubní náhrady PH-flex Medin ve snaze upravit indikační schéma a navrhnout možná zlepšení. V neposlední řadě se práce věnuje posouzení vlivu, který má implantovaná totální náhrada prvního metatarsofalangového skloubení na dynamiku přednoží ve srovnání se zdravými jedinci a pacienty s artrózou I. MTP skloubení.

1.2. Historie – hallux rigidus

První zmínky o osteoartrótickém postižení prvního metatarsofalangového (MTP) kloubu se v odborné literatuře začínají objevovat koncem 19. století. Jako první referoval Davies-Coley (Davies-Colley 1887) v roce 1887 o flekčním postavení proximální falangy ve vztahu k hlavičce prvního metatarsu a navrhl užívání termínu hallux flexus. O rok později, tedy v roce 1888, navrhuje Cotterill (Cotterill 1888) pro identické postižení prvního MTP kloubu palce termín hallux rigidus. V průběhu let byla pro osteoartrózu MTP kloubu navržena nejrůznější označení, která bývají různě vykládána. Termín hallux limitus navrhl DuVries (DuVries a Meyer 1959) v roce 1959 k pojmenování lehčích stádií onemocnění a hallux rigidus vyčlenil pro stadia pokročilejší.

Nicméně pojmy hallux rigidus a hallux limitus bývají často zaměňovány a někteří autoři doporučují užití termínu hallux limitus pouze pro omezení dorzální flexe prvního MTP kloubu, zatímco hallux rigidus užívají až při úplné ztrátě pohybu v kloubu. Mimo tyto nejužívanější termíny, byla navržena celá řada dalších pojmenování klinického nálezu osteoartrózy prvního MTP kloubu, která ale své pevné místo v nomenklatuře nenašla.

Můžeme se setkat s termíny jako hallux malleus, hallux dolorosus či v anglosaské literatuře dorsal bunion.



Obr. 01: Hallux rigidus při pohledu na přednoží shora a z mediální strany. Patrna a je synovitis prvního metatarsofalangového skloubení a deformita kloubu

Kontroverze a nejasnosti stále panují jak v oblasti etiologie a patogeneze hallux rigidus, tak i v algoritmech diagnostiky. Byla navržena celá řada metod konzervativní a operační léčby, které jsou prováděny různými autory v nejrůznějších modifikacích.

Základními výkony, které se začaly používat na konci 19. století a přetrvaly až do dnešní doby, jsou cheilectomie a resekční artroplastiky (Keller 1904). Tyto se zkoušely a prováděly zejména proto, že neexistovaly jiné možnosti. Zejména chyběly chirurgické nástroje, materiály a další možnosti operační a perioperační péče (anestetika, antibiotika atd.). V té době se jednalo zejména o revizi prvního MTP kloubu za účelem odstranění osteofytů z okrajů kloubních ploch anebo resekci destruovaných kloubních povrchů. Tyto operace odstranily subjektivní potíže, nicméně neřešily následnou funkci přednoží a nemohly vyřešit podstatu vzniku vady.

Dalším krokem v léčbě byly osteotomie. Tyto se začaly používat opět na konci 19. století (Reverdin 1881), nicméně jejich výsledky nebyly opět pro omezené možnosti uspokojivé. Osteotomie se začaly rutinně používat pro léčbu hallux valgus a rigidus až počátkem 20. století (Hohmann 1921). Výraznější rozvoj, ale dosáhly až po zavedení moderních osteosyntetických materiálů a moderních chirurgických nástrojů (vibrační pily,

frézy, atd.) V současné době se rutinně používají osteotomie v oblasti prvního paprsku nohy u symptomatických počátečních stádií hallux rigidus a to ke změně zátěže kloubu a přednoží (viz. níže, str. 35).

Jednou z metod operační léčby osteoartrózy základního kloubu palce nohy, která prodělala za posledních 70 let značný vývoj je i alloplastika prvního MTP kloubu. Turbulentní rozvoj endoprotetiky v druhé polovině 20. století ovlivnil i oblast prvního metatarzofalangového kloubu. První pokus o implantaci náhrady I. MTP kloubu provedl Endler (Endler 1951), kdy provedl náhradu baze proximální falangy za pomoci implantace akrylmethakrylátové náhrady. Následoval vývoj poměrně různorodých typů náhrad za užití nejrůznějších materiálů. Vyzkoušela se celá řada variant náhrad, pokrývajících snad všechna anatomická řešení náhrady v oblasti prvního MTP kloubu. Vnikly různé typy interpozičních náhrad, kdy se do kloubu implantovaly pouze ploténky z inertního materiálu oddělující původní kloubní povrchy. Metatarzální či falangové hemiartroplastiky nahrazovaly buď kloubní plochu proximálního článku palce, nebo hlavice prvního metatarsu, a nakonec totální náhrady kloubu moderní konstrukce (viz níže, str. 43).

2. Anatomie prvního paprsku nohy

2.1. Anatomie prvního metatarzofalangového skloubení

První metatarzofalangový kloub je nejrobustnější ze všech MTP kloubů nohy. Tvarové odchylky v jeho anatomické stavbě prvního MTP kloubu mohou hrát důležitou roli v patogenezi hallux rigidus.

Synoviální kloub má dvě primární kloubní plochy a jednu sekundární. Hlavní skloubení je mezi kloubní plochou hlavice první nártní kosti a kloubní plochou proximálního článku palce. Vedlejší (sekundární) skloubení je mezi spodní stranou hlavice nártní kosti a sezamskými kostmi. Všechny kloubní plochy jsou pokryty hyalinní chrupavkou.

První nártní kost se skládá ze 3 základních částí: baze, těla a hlavice (basis, corpus et caput metatarsi). Na průřezu je tělo ve střední části oválné a postupně se proximálně rozšiřuje v trojúhelníkovitou bazi. Kloubní plocha baze prvního metatarsu je určena pro skloubení s první klínovitou kostí (os cuneiforme mediale).

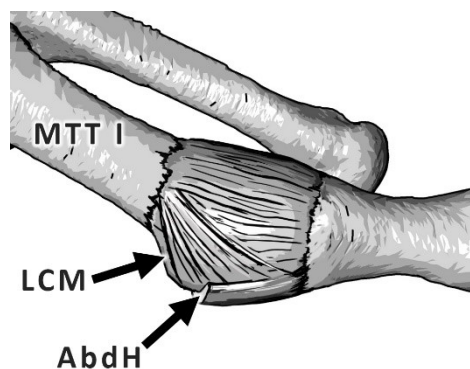
Hlavice prvního metatarsu je dorzoplantárně oploštěná. Její dorsoplantární rozměr je tedy menší než mediolaterální (Sarrafian 1993). Spodní strana je výrazně plochá a slouží ke skloubení se sezamskými kostmi. Tato plochá část je navíc rozdělena podélně probíhající

kostní hranou, která odděluje od sebe dvě plochy pro mediální a laterální sezamskou kost (viz níže). Mediální část kloubní plochy pro mediální sezamskou kůstku bývá větší (Lucas a Hunt 2015).

Samotná část hlavní (přední části) kloubní plochy pro artikulaci s bazí proximální falangy palce je skloněna mírně laterálně vůči dlouhé ose prvního metatarsu. Průměrný úhel odklonu je 8° a bývá označován jako DMAA úhel (distal metatarsal articular angle). Nicméně variabilita tohoto úhlu je značná, od -14° až 30° (Sarrafian 1993).

Na základním článku prvního prstu (phalanx proximalis hallucis) rozlišujeme opět bazi, tělo a hlavičku (basis, corpus, caput). Tělo proximální falangy je oválného tvaru, v oblasti baze se rozšiřuje a tvoří odpovídající artikulační plochu pro hlavičku prvního metatarsu. Na řezu je baze proximální falangy rovněž oválná, menší v dorzoplantárním směru než mediolaterálním. Toto uspořádání odpovídá hlavičce prvního MTT. Na spodní straně článku nacházíme úponová místa důležitých struktur. Plantárně na mediální a laterální straně nacházíme dva hrbolky, tuberculum mediale a tuberculum laterale. Zde se upíná mediální a laterální společná úponová šlacha (medial conjoint tendon a lateral conjoint tendon) krátkých svalů nohy.

Stabilita (volnost i těsnost) prvního MTP skloubení je zajištěna vazy a úponovými šlachami svalů, které se upínají na první paprsek nohy. Kloub je stabilizován kolaterálními vazy (ligg. collateralia), které ale neprobíhají horizontálně. Spíše než tvar jednoduchého pruhu vaziva, jsou vytvořeny do tvaru vějíře. Jejich malý začátek je v místě hlavičky prvního metatarsu a postupně se rozbíhá do širokého úpon, který směřuje vertikálně k sezamským kostem a ventrálně k basi proximálního článku palce (obr 02).



Obr. 02: Průběh postranních vazů prvního metatarsofalangového skloubení. MTT I – první nártní kost, LCM – lig. collaterale mediale, šipka označuje šikmou část, AbdH – úpon m. abductor hallucis na spodní stranu proximálního článku palce

Postranní vazy tak stabilizují nejenom první nártní kost a článek palce vůči sobě, ale určují také základní postavení sezamských kostí, které jsou pod hlavicí. Sezamské kosti, které se v životě jedince vytvářejí jako ochrana šlachových úponů svalů, vznikají v úponech krátkých svalů nohy a jsou stabilizované vzájemným vazivovým spojením (lig. intersesamoideum). V oblasti tohoto vazy, sezamských kostí a kloubních obalů na plantární straně se vytváří unikátní struktura, která se nazývá fibrocartilago plantaris (Lucas et al. 2014). V klinické terminologii se označuje názvem vycházejícím z anglické varianty a označuje se jako plantární ploténka. Tato ploténka zabezpečuje komplexní spojení a vzájemnou návaznost mezi postranními vazy, sezamskými kostmi, společnými úpony krátkých svalů a aponeurosis plantaris. Je esenciální pro funkci nejenom prvního MTP skloubení ale funkci celého prvního praprsku nohy.

Nejenom první MTP skloubení ale i další MTP skloubení nohy mají na spodní straně odpovídající plantární ploténky. Jednotlivé ploténky jsou navzájem příčně přes přednoží spojeny mohutným vazem, lig. metatarsale transversum profundum. Tímto je zaručena správná funkční šíře přednoží v zátěži.

2.2. Anatomie prvního tarsometatarsálního skloubení

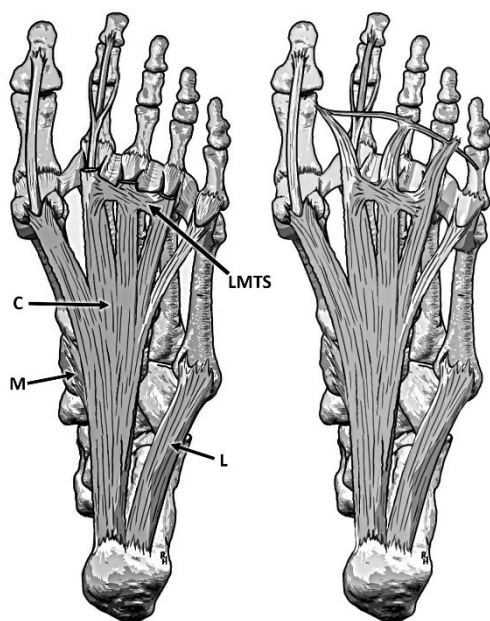
První tarsometatarsální (TMT) skloubení je důležitým kloubním spojením pro stabilitu prvního praprsku nohy. Právě toto kloubní spojení je nejčastěji zodpovědné za hypermobilitu prvního praprsku nohy (Klaue et al. 1994, Coughlin et al. 2004, Coughlin a Jones 2007) a tím dochází i k změnám vedoucích k deformitě hallux rigidus. První prapsek nohy je tvořen první nártní kostí, prvním a druhým článkem palce nohy a kloubními spojeními mezi nimi. Z důvodu hypermobility prvního praprsku dochází k jeho elevaci při zátěži a mění se tak „funkční“ podmínky pro distálně umístěné klouby (MTP I a IP palce). Tvar, velikost a vzájemný vztah kloubních ploch prvního TMT skloubení zřejmě sehrávají klíčovou roli.

Kloubní plochy tvoří konvexní kloubní plocha první klínové kosti (os cuneiforme mediale) a konkávní kloubní plocha base první nártní kosti. Konkávní tvar plochy ale neprobíhá v jedné rovině, ale je stočen do spirály (vrtule). Plantární část kloubní plochy je kolmá na dlouhou os prvního metatarsu, zatímco dorsální okraj kloubní plochy svírá s kolmicí na dlouhou osu variabilní úhel. Tento odklon je vyjádřen úhlem, který se definuje jako úhel mezi rovinou kloubní plochy a kolmicí na dlouhou osu první nártní kosti a označuje se jako proximální metatarsální artikulační úhel (proximal metatarsal articular angle, PMAA) (Sarrafian 1993).

První TMT skloubení je stabilizováno zejména vazy a úpony šlach. Kloubní pouzdro je zpevněno plantárně a dorzálně dvěma mohutnými vazy lig. tarsometatarsale plantare et dorsale, které sehrávají významnou roli v stabilitě kloubu. Nicméně stabilita je zajištěna i úpony šlach mohutných svalů. Na os cuneiforme mediale a část base první nártní kosti se z medio-plantární strany upíná šlacha m. tibialis anterior. Na latero-plantrární stranu se upíná šlacha m. fibularis (peroneus) longus. Tento vazivový komplex spolu s úpony a vhodným tvarem kloubních ploch by měl zabezpečit primární stabilitu prvního paprsku v sagitální rovině. Pokud ale dispozice tvaru skloubení vedou k jeho nestabilitě, a tím hypermobilitě prvního paprsku, může dojít k postižení dynamiky prvního MTP skloubení a ke vzniku hallux rigidus. Na první nártní kost se neupínají žádné intrinsické ani extrinsické svaly nohy, a proto se svaly podílejí **na dynamické stabilizaci paprsku** při zátěži mechanismem přes úpony v místě proximálního a distálního článku palce nohy (viz níže). K **statické stabilitě prvního paprsku** a dalších částí přednoží ale výrazně přispívá aponeurosis plantaris.

2.3. Aponeurosis plantaris a windlass mechanismus

Aponeurosis plantaris začíná na processus medialis et lateralis tuberis calcanei, odkud se posléze distálně mění v plochou, dále se větví v strukturu, kterou **dělíme na centrální, mediální a laterální část**. **Laterální část** bývá již od počátku samostatný pruh směřující k bazi V. metatarsu. Tento pruh bývá variabilní. **Mediální pruh** pak směřuje od svého začátku do oblasti os cuneiforme mediale, kde se upíná do fascie mediálních krátkých svalů nohy (obr 03).



Obr. 03: Schéma uspořádání jednotlivých podélných pruhů plantární aponeurózy; na schématu vlevo odstraněná distální část s lig. natatorium, C – centrální část, M – mediální část, L – laterální část, LMTS – lig. metatarsale transversum superficiale

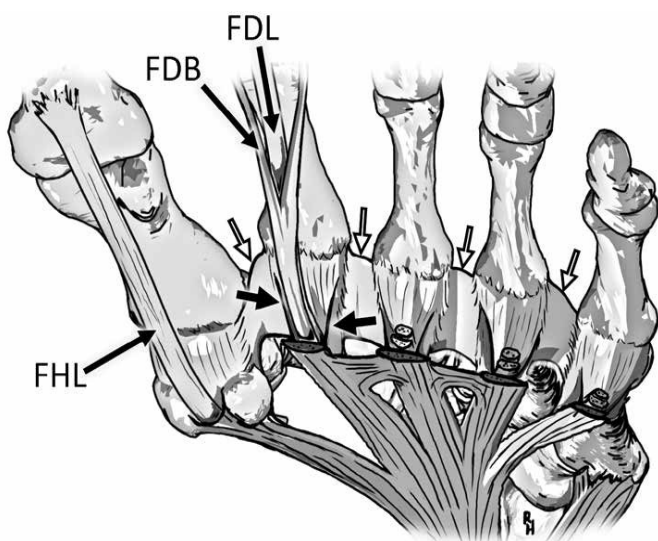
Nejdůležitější je **centrální část**, která se dělí ve svém průběhu na 5 samostatných pruhů směřujících distálně k prvnímu až pátému MTP skloubení. V oblasti prvního MTP kloubu se pruh centrální části aponeurosis plantaris upíná do oblasti sezamských kůstek. Pátý pruh pak směřuje ke svému MTP skloubení a upíná se do oblasti plantární ploténky. Zbylé 3 pruhy centrální části se obdobně upínají do plantárních plotének II.-IV. MTP kloubu. Z průběhu centrální části se navíc oddělují snopce kolagenních vláken, které směřují distálně od MTP skloubení do podkoží, kdy spolu s tukovou tkání vytvářejí typické nášlapné polštáře nohy.

Mezi centrálními pruhy se v místě nášlapu nacházejí příčně probíhající kolagenní vlákna, které formují takzvané ligamentum metatarsale transversum superficiale. Tyto příčné snopce opět pokračují mezi pruhy i distálně do podkoží, kde formují takzvané fasciculi transversi a přispívají tak k příčné (medio-laterální) stabilizaci přednoží. V úrovni proximálních článků prstů formují tato transverzální vlákna ligamentum natatorum, které tvoří systém „kotvících vazů“ probíhající napříč nohou v místě odvalu nohy v propulzní fázi krokového cyklu (obr. 04).

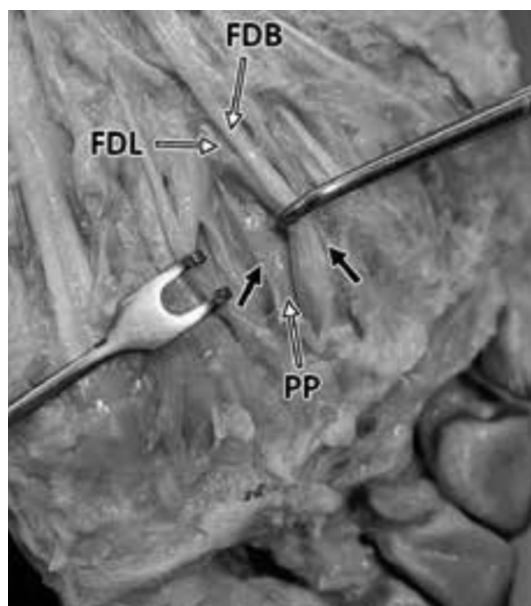


Obr. 04: Pohled na uspořádání plantární aponeurózy distálně od metatarzofalangových skloubení. Pohled na povrchový příčný vaz proximálně – ligamentum metatarsale transversum superficiale. Distální příčná vlákna formující ligamentum natatorum.

Aponeurosis plantaris se podílí na vytvoření funkčního komplexu mezi kostmi nohy a vazivovým aparátem MTP skloubení. Z každého centrálního pruhů aponeurózy se na úrovni MTP skloubení odděluje dvojice sagitálních sept. Tato septa pronikají do hloubky přednoží a upínají se na plantární ploténky MTP skloubení (sezamské kosti MTP I skloubení). Septa rovněž formují kanály pro vstup šlach flexorů prstů (obr. 05 a obr. 06).

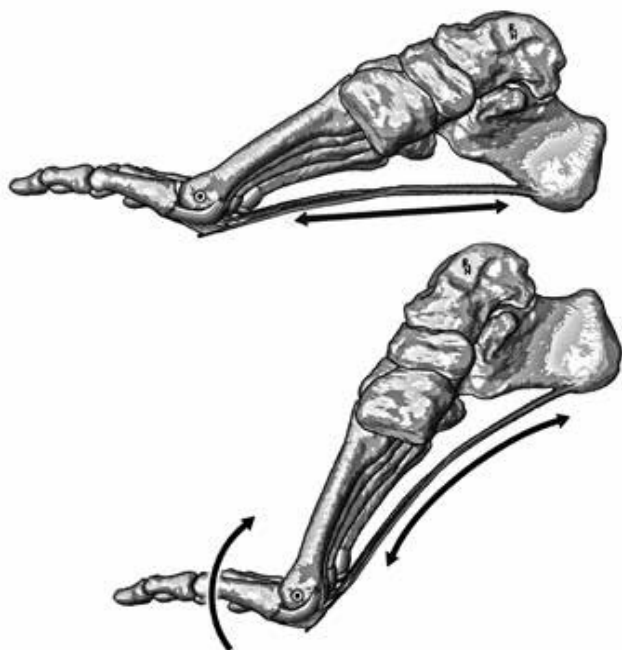


Obr. 05: Schéma uspořádání jednotlivých sagitálních sept aponeurosis plantaris a plantárních plotének metatarzofalangových skloubení. Bílé šipky – lig. metatarsale transversum profundum spojující jednotlivé plantární ploténky pod MTP klouby, černé šipky – dvojice sagitálních sept upínajících se do plantární ploténky druhého MTP skloubení, FDL – šlacha m. flexor digitorum longus, FDB – šlacha m. flexor digitorum brevis.



Obr. 06: Kadaverosní preparát - stav po odklopení povrchové části plantární aponeurózy. Pár sagitálních sept pro jednotlivé plantární ploténky vytváří tunel pro průchod šlach flexorů prstů označený černými šipkami, FDL – šlacha m. flexor digitorum longus, FDB – šlacha m. flexor digitorum brevis, PP – plantární ploténka (fibrocartilago art. metatarsophalangeae)

Tím je zajištěno funkční napojení aponeurózy s MTP klouby a jejich plantárními ploténkami, které se následně upínají na baze proximálních článků prstů. Při dorsiflexi v MTP kloubech (propulsní fáze krokového cyklu) dochází tahem za plantární ploténky k napínání podélných pruhů aponeurózy (obr. 07). Tento mechanismus zaručuje zpevnění („sešňerování“) podélné klenby nohy a k příčné stabilitě přednoží. Porušením tohoto mechanismu dochází k nestabilitě prvního paprsku nohy, a tím i ke změně dynamiky prvního MTP skloubení a k možnosti rozvoje degenerativních změn tohoto MTP skloubení.



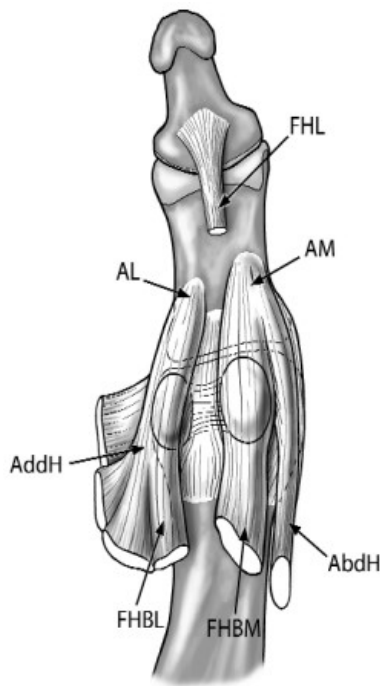
Obr. 07: Schéma napnutí plantární aponeurózy v důsledku fungování navijákového mechanismu při odvalové fázi krokového cyklu. S rotací proximální falangy okolo hlavičky metatarzu při extenzi prstů dochází k napnutí v samotné plantární aponeuróze. Dochází tak k dynamické stabilizaci přednoží.

2.4. Svaly nohy

Svaly přednoží slouží k zajištění dynamické stability prvního paprsku nohy. Můžeme je základně rozdělit na instrinsické a extrinsické svaly. V této práci zmíníme pouze ty, které mají vztah k tématu disertační práce.

Krátké svaly nohy, které se podílejí na postavení a funkci prvního paprsku nohy jsou: m. flexor hallucis brevis, m. abduktor hallucis, m. adductor hallucis a m. extensor hallucis brevis. Extrinsické svaly, které se podílejí na stabilizaci nohy jsou: m. fibularis longus, m. tibialis anterior, m. extensor hallucis longus a m. flexor hallucis brevis.

Kromě m. tibialis anterior a m. fibularis longus, se všechny svaly podílejí na pozici a postavení prvního MTP skloubení v zátěži. Pro stabilitu skloubení jsou důležité zejména svaly, které se upínají na spodní straně baze proximálního článku palce. Jak bylo zmíněno, na tomto místě se nacházejí dva hrbolky pro úpony společných úponových šlach krátkých svalů. (obr. 08)



Obr. 08: Mediální a laterální společná úponová šlacha krátkých svalů nohy z plantárního pohledu na první MTP skloubení (Bartak et al. 2011)

AL – laterální společná úponová šlacha

AM – mediální společná úponová šlacha

AddH – m. adductor hallucis

AbdH – m. abductor hallucis

FHBL – m. flexor hallucis brevis, pars lateralis

FHBM- m. flexor hallucis brevis, pars medialis

FHL – šlacha m. flexor hallucis longus

Na tuberculum mediale se upíná mediální společná úponová šlacha (medial conjoin tendon), která je tvořená šlachami m. abductor hallucis a mediální část m. flexor hallucis brevis. V těchto šlachách je zavzata i mediální sezamská kost a společná šlacha je součástí plantární ploténky MTP skloubení. Obdobně laterální společná úponová šlacha (lateral conjoin tendon) se skládá z úponu m. adductor hallucis a laterální části m. flexor hallucis brevis. V této společné šlaše je laterální sezamská kost. Obě společné úponové šlachy tvoří jakoby táhla, které stabilizují postavení palce v zátěži zejména v transverzální ale také v sagitální rovině. Proto je velmi důležité tyto úpony zachovat při implantaci náhrady MTP skloubení. Bezpečnou mírou resekce baze jsme se zabývali i naší klinice (Bartak et al. 2011).

3. Hallux rigidus – patologická anatomie a patofysiologie

Při rozvoji a progresi hallux rigidus se uplatňuje celá řada etiologických faktorů. Patofysiologie hallux rigidus nicméně nebyla doposud zcela objasněna. V průběhu studia onemocnění byly některé hypotéz potvrzeny, u jiných představených patofysiologických konceptů není jejich vliv na rozvoj choroby zcela jasný. Uplatňují se jak faktory vrozené, tak faktory získané.

Na rozvoji omezení hybnosti MTP kloubu má jistě vliv dědičnost. Rodinný výskyt byl zaznamenán až u tří čtvrtin pacientů s hallux rigidus. Nicméně konkrétní genetická vazba nebyla popsána. Dalšími z vrozených dispozic, které byly zvažovány jako potenciální faktory vedoucí k rozvoji hallux rigidus, jsou nadměrná délka prvního metatarsu, dlouhý proximální článek palce, plochý tvar hlavičky prvního metatarsu, pronační postavení nohy a dále deformity nohy jako plochá noha – pes planus a noha klenutá – pes cavus.

Z hlediska délky metatarsu je předpoklad, že nadměrná délka prvního metatarsu vede k přetěžování chrupavky MTP skloubení a následně k jejímu poškození. Z hlediska tvaru hlavičky prvního metatarsu rozlišujeme dva tvary, které k rozvoji osteoartrózy prokazatelně predisponují (obr. 09).



Obr. 09: Vrozené predispozice tvaru kloubní plochy hlavičky první nártní kosti. Plochý na obrázku vlevo a chevron typ na obrázku vpravo.

Jedná se o oploštění hlavičky prvního metatarsu a takzvaný Chevron typ, kdy hlavička nabývá klínovitý tvar. Co se týče incidence hallux rigidus a pes planus, nebyla nalezena výraznější incidence pes planus u pacientů s hallux rigidus v porovnání s běžnou populací (Coughlin a Shurnas 2003).

Obecně uznávaným etiologickým faktorem hallux rigidus je trauma. Stavy po zlomeninách, zvláště pak intraartikulárních, v oblasti prvního metatarsu a baze proximální falangy mají za následek poruchu kloubní anatomie s poruchou kloubní kongruence, která následně vede k rozvoji poúrazové artrózy (Coughlin et al. 1999). Rovněž opakované distorze MTP kloubu s poškozením intrinsických svalů mohou v dlouhodobém horizontu vést k rozvoji hallux rigidus (Jack 1940).

Dalším významným faktorem v patogenezi hallux rigidus se jeví nošení nevhodné obuvi a sportovní či pracovní přetěžování.

Velmi diskutovaným nálezem je elevace prvního metatarsu (metatarsus primus elevatus), kterou můžeme u některých pacientů pozorovat. Jedná se o stav, kdy je na laterálním zátěžovém snímku vyšetřovaného přednoží elevován první metatars ve srovnání s druhým metatarssem. Jako možný etiologický faktor hallux rigidus popsal metatarsus primus elevatus Lambrinudi (Lambrinudi 1938). Na základě dalších pozorování byla doporučována řada korekčních osteotomií v oblasti baze prvního metatarsu s cílem dosažení plantárnějšího postavení.

Další vývoj ukázal, že metatarsus primus elevatus je spíše důsledkem než příčinou hallux rigidus. Horton (Horton et al. 1999) ve své studii z roku 1999 pozoroval elevaci prvního metatarsu nejen u pacientů s hallux rigidus, ale i u zdravích jedinců a u pacientů s Mortonovou neuralgií. Ani Meyer (Meyer et al. 1987) nepovažoval metatarsus primus elevatus za patologický nález vedoucí k rozvoji hallux rigidus. Ačkoli mezi hallux rigidus a metatarsus primus elevatus existuje určitá korelace a je velmi častým nálezem u pokročilých stadií choroby, je elevace prvního metatarsu spíše důsledkem omezené dorzální flexe prvního MTP kloubu (Coughlin a Shurnas 2003).

V patogenezi hallux rigidus a nosologické jednotky hallux limitus, tedy omezené hybnosti prvního MTP kloubu bez degenerativních změn, bývá často udáváno zvýšené napětí měkkých tkání. Napětí musculus triceps surae výrazně ovlivňuje hybnost MTP kloubů předonoží (Maceira a Monteagudo 2014). Komplex lýtkového svalstva upínající se přes Achillovu šlachu na patní kost přechází do složitého komplexu aponeurosis plantaris, jejíž centrální část se pomocí sagitálních sept upíná do oblasti plantárních plotének pod jednotlivými MTP klouby předonoží. Plantární ploténky jsou spojeny s plantárním aspektem proximálních článků prstů. Toto anatomické spojení přenáší napětí z lýtkového svalstva na prsty nohy a palec při zátěži (windlass mechanismus). Zvýšené napětí v tomto systému se podílí na zvýšení nároků pro jednotlivá MTP skloubení (Maceira a Monteagudo 2014). V léčbě hallux rigidus se proto musíme zaměřit ne jenom na následek komplexní vady dolní končetiny (artróza prvního MTP skloubení), ale také na příčinu vzniku vady. Jednou z dalších možností vzniku vady je i systémové onemocnění (dnavá artropatie, revmatoidní artritida apod.).

4. Diagnostika hallux rigidus

4.1. Fyzikální vyšetření

Pacienta do ambulance praktického lékaře nebo ortopeda přivádí bolestivost přednoží. Bolest je nejčastěji v místě prvního MTP, ale může být pacientem lokalizována i do laterální strany přednoží při nepřiměřeném zatěžování zevní strany nohy při nefunkčnosti prvního paprsku.

Diagnostika hallux rigidus je založena na důkladném odběru anamnézy, klinickém vyšetření a provedení vyšetření pomocí zobrazovacích metod. V anamnéze pacienta pátráme po rodinné historii výskytu artrózy prvního MTP kloubu (Coughlin a Shurnas 2003), po úrazech v oblasti přednoží, systémových onemocněních pojiva či výskytu infekčních a krystalových artropatií. Dále je důležité zhodnotit pohybové aktivity, které vykonával v minulosti a dále současné pohybové nároky pacienta.

Z hlediska subjektivních obtíží si pacienti nejčastěji stěžují na bolesti lokalizované do oblasti prvního metatarsofalangového skloubení a progresi omezení rozsahu jeho pohybu. Bolest je zprvu vnímána při maximální dorsální a plantární flexi, a to zejména při sportovní zátěži. Stav je často způsoben otlaky a kontaktem dorsálních osteofytů při dorziflexi v prvním MTP skloubení či tlakem obuvi na první MTP kloub. Při plantární flexi dochází naopak k napětí kloubního pouzdra a šlachy extenzoru palce přes okrajové osteofyty. V pokročilejších stádiích se může bolest projevovat i již při minimálním pohybu nebo pouhém zvýšení tlaku v kloubu (při stoji na postižené končetině). Bolest může být pacientem lokalizována též plantárně, a to v případě artrotického postižení sezamských kůstek.

Při klinickém vyšetření je potřeba pacienta vyšetřovat naboso a klinický nález vždy srovnat s kontralaterálním přednožím. Pacienta vyšetřujeme v sedě, ve stoji, v zátěži při chůzi a na lůžku. V zátěži sledujeme stereotyp chůze a jeho případné změny při bolestivosti prvního MTP skloubení (Dananberg 1986, Giannini et al. 2004). Všimáme si celkového postavení přednoží a přítomnosti eventuálních deformit, jako je pes planus či pes cavus (Coughlin a Shurnas 2003). Hodnotíme postavení patní kosti a stav celého komplexu lýtkového svalstva a napětí Achillovy šlachy.

Na lůžku se pak zaměřujeme na vyšetření samotného prvního MTP skloubení. Je třeba zhodnotit přítomnost tvarových a osových deformit MTP kloubu, přítomnost kožních otlaků, kvalitu kožního krytu. Palpačně vyšetřujeme bolestivost v oblasti mediální prominence hlavice a osteofytů, palpujeme oblast sezamských kůstek a vyšetřujeme jejich pohyblivost. Dále palpujeme průběh šlachy dlouhého flexoru a extenzoru palce. Zcela zásadní

je vyšetření pohybu prvního MTP skloubení a jeho bolestivost, které nám umožní určit správný terapeutický postup. Hodnotíme, zda je bolest přítomna v celém rozsahu pohybu či pouze na limitu dorzální či plantární flexe. V neposlední řadě je nutné vyšetřit stav a hybnost interfalangového kloubu palce, jehož zachovalá funkce je rovněž velmi podstatná, zvláště pak při indikaci provedení artrodézy prvního MTP kloubu.

Kontrakturu lýtkového svalstva vyšetřujeme pomocí Silferskiöldova testu (Silferskiöld 1924). Pacienta při testu vyšetřujeme v poloze na zádech při plně nataženém kolenním kloubu a měříme maximální dorzální flexi v hlezenním kloubu. Poté převedeme vyšetřovanou končetinu do 90° flexi v kolenním kloubu a opět měříme pasivní dorzální flexi hlezna. Pokud v této poloze dojde ke zvýšení dorzální flexe hlezna je test hodnocen jako pozitivní.

Klinický nález je v počátečních stádiích deformity omezen na známky synoviality MTP skloubení, otok a palpační bolestivost. V pokročilejších stádiích dochází k viditelné dekonfiguraci kloubu a rozvojem okrajových osteofytů. Mohou být přítomné kožní otlaky nad prominujícími částmi kloubu. Při vyšetření rozsahu hybnosti nalézáme v počátečních stádiích pouze omezení dorzální flexe. S progresí choroby se rozsah pohybu v kloubu zmenšuje a stává se více bolestivým. Stav může vyústit až v úplnou ankylózu kloubu.

4.2. Zobrazovací metody

Rentgenové vyšetření je nedílnou součástí diagnostiky hallux rigidus. Provádíme vždy zátěžové snímky ve dvou projekcích, a to předozadní (AP) a v bočné projekci (obr 10). Jako doplněk diagnózy, zvláště pak časných stadií hallux rigidus může pomoci projekce na sezamské kůstky, provedená při maximální dorsiflexi prvního MTP kloubu s RTG paprskem směřujícím kolmo na hlavičku prvního metatarsu (obr. 10). Pokročilejší stadia hallux rigidus však tuto projekci znemožňují, a to vzhledem k výrazně omezené dorzální flexi palce v MTP kloubu.



Obr. 10: Rentgenové snímky pacienta s hallux rigidus. Předozadní snímek vlevo, boční snímek vpravo nahoře a axiální snímek se zaměřením na sezamské kosti vpravo dole

Na rentgenových snímcích můžeme pozorovat zúžení kloubní štěrbin, oploštění a rozšíření hlavičky prvního metatarsu v AP projekci, tvorbu osteofytů na okraji kloubních ploch a subchondrální sklerotizaci. Výraznější okrajové osteofyty nalézáme většinou na laterálním okraji MTP skloubení. Rozvoj subchondrálních cyst, oploštění baze proximální falangy či artrotické změny sezamských kůstek můžeme pozorovat v pokročilejších stádiích onemocnění. Na AP projekci dále hodnotíme vzájemnou délku metatarsů, lokalizaci okrajových osteofytů či případných dalších změn, jako například patologické fraktury ostatních metatarsů z přetížení.

Bočná projekce nám pak upřesňuje správné určení rentgenového stadia onemocnění a zvolení vhodné terapie. Při hodnocení pouze AP projekce, mohou dorzální osteofyty překrytím kloubní štěrbin vytvářet iluzi pokročilejšího stadia choroby, než vidíme na bočním snímku. Bočná projekce nám umožní udělat si přesnou představu o stavu kloubní štěrbin, která bývá u hallux rigidus významněji redukována ve své dorzální polovině. Přesně provedená bočná projekce navíc umožňuje hodnotit elevaci prvního metatarsu, a to porovnáním dlouhé osy prvního a druhého metatarsu. Meyer (Meyer et al. 1987) stanovil, že za fyziologických podmínek je elevace prvního MTT do 5 mm (obr. 11). S progredujícím

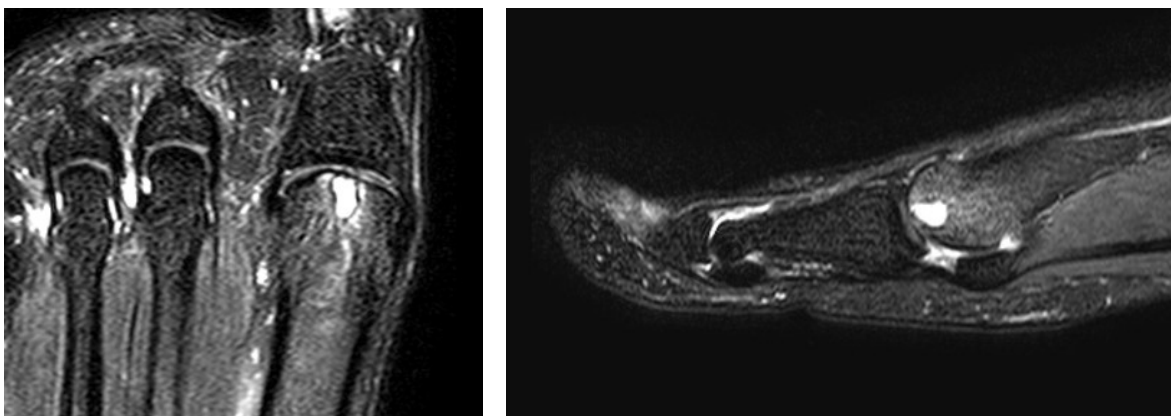
stadiem hallux rigidus a sagitální nestabilitou prvního paprsku nohy dochází k postupné elevaci prvního metatarsu při zátěži.



Obr. 11: Boční zátěžový RTG snímek přednoží. Výrazná elevace prvního metatarsu.

Vyšetření výpočetní tomografií (CT) nám může upřesnit nález na prvního MTP kloubu a na sezamských kůstkách. Může být užitečné při úvaze nad volbou výkonu, a to mezi výkonem zachovávajícím MTP skloubení či jeho znehybněním.

Vyšetření nukleární magnetickou rezonancí (NMR) nepatří mezi standardně užívané vyšetřovací metody u pacientů s hallux rigidus (Schweitzer et al. 1999). Toto vyšetření může verifikovat diagnózu v případě podezření na osteochondrální defekt a pomoci s plánováním jeho ošetření (obr 12). Často se stává, že zejména mladí pacienti (McMaster 1978) jsou dlouhodobě léčeni pro bolesti a rigiditu MTP skloubení s minimálními změnami na RTG, a při neúspěchu konzervativní léčby se na NMR prokáže výrazný osteochondrální defekt.



Obr. 12: Vyšetření pacienta s hallux rigidus nukleární magnetickou rezonancí. Osteochondrální defekt a pseudocysta hlavičky první nártní kosti.

Na naší klinice jsme zařadili do vyšetřovacích metod vyšetření na dynamickém pedobarografu. Pacient opakovaně naboso přechází vyšetřovací desku, která snímá dynamicky se měnící tlaky v oblasti planty. Snahou je objektivizovat rozložení tlaků a eventuální přetížení v oblasti metatarsů a jednotlivých MTP kloubů v různých fázích krokového cyklu, zvláště při podezření na sekundární metatarsalgie.

4.3. Klinické klasifikace

Klasifikačních schémat hallux rigidus byla navržena celá řada. Tato schémata byla sestavena na základě hodnocení rentgenologických a klinických nálezů, a to jak samostatně či v jejich kombinaci. V odborné literatuře můžeme najít na 18 různých klasifikačních schémat, publikovaných od roku 1930. Jednotlivé klasifikace se vzájemně často překrývají, obsahují různý počet stupňů stadia choroby a jejich přínos pro klinickou praxi je různý.

Existují schémata řadící stupeň onemocnění od 2 až do 5 stupňů. Zvláště pak klasifikace z první poloviny 20. století se jeví jako nedostatečné, a to z důvodu stručného a velmi nepřesného popisu klinických příznaků, která činí jejich pochopení složitým (Lambrinudi 1938, Jack 1940).

Z modernějších klasifikací můžeme uvést například čistě radiologickou klasifikaci Hattrupa a Johnsona (Hattrup a Johnson 1988), uveřejněnou v roce 1988. Autoři rozdělili onemocnění do třech stádií, přičemž první stadium je charakterizováno lehkými změnami s tvorbou minimálních osteofytů a zachovalou kloubní šterbinou. Druhý stupeň charakterizuje nález středně výrazných změn. Je přítomná tvorba středně velkých osteofytů na hlavici prvního metatarsu a proximální falangy, je přítomna částečně redukovaná kloubní šterbina a je evidentní přítomnost subchondrální sklerotizace či cyst. Třetí stadium je charakterizováno výraznou kostní proliferací, významnou redukcí až vymizením kloubní šterbiny, přítomností volných tělísek v kloubu či přítomností výrazné dorzální osifikace.

Další klasifikací, která došla výraznějšího uplatnění je **Regnauldova klasifikace** (Regnauld 1986), publikována v roce 1986. Regnauld navrhl celkem 4 stadia onemocnění na základě jednoduchých klinických a radiologických kritérií (obr. 13). První stadium je charakterizováno pouze funkčním omezením prvního MTP kloubu bez jasných degenerativních změn na RTG snímcích. Ve druhém stadiu je popisováno oplošťování hlavičky prvního metatarsu, přítomnost osteochondrálních defektů, bolestivé maximální pozice kloubu a drobná dorzální prominence. Třetí stadium je určeno jako těžké oploštění hlavičky metatarsu, tvorba výrazných osteofytů, zužování kloubní šterbiny a přítomná bolest v průběhu celého rozsahu pohybu. Čtvrté stadium je spojováno s výraznou destrukcí kloubu se zánikem

kloubní štěrbin, přítomností volných tělísek, mohutné osteofyty a deformita prvního MTP kloubu a rozsah pohybu menší než 10 stupňů.



Obr. 13: Jednotlivé stupně hallux rigidus na RTG snímcích dle Regnauldovy klasifikace

Za nejrozšířenější a obecně uznávanou klasifikaci, používanou i na našem pracovišti, lze považovat klinicko-radiologickou klasifikaci dle Coughlina a Shurnase publikovanou 2003 (Coughlin a Shurnas 2003). Tato klasifikace rozlišuje **5 stupňů hallux rigidus** označovaných jako Grade 0 až 4 (obr. 14). Klasifikace se snaží komplexně zhodnotit klinický nález co do rozsahu dorsiflexe prvního MTP kloubu, rentgenologický nález a rovněž zohlednit subjektivní obtíže pacienta.

TABLE I Clinical-Radiographic System for Grading Hallux Rigidus			
Grade	Dorsiflexion	Radiographic Findings*	Clinical Findings
0	40° to 60° and/or 10% to 20% loss compared with normal side	Normal	No pain; only stiffness and loss of motion on examination
1	30° to 40° and/or 20% to 50% loss compared with normal side	Dorsal osteophyte is main finding, minimal joint-space narrowing, minimal periarticular sclerosis, minimal flattening of metatarsal head	Mild or occasional pain and stiffness, pain at extremes of dorsiflexion and/or plantar flexion on examination
2	10° to 30° and/or 50% to 75% loss compared with normal side	Dorsal, lateral, and possibly medial osteophytes giving flattened appearance to metatarsal head, no more than 1/4 of dorsal joint space involved on lateral radiograph, mild-to-moderate joint-space narrowing and sclerosis, sesamoids not usually involved	Moderate-to-severe pain and stiffness that may be constant; pain occurs just before maximum dorsiflexion and maximum plantar flexion on examination
3	≤10° and/or 75% to 100% loss compared with normal side. There is notable loss of metatarsophalangeal plantar flexion as well (often ≤10° of plantar flexion)	Same as in Grade 2 but with substantial narrowing, possibly periarticular cystic changes, more than 1/4 of dorsal joint space involved on lateral radiograph, sesamoids enlarged and/or cystic and/or irregular	Nearly constant pain and substantial stiffness at extremes of range of motion but not at mid-range
4	Same as in Grade 3	Same as in Grade 3	Same criteria as Grade 3 BUT there is definite pain at mid-range of passive motion

*Weight-bearing and anteroposterior and lateral radiographs are used.

Obr. 14: Tabulka z originální publikace s klasifikací hallux rigidus autorů Coughlin a Shurnas.

Grade 0 je definován omezením rozsahu pohybu při dorsiflexi palce nohy a je v rozsahu 40° až 60° tj. snížením o 10 až 20 % v porovnání se zdravou stranou. Subjektivně má pacient pocit ztuhlosti palce, ale je bez bolestí. **Grade 1** je charakterizován dorziflexí v rozsahu 30° až 40° či její snížením od 20 % až 50 % při porovnání se zdravou stranou. Na RTG snímku je to nález lehkého oploštění hlavičky prvního metatarsu, subchondrální sklerotizace a minimální zúžení kloubní štěrbiny. Subjektivně pacient hodnotí obtíže jako lehkou či občasnou bolest a pocit ztuhlosti palce, bolestivá je maximální dorsální a plantární flexe. **Grade 2** popisuje dorziflexi v rozsahu 10° až 30° či zmenšení o 50 % až 75 %, na RTG nacházíme dorzální, laterální případně i mediální osteofyty, oploštění hlavičky prvního MTT. Na laterálním RTG snímku pak není postižena více než čtvrtina dorzální části kloubní štěrbiny. Sezamské kůstky nebývají ještě postiženy, ale mohou mít nepravidelný vzhled. Subjektivně pacient udává středně silnou až silnou bolest, která již může být konstantní. Při vyšetření je hybnost prvního MTP kloubu bolestivá před dosažením maximální dorzální a plantární flexe. Ve stadiu **Grade 3** je dorziflexe již jen 10° či menší, nebo nižší o 75 % až 100 % při porovnání se zdravou stranou. Rovněž se projevuje již i výrazné snížení plantární flexe, která je často menší než 10°. Na snímcích nález odpovídá druhému stadiu, ale navíc můžeme pozorovat cystické defekty, zasažení dorzální části kloubní štěrbiny na laterálním snímku je více než 25 %. Pravidlem jsou cystické změny či nepravidelnost a rozšíření sezamských kůstek. Pacient pociťuje bolest téměř konstantně, hybnost je bolestivá téměř v celém rozsahu, vyjma minimálních exkurzí ve středním postavení. Poslední stádium **Grade 4** je navíc vyjádřeno pouze výraznou bolestivostí i při minimálním pohybu prvního MTP kloubu.

Na základě určení stádia deformity, subjektivních obtíží a očekávání pacienta volíme následnou léčbu a případný operační zákrok.

Pro ještě detailnější zhodnocení subjektivních a objektivních potíží pacienta eventuálně pro zhodnocení úspěšnosti léčby používáme skórovací systémy. Obecně akceptované a nejrozšířenější je AOFAS-HMI skóre (American Orthopaedic Foot and Ankle Society Hallux Metatarsophalangeal Interphalangeal Score) na obr. 15 (Kitaoka et al. 1994), které kombinuje hodnocení subjektivních obtíží pacienta a s klinickým nálezem. Hodnotí se intenzita přítomné bolesti, omezení pacienta při denních aktivitách, případné obtíže v nošení obuvi, rozsah pohybu prvního MTP kloubu, přítomnost otlaků, otok a osové postavení palce. Maximální možné skóre je 100 bodů. Výhodou tohoto skóre je možnost využití před a po operačním zákroku a můžeme tak objektivizovat úspěšnost provedeného typu výkonu.

Hallux Metatarsophalangeal-Interphalangeal Scale (100 Point Total)	
Pain (40 points)	
None	40
Mild, occasional	30
Moderate, daily	20
Severe, almost always present	0
Function (45 points)	
Activity limitations	
No limitations	10
No limitations of daily activities, such as employment responsibilities, limitation of recreational activities	7
Limited daily and recreational activities	4
Severe limitation of daily and recreational activities	0
Footwear requirements	
Fashionable, conventional shoes, no insert required	10
Comfort footwear, shoe insert	5
Modified shoes or brace	0
MTP joint motion (dorsiflexion plus plantarflexion)	
Normal or mild restriction (75° or more)	10
Moderate restriction (30°-74°)	5
Severe restriction (less than 30°)	0
IP joint motion (plantarflexion)	
No restriction	5
Severe restriction (less than 30°)	0
MTP-IP stability (all directions)	
Stable	5
Definitely unstable or able to dislocate	0
Callus related to hallux MTP-IP	
No callus or asymptomatic callus	5
Callus, symptomatic	0
Alignment (15 points)	
Good, hallux well aligned	15
Fair, some degree of hallux malalignment observed, no symptoms	8
Poor, obvious symptomatic malalignment	0

Obr. 15: American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Hallux Metatarsophalangeal Interphalangeal Score. Bodovací systém pro posouzení objektivních nálezů na přednoží a zhodnocení subjektivních potíží pacienta.

5. Konzervativní léčba hallux rigidus

Konzervativní terapie hallux rigidus je zaměřena především na zmírnění bolesti pociťovaných v oblasti přednoží. Základem terapie je podávání nesteroidních antirevmatik za účelem zklidnění bolestivé synoviality, lokální aplikace depotního kortikoidu, úprava obuvi s využitím speciálních ortopedických vložek a speciálních ortéz, které omezují bolestivý pohyb MTP kloubu a umožňují rozložení zátěže na přednoží. Úlevu a zklidnění synoviality mohou přinést i některé fyzikální rehabilitační metody, jako aplikace magnetoterapie, laseru či ultrazvuku. Součástí konzervativní terapie jsou rovněž režimová opatření. Pacientům nedoporučujeme aktivity, které kladou výrazné nároky na první MTP kloub, jako jsou skoky, běh, tanec či silové sporty.

Pozornost věnujeme rovněž úpravě obuvi (Sammarco a Nichols 2005). Vhodné je nošení obuvi s tuhou podrážkou, která omezí bolestivou dorziflexi prvního MTP skloubení. Dále pak obuv s dostatečně širokou špičkou tak, aby byl co nejvíce omezen tlak vyvíjený obuví na přednoží při chůzi. Další možností je změna přenosu váhy při chůzi a ro zejména v třetí fázi stojné části krokového cyklu. Za tímto účelem byly vyvinuty boty, které mají podrážku kolébkového tvaru (obr. 16). V propulsní části krokového cyklu se omezí bolestivá dorsální flexe palce nohy (Janisse a Janisse 2008). Jako zcela nevhodné se jeví vysoké podpatky, které staví MTP klouby do konstantní dorziflexe.



Obr. 16: Bota s kolébkovitou podrážkou (Rocker bottom shoe) sloužící pro „zhoupnutí“ v stojné fázi krokového cyklu

Konzervativní terapii lze užít v případě časných stadií choroby či tam, kde pacient nevnímá bolesti a omezení hybnosti MTP kloubu jako výrazný hendikep, ačkoli klinický a rentgenologický nálezní svědčí pro pokročilé stadium onemocnění.

Ačkoli je většina prací zaměřena na operační léčbu, můžeme nalézt studie, které referují velmi dobré výsledky konzervativní terapie. Grady (Grady et al. 2002) ve své velmi

rozsáhlé retrospektivní studii 772 pacientů s lehkými stadii hallux rigidus, bylo 428 pacientů (55 %) léčeno s úspěchem pouze konzervativně. Z takto léčených pacientů byla u celkem 362 pacientů (84 %) použita léčba ortézou.

V další publikované práci, dokládá Smith (Smith et al. 2000) et al. další úspěchy za užití konzervativní terapie. Pacientům byla především doporučena úprava obuvi se širokou špičkou. Při v průměru 14letém sledování 24 případů hallux rigidus u 22 pacientů došlo ke subjektivnímu zhoršení příznaku pouze u jednoho pacienta (7 %), ačkoli 67 % pacientů mělo evidentní radiologické známky progresu choroby. U jednoho pacienta byla pocíťována úleva, jeden pacient naopak udával progresi bolestí. 75 % pacientů navíc udávalo, že by se pro konzervativní postup rozhodlo znovu. I přes tyto slibné výsledky je v literatuře velmi slabá evidence pro užití konzervativní léčby pomocí úpravy obuvi, speciálních vložek či ortéz (Sammarco a Nichols 2005).

Rehabilitační péče může přinést zklidnění bolestivé synoviality prvního MTP kloubu. Z fyzikálních metod lze s úspěchem použít aplikaci ultrazvuku, magnetoterapie či elektroléčby. Doložených údajů v odborné literatuře o úspěšnosti těchto metod není mnoho. Shamus et al. (Shamus et al. 2004) prezentovali v roce 2004 ve své prospektivní studii celkem 20 pacientů s funkčním hallux limitus, kdy všem pacientům byla předepsána fyzikální terapie v podobě vířivky, aplikace ultrazvuku, mobilizace prvního MTP kloubu, protahování lýtkového svalstva a hamstringů a elektrická stimulace. Navíc byla k těmto metodám u 10 pacientů indikována mobilizace sezamských kůstek, cvičení na posílení flexoru palce. Po 12 rehabilitačních sezeních autoři dokládají ve skupině která absolvovala mobilizaci sezamských kůstek a posilovací cviky signifikantní zlepšení co do rozsahu pohybu MTP kloubu, zmírnění bolestí a zlepšení svalové síly flexoru palce. Na základě byť malého souboru autoři doporučují zařazení těchto cviků do konzervativní terapie funkčního hallux limitus.

Další konzervativní metodou, která našla v historii konzervativní léčby hallux rigidus částečné uplatnění byla manipulace v lokální anestezii s následnou aplikací depotního kortikoidu. Tento postup popsal poprvé v roce 1927 Watson-Jones (Watson-Jones 1927). Cílem manipulace bylo rozrušit kapsulárních adhezí prvního MTP kloubu, které jsou často jednou z příčin flekční kontraktury kloubu u hallux rigidus. V Solanově práci (Solan et al. 2001) z roku 2001 bylo této metodě podrobena 31 pacientů a celkem 37 MTP kloubů. Metoda se ukázala jako přínosná pouze krátkodobě a pouze u časných stádií hallux rigidus. Pacienti s prvním stadiem onemocnění pocíťovali úlevu po dobu 6 měsíců od výkonu. Pacienti v druhém stadiu choroby pak již jen 3 měsíce.

Další metodou, která je často používaná, je intraartikulární injekce kyseliny hyaluronové. Je referována její schopnost zbrzdit progresi choroby a je uznáván její protektivní vliv na kloubní chrupavku. Ve studiích provedených na kolenních kloubech byl prokázán vliv na zmírnění synoviální zánětlivé reakce, zvýšení hustoty chondrocytů v kloubní chrupavce a zlepšení co do rozsahu a stupně chondrálních lézí 6 měsíců od aplikace (Frizziero et al. 1998). V dostupné literatuře neexistuje mnoho podkladů o užití tohoto typu přípravků při léčbě hallux rigidus, avšak dostupné práce užití viskosuplementace do jisté míry podporují.

Úspěšné užití hyaluronátu dokládá studie Petrella and Cogliano z roku 2004 (Petrella a Cogliano 2004). Léčeno bylo 47 aktivních golfistů s nálezem hallux rigidus stupně 1 až 3 dle Regnaudovy klasifikace. Aplikována byla jedna injekce týdně po dobu 8 týdnů. Při hodnocení výsledků 9 týdnů od ukončení série přetrvával pozitivní efekt na zmírnění klidových bolestí, bolestí při chůzi a zlepšení rozsahu pohybu. Efekt vydržel až 16 týdnů od aplikace a zlepšení hybnosti přetrvávalo déle, i když bolest se vrátila do stavu před aplikací. Autoři užití viskosuplementace pokládají za efektivní metodu při léčbě hallux rigidus s dobrým efektem na bolesti pacienta.

Signifikantní zmírnění bolestí po aplikaci viskosuplementace prezentují i Maher and Price (Maher 2007). Referují o půlročním trvání účinku u 6 ze 14 pacientů. Jedná se ale o studii s poměrně malým počtem pacientů. Dobrý efekt viskosuplementace popírají Muntenau et. Al (Munteanu et al. 2011), kteří publikovali randomizovanou placebem kontrolovanou studii s aplikací hyaluronátu sodného. Při hodnocení bolestí pacientů 1, 3 a 6 měsíců od aplikace injekce nebyl prokázán výrazný rozdíl mezi aplikací placebo a hyaluronátu.

V další srovnávací prospektivní studii Pons (Pons et al. 2007) a kolegové srovnávali efekt aplikace hyaluronátu sodného v porovnání s aplikací triamcinolonu acetonidu u 37 pacientů. Pacienti vykazovali první stadium choroby na RTG dle klasifikace Karasick a Wapnera. U obou skupin došlo 3 měsíce po aplikaci obou přípravků ke zmírnění bolestí a zlepšení funkce prvního MTP kloubu. Ve skupině pacientů s aplikací hyaluronátu bylo signifikantně zlepšeno vnímání bolestí. Efekt nicméně nepřetrvával a po roce většina pacientů dospěla k chirurgickému řešení.

Intraartikulární aplikace depotního kortikoidu v léčbě hallux rigidus může mít své opodstatnění při potřebě zklidnění zánětlivé složky onemocnění, avšak dlouhodobý efekt nelze očekávat. Depotní kortikoid je nicméně nutné aplikovat uvážlivě, neboť opakovaná aplikace může akcelarovat progresi degenerativních změn. Z dostupných studií se aplikace depotního kortikoidu jeví jako jistá možnost úlevy od bolestí, ale opět s dočasným efektem.

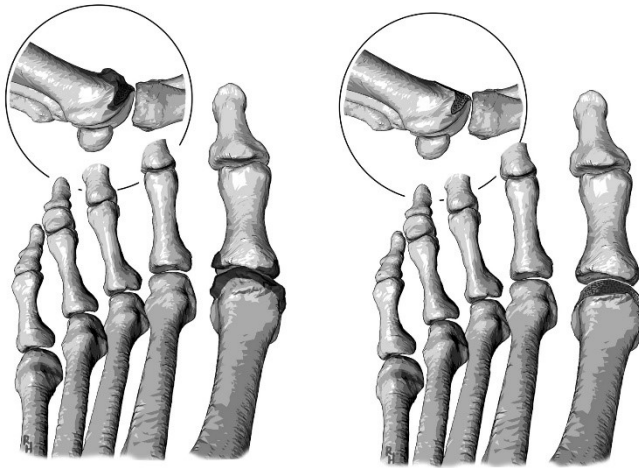
6. Operační léčba hallux rigidus

Vzhledem k omezeným možnostem konzervativní terapie byla velká pozornost zaměřena i na rozvoj operační léčby. Byla navržena celá řada postupů, které mají za cíl poskytnout dostatečnou úlevu od bolesti a zlepšení funkce prvního prstu. Operace lze rozdělit na výkony, které zachovávají první MTP kloub a na operace, které jej destrukují. Mezi první řadíme odstranění okrajových osteofytů s uvolněním kloubu, takzvanou cheilectomii, dále nejrůznější osteotomie prvního metatarsu a proximální falangy a kloubní náhrady. Druhou skupinou výkonů je pak resekční artroplastika a znehybnění kloubu – artrodéza.

6.1. Kloub zachovávajících operace

Cheilectomie je velmi často užívaná operační technika, která má za cíl resekovat okrajové osteofyty a tím přinést patřičnou úlevu od bolesti a zlepšit rozsah pohybu v MTP kloubu (obr. 17). Formace osteofytů bývá při hallux rigidus typicky na dorzálním okraji kloubní ploch prvního MTP skloubení. Jejich následný impingement při dorsální flexi vede k bolestem a omezení hybnosti. Obtíže může dorzální osteofyt činit i při plantární flexi, kdy se přes výrůstky napínají kloubní pouzdro a šlacha extenzoru palce.

Operace, kdy se odstraňují pouze osteofyty kloubu, je vhodná pro pacienty v počátečních stádiích hallux rigidus dle Coughlina (Grade 1 a 2). Dále pak u pacientů, kdy je bolest evidentně vyvolávána přítomností osteofytů, jejich impingementem či jsou podkladem bolestivých otlaků. Cheilectomie by neměla být indikována v případech, kdy je kloub bolestivý v celém rozsahu pohybu. Z hlediska techniky samotného výkonu, byla vyvinuta celá řada modifikací. Doporučována bývá nejčastěji resekce 15 % až 20 % dorzálního aspektu hlavičky prvního metatarsu k dosažení větší úrovně dorziflexe (Hattrup a Johnson 1988). Někdy bývá doporučována resekce až 40 % hlavičky metatarsu (Seibert a Kadakia 2009), nicméně takto velký zásah do hlavičky metatarsu vede k jejímu oslabení, může zapříčinit instabilitu prvního MTP kloubu a vést k nepříjemnému přeskokování v kloubu (Seibert a Kadakia 2009). Cheilectomii je možné provést i artroskopicky nebo perkutánním miniinvazivním přístrojem pomocí speciálních fréz, které odstraňují okrajové osteofyty z malých kožních incizí za rentgenové kontroly.



Obr. 17: Schéma cheilectomie prvního MTP skloubení, kdy se odstraňují výrůstky na okraji kloubních ploch.

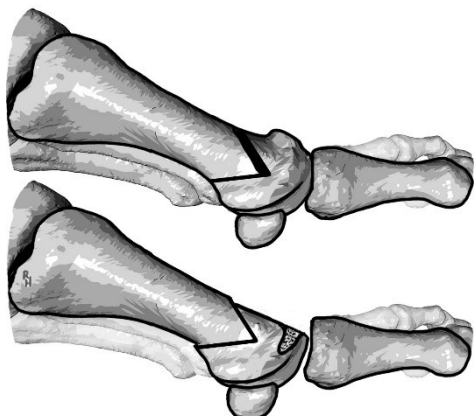
Výhodou cheilectomie je její relativní jednoduchost, nenáročnost pro pacienta, kdy lze výkon provést i v lokální anestezii a rychlá rekonvalescence. Operovaný kloub lze začít zatěžovat již po zhojení operační rány. Dobré výsledky cheilectomie jsou při správné indikaci referovány i světovou literaturou (Mann et al. 1979, Mann a Clanton 1988, Easley et al. 1999, Coughlin a Shurnas 2003). Nevýhodou je pak častá recidiva formace osteofytů různě dlouhou dobu po výkonu a nevhodnost výkonu pro pokročilejší stadia hallux rigidus.

V operační léčbě hallux rigidus byla rozpracována celá řada **osteotomií prvního metatarsu a proximálního článku palce**. Některé stavy v oblasti prvního praprsku nohy, jako je nadměrná délka prvního metatarsu, metatarsus primus elevatus či hypermobilita prvního metatarsu s nestabilitou prvního tarsometatarsálního skloubení mohou vést v průběhu let k rozvoji hallux rigidus. Rovněž napětí měkkých tkání, zejména pak zvýšený tonus musculus triceps surae mohou vést ke stavu, označovaným v literatuře jako funkční hallux rigidus či hallux limitus (Dananberg 1986, Roukis et al. 1996). Jedná se o stav, kdy je pohyb v prvním MTP kloubu bez omezení, ale v zátěži je pohyb omezen. Zároveň nejsou přítomny degenerativní změny MTP kloubu. Role osteotomií v operační léčbě spočívá na předpokladu, že lze pomocí osteotomie dosáhnout dekomprese kloubu, případně uvolnit omezený rozsah pohybu prvního MTP kloubu.

V případě, že k zvýšenému tlaku v prvním MTP skloubení přispívá delší první metatars, je velmi rozšířeným výkonem Youngswickova abreviační osteotomie (Youngswick 1982). Jedná se o osteotomii typu chevron tvaru V s úhlem mezi rameny osteotomie 60° (obr. 18).

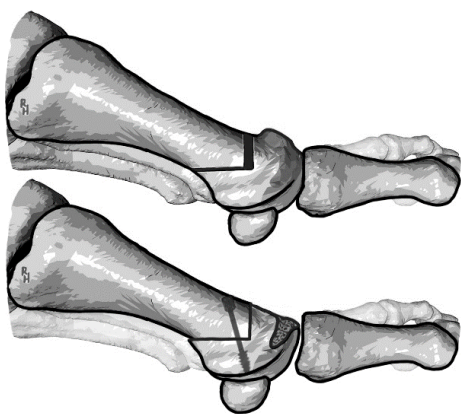
Operujeme z mediálního přístupu, kdy po uvolnění kloubu a snesení případných osteofytů snášíme mediální prominenci hlavičky metatarsu. Osteotomie ve tvaru V odděluje

hlavici nártní kosti od jeho těla. Z horního ramena chevron osteotomie se vytíná plátek kosti v šíři 3 mm až 4 mm (obr. 18).



Obr. 18: Abreviační osteotomie dle Youngswicka. Distální část nártní kosti se protíná chevron osteotomií ve tvaru V pod úhlem 60°.

Po redukci prostoru v osteotomii je výsledná délka nártní kosti kratší než původní. Centrum otáčení v MTP skloubení se tímto způsobem také plantarizuje a dochází tak k uvolnění dorsální flexe. Nevýhodou této originální techniky z konce 70. let je její primární nestabilita. Proto se v současné době používá ke zkrácení nártní kosti L chevron typ osteotomie. Ramena osteotomie svírají 80° až 90° (obr. 19). Dlouhé plantární rameno zasahuje dále do těla kosti a poskytuje tak větší kontaktní plochu mezi fragmenty.

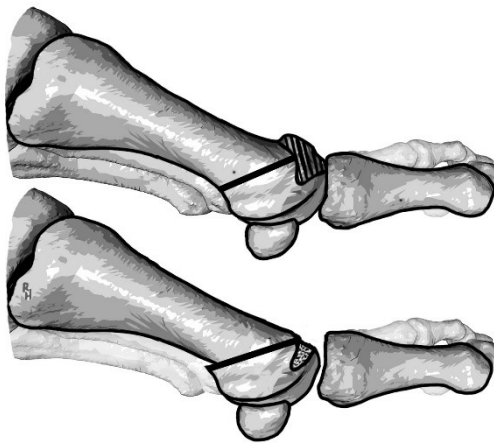


Obr. 19: Abreviační osteotomie ve tvaru L chevron. Distální část nártní kosti se protíná chevron typem osteotomie ve tvaru L pod úhlem 90°.

Při osteotomii je nutné pečlivě chránit cévní zásobení hlavice metatarsu, které se nachází plantárně na rozhraní hlavice a těla. Z dorzálního ramene osteotomie vytínáme opět plátek kosti v potřebné šíři (standardně 3 mm až 4 mm) tak, abychom docílili potřebného zkrácení metatarsu. Osteotomii fixujeme jedním šroubkem. Za rizika výkonu bývá považována avaskulární nekróza hlavičky prvního metatarsu zapříčiněná nešetrnou operační technikou. Na naší klinice jsme nicméně tuto komplikaci nezaznamenali. Další komplikací je excesivní zkrácení prvního metatarsu, které má za následek insuficienci prvního paprsku s

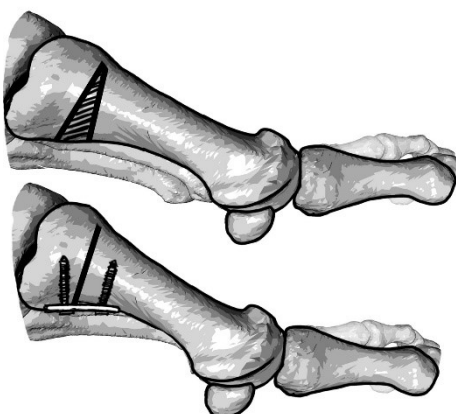
rizikem rozvojem metatarsalgie. Naplánování rozsahu zkrácení vyžaduje značnou zkušenost a pečlivé předoperační plánování. Existují i další varianty abreviačních osteotomií, kdy se jednotlivé výkony liší pouze v malých detailech, jako je úhel mezi jednotlivými rameny osteotomie či jejich délka. Jako příklad můžeme uvést osteotomii dle Greena a Watermanna (Dickerson et al. 2002), kdy ramena spolu svírají úhel 135°. Tuto osteotomii nepoužíváme a preferujeme variantu dle Youngswicka.

Další distální metatarsální osteotomií je Lundeem popsaná šikmá distální osteotomie hlavičky metatarsu (Lundeen a Rose 2000) (obr. 20). Je vedena od dorzálního konce kloubní plochy hlavičky prvního metatarsu směrem proximálním a plantárním pod úhlem cca 30° k horizontále. Hlavice nártní kosti je pak posunuta plantárně, čím je dosaženo dekomprese kloubu. Dekomprese kloubu pomocí plantarizace hlavičky může mít nicméně zvýšit tlak na plantární ploténku a sezamské kůstky s následným rozvojem bolestí.



Obr. 20: Abreviační osteotomie dle Lundeena. Distální část nártní kosti se protíná jedno rovinnou osteotomii pod úhlem 30°.

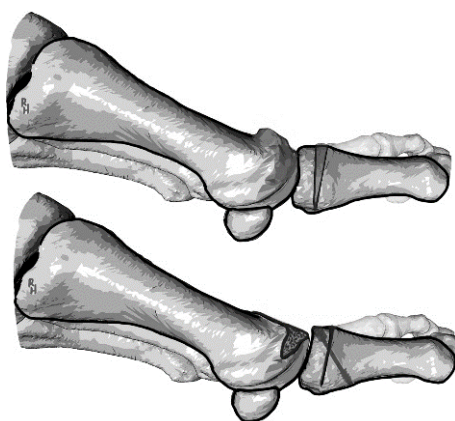
U některých pacientů se symptomatickým hallux limitus s omezením dorzální flexe v MTP kloubu, bývá některými autory (Shariff a Myerson 2015) doporučována flekční klínovitá osteotomie baze prvního metatarsu (obr. 21). Výkon má za cíl zmenšit elevaci prvního metatarsu a sekundárně pak zmenšit napětí aponeurosis plantaris a plantárních svalů s následným uvolněním rozsahu dorzální flexe. Výkon je indikován u pacientů se symptomatickým hallux limitus, s elevací prvního metatarsu a bez nálezu degenerativních změn v oblasti prvního MTP kloubu.



Obr. 21: Close wedge osteotomie base prvního metatarsu k ovlivnění elevace prvního metatarsu.

Role osteotomie prvního metatarsu v léčbě incipientních stádií není zatím zcela ujasněna. Tyto výkony předpokládají kauzální vliv mezi excesivní délkou prvního metatarsu a jeho elevací a rozvojem hallux rigidus a snaží se tento stav řešit.

V oblasti proximální falangy nabyla většího rozšíření klínovitá closing wedge dle Moberga (obr. 22). Tento typ osteotomie byl původně navržen Bonneyem a Macnabem (Bonney a Macnab 1952) v roce 1952 a následně popularizován Mobergem (Moberg 1979) v roce 1979, pod jehož jménem je všeobecně známa. Výkon bývá často doplněn o cheilectomii k dosažení maximálního zlepšení dorziflexe.

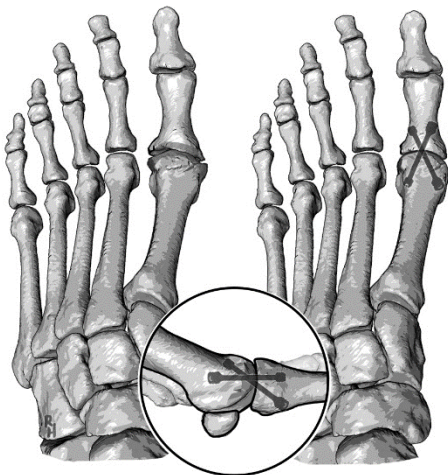


Obr. 22: Mobergova osteotomie proximálního článku pace nohy.

Indikováni jsou pacienti se středním stupněm postižení hallux rigidus grade 2 a 3 dle Coughlina, kteří mají neomezenou plantární flexi a omezenou a bolestivou dorzální flexi. Principem operace je snaha o zlepšení dorzální flexe prvního MTP kloubu vlivem změny sklonu kloubní plochy baze proximální falangy. Změnou jejího sklonu dosáhneme zhoršení plantární flexe ve prospěch uvolnění flexe dorzální. Z tohoto důvodu jsou k výkonu kontraindikováni ti pacienti, u kterých omezena plantární flexe. Dalším efektem operace je též jistá úroveň dekomprese kloubu a při doplněné cheilectomii rovněž odstranění bolestivého impingementu dorzálních osteofytů. Operujeme z mediálního přístupu, ze kterého uvolňujeme bazi a tělo proximální falangy. Z dorzálního strany proximální falangy vytínáme klín na rozhraní base a těla článku. Při osteotomii se snažíme zachovat plantární kortikální kost k posílení stability osteotomie. Po redukci prostoru po vytnutí klínu fixujeme osteotomii jedním šroubkem zaváděným z mediální strany při okraji kloubní plochy baze falangy.

6.2. Kloub nezachovávající operace

Znehybnění prvního MTP kloubu je mnoha autory považováno za zlatý standard operační léčby u pokročilých stádií hallux rigidus. Bývá indikováno jako primární výkon u stupně 4 dle Coughlina, kdy je první MTP kloub kompletně destruován a zachovný výkon není možný. Dále pak výkon indikujeme u stupně 3, kde je ale značné omezení rozsahu pohybu. Mezi pacienty, kteří jsou indikováni k znehybnění, jsou také pacienti se systémovými onemocněními pojiva (např. revmatoidní artritidou) a pacienti s případnou přidruženou osovou deformitou či nestabilitou MTP kloubu. Artrodéza je často jediným řešením komplexních destrukcí kloubu po jiných typech operačních výkonů: selhání kloubní náhrady či stavy po již provedené korekční osteotomii. Podmínkou indikace artrodézy je fyziologická funkce interfalangového kloubu palce, který po artrodéze přebírá funkci nehybného MTP kloubu.



Obr. 23: Znehybnění prvního MTP skloubení pomocí dvou šroubů s užitím techniky resekce kloubních ploch cup and cone.

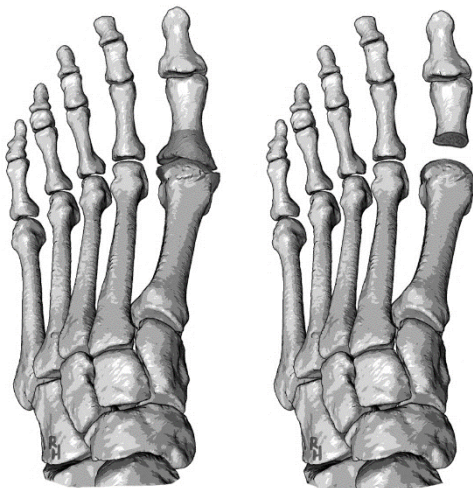
Z hlediska techniky provedení byla vyvinuta celá řada postupů. Nejčastěji se kloubní plochy opracovávají rotačními nástroji (rotační frézy) do sférických tvarů (obr. 23) při technice cup and cone (Kelikian 2005, Ellington et al. 2010). Další technikou je odstranění destruovaných kloubních ploch rovnými osteotomiemi, tj. metoda flat cuts (Mah a Banks 2009, Wassink a van den Oever 2009). S cílem o dosažení lepší stability po provedení resekci kloubu jsou popisovány i techniky, kdy je lavička metatarsu a baze proximální falangy zformována do tvaru klínu. Z hlediska osteosyntetického materiálu můžeme použít šrouby, paměťové skobky či speciálně upravené dlahy a při špatné kvalitě kosti lze artrodézu provést i pomocí Kirschnerových drátů. Na našem pracovišti máme dobrou zkušenost s technikou dvou zkřížených šroubů. Dlahovou osteosyntézu volíme při špatné kvalitě kosti či při revizních operacích s nutností řešení kostních defektů, například po selhané kloubní náhradě. V

poslední dekádě se objevují rovněž dobré výsledky při miniinvazivní technice provedení artrodézy (Hodel et al. 2020).

Pro dobrou funkci nohy po artrodéze je nutné docílit správného postavení palce. Kloub ztužujeme v lehké dorzální flexi (10° až 15°) (Kelikian 2005), aby byl usnadněn odval nohy při chůzi a lehké valgozitě přibližně 10° (Besse et al. 2010) aby palec nevadil v obuvi. Palec by měl být umístěn paralelně s druhým prstem nohy a neměl by se ho dotýkat (Fuhrmann 2011).

Výhodou artrodézy je při jejím zhojení stabilní, nebolestivý MTP kloub, kdy výsledky výkonu bývají velmi dobře hodnoceny i samotnými pacienty. Nevýhodou je ztráta pohyblivosti prvního MTP kloubu a lehký zkrat palce (Singh et al. 2008). Rizikem výkonu a nejčastější komplikací je pak nezhojení artrodézy a rozvoj pakloubu, který může být bolestivý. Dalším rizikem je špatné provedení artrodézy, kdy je postavení palce nesprávné a palec pak vadí v obuvi.

Velmi často používaným výkonem při chirurgické léčbě hallux rigidus je **resekční artroplastika** dle Kellera (Keller 1904). Původní výkon byl modifikován Brandesem v roce 1924 (Brandes 1929). Výkon spočívá v resekci baze proximálního článku palce nohy, cheilectomii a interpoziční plastice, kdy je do prostoru kloubu se po resekci vkládá dorzální část pouzdra a šlachy krátkého extenzoru palce nohy (obr. 24).



Obr. 24: Resekční artroplastika prvního MTP skloubení dle Kellera s odstraněním proximální třetiny prvního článku palce.

Správná technika je zcela klíčová pro upokojivý výsledek operace. Resekujeme maximálně čtvrtinu proximální falangy. Keller navrhnul resekci třetiny a Brandes poloviny článku palce. Příliš malá resekce může vést ke ztuhlosti a pooperačním bolestem. Naopak příliš velká resekce vede k nestabilitě palce, který se pak stává pouze nefunkčním přívěskem. Ačkoli popularita této operace přetrvávala do dnešních dní, neměla by být indikována u

mladých aktivních pacientů. Operace je vhodná pouze u starších pacientů s minimálními pohybovými nároky, u kterých má výkon přinést hlavně úlevu od bolesti. Častou komplikací tohoto výkonu je zkrat palce, nestabilita s rizikem rozvoje cock-up deformity, která je způsobena převahou extenzoru při porušení úponu krátkého flexoru palce (obr. 25).



Obr. 25: Cock-up deformita palce nohy po resekční artroplastice prvního MTP skloubení. Palec je nefunkční v elevaci nad podložkou.

Výsledkem je ztráta funkce prvního paprsku s rizikem rozvoje iatrogenní metatarsalgie při přetěžování ostatních metatarsů.

7. Historie náhrad prvního metatarsofalangového skloubení

Historie náhrad prvního MTP skloubení sahá do poloviny 20. století, kdy se objevily první modely implantátů, které měly za cíl se stát definitivním řešením pokročilých stupňů hallux rigidus. Od 50. let 20. století byla postupně vyvinuta celá řada modelů implantátů, které byly postupně zaváděny do klinické praxe. Během vývoje byla použita široká škála designů a materiálového složení implantátů. S rozvojem velmi úspěšné endoprotetiky velkých nosných kloubů, především kolenního a kyčelního kloubu, byla zřejmá snaha užití podobných materiálů i v případě prvního MTP kloubu.

Technika fixace náhrad a jejich implantace byla převzata od velkých nosných kloubů. Byly prováděny pokusy s cementovou technikou fixace implantátů až po necementové techniky. Nicméně problematika techniky kotvení náhrad prvního MTP kloubu se v průběhu vývoje ukázala jako velmi složitá. Vzhledem k velikosti zátěže, která je vyvíjena v průběhu lokomoce na relativně malý kloub, je dlouhodobé přežití implantátů extrémně závislé na jejich spolehlivém ukotvení ke kosti. Z tohoto důvodu fixace pomocí kostního cementu, která

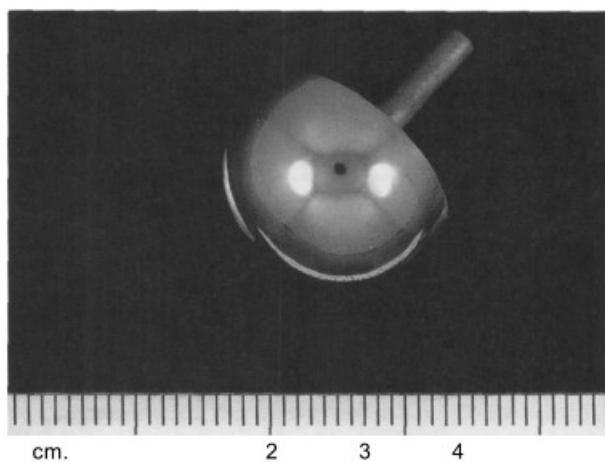
zaznamenala vynikající výsledky v oblasti endoprotetiky kyčelního a kolenního kloubu a dodnes zůstává v mnoha případech metodou volby, přinesla v oblasti MTP kloubu velmi neuspokojivé výsledky. I počáteční pokusy o necementovou fixaci implantátů vykazovaly velmi neuspokojivé výsledky a časná uvolnění.

Značná část necementových implantátů byla v minulosti založena na kotvení v měkké spongiózní kosti, což vedlo k časnému uvolnění. Až díky novým poznatkům o procesu osteointegrace implantátů do kosti bylo možné dosáhnout uspokojivého dlouhodobější ukotvení. Povrch implantátů byl tak speciálně upravován pro sekundární kotvení. Rovněž změna strategie implantace náhrad pomocí kontaktu s vnitřním povrchem kortikální kosti proximální falangy a prvního metatarsu vykazuje mnohem lepší výsledky pro primární kostní fixaci a sekundární kostní fixaci pomocí osteointegrace.

Implantáty lze rozdělit podle několika atributů a parametrů do různých skupin. Implantáty základně dělíme na hemiartroplastiky, totální náhrady a interpoziční plastiky.

7.1. Hemiartroplastiky

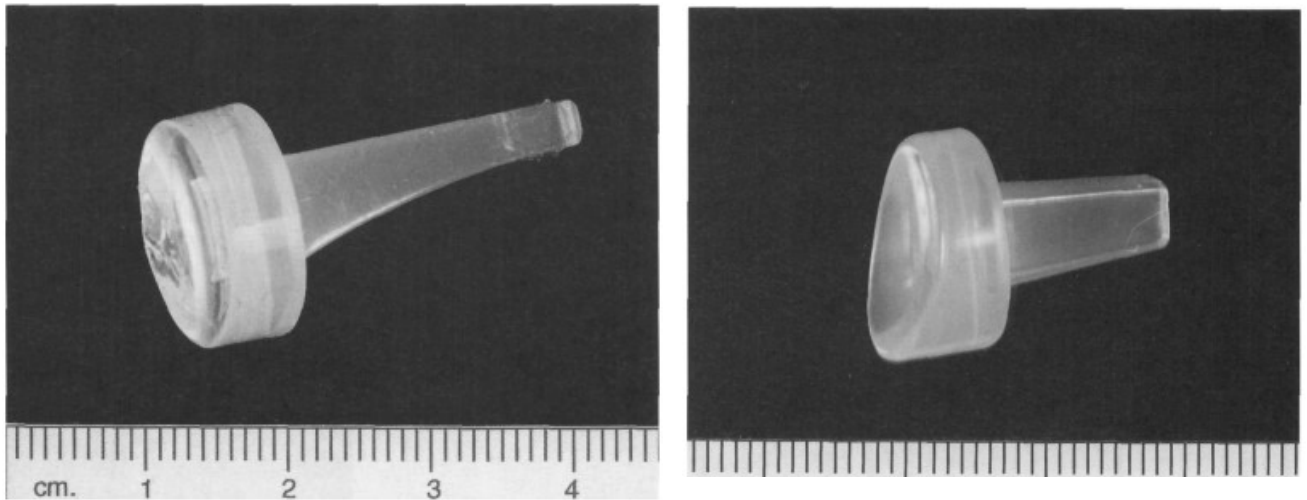
Náhrady prvního MTP kloubu se začaly objevovat v polovině 20. století. První pokusy sledovaly spíše koncept hemiartroplastiky. První pokus o náhradu provedl v roce 1951 Endler (Endler 1951), když se pokusil o náhradu baze proximální falangy pomocí implantátu vyrobeného akrylmethakrylátu. Téměř souběžně s Endlerem byla Swansonem prezentována první metalická necementovaná náhrada hlavice metatarsu hemisférického tvaru. V roce 1964 byla představena Seeburgerova duralová náhrada hlavice metatarsu (Seeburger 1964), kterou ve většině případů indikoval ke korekci deformity hallux valgus (obr. 26).



Obr. 26: Seeburgerova duralová náhrada hlavice

Po prvních neuspokojivých výsledcích Endlerovy náhrady baze proximální falangy a neúspěchu své metalické náhrady hlavice, zavedl Swanson do praxe svou první generaci

silastikových implantátů, kdy byla nejprve představena metatarsální hemiarthroplastika ve formě jednodřívového spaceru zaváděného do metatarsu. O dva roky později, tedy v roce 1967 představil silikonovou náhradu baze proximální falangy, která vyplňovala prostor v prvního MTP po resekční arthroplastice dle Brandese nebo Kellera (obr. 27). Cílem této náhrady byla obnova funkce zátěžové funkce prvního MTP kloubu. Nicméně již v krátkodobém sledování vykazoval implantát více než 50 % míru selhávání (Ris et al. 1988).



Obr. 27: Vlevo Swansonova silastiková hemiarthroplastika, Weilova hemiarthroplastika na obrázku vpravo.

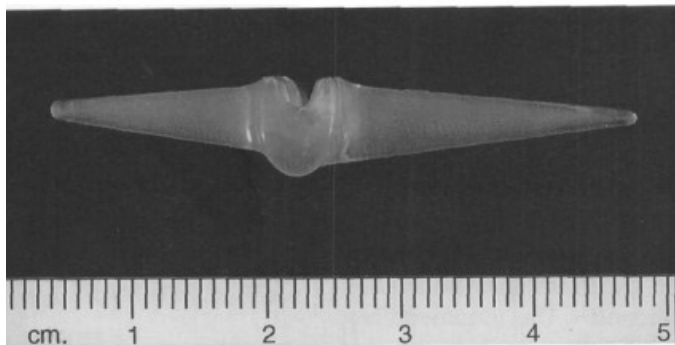
V roce 1977 představil svůj model silastikové hemiarthroplastiky Weil, která víceméně vychází ze Swansonova konceptu silastikové hemiarthroplastiky. Náhrada byla angulačně modifikována, kdy nový design měl zabránit často se vyskytujícímu abdukčnímu driftu u původní Swansonovy silastikové hemiarthroplastiky (obr. 27).

7.2. Totální náhrady prvního metatarsofalangového skloubení

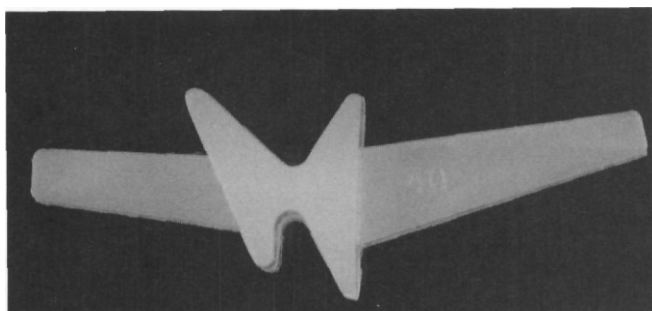
Vzhledem k úspěšnému použití silastiku při konstrukci náhrad v oblasti ruky, uvedl Swanson v roce 1974 svou druhou generaci silastikových implantátů, tedy dvoudřívový závěsný implantát stejné konstrukce (obr. 28), jako u implantátů pro interfalangové klouby ruky (Swanson 1973). Dalším pokusem o použití silastiku při konstrukci náhrad MTP kloubu byla například Sutterova stišťená metatarsofalangová endoprotéza, která měla zaúhlení 15° v sagitální rovině (Jarvis et al. 1986), aby byl po implantaci zachován deklinační metatarsofalangový úhel. Dále byla falangová část silastiku tvarovaná tak, aby byl po

implantaci ušetřen úpon šlachy flexor hallucis brevis, a tím dosažena plná flekční síla a správná funkce sezamských kůstek (obr. 29).

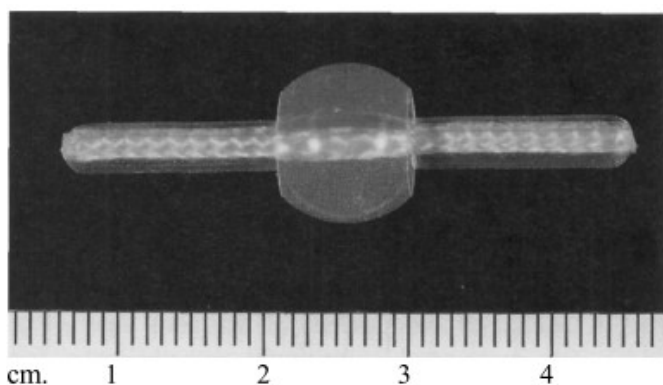
Další model univerzálního silastikového spaceru představil v roce 1977 Helal (Helal a Chen 1982). Jednalo se o kulový silikonový elastomer, posílený ve svém jádru a v oblasti metatarsálního a falangového dříku dacronovým jádrem (obr. 30).



Obr. 28: Swansonova silastiková dvoudříková protéza vlevo,



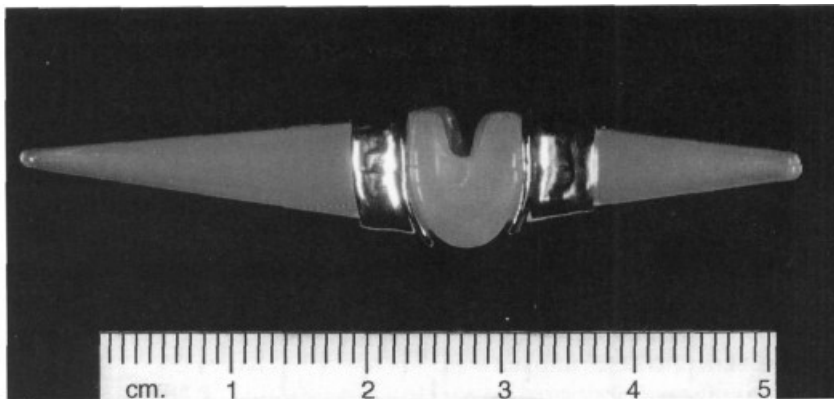
Obr. 29: Sutterova stišťená metatarsofalangová silastiková endoprotéza



Obr. 30: Helalova interpoziční plastika

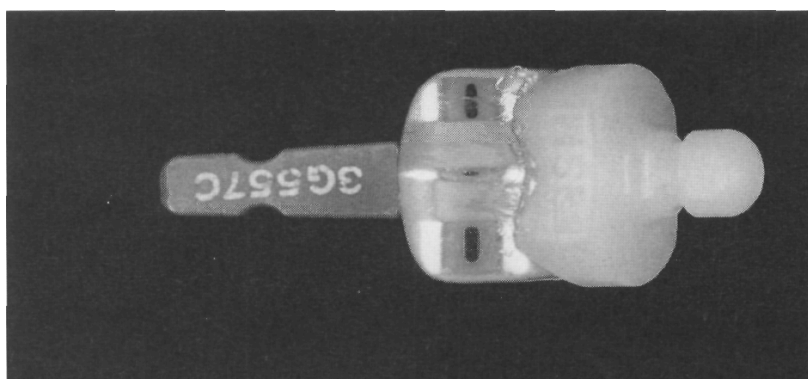
Silastikové náhrady poskytovaly vcelku uspokojivé výsledky v krátkodobém sledování s obstojnou úlevou od bolesti. Nicméně ve střednědobém sledování již pozorujeme

větší míru selhání (Kampner 1987, Granberry et al. 1991). Vlivem otěru docházelo k častému rozvoji synovialitidy a osteolytickým lézím. Časté byly i selhání (ruptury) implantátů. Dalším nedostatkem byla tvorba okrajových osteofytů na resekovaných kloubních plochách a dále pak oslabení plantární flexe, která pak pacienty limitovala v propulzní fázi krokového cyklu. Problém otěru a následné synovialitidy s osteolytickými lézemi vedl Swansona k myšlence na zvýšení ochrany silastikového implantátu a zamezení přímého kontaktu silastiku s kostí, a tím snížení otěru a ruptury implantátů. Vybavil tedy své implantáty ochrannými titanovými štítky (obr. 31). Dle Swansonova hodnocení výsledků z roku 1991 se zdá, že tato úprava podstatně zlepšila vlastnosti silastikových implantátů a pomohla zvýšit jejich životnost (Swanson et al. 1979).

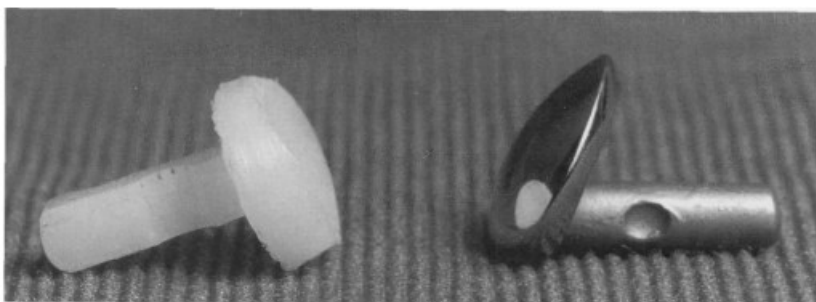


Obr. 31: Swansonova silastiková protéza s titanovými gromety pro ochranu protézy

Vývoj totálních anatomických náhrad započal v 70. letech minulého století. Weil a Smith navrhli v roce 1975 svůj koncept totální náhrady, vyráběné ve spolupráci s Richards Manufacturing (obr. 32). Skládala se z kovové metatarsální komponenty vyrobené z chirurgické oceli a polyethylenové falangové komponenty, vyrobené z vysokomolekulárního polyethylenu (ultra-high molecular weight polyethylene – UHMWPE). Náhrada byla užívána v indikaci hallux valgus a byla fixována kostním cementem. Implantát nicméně vykazoval vysokou incidenci uvolnění a nedošel většího uplatnění (Weil et al. 1984). Dalším cementovaným modelem totální náhrady podobného materiálového složení, tedy metatarsální komponenty z chirurgické oceli a falangové komponenty zhotovené z vysokomolekulárního polyethylenu, byla náhrada firmy DePuy (1981, obr. 33). Náhrada byla na základě klinických výsledků indikována pouze pro starší pacienty s malými pohybovými nároky Johnson (Johnson 1989). Výsledky náhrady nebyly o mnoho lepší ve srovnání s resekční artroplastikou (Johnson 1989).



Obr. 32: Weilův a Smithův design cementované totální náhrady prvního MTP kloubu z roku 1975.

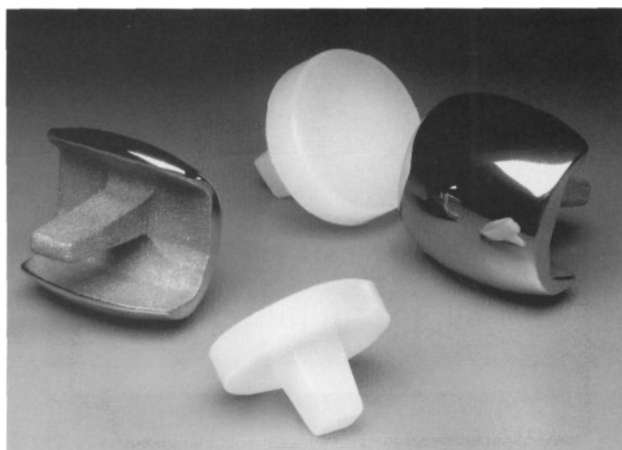
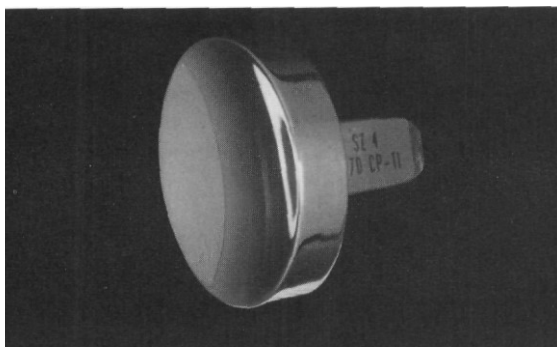


Obr. 33: Náhrada firmy DePuy

V roce 1983 byly provedeny klinické zkoušky Lubinusova implantátu, který se inspiroval designem náhrad, používaných u kyčelního kloubu (Lubinus 1983). Jednalo se o koncept cervikokapitální bipolární endoprotézy, za použití kobalt chromové slitiny a polyetylénu. Jednalo se nicméně o velmi nezdařilý koncept, kdy z celkem 22 implantací došlo k 16 selháním, především na podkladě kostní nekrózy.

Po neuspokojivých výsledcích s užíváním kostního cementu se vývoj definitivně začal ubírat směrem k necementové fixaci. V roce 1986 přišel Swanson s úspěšným modelem titanové náhrady baze proximální falangy, která se později stala vzorem v dalším vývoji pro mnoho nových implantátů (obr. 34). Dalším prezentovaným modelem v oblasti necementovaných implantátů byla Koenigova dvoukomponentová náhrada vyráběná firmou Biomet (obr. 35), která se snažila využít předností různých kovových slitin v oblasti endoprotetiky (Koenig 1990). Metatarsální komponenta měla artikulační povrch vyrobený z chrom-kobaltové slitiny, která byla známa pro své výhodné vlastnosti při artikulaci s vysokomolekulárním polyethylenem, ze kterého byla zhotovena falangová komponenta.

Kotvící část náhrady byla opatřena plasmatickým nástřikem titanu za účelem zlepšení osteointegrace.



Obr. 34: Swansonova titanová náhrada baze proximální falangy (vlevo)

Obr. 35: Koenigova dvoukomponentova endoprotéza (vpravo)

Další dvoukomponentové náhrady kombinující užití titanové slitiny a vysokomolekulárního polyethylenu představili například Merkle a Wyss v roce 1989.

V oblasti náhrad bylo nicméně experimentováno i s jinými materiály, než jsou různé slitiny kovů a vysokomolekulární polyethylen. Hetherington představil první zkušenosti s pyrokarbonovým implantátem v roce 1991. I přes velmi výhodné tribologické vlastnosti se tento materiál zatím není více rozšířen, a to z důvodu velmi vysoké ceny tohoto materiálu.

Giannini a Moroni představili v roce 1991 první necementovanou keramickou náhradu (obr. 36). Pro vysoké procento komplikací spočívající v uvolnění či zlomení implantátu bylo od tohoto typu náhrady v klinické praxi upuštěno (Dawson-Bowling et al. 2012).



Obr. 36: Keramická necementovaná náhrada MOJE.

V současné době je drtivá většina hemiartroplastik a totálních náhrad konstruována na principu necementové fixace. Vývoj směřoval ke zlepšování povrchů implantátů, které mají

za cíl zajistit svou speciální úpravou povrchu dlouhotrvající osteointegraci implantátu. Jako nejspolehlivější se v současnosti jeví porézní titanové povrchy s nástřikem hydroxyapatitu, které na podkladě principu vazebné osteogeneze skýtají velmi dobrou sekundární fixaci implantátů. Tento koncept je v současnosti též hojně využíván i v jiných oblastech endoprotetiky, zejména pak u totálních náhrad kyčelního kloubu. Současně se vyvíjejí nové tvary implantátů k zdokonalování jejich tvarů metatarsálních a falangových komponent a geometrii kloubních povrchů s cílem respektování anatomie a biomechaniky MTP kloubu.

Existují i vícekomponentové implantáty s cílem dosáhnout co největší modularity (samostatná kotvící a artikulární plocha), která usnadní správnou implantaci v daném konkrétním případě. Z moderních a v současnosti užívaných konceptů náhrad můžeme uvést například systémy ToeFit Plus, Bio-Action Great Toe Implant, Movement Great Toe System, RotoGlide a Reflection (obr. 37).



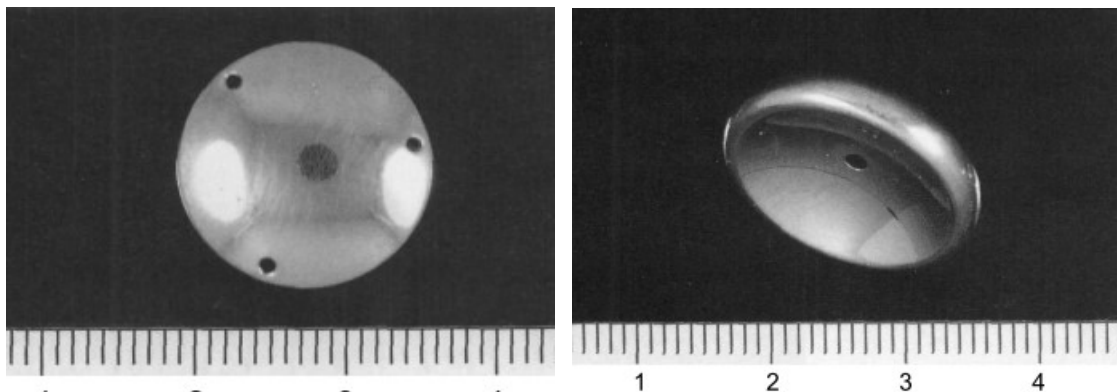
Obr. 37: Vlevo totální endoprotéza prvního MTP skloubení Roto Glide, vpravo systém ToeFit Plus.

Historický přehled zcela jistě nepostihuje všechny zkoušené designy náhrad prvního MTP skloubení a jejich výčet by přesáhl rozměr této práce. Znalost historie vývoje náhrad nám byla nicméně inspirací při vývoji naší originální náhrady Medin PH-flex.

7.3. Interpoziční plastiky

Během vývoje implantátů byla představena i myšlenka interpozičních artoplastiky. V roce 1975 představil Regnault (Regnault 1986) koncept kovové interpoziční plastiky (obr. 38). Náhrada se vsívala mezi hlavičku prvního metatarsu a bazi proximální falangy, která byla částečně resekována po vzoru Kellerovy operace. Náhrada se po roce plánovaně explantovala. Ideou bylo, že náhrada bude indukovat tvorbu vazivové chrupavky, která po

extrakci implantátu umožní nebolestivou hybnost prvního MTP kloubu. Podobný princip kovové interpoziční plastiky představil v roce 1984 Barouk (obr. 38), který náhradu fixoval na místě pomocí transfixace Kirschnerovým drátem, které ponechával in situ po dobu několika týdnů. Tento typ náhrady existoval i ve variantách pro ostatní metatarsofalangové klouby.



Obr. 38: Vlevo Regnaudova interpoziční plastika prvního MTP skloubení, Baroukova interpoziční plastika na obrázku vpravo

8. Vývoj náhrady na naší klinice

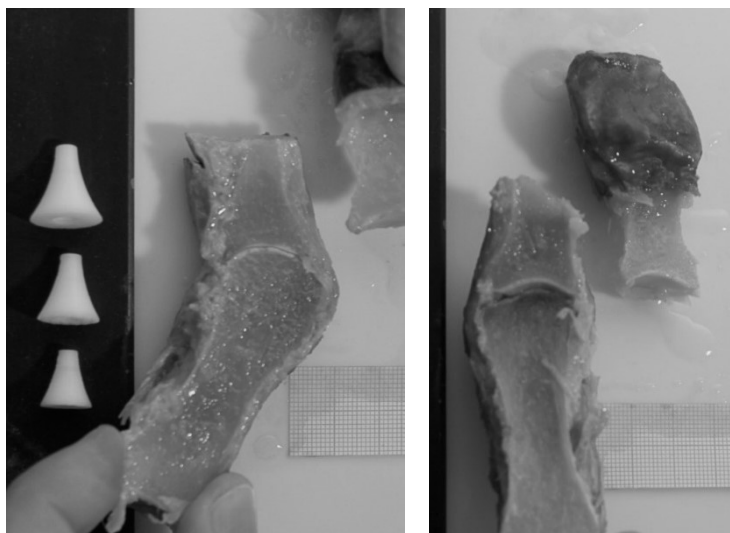
8.1. Anatomická studie

Anatomická studie, která sloužila pro vývoj náhrady, probíhala v Anatomickém ústavu 1. lékařské fakulty UK v Praze. Jednotlivé fáze studie byly dopředu naplánovány, tak aby poskytly dostatek údajů pro tvar náhrady. První fáze teoretických studií sloužila k stanovení základního tvaru falangové a metatarsální komponenty. Druhá fáze soužila pro získání velikostní škály implantátů.

V první fázi bylo použito 30 kadaverózních preparátů prvního paprsku nohy, které byly fixované standardně roztokem formaldehydu, acetonu, líhu a glycerolu. Preparáty byly připravovány standardní anatomickou pitvou. Postupně byly odstraněny měkké tkáně prvního paprsku nohy, kromě chrupavek prvního metatarsofalangového skloubení. Vznikly tak vzorky, které byly tvořeny pouze prvními nártními kostmi a proximálními články palců nohou.

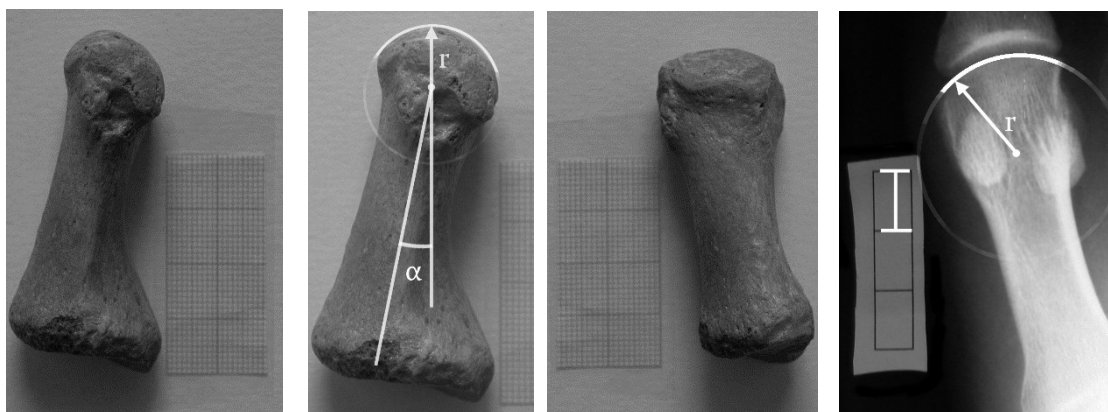
Následně byly provedeny osteotomie spárovaných kostí prvních paprsků, tak že u poloviny preparátů byl řez veden v sagitální rovině a u druhé poloviny v rovině transverzální

(obr. 39 a 40). Tvar intramedulárních dutin, a zejména kontury vnitřní části kortikální kosti, sloužily k stanovení základního tvaru kotvících komponent protézy. Dřeňová dutina proximální falangy palce je na průřezu oválná, kranio-kaudálně oploštěná a větší rozměr je tak medio-laterální. Tvar falangové komponenty byl navržen ve tvaru vykrojeného rotačního kuželu (obr. 39) a vytvořen tak, aby bylo možné komponentu implantovat rotačně a upravovat lůžko k primární fixaci. Při zavádění by se měla komponenta zavést po kortikální kosti do dostatečné hloubky, aby poskytla oporu pro artikulační část protézy a zároveň její délka sloužila k uspokojivému osovému postavení v kosti. Distální (nejužší) část komponenty byla navržena ve tvaru samosvorného kónusu (obdoba Morseho kónusu v strojírenství), tak aby zavádění do hloubky článku palce docházelo k samovolnému ukotvení. Proximální část falangové komponenty by měla být rozšířená, tak aby vytvořila větší plochu pro nástřík hydroxyapatitu pro sekundární fixaci. Kotvící komponenta pro první nártní kost byla navržena ve tvaru čistého rotačního kuželu. Hrotová část kuželu metatarsální komponenty byla opět navržena pro primární fixaci ve smyslu samosvorného kónusu. Vzhledem k širší dřeňové dutině nártní kosti byl plánován nástřík hydroxyapatitem po celém povrchu implantátu. Jednotlivé preparáty byly fotografovány a úpravy tvaru byly prováděny na digitálních kalibrovaných fotografiích (obr. 39).



Obr. 39, Obr. 40: Průřezy anatomických preparátů pro stanovení tvaru kotvících komponent protézy v první fázi anatomické studie. Navržený tvar falangových komponent na fotografii vlevo.

V druhé fázi anatomické studie byly použity fixované anatomické preparáty, suché preparáty nártních kostí a rentgenové snímky nohou. Suché preparáty sloužily k stanovení velikosti a zakřivení kloubní plochy hlavice nártní kosti a také k stanovení pozice kloubní plochy k ose prvního metatarsu (obr. 41). K tomuto účelu bylo použito celkem 58 kostí, které byly zaznamenány na kalibrované fotografie z pohledu shora a z boku.



Obr. 41: Měření za účelem stanovení velikosti a zakřivení kloubních ploch na laterálním a dorsálním pohledu na nártní kosti. Úhel α vyznačuje postavení kloubní plochy vůči ose nártní kosti. Vpravo předozadní RTG snímek s vyznačením poloměru zakřivení.

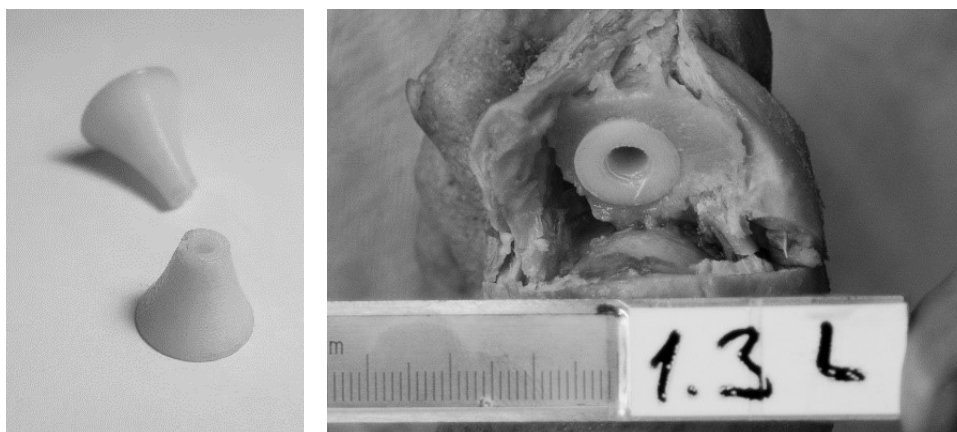
Standardní rentgenové snímky sloužily opět k posouzení vhodného zakřivení a velikosti artikulační komponenty hlavice. Celkem bylo vyhodnoceno 40 rentgenových snímků. Následně byla navržena hlavice, která je vyosena vůči ose prvního metatarsu v sagitální rovině o 20° . Zároveň byly stanoveny rozměry a velikostní škála artikulačních komponent pro totální náhradu a hemiarthroplastiku. Vzhledem k tomu, že diametr hlavice je latero-mediálně větší než dorso-plantární rozměr, byl výsledný tvar a velikost sférické komponenty stanoven jako průměr z obou diametrů. Plantární hrana asymetrické komponenty hlavice s vyosením o 20° byla zkosena pro snadnější posun sezamských kostí ze spodní strany hlavice na přední stranu hlavice při pohybu (obr. 42).



Obr. 42: Metatarsální komponenta s kovovou artikulační plochou. Patrné je vyosení v artikulační kovové části v sagitální rovině o 20° vůči kotvící metatarsální komponentě a

dále zkosení kaudálního okraje artikulační komponenty k usnadnění posunu sezamských kůstek.

Kadaverózní preparáty nohou sloužily ke zkušební implantaci testovacích komponent. Tímto způsobem byl testován nejenom způsob implantace, ale také upravována velikostní škála kotvících komponent. Testovací komponenty byly tak postupně vyráběny z plastu na 3D tiskárně v různých velikostech a implantovány (obr. 43).



Obr. 43: Testovací komponenty v různých velikostech. Zkušební implantace na kadaverózním preparátu za účelem testování techniky implantace a stanovení velikostní škály protéz.

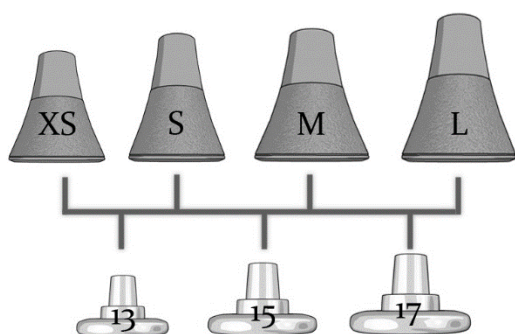
Na podkladě modelů a výsledků měření byly vyrobeny originální kotvící a artikulační komponenty spolu s kompletním instrumentariem firmy Medin Orthopaedics a.s.

8.2. Popis implantátu

Implantát se vyrábí a používá ve dvou variantách, pro implantaci totální náhrady a v provedení hemiartroplastiky základního článku palce (obr. 44).

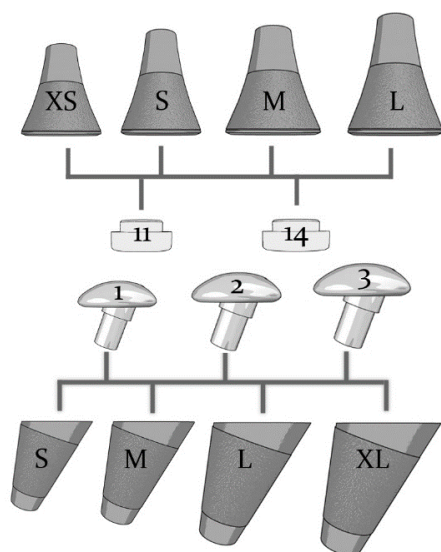
Falangová kotvící komponenta je vyráběna z titanové slitiny (Ti6Al4V ELI dle ISO 5832/3) a její povrch je opatřen v proximální části nástřikem hydroxyapatitu (Arbond, firma Artech). Komponenta se vyrábí ve čtyřech velikostech: XS, S, M a L (obr. 45). Komponenty XS a S mají stejnou velikost základního tvaru (kuželu) a liší se pouze v jeho délce. Při jejich implantaci se používá malý výstružník pro článek palce, který se při komponentě S zavádí ale hlouběji do dutiny. Komponenty M a L mají opět stejnou velikost základního vykrojeného kuželu a liší se obdobně pouze v jeho délce v místě samosvorného kuželu. Při jejich implantaci se používá větší výstružník.

Artikulační komponenta se v případě hemiartroplastiky vyrábí ze slitiny (CoCrMo dle ISO 5832-4) ve třech velikostech. Jednotlivé velikosti se liší průměrem disku a poloměrem vykrojení artikulační části disku. Vyrábí se ve třech velikostech s průměrem 13 mm, 15 mm a 17 mm. Každou z těchto komponent lze nasadit na libovolnou kotvící komponentu článku palce, ale doporučuje se párování podle schématu (obr. 45).



Obr. 45: Velikostní škála komponent a jejich párování v případě hemiartroplastiky

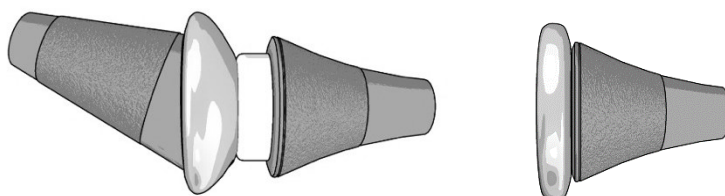
Metatarzální kotvící komponenta se obdobně jako falangová vyrábí z titanové slitiny a je opatřena ve střední části nástřikem hydroxyapatitu (Arbond, firma Artech) pro sekundární integraci do kosti. Primární kotvení komponenty je zajištěno tvarem, který odpovídá rotačnímu kuželu a při implantaci se vklíní do připraveného kostěného lůžka. Komponenta se vyrábí ve čtyřech velikostech S, M, L a XL a při implantaci se pro přípravu kostního lůžka používá pouze jedna fréza. Komponenta je v části pro napojení hlavice náhrady zkosena pod úhlem 20°, tak aby artikulační plocha hlavice po implantaci směřovala ventrálně (obr. 46).



Obr. 46: Velikostní škála komponent a jejich párování v případě totální náhrady prvního metatarsofalangového skloubení

Artikulační komponenta hlavice metatarsu se vyrábí z CrCoMo slitiny a její velikost byla zvolena na základě anatomických měření. Směr této komponenty je vyosen vůči ose prvního metatarsu o zmíněných 20 stupňů. Komponenta má tvar vrchlíku koule a vyrábí ve

třech velikostech, které byly označeny 1, 2 a 3. Jednotlivé velikosti se liší průměrem a výškou vrchlíku (hemisféra). Poloměr zakřivení hlavice je stejný a na základě měření byl stanoven na 10 mm. Komponenta je v plantární části zkosená (upravena) tak, aby nedocházelo po implantaci poškození flexorového aparátu kloubu, zejména sezamských kostí a šlachy musculus flexor hallucis longus.

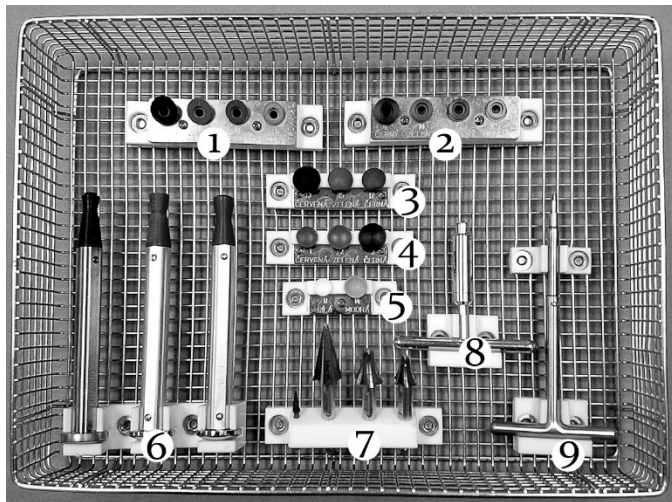


Obr. 44: 3D vizualizace totální náhrady prvního metatarsofalangového skloubení na schématu vlevo a hemiartroplastiky na obrázku vpravo.

Artikulační komponenta na straně článku palce se v případě totální náhrady vyrábí z UHMWPE (ISO 5834/2). Poloměr vykrojení artikulační plochy odpovídá hlavici metatarsu a je opět 10 mm. Komponenta se dodává pouze ve dvou velikostech s průměry 11 mm a 14 mm. Jednotlivé artikulační komponenty je možné mezi sebou libovolně kombinovat hlavice, ale doporučujeme kombinace v případě totální náhrady dle schématu na obrázku (obr. 46).

8.3. Instrumentarium a poznámky k operační technice

Instrumentarium pro hemiartroplastiku a totální náhradu je součástí společného setu (obr. 47). Intramedulární frézy jsou tři, dva typy pro článek palce a jedna společná pro přípravu lůžka v nártní kosti.



Obr. 47: Instrumentarium pro implantaci implantátu. 1- Zkušební metatarsální komponenty, 2- zkušební falangové komponenty, 3-5 – zkušební artikulační komponenty, 6 – nárazníky na komponenty, 7 – frézy pro kotvící komponenty, 8 a 9 – rukojeti pro frézy

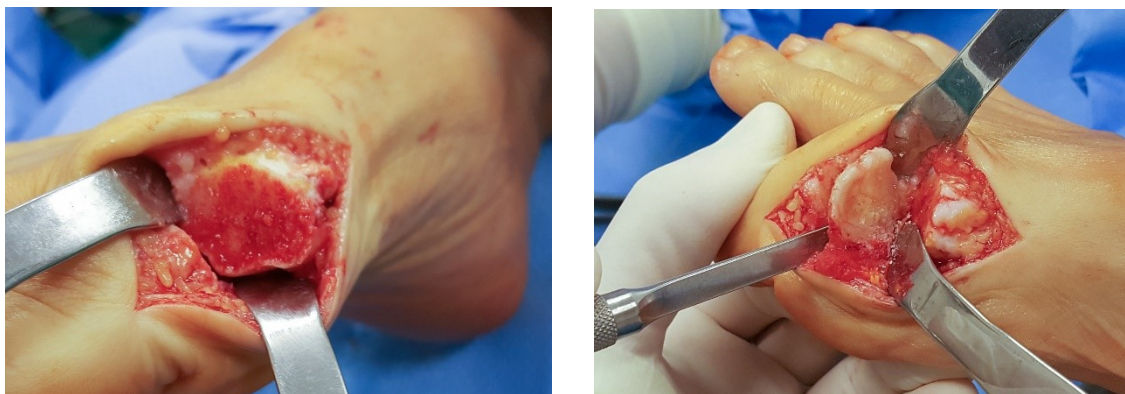
Operace je prováděná z mediálního podélného přístupu k prvnímu metatarsofalangovému skloubení. Pouzdro kloubu se protíná rovněž podélně a chrání se podélně probíhající kožní větve senzitivních periferních nervů. Následně se po proniknutí do skloubení odstraňují osteofyty a volná tělíska, která jsou často přítomna z důvodu degenerativních změn.

První osteotomie se provádí na distální části prvního metatarsu a odstraňuje se tak vrchlík destruované hlavice prvního MTT. Tímto získáme v kloubu prostor pro důležitější osteotomii článku palce, která slouží k odstranění zničené jeho kloubní plochy (obr. 48). Je nesmírně důležité zachovat úpony krátkého flexoru a šlachy dlouhého flexoru palce nohy. Tyto šlachy jsou nesmírně důležité pro funkci a stabilitu kloubu po implantaci.

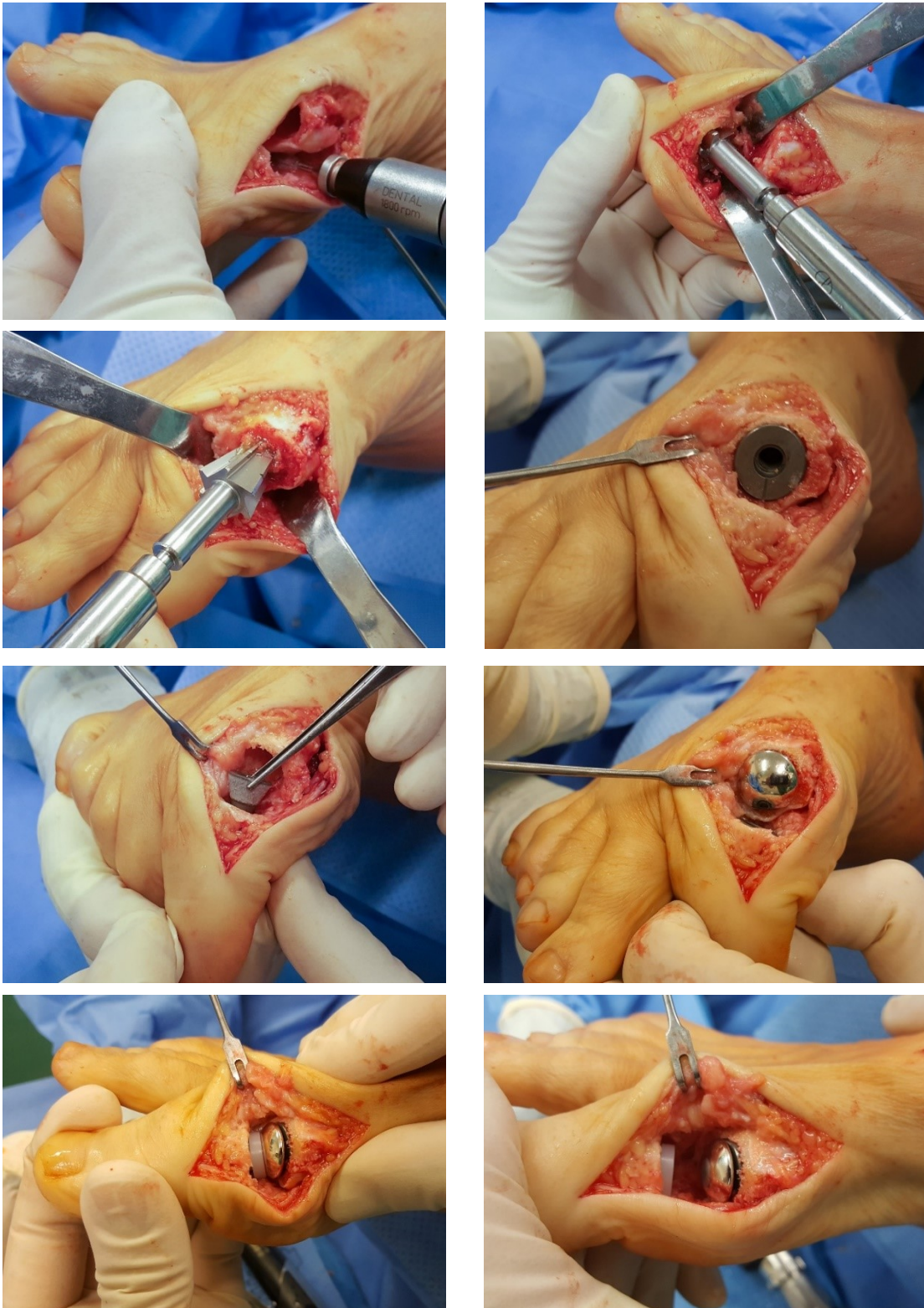
V odhalené spongiosní kosti článku palce následně výstružníky připravujeme lůžko pro implantaci falangové komponenty. Hloubka zavedení malé frézy rozhoduje, jestli bude použita komponenta XS anebo S. Pokud rozměr základního článku palce umožňuje vytvoření většího lůžka, lze použít následně větší frézu. Hloubka zavedení větší frézy rozhoduje o velikosti finální komponenty s označením M anebo L.

Následně připravujeme ruční frérou i dutinu v nártní kosti. Zde se používá pro přípravu lůžka nártní kosti pouze jedna velikost frézy. Pro zavádění metatarzální frézy se také používá ruční unášec (T-griff) a o velikosti originální komponenty rozhoduje hloubka zavedení výstružníku.

Po vyfrézování lůžek (nebo lůžka v případě hemiartroplastiky) je možné vložit do obou dutin zkušební kotvící komponenty a opatřit je zkušebními artikulačními povrchy. Důležitá je volnost mezi vloženými komponentami. Doporučujeme při tahu za palec vzdálenost pět až sedm milimetrů mezi zkušebními artikulačními povrchy jak v případě hemiartroplastiky, tak v případě totální náhrady.



Obr. 48: Vlevo stav po resekci vrchlíku hlavice prvního MTT, vpravo postupné uvolnění baze proximální falangy.



Obr 49.: Postup při implantaci totální náhrady: Po uvolnění kloubu následuje frézování dřevové dutiny proximální falangy a prvního metatarzu. Poté zobrazena implantace metatarzální komponenty a její kovové artikulační plochy. Implantace falangové komponenty Vlevo dole pohled na kompletní implantovanou sestavu totální náhrady. Dole je správná volnost implantovaných komponent.

Pokud je operatér spokojen s postavením zkušebních komponent, implantuje necementované originální kotvící komponenty a následně i artikulační komponenty. Vzájemná volnost komponent pro uspokojivý pooperační výsledek musí být výrazná, a to minimálně 5 mm mezi povrchy v tahu za palec (obr. 49). Sutura se následně provádí po vrstvách a důležité je opět zachovat volnost v kloubu a neprovádět výraznou rafií pouzdra.

Pooperačně pacient začíná chodit co nejdříve s postupnou zátěží nohy v 1 měsíc. Od 2 pooperačního týdne se doporučuje rozvíčování operovaného pance nohy manuálními fyzioterapiemi do bolesti.

9. Klinické výsledky

9.1. Úvod do experimentální práce

Po úspěšném provedení klinických zkoušek na Ortopedické klinice 1. LF UK a FN Motol, byla náhrada naší konstrukce zavedena do klinické praxe. V roce 2011 byl implantát zařazen do indikačního schématu operační léčby hallux rigidus a začal být rutinně používán na naší klinice. V roce 2012 pak byla publikována původní operační technika náhrady Medin PH-flex (Hromadka et al. 2012).

Cílem naší retrospektivní práce bylo zhodnocení naší zkušenosti s náhradou prvního MTP skloubení Medin PH-flex. Vyhodnocení naší strategie operační léčby hallux rigidus a upřesnění indikačního schématu totální náhrady MTP kloubu Popelka (Popelka et al. 2017). Nedílnou součástí bylo i navržení úpravy operační techniky. Dalším cílem naší práce bylo zhodnocení vlivu implantované náhrady I. MTP kloubu na biomechaniku přednoží pomocí dynamického pedobarografu (Popelka et al. 2023).

9.2. Materiál a metoda

Za účelem hodnocení funkčnosti náhrady Medin PH-Flex byly retrospektivně zhodnoceny výsledky pacientů, kteří byli operováni od ledna 2011 do konce roku 2016 na Ortopedické klinice 1. LF UK a FN Motol. Do studie bylo zařazeno 31 pacientů, u kterých bylo provedeno 35 implantací totální náhrady MTP kloubu. Ve 4 případech byla provedena oboustranná implantace. Podmínkou zařazení do studie byla doba sledování delší než 6 měsíců. Ve 30 případech byla náhrada indikována u pacientů s hallux rigidus stupně 3 a 4 dle Coughlina. Ve 4 případech se jednalo o konverzi hemiarthroplastiky MTP na totální náhradu a u

jedné pacientky byla implantace totální náhrady indikována z důvodu selhání silastikové náhrady prvního MTP kloubu.

Pacienti byli zváni na mimořádné ambulantní kontroly pro zhodnocení náhrady v roce 2016. Minimální doba sledování pacienta po operaci byla 6 měsíců. **Hodnocení operací spočívalo v klinickém a rentgenologickém vyšetření a vyšetření na dynamickém pedobarografu.**

Z vyšetřených pacientů, kteří souhlasili se zařazením do pedobarografické studie, bylo pomocí dynamického pedobarografu zhodnoceno celkem 15 implantovaných náhrad u 12 pacientek, kdy u 3 z nich byla provedena oboustranná náhrada. Podmínkou zařazení do pedobarografické části studie byl alespoň roční odstup od provedeného výkonu a dobrá integrace náhrady na RTG snímku. Pacientky byly průměrně vyšetřovány 3,5 roku po implantaci (1,5 až 5,5 roku).

K porovnání výsledků naměřených pomocí dynamické pedobarografie byly vytvořeny dvě kontrolní skupiny. První kontrolní skupinou byli pacienti s hallux rigidus 3. a 4. stadia dle Coughlinovy klasifikace. Celkem se jednalo o 12 pacientů, 11 žen a jednoho muže, který trpěl oboustranným postižením. Podmínkou zařazení do studie bylo primární artrotické postižení I. MTP kloubu, bez předchozích operací v oblasti přednoží a bez další zjevné deformity nohy.

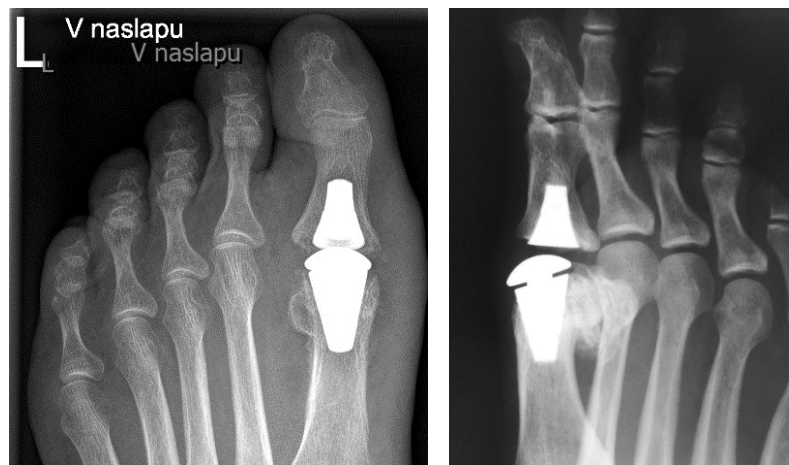
Druhou kontrolní skupinou byli zdraví pacienti bez zjevné deformity přednoží, bez patrného plochonoží a fyziologickým rozsahem pohybu I. MTP skloubení. V této skupině bylo celkem vyšetřeno 17 pacientů, z toho 11 žen a 6 mužů. Skupina tedy zahrnovala celkem 34 vyšetřených přednoží.

Funkčnost prvního MTP kloubu jsme po implantaci totální náhrady u pacientů hodnotili pomocí AOFAS Hallux metatarsophalangeal-interphalangeal score (Kitaoka et al. 1994). Skóre hodnotí funkčnost nejenom z objektivního pohledu, ale vyjadřuje i subjektivní pocity pacienta před a po operaci (viz tabulka na obr. 15, str. 30). Součástí skóre je hodnocení bolesti, kterému je přikládána největší váha (až 40 bodů ze 100 při nebolestivém kloubu). Dále zohledňuje omezení v běžných aktivitách a nutnost eventuální úpravy obuvi. Skóre také hodnotí rozsah pohybu, přítomnost bolestivých či nebolestivých otlaků. Další významnou součástí je hodnocení postavení palce nohy, kterému je rovněž přikládána značná důležitost při výpočtu skóre.

Při hodnocení jsme se zaměřili i na subjektivní pocity pacienta. Pacienti byli mimo snahu o objektivní pohled na funkci přednoží dotazováni na spokojenost s provedeným operačním zákrokem. Hodnotili jsme celkovou spokojenost pacientů a jejich subjektivní

vnímání funkce palce nohy po implantaci totální náhrady prvního MTP kloubu a případné limitace při každodenních činnostech.

Hodnoceny byly také RTG snímky (obr. 50), které byly provedeny standardně ve dvou zátěžových projekcích, předozadní (AP) a šikmé projekci. Předozadní projekce (anteroposteriorní, AP projekce) je prováděna s přednožím položeným na RTG kazetu při flektovaném kolenním kloubu a RTG paprsek směřuje kolmo na bazi prvního metatarsu. Při šikmé projekci je laterální okraj nohy podložen tak, aby předonoží svíralo s horizontálou úhel 40° až 45° a RTG paprsek směřoval kolmo na bazi III. metatarsu. Na RTG snímcích jsme hodnotili postavení implantátu a eventuální výskyt radioloucentních linií.



Obr. 50: Zátěžový předozadní snímek (vlevo) a šikmá projekce (vpravo) náhrady PH-Flex Medin 2 roky po implantaci. Implantát je správně integrován do kosti.

Dalším parametrem našeho hodnocení byl dosažený rozsah pohybu, jehož zlepšení a zachování je jedním z cílů implantace totální náhrady prvního MTP skloubení. Rozsah pohybu byl ve studii měřen pomocí goniometru, a to před operací a pooperačně na ambulantních kontrolách. Hodnotili jsme celkový rozsah pohybu, tedy součet dorzální a plantární flexe (ROM, range of motion) a samostatně pak dorzální a plantární flexi MTP kloubu (obr. 51).

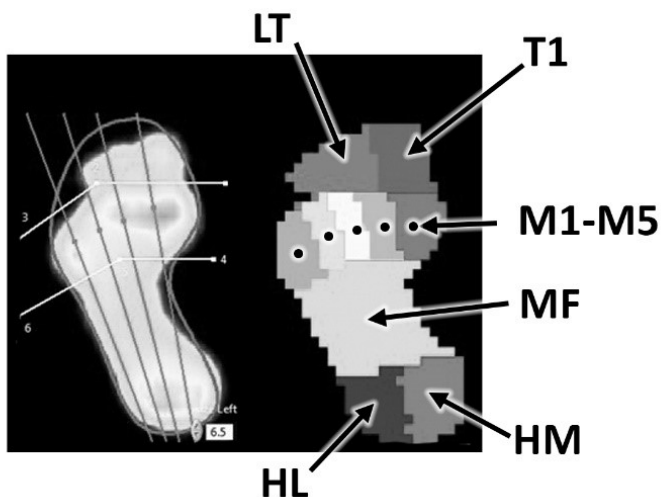


Obr. 51: Vyšetřování aktivní hybnosti prvního MTP skloubení.

Subjektivní hodnocení bolesti bylo doplněno o hodnocení pomocí vizuální analogové škály (VAS, visual analogue scale), standardně užívané stupnice hodnocení bolesti v klinické praxi.

V biomechanické části studie byli tři výše zmíněné skupiny pacientů vyšetřovány pomocí dynamického pedobarografu Footscan RS scan international (Belgie). Získaná data byla vyhodnocena integrovaným softwarem přístroje. Snímací tlaková deska přístroje o délce 1 metru byla uložena na podlaze ve stabilním vyšetřovacím chodníku ambulance. Pedobarograf zaznamenával rozložení tlaků v oblasti chodidla po celou dobu stojné fáze krokového cyklu s frekvencí 500 Hz a výsledné tlaky byly zaznamenány v N/cm^2 . 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 tedy pokrýval celou dobu trvání stojné fáze krokového cyklu. Vzhledem k individuálně různě délce trvání stojné fáze u jednotlivých pacientů, byl záznam stojné fáze rozdělen procentuálně od 0 % až po 100 %. V naší studii jsme vyhodnocovali propulzní fázi (55 % až 100 % stojné fáze cyklu), která je důležitá pro hodnocení funkce prvního MTP skloubení.

Během celé stojné 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. 52)



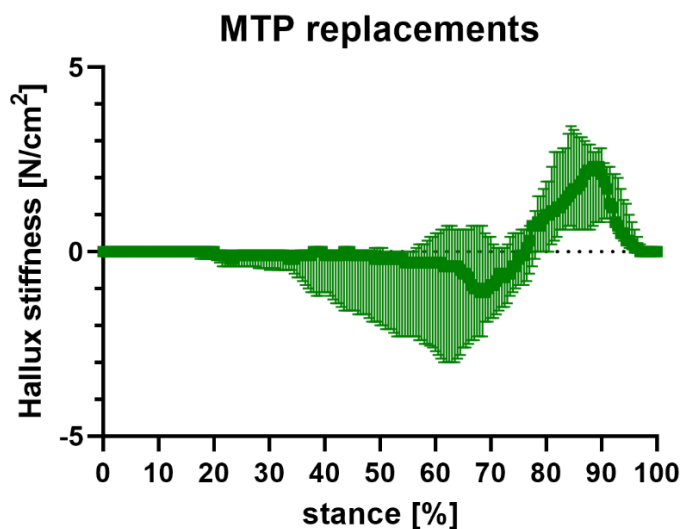
Obr. 52: Pedobarografický záznam levého chodidla s definovanými zónami. HM – mediální část paty, HL – laterální část paty, MF – oblast středu chodidla, M1-M5 oblast pro 1.-5. metatars, T1 – oblast palce, LT – oblast pro 2.-5. prst.

Každý z pacientů byl opakovaně testován chůzí po tlakové desce dynamického pedobarografu. Takto bylo zaznamenáno 5 validních měření pro každou vyšetřovanou nohu. Validita měření byla posuzována pomocí integrovaného softwaru. Validní měření byla ta, kde byly zaznamenány tlaky z celé délky trvání stejné fáze krokového cyklu. Zaměření jednotlivých zón přednoží probíhalo automaticky pomocí 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. 52). Každé z pěti validních měření pro dané chodidlo bylo u všech pacientů zpracováno a analyzováno. Výsledkem analýzy a zpracování měření bylo průměrné zatížení jednotlivých částí chodidla každého pacienta ve stejné fázi krokového cyklu. Poté co jsme získali data o průměrném zatížení vyšetřovaných chodidel u jednotlivých pacientů ve třech skupinách (pacienti po TEP, hallux rigidus a kontrolní skupina), zaměřila se naše analýza na změny mezi jednotlivými zónami zájmu v oblasti přednoží, které mají přímý vztah k funkci I. MTP skloubení.

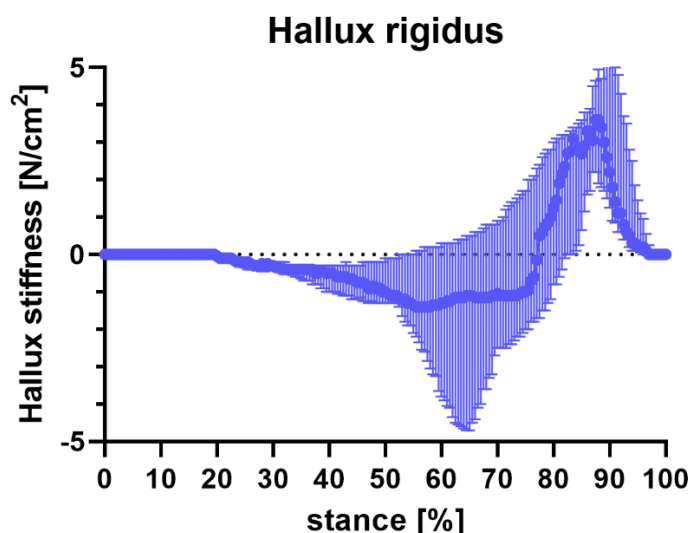
Hodnocena byla tuhost prvního MTP skloubení tzn. **Hallux stiffness (HS)**, která byla definována jako rozdíl tlaků v zóně pro palec (T1) a v zóně pro první metatars (M1). Výsledný rozdíl hodnot tlaků byl zaznamenán pro všechny části stejné fáze krokového cyklu. Druhým sledovaným parametrem bylo rozložení zátěže mezi mediální a laterální polovinu přednoží, tedy parametr **Forefoot ballance (FB)**. Parametr byl definován jako rozdíl mezi součtem tlaků pod 1. a 2. metatarssem a 3.-5. metatarssem $((M1+M2) - (M3+M4+M5))$.

Z každého vyšetřovaného chodidla byl po získání 5 validních měření vypracován průměrný průběh křivky u obou sledovaných parametrů, tedy hallux stiffness a forefoot

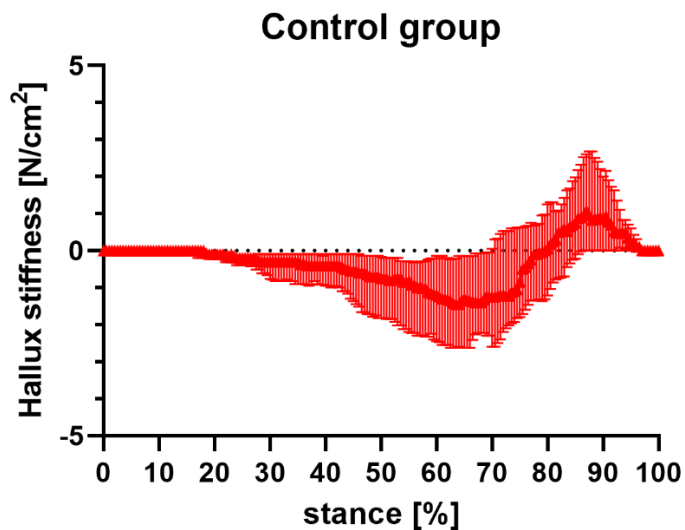
balance (graf 1a-c, graf 2a-c). Oba sledované parametry jsme porovnali mezi jednotlivými skupinami pacientů, tedy po implantaci náhrady Medin PH-flex, pacientů s hallux rigidus a zdravé kontrolní skupiny. Parametry HS a FB byly vyhodnocovány u jednotlivých skupin pacientů jednak od 55 % do 100 % trvání stojné 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.



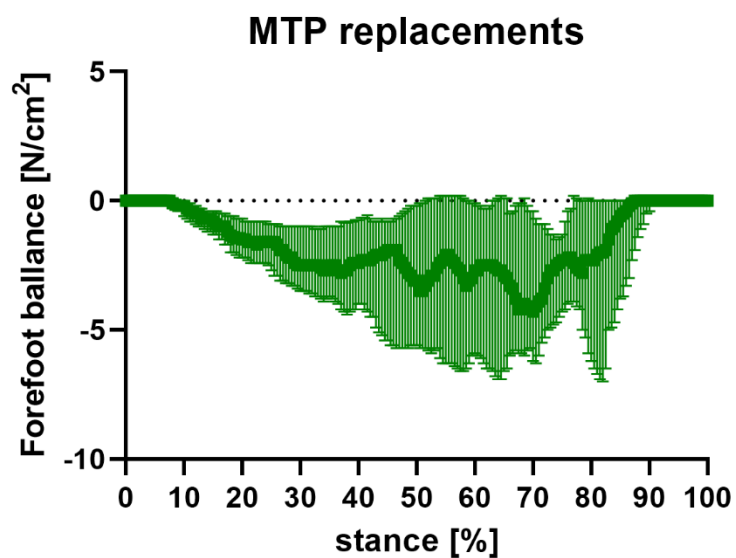
Graf 1a: Vývoj parametru hallux stiffness u pacientů po náhradě I. MTP kloubu palce v průběhu stojné fáze krokového cyklu (0-100 %)



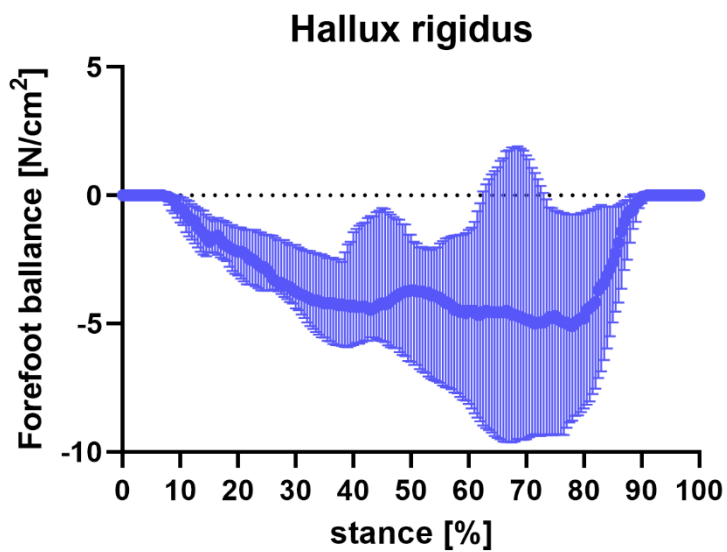
Graf 1b: Vývoj parametru hallux stiffness u pacientů s hallux rigidus v průběhu stojné fáze krokového cyklu (0-100 %)



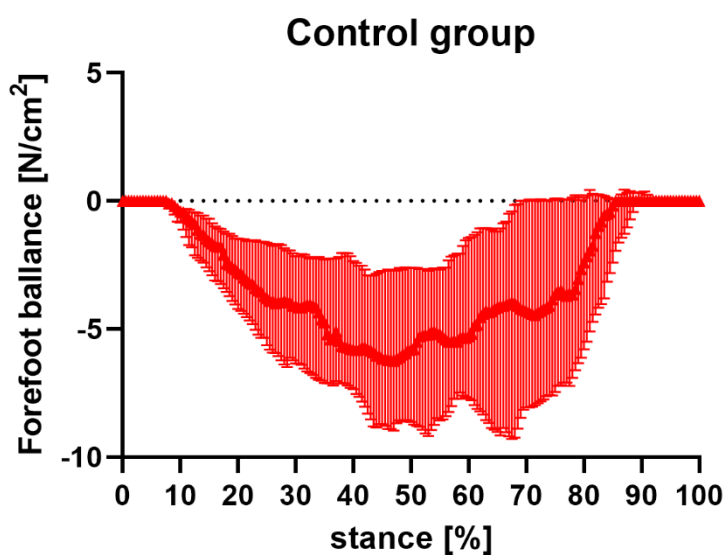
Graf 1c: Vývoj parametru hallux stiffness u zdravých pacientů v průběhu stojné fáze krokového cyklu (0-100 %)



Graf 2a: Vývoj parametru forefoot ballance u pacientů po náhradě I. MTP kloubu palce v průběhu stojné fáze krokového cyklu (0-100 %)



Graf 2b: Vývoj parametru forefoot ballance u pacientů s hallux rigidus v průběhu stejné fáze krokového cyklu (0-100 %)



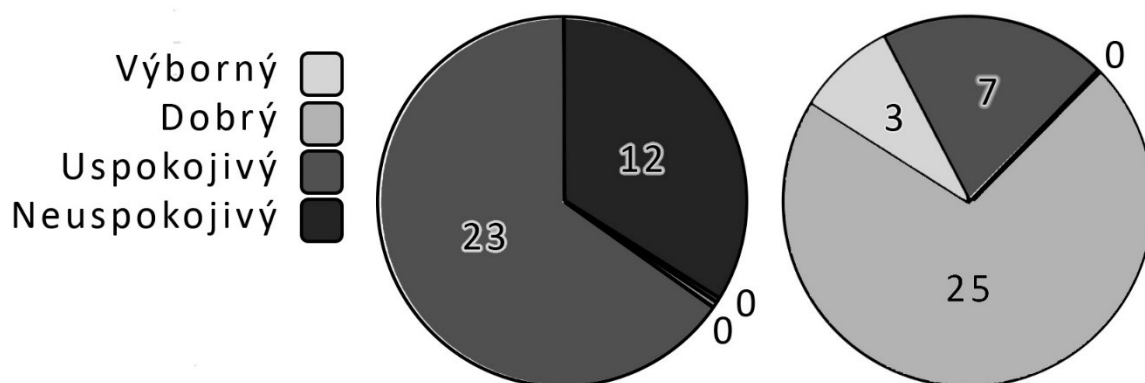
Graf 2c: Vývoj parametru forefoot ballance u zdravých pacientů v průběhu stejné fáze krokového cyklu (0-100 %)

9.3. Výsledky

Celkem bylo hodnoceno 35 náhrad prvního MTP skloubení u 31 pacientů (29 žen a 2 muži). Ve 22 případech se jednalo o pravé přednoží, ve 13 případech se jednalo o levé přednoží. Průměrný věk v době operace byl 57,7 let (39 až 72 let). Průměrná doba sledování byla 2,95 roku (0,9 až 5,5 let).

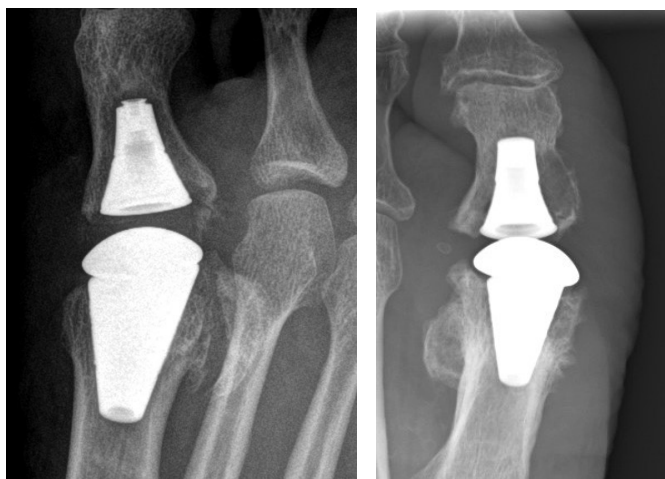
Z celkového počtu 35 provedených implantací jsme nezaznamenali žádnou perioperační komplikaci, všechny operační rány byly zhojeny per primam. Rovněž časný infekt totální náhrady nebyl v naší skupině pacientů zaznamenán. Během sledování došlo k pozdní bakteriální infekci u 2 pacientů z celkového souboru 35 implantací (5,7 %). Infekce náhrady se manifestovala 10 respektive 21 měsíců po implantaci. Stav byl u obou pacientů řešen revizí prvního MTP kloubu, debridement a pouhou extrakcí kloubní náhrady s následující 6týdenní antibiotickou terapií. V obou případech se podařilo infekci kloubní náhrady sanovat. Po залечení infekce bylo pacientům navrženo provedení artrodézy prvního MTP kloubu, se kterou pacienti nesouhlasili. Výsledkem stavu po extrakci náhrady je zkrat palce s vytvořením vazivové jizvy, která umožňuje pacientům uspokojivou funkci palce nohy při běžných aktivitách za akceptovatelné úrovně bolestí.

Z hlediska hodnocení AOFAS skóre bylo v našem sledování dosaženo signifikantního zlepšení. Předoperačně činilo AOFAS skóre průměrně 55,6 bodu (35-65). Po operaci činila průměrná hodnota AOFAS skóre 80,8 bodů (65-95). Signifikantní zlepšení jsme při kontrolách zaznamenali i při hodnocení úrovně bolesti pomocí VAS stupnice. Před operací pacienti udávali úroveň bolesti na stupni 5 dle škály VAS (2-8). Pooperačně pak byla hodnota VAS v průměru 2 (0-4). Ke zhodnocení výsledků za použití AOFAS skóre jsme rozdělili pacienty dle dosažené hodnoty AOFAS skóre na 4 skupiny. Jako slabé výsledky jsme hodnotili pacienty s AOFAS skóre 0-50, jako uspokojivý výsledek bylo hodnoceno skóre 51-74, za dobrý výsledek bylo považováno AOFAS skóre v rozmezí 75-94 a výborný 95-100 (viz graf 3 a 4). Nicméně u všech pacientů došlo k signifikantnímu zlepšení při hodnocení AOFAS skóre, ačkoli některé výsledné hodnoty byly hodnoceny jako slabé. Zlepšení v hodnocení AOFAS skóre dokumentuje graf 3 a 4.



Graf 3 a graf 4.: Rozložení AOFAS skóre pacientů před operací (vlevo) a po operaci (vpravo). Neuspokojivý výsledek 0-50, Uspokojivý 51-74, Dobrý 75-94, Výborný 95-100

Pooperačně dosažený rozsah pohybu se značně lišil mezi jednotlivými pacienty. Při konečném hodnocení souboru v roce 2016 činil průměrný rozsah pohybu po operaci (ROM), 36 stupňů. Průměrná plantární flexe činila 16 stupňů (5-36 stupňů), dorzální flexe pak byla v průměru 36° (15° až 60°). Při hodnocení rozsahu pohybu jsme při průběžných kontrolách zaznamenali určitou dynamiku. V našem souboru 35 implantovaných náhrad jsme pozorovali progresivní snižování rozsahu pohybu po implantaci kloubní náhrady. Bezprostředně po operaci byla hybnost operovaných kloubů vždy lepší, než tomu bylo u pozdějších kontrol. Dva měsíce po operaci, kdy na našem pracovišti probíhá první pooperační kontrola, byl celkový rozsah pohybu (ROM) průměrně 46 stupňů (30 až 70 stupňů). Při následných kontrolách bylo prakticky u všech pacientů zaznamenáno progredující omezení rozsahu pohybu s následným ustálením stavu. Po ročním sledování se již další omezení rozsahu pohybu u pacientů neprojevovalo a průměrný ROM se ustálil na hodnotě 36 stupňů (15 až 60 stupňů). Zmenšení rozsahu pohybu nebylo pacienty výrazně negativně vnímáno. Konečný rozsah pohybu vnímali pacienti ve většině případů jako dostatečný, kdy dosažený pohyb prvního MTP kloubu neomezoval jejich každodenní aktivity a několika pacientům dovozoval i chůzi na nižším podpatku.



Obr. 53: Příklad pozorovaných radiolucencí v oblasti falangové komponenty PH-Flex Medin. Vlevo pacientka 4 roky od operace, vpravo je pacientka 5 a půl roku po implantaci.

Při hodnocení RTG snímků jsme nezaznamenali žádný případ aseptického uvolnění, který by vyžadoval revizi kloubní náhrady, nicméně u 3 pacientů byla v pooperačním sledování zaznamenána resorpce kosti v oblasti falangové komponenty. Tato radiolucence byla pozorována 5 a půl, 4 a půl a 4 roky od operace (obr. 53). Radiolucence byla klinicky bez příznaků, a to jak v subjektivním vnímání funkce prvního MTP kloubu, tak při klinickém vyšetření pacientů. U jedné pacientky byla pozorována na RTG snímcích drobná cysta v okolí metatarzální komponenty, která byla rovněž bez jakýchkoli změn v klinickém nálezu (obr. 54).



Obr. 54: Šikmý snímek přednoží u pacientky 5 let po náhradě. Patrné cystické projasnění v oblasti metatarzální komponenty. Pacientka asymptomatická, náhrada je velmi dobře integrována.

Z výsledků měření na dynamickém pedobarografu byly získány průměrné křivky (mediány jednotlivých hodnot) pro parametry hallux stifnes (HS) a forefoot balance (FB) ve třech skupinách pacientů. Hodnocena byla následně data z propulsní fáze kroku od 55 % až

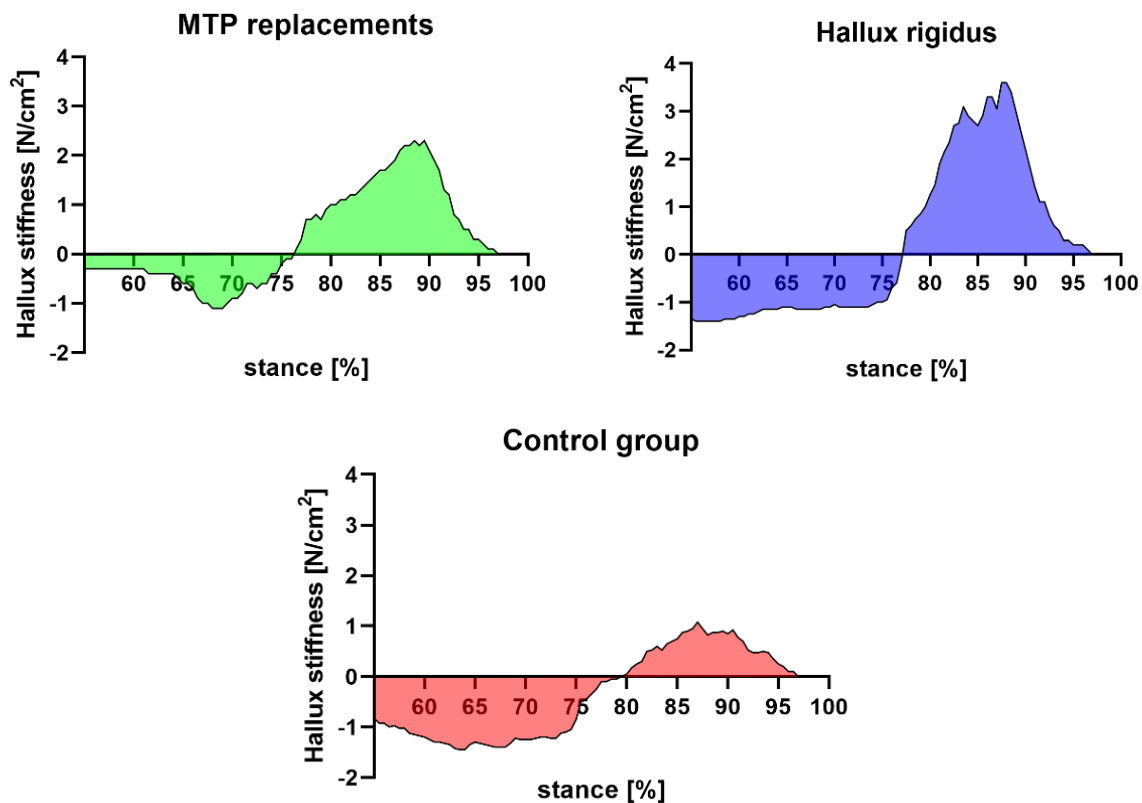
100 % (Graf 5 a-c, Graf 8 a-c) a propulsní fáze kroku od 75 % do 100 % (Graf 11 a-c, Graf 14 a-c). Data byla statisticky vyhodnocena Dunnettovým a Tukeyho srovnávacími testy, které hodnotily celkovou změnu průběhu polymorfních křivek. Testy porovnávaly křivky způsobem, kdy vzájemně hodnotily měřené plochy mezi osou X a křivkami v grafech (tj. plocha pod křivkou). Dunnettův test statisticky hodnotí výsledky parametrů HS a FB (plochy pod křivkami) z kontrolní skupiny vůči pacientům po náhradě a pacientům s hallux rigidus (Graf 6, 9, 12 a 15). Tukeyho srovnávací test hodnotí plochy pod křivkami kontrolní skupiny, HS a FB vzájemně mezi sebou (Graf 7, 10, 13, 16).

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) (Graf 5 a-c) (Graf 6 a 7). 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) (Graf 11 a-c, 12, 13)

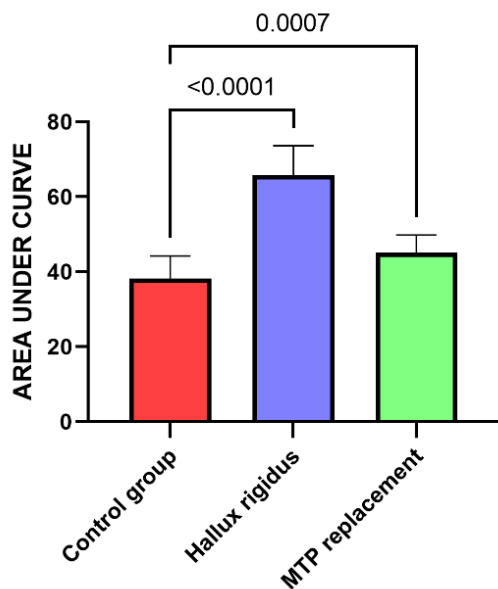
Medián parametru forefoot balance od 55 % stejné fáze byl u zdravých pacientů $3,48 \pm 2,45$ (-6,90 až 0,68), v případě hallux rigidus $-4,43 \pm 2,72$ (-6,98 až 0,23). U pacientů po náhradě hodnota dosahovala $-3,00 \pm 2,46$ (-6,20 až 0,40) (Tab.1) (Graf 8 a-c, 9, 10). Při hodnocení stejného parametru 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) (Graf 14a-c, 15, 16)

Tab.1 Hodnoty pro parametry FB a HS u sledovaných skupin pacientů pro propulsní fázi krokového cyklu od 55 % do 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 metatarssem (M1)			
FB – Forefoot balance, rozdíl tlaků pod mediální stranou předonoží (M1+M2) a laterální (M3+M4+M5), Medián ± směrodatná odchylka (rozsah hodnot)			

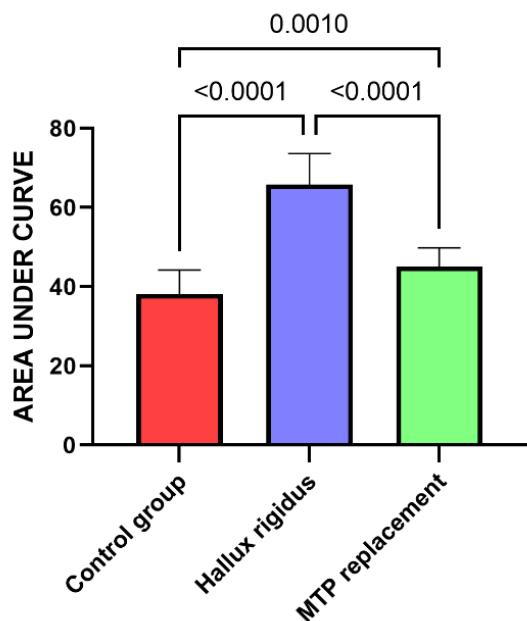
Tab.2 Hodnoty pro parametry FB a HS u sledovaných skupin pacientů, propulsní fáze krokového cyklu od 75 % do 100 %			
	Kontrolní skupina	Hallux rigidus	Náhrada MTP
HS (T1-M1)	-0,60 ± 0,89 rozsah (-0,85 až 1,45)	1,65 ± 1,42 rozsah (-1,00 až 3,80)	1,10 ± 1,01 rozsah (-0,20 až 2,40)
FB (M1+M2)- (M3+M4+M5)	-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 metatarssem (M1)			
FB – Forefoot balance, rozdíl tlaků pod mediální stranou předonoží (M1+M2) a laterální (M3+M4+M5)			
Medián ± směrodatná odchylka (rozsah hodnot)			



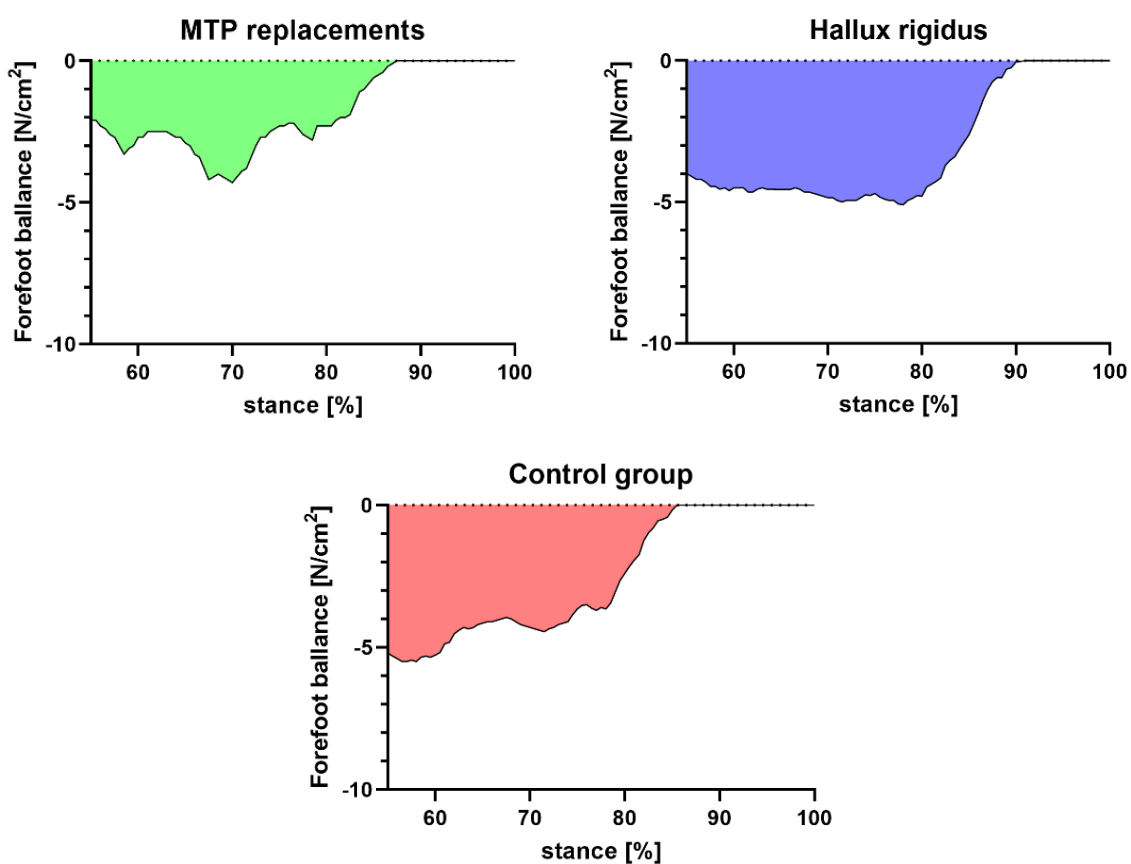
Graf 5 a-c: Plocha pod mediánem pro parametr hallux stiffness, celá propulzní fáze (55-100%) u 3 vyšetřovaných skupin pacientů



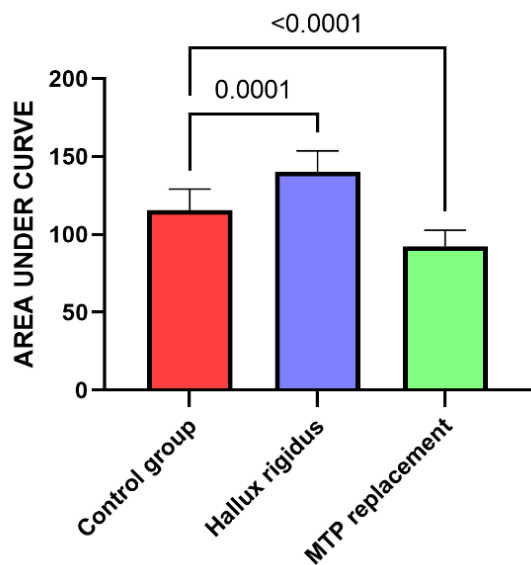
Graf 6: **Dunnettův** multiple comparison test pro parametr hallux stiffness (HS) 55-100 % stojné fáze kroku



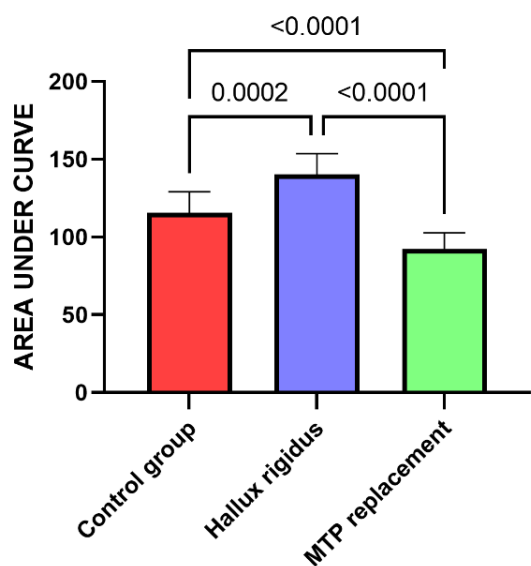
Graf 7: **Tukeyho** multiple comparison test pro parametr hallux stiffness (HS) 55-100 % stojné fáze kroku



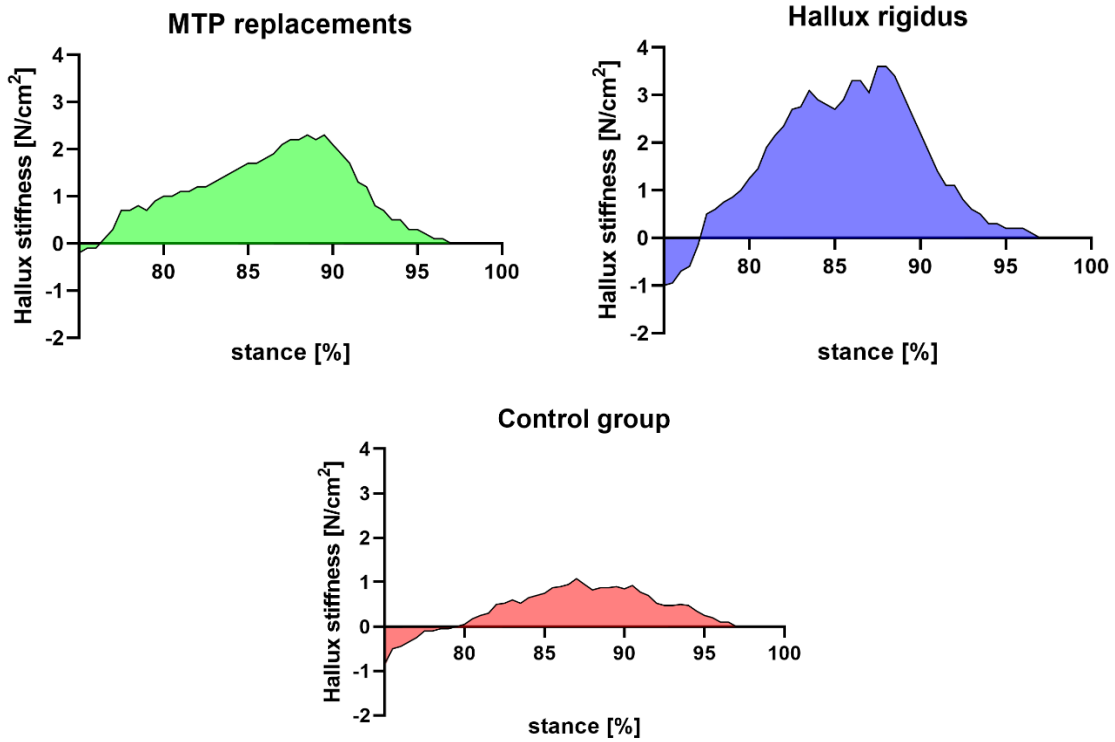
Graf 8 a-c: Plocha pod mediánem pro parametr forefoot ballance, celá propulzní fáze (55-100%) u 3 vyšetřovaných skupin pacientů.



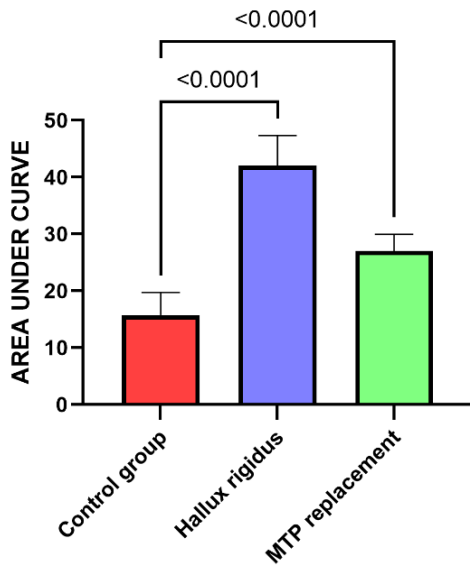
Graf 9: **Dunnettův** multiple comparison test pro parametr forefoot ballance (FB) **55-100%** stojné fáze kroku



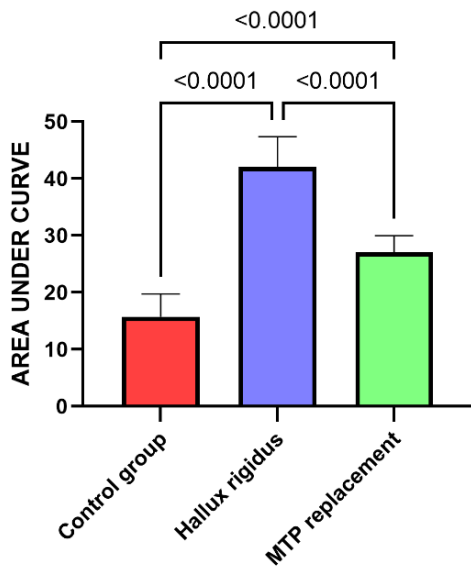
Graf 10: **Tukeyův** multiple comparison pro parametr forefoot ballance (FB) **55-100%** stojné fáze kroku



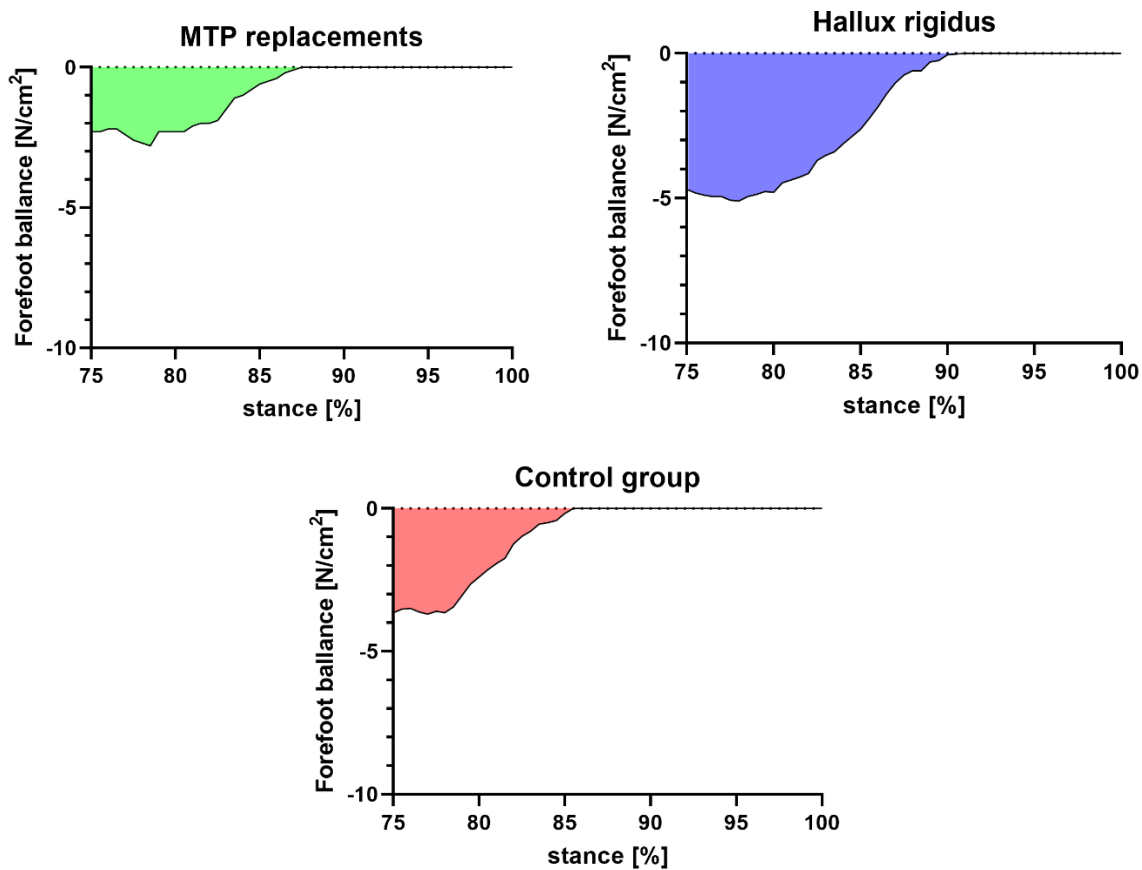
Graf 11 a-c: Plocha pod mediánem pro parametr hallux stiffness (HS), 75-100% stojné fáze u 3 vyšetřovaných skupin pacientů.



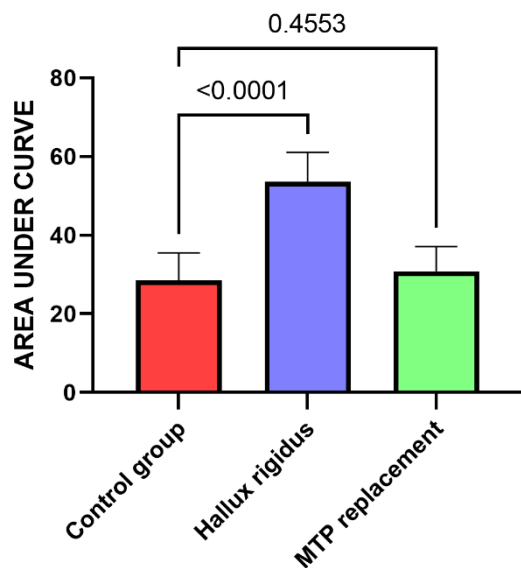
Graf 12: **Dunnettův** multiple comparison test pro parametr hallux stiffness (HS) 75-100% stojné fáze kroku



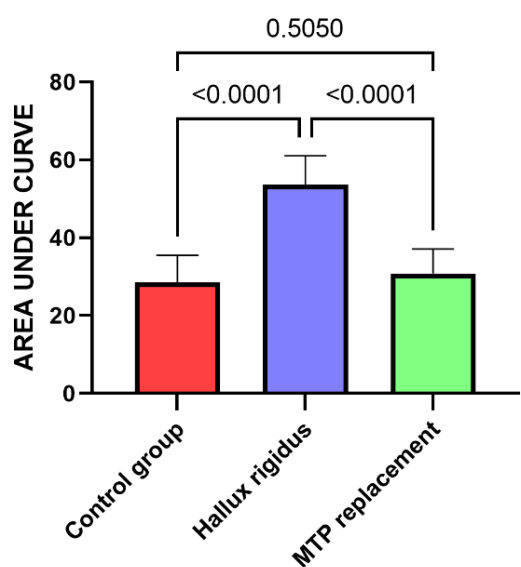
Graf 13: Tukeyův multiple comparison pro parametr hallux stiffness (HS) 75-100% stejné fáze kroku



Graf 14 a-c: Plocha pod mediánem pro parametr forefoot ballance, 75-100% stejné fáze kroku u 3 vyšetřovaných skupin pacientů.



Graf 15: **Dunnettův** multiple comparison test pro parametr forefoot ballance (FB) 75-100% stojné fáze kroku



Graf 16: **Tukeyův** multiple comparison pro parametr forefoot ballance (FB) 75-100% stojné fáze kroku

9.4. Diskuse

Hallux rigidus je velmi častá deformita přednoží u dospělé populace. Pacienti jsou vlivem artrotického postižení prvního MTP kloubu výrazně limitováni v běžných činnostech. Bolestivost MTP kloubu pak ovlivňuje celou dolní končetinu. Ve snaze odlehčit bolestivému kloubu dochází k supinaci nohy a přetěžování laterální strany přednoží s následnou metatarsalgií. Následkem je alterace krokového cyklu se změnou dynamiky v používání dolní končetiny.

Konzervativní terapie bohužel nenabízí mnoho efektivních postupů, jak pacientovi dlouhodobě ulevit a léčba je zejména symptomatická. Z tohoto důvodu je velká pozornost věnována léčbě operační, která za posledních mnoho desetiletí prodělala značný vývoj. V posledních letech byla navržena celá škála operačních zákroků pro deformitu hallux rigidus, avšak definitivně není tato problematika uspokojivě vyřešena. Je logická snaha o zachování pohybu MTP kloubu, ze kterého pacient jednoznačně profituje. Nicméně nejrůznější navržené techniky korekčních osteotomií neřeší problém základního onemocnění, tedy osteoartrózy prvního MTP kloubu a jejich použití pouze oddálí rozvoj pokročilé degenerace kloubu. Problémem je rovněž vhodné načasování operačního výkonu a správná volba operační techniky. Značný zájem o problematiku náhrad prvního MTP kloubu v uplynulých desetiletích je zcela logický. Mít možnost řešení pokročilých stádií hallux rigidus pomocí kloubní náhrady s dosažením volné a nebolestivé hybnosti je jistě velmi atraktivní představa. Zvláště pak umocněná turbulentním vývojem a vynikajícími úspěchy v oblasti endoprotetiky ostatních nosných kloubů, zvláště kyčelního a kolenního kloubu.

Náhrady prvního MTP kloubu se začaly objevovat v polovině 20. století. Byla vyvinuta velmi rozmanitá paleta nejrůznějších tvarů náhrad a materiálového složení s velmi rozdílnými klinickými výsledky. Jednou z nejčastějších komplikací náhrady prvního MTP kloubu je aseptické uvolnění, kdy řada implantátů vykazuje ve střednědobém sledování značné procento nutnosti revize.

Po prvních neuspokojivých výsledcích Endlerovy náhrady baze proximální falangy akrylmethakrylátovou náhradou (Endler 1951) zavedl Swanson do praxe svou první generaci silastikových implantátů, kdy byla vyvinuta náhrada ve formě jednodřívkového spaceru, který vyplňoval prostor v prvního MTP po resekční artroplastice dle Kellera. Nicméně již v krátkodobém sledování vykazoval implantát selhávání ve víc než 50 % případů (Ris et al. 1988)

Velmi zajímavé výsledky a dobré zkušenosti se Swansonovou dvoudřívkovou silastikovou náhradou publikoval v české literatuře Smetana. Z 97 operovaných pacientů bylo

s výsledkem operace spokojeno 85. Četnost selhání uvádí v 6 případech. Zajímavý je výsledek stran osově deviate palce po operaci, kdy u 23 pacientů pozoroval rozvoj vbočeného palce (Smetana a Vencalkova 2003). Zkušenosti některých autorů s těmito typy implantátů jsou spíše negativní a od jejich implantací upustili (Granberry et al. 1991). Obecně lze říct, že silastikové implantáty poskytují obstojnou subjektivní úlevu od obtíží pacienta, avšak rozvoj osových deformit a synovialitidy při oteru implantátu je velmi častý.

Jednou z nejčastějších komplikací kloubních náhrad MTP skloubení je aseptické uvolnění. Dle současného trendu v endoprotetice prvního MTP kloubu jasně dominuje necementová fixace implantátů. Míra uvolnění se nicméně značně liší mezi jednotlivými designy. Při studiu různých tvarů protéz dostupných na trhu a na základě vlastní zkušenosti především s implantátem Toefit Plus, jsme se snažili vytvořit co nejlepší podmínky pro dokonalou a trvanlivou osteointegraci naší náhrady. Implantát byl opatřen v oblasti kotvících částí porézním nástřikem z titanové slitiny a syntetického hydroxyapatitu Arbond, od firmy Artech. Tento materiál má výborné osteoinduktivní vlastnosti a podporuje vrůstání osteoprogenitorových buněk do takto upraveného povrchu (Landor et al. 2009). Dalším předpokladem úspěšného přežívání implantátů je dle našeho mínění jeho geometrie. Anatomický tvar kotvících částí endoprotézy se snaží v maximální míře respektovat anatomické poměry v dřevné dutině prvního metatarsu a proximální falangy. Tím by měl být zajištěn další předpoklad k docílení trvanlivé osteointegrace. Náš předpoklad vhodnosti užití hydroxyapatitového povrchu v kombinaci s porézním titanovým povrchem dokládají slibné výsledky ostatních implantátů, které používají toto řešení. Například implantát METIS (obr. 55) rovněž nevykazuje v krátkodobém sledování případy aseptického uvolnění, jak ve svých studiích publikovali Kolodziej, Silva a Horisberger (Silva et al. 2011, Kolodziej et al. 2013, Horisberger et al. 2016).



Obr. 55: Tříkomponentová náhrada METIS, opatřená povrchovou úpravou z porézního titanu a nástřikem hydroxyapatitu

V porovnání s dalšími běžně užívanými implantáty jsou krátkodobé výsledky našeho implantátu z hlediska incidence aseptického uvolnění nadějně. Tříkomponentová náhrada Bio-Action, vykazovala v některých studiích incidenci aseptického uvolnění kolem 5 % při krátkodobém sledování (Pulavarti et al. 2005). Tento implantát je opatřen nástřikem hydroxyapatitu, avšak bez makroporézní úpravy titanového povrchu v kotvících částech. Publikované výsledky tříkomponentové náhrady ReFlexion uvádí rovněž vysoké procento výskytu radiolucenčních linií, zejména v oblasti metatarzální komponenty. Dosahuje až 25 % dle Fuhrmanna (Fuhrmann 2011).

Z hlediska přežívání implantátu je zajímavé srovnání s implantátem Toefit-Plus (obr. 56), který byl na naší klinice v minulosti rovněž hojně používán a ze získaných zkušeností jsme vycházeli při vývoji náhrady PH-flex. Náhrada je celosvětově velmi rozšířena a její výsledky jsou častým tématem vědeckých prací. Gupta (Gupta a Masud 2017) ve své práci udává 21 % míru aseptického uvolnění při průměrné době sledování 134 měsíců a další použití implantátu nedoporučuje. V jiné studii, kterou publikoval Lange, dosahovala incidence aseptického uvolnění 28 % a to především v oblasti falangové komponenty (Lange J 2008). Duncan et al. referovali dobré krátkodobé výsledky s použitím této náhrady, nicméně u 23 implantovaných náhrad z celkového počtu 69 pozorovali již při krátkodobém sledování rozvoj radiolucenčních linií v oblasti falangové komponenty, která nicméně zůstávala asymptomatická (Duncan et al. 2014).



Obr. 56: Hemiplastika a totální náhrada Toefit-Plus.

Naše zkušenosti s náhradou ToeFit Plus jsou obdobné a výsledky z let 2005 až 2009 byly publikovány v roce 2022 (Bartak et al. 2022). Průměrné AOFAS skóre v naší skupině vzrostlo z 37 předoperačně na 79 pooperačně ve skupině totálních náhrad kloubu a z 45 na 86 ve skupině hemiartroplastik. Aseptické uvolnění protéz je ale v naší skupině vyšší a dosahuje 26 % ve skupině totálních náhrad a 17 % ve skupině pacientů s hemiartroplastikou.

Zatím velmi nadějným se jeví systém Roto-glide (obr. 57), který v krátkodobém sledování vykazuje velmi dobré výsledky s minimem komplikací (Karpe et al. 2018). Implantát je vybaven porézní titanovou úpravou s nástřikem hydroxyapatitu. Jeho geometrie kloubních ploch je navíc velmi zdařilá a pacienti vykazují velmi dobrý rozsah pohybu. Pohyb se zlepšil ve studii z průměrných 29,5° na 68,2°. Průměrné AOFAS score se zlepšilo v hodnocení z 41,2 na 89,1. Studie uvádí dvě komplikace u dvou pacientů, kdy byly endoprotézy odstraněny pro bolest a ztuhlost základního kloubu palce. Nepozorovali žádné aseptické uvolnění v průběhu 2letého sledování.



Obr. 57: Totální náhrada prvního MTP kloubu Roto-Glide.

Na rozdíl od aseptického uvolnění, bolestivé artrofibrózy, omezení rozsahu pohybu či rozvoje instability, nebývá hluboká infekce kloubní náhrady uváděna jako častá příčina operační revize (Lange J 2008, Fuhrmann 2011, Horisberger et al. 2016). V našem souboru se hluboká infekce kloubní náhrady vyskytla ve dvou případech, tedy 5,7 % operovaných náhrad. V porovnání s literaturou bývá incidence menší. Titchener zaznamenal hlubokou infekci pouze u jednoho operovaného z celkového počtu 86 implantací (Titchener et al. 2015). Kolodziej revidoval z důvodu infekce jeden implantát z celkového počtu 25 implantací (Kolodziej et al. 2013).

Další častou komplikací je neuspokojivý rozsah pohybu po implantaci totální náhrady. Náš soubor vykazoval progresivní ztrátu rozsahu pohybu, kdy na prvních kontrolách po výkonu byla celková hybnost prvního MTP kloubu vždy lepší, než tomu bylo při kontrolách s větším odstupem. Dva měsíce po operaci byl rozsah pohybu v průměru 46° (30° až 70°). Při následných kontrolách docházelo k postupnému tuhnutí MTP kloubu, avšak po ročním sledování omezení rozsahu pohybu již neprogredovalo a průměrná hybnost operovaných MTP kloubů se ustálila na hodnotě 36° (15° až 60°). Obdobnou zkušenost můžeme nalézt i v publikované literatuře (Kundert a Zollinger-Kies 2005, Horisberger et al. 2016).

Cílem implantace kloubní náhrady je dosažení především uspokojivé a nebolestivé dorzální flexe, která je zcela zásadní pro uspokojivou funkci prvního praprsku nohy při chůzi.

Deficit dorzální flexe bývá často pacienti negativně vnímán (Kolodziej et al. 2013, Horisberger et al. 2016). V našem souboru nicméně omezení dorziflexe nebylo pacienti negativně vnímáno a dosažený rozsah pohybu jim umožňuje uspokojivou funkci prvního paprsku při každodenních aktivitách a některým umožňuje i chůzi na nižším podpatku. I přes tuto naši zkušenost, by se měl další vývoj a technika implantace zaměřit právě na tuto oblast. Prvním faktorem, který může výslednou hybnost ovlivnit, je samotná geometrie implantátu.

Při vývoji artikulačních ploch naší náhrady jsme se zaměřili na vhodnou geometrii artikulačních povrchů především na metatarzální komponentě. K usnadnění dorzální flexe v prvního MTP kloubu je směr artikulační metatarzální komponenty naší náhrady vyosen vůči ose prvního metatarsu o 20 stupňů. Podobnou geometrii s vyosením artikulačního povrchu vůči metatarzální kotvící komponentě má implantát ROTO-glide, který v publikovaných studiích dosahuje rozsahu pohybu po implantaci kolem 60° respektive 70° (Tunstall et al. 2017, Karpe et al. 2018). Takový rozsah pohybu je zcela jistě dostačující pro dobrou funkci MTP kloubu při každodenních činnostech. V minulosti byla tato myšlenka použita již u silastikové náhrady Sutter (LaPorta et al. 1976).

Pooperační hybnost prvního MTP kloubu lze mimo správné konstrukce implantátu výrazně ovlivnit správnou operační technikou. Dostatečným uvolněním prvního MTP kloubu lze pooperační hybnost podstatně zlepšit. Nicméně toto uvolnění musí být provedeno uvážlivě, neboť případné výrazné uvolnění měkkých tkání a kloubního pouzdra může vést k pooperační nestabilitě kloubu a rozvoji osových deformit. Tento faktor je tedy značně ovlivněn zkušenostmi operátora, který musí umět dosáhnout správného kompromisu mezi uvolněním kloubu a jeho výslednou stabilitou. Výslednou dorzální flexi ovlivňuje rovněž samotná technika implantace falangové komponenty. Komponenta by měla být implantována v dutině proximální falangy při její dorzální kortikalis. Tímto způsobem lze obnovit fyziologický sklon kloubní plochy proximální falangy, která usnadňuje dorzální flexi palce.

Pro dobrý pooperační výsledek je nutná včasná intenzivní rehabilitace (Kundert a Zollinger-Kies 2005, Erkocak et al. 2013). V případě necementovaných implantátů je důležité zvolit vhodnou techniku implantace a konstrukce implantátu musí být vhodná pro včasnou fyzioterapii. Náš implantát PH-Flex svými kónickými povrchy kotvících komponent umožňuje dostatečnou primární fixaci a pacienti s pasivním cvičením začínají týden po operaci.

V případě selhání náhrady prvního MTP kloubu je další řešení velmi obtížné. Reimplantace komponent není ve většině případů možná pro rozsáhlé kostní defekty, které provází uvolnění náhrad či jsou výsledkem snahy o extrakci integrovaných částí komponent.

Je tedy důležité pacienty pečlivě dispenzarizovat a neváhat indikovat operační revizi při známkách opotřebení artikulačních povrchů a jejich výměnu u modulárních endoprotéz. V případě nutnosti extrakce endoprotézy již mnoho alternativ nezbývá (obr. 58).



Obr. 58: Řešení uvolnění náhrady prvního MTP skloubení pouhou extrakcí implantátu

Pouhé odstranění implantátů není ideálním řešením, neboť vede ke zkratu palce, oslabení jeho nosné funkce a instabilitě. Následkem je pak těžká dysfunkce prvního prstu nohy a riziko rozvoje iatrogení metatarsalgie. Toto řešení lze doporučit pouze v případě rozsáhlého infektu či u starších pacientů s velmi nízkými pohybovými nároky.

K obnově nosné funkce palce lze využít techniky artrodézy za použití solidního kostního štěpu a jeho fixaci pomocí dlahy (obr. 59). Jako ideální štěp se jeví odběr solidního trikortikálního štěpu z lopaty kosti kyčelní.



Obr. 59: Artrodéza prvního MTP skloubení za použití dlahy a trikortikálního autologního štěpu z pánve.

Kadaverozní štěpy jsou pro tento účel méně vhodné. U těchto technik je nicméně potřeba počítat s vyšší mírou komplikací, především pak s nezhojením artrodézy či selhání osteosyntézy. Úspěšnost a zhojení artrodézy bývá v literatuře u tohoto typu operace uváděna velmi různě. Pohybuje se od 78 % do 100 % (Hecht et al. 1997, Myerson et al. 2000, Bhosale et al. 2011, Garras et al. 2013). Tato operace je velmi technicky náročná, avšak při jejím správném provedení a zhojení artrodézy poskytuje velmi dobré východisko pro řešení velkých kostních defektů v oblasti prvního paprsku nohy s dobrou obnovou jeho funkce. V dostupných studiích bývá výsledek kladně hodnocen i samotnými pacienty.

V odborné literatuře existuje mnoho publikací hodnotící výsledky nejrůznějších typů náhrad I. MTP skloubení, nicméně hodnocení funkce náhrady se velmi často omezuje na užití skórovacích systémů, hodnocení rozsahu pohybu a RTG nálezech. Samotné vyhodnocení funkce nohy po implantaci náhrady prvního MTP skloubení je obtížné a dosud nebylo detailně popsáno. 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 (Nuesch et al. 2017, Rajan et al. 2019).

Jednotlivé publikace zabývající se touto problematikou se významně liší co do použité metodiky, souboru pacientů a sledovaných parametrů (Rajan a Mishra 2021). Ačkoli v některých studiích bývá validita pedobarografického vyšetření a reprodukovatelnost výsledků zpochybňována (Choi et al. 2014), má v určitých oblastech velký význam a pedobarograf bývá důležitou vyšetřovací modalitou, jako například v preventivních programech vzniku defektů v zátěžových místech u pacientů s diabetes mellitus (Skopljak et al. 2014).

V naší studii (Popelka et al. 2023) jsme použili parametry definované integrovaným softwarem a měřené pedobarografem firmy RS International pro vyhodnocení funkčnosti přednoží. Parametr hallux stiffness (HS) je obtížné hodnotit po celou dobu propulzní fáze krokového cyklu, tedy od 55 % do 100 % stojné 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 (Graf 5 a-c). 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 liší výrazněji. 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. Při statistickém porovnání náhrad a pacientů s hallux rigidus dochází k signifikantní změně průběhu parametru hallux rigidus jak od 55% tak od 75% ($p < 0,0001$).

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° (15° - 60°), s průměrnou dorzální flexí $28,6^\circ$ (rozsah, 10° - 55°) (Popelka et al. 2017). 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. metatarsu) 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 (Graf 8 a-c). 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 (Rajan a Mishra 2021). Provedení

artrodézy palce je mnohými považováno za zlatý standard operační léčby pokročilých stadií hallux rigidus (Gibson a Thomson 2005). V dostupných studiích se významně zvyšuje zátěž pod prvním paprskem. Dochází tedy k obnovení nosné funkce prvního paprsku. Jak ve své studii prokázal Chraim (Chraim et al. 2016), 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 (DeFrino et al. 2002) 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 (Brodsky et al. 2007) zvýšení maximální odrazové síly hlezna a prodloužení stojné 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 (Stevens et al. 2017) se zabývali analýzou kompenzace nohy po provedení artrodézy I. MTP kloubu. Pacienti po AD vykazovali sníženou everzi zadnoží v polovině průběhu stojné fáze, která byla následována zvýšenou vnitřní rotací zadní nohy během terminální části stojné fáze, a nakonec větší supinací a menší addukcí 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.

Z dostupných pedobarografických studií po provedení totální náhrady prvního MTP kloubu se zdá, 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 (Rajan et al. 2019). 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 metatarssem. Naše studie rovněž prokázala menší zatěžování laterální poloviny přednoží po implantaci náhrady. Oproti těmto slibným výsledkům některých studií Nüesch (Nüesch et al. 2017) 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 nefysiologického zatěžování přednoží s přetížením jeho laterální strany.

Z pedobarografických a klinických studií naopak vyplývá nevhodnost jiných operačních výkonů, typu silastikových náhrad (Mahieu et al. 1992) či operace dle Brandes -

Kellera (Nikratowicz et al. 2009). Výkony nemají dle výsledků potenciál obnovit nosnou funkci prvního paprsku (Zembsch et al. 2000) a v případě resekční artroplastiky mnohdy ani nedochází ke kontaktu palce s podložkou (Nikratowicz et al. 2009).

10. 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.

V naší pedobarografické 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. Za dodržení správné indikace, volby vhodného implantátu a správného technického provedení operace, může být náhrada validní alternativou v léčbě hallux rigidus. Od samotných pacientů bývá náhrada často vyžadována, neboť pro mnoho pacientů je nepohyblivý palec po provedení artrodézy těžko představitelný a mají obavy o funkci palce při běžných aktivitách. Je nicméně nutné pečlivě zvážit, pro koho a v jaké indikaci je náhrada vhodným řešením. Vzhledem ke známým komplikacím a omezenému přežívání náhrad by měla být náhrada volena spíše u starších pacientů, kteří nemají velké pohybové nároky, kdy nebude náhrada přetěžována těžkou prací či sportovními aktivitami.

Vhodní jsou rovněž pacienti s nižšími hodnotami body mass indexu. Z hlediska stupně postižení I. MTP skloubení dle Coughlinovy klasifikace jsme přestali k náhradě indikovat pacienty se 4. stupněm postižení, kde je již značně omezená hybnost palce. Náhradou je velmi obtížné podstatně zlepšit rozsah pohybu a výsledek spíše odpovídá „funkční“ artrodéze, nicméně s rizikem rozvoje všech známých komplikací kloubních náhrad. Preferujeme tedy pacienty s postižením 3 stupně dle Coughlina, se stále uspokojivým, ale bolestivým rozsahem pohybu prvního MTP kloubu. Za tohoto stavu již zachovné výkony nepřinášejí uspokojivé výsledky, jelikož je artrotický proces značně pokročilý. V ideálním případě by pacient neměl trpět výrazným artrotickým postižením sezamských kůstek, kdy by mohly po operaci přetrvávat bolesti v oblasti plantární ploténky.

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.

11. Literatura

- Bartak, V., J. Hert, J. Stedry, S. Popelka, Jr., S. Popelka and R. Hromadka (2022).**
"Long-term results of total joint arthroplasty and phalangeal hemiarthroplasty of the first metatarsophalangeal joint using the ToeFit Plus system." *Foot Ankle Surg* **28**(1): 56-61.
- Bartak, V., R. Hromadka, P. Fulin, D. Jahoda, A. Sosna and S. Popelka (2011).**
"Anatomical Study of Flexor Hallucis Brevis Insertion. Implications for Clinical Practice." *Acta Chirurgiae Orthopaedicae Et Traumatologiae Cechoslovaca* **78**(2): 145-148.
- Besse, J. L., J. Chouteau and D. Laptoiu (2010).** "Arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint with ball and cup reamers and osteosynthesis with pure titanium staples Radiological evaluation of a continuous series of 54 cases." *Foot Ankle Surg* **16**(1): 32-37.
- Bhosale, A., A. Munoruth, C. Blundell, M. J. Flowers, S. Jones and M. B. Davies (2011).**
"Complex primary arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint after bone loss." *Foot Ankle Int* **32**(10): 968-972.
- Bonney, G. and I. Macnab (1952).** "Hallux valgus and hallux rigidus; a critical survey of operative results." *The Journal of bone and joint surgery. British volume* **34 B**(3): 366-385.
- Brandes, M. (1929).** "Zur operativen Therapie des Hallux valgus." *Zentralbl Chir* **56**: 2434–2440.
- Brodsky, J. W., B. S. Baum, F. E. Pollo and H. Mehta (2007).** "Prospective gait analysis in patients with first metatarsophalangeal joint arthrodesis for hallux rigidus." *Foot Ankle Int* **28**(2): 162-165.
- Cotterill, J. (1888).** "Stiffness of the great toe in adolescents." *Br Med J*: 1158.
- Coughlin, M. J. and C. P. Jones (2007).** "Hallux valgus and first ray mobility. A prospective study." *J Bone Joint Surg Am* **89**(9): 1887-1898.
- Coughlin, M. J., C. P. Jones, R. Viladot, P. Golano, B. R. Grebing, M. J. Kennedy, P. S. Shurnas and F. Alvarez (2004).** "Hallux valgus and first ray mobility: a cadaveric study." *Foot Ankle Int* **25**(8): 537-544.
- Coughlin, M. J., R. A. Mann and C. L. Saltzman (1999).** *Surgery of the foot and ankle*, Mosby St. Louis.

- Coughlin, M. J. and P. J. Shurnas (2003).** "Soft-tissue arthroplasty for hallux rigidus." *Foot Ankle Int* **24**(9): 661-672.
- Coughlin, M. J. and P. S. Shurnas (2003).** "Hallux Rigidus. Grading and Long-Term Results of Operative Treatment." *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A* **85**(11): 2072-2088.
- Coughlin, M. J. and P. S. Shurnas (2003).** "Hallux rigidus: Demographics, etiology, and radiographic assessment." *Foot and Ankle International* **24**(10): 731-743.
- Dananberg, H. J. (1986).** "Functional hallux limitus and its relationship to gait efficiency." *J Am Podiatr Med Assoc* **76**(11): 648-652.
- Davies-Colley, M. (1887).** "Contraction of the metatarsophalangeal joint of the great toe." *BMJ* **1**: 728.
- Dawson-Bowling, S., A. Adimonye, A. Cohen, H. Cottam, J. Ritchie and M. Fordyce (2012).** "MOJE ceramic metatarsophalangeal arthroplasty: disappointing clinical results at two to eight years." *Foot Ankle Int* **33**(7): 560-564.
- DeFrino, P. F., J. W. Brodsky, F. E. Pollo, S. J. Crenshaw and A. D. Beischer (2002).** "First metatarsophalangeal arthrodesis: a clinical, pedobarographic and gait analysis study." *Foot Ankle Int* **23**(6): 496-502.
- Dickerson, J. B., R. Green and D. R. Green (2002).** "Long-term follow-up of the Green-Watermann osteotomy for hallux limitus." *J Am Podiatr Med Assoc* **92**(10): 543-554.
- Duncan, N. S., N. G. Farrar and R. A. Rajan (2014).** "Early results of first metatarsophalangeal joint replacement using the ToeFit-Plus prosthesis." *J Foot Ankle Surg* **53**(3): 265-268.
- DuVries, H. L. and K. A. Meyer (1959).** *Surgery of the foot*. St. Louis, Mosby.
- Easley, M. E., W. H. Davis, R. B. Anderson and G. M. Kiebzak (1999).** "Intermediate to long-term follow-up of medial-approach dorsal cheilectomy for hallux rigidus." *Foot and Ankle International* **20**(3): 147-152.
- Ellington, J. K., C. P. Jones, B. E. Cohen, W. H. Davis, F. Nickisch and R. B. Anderson (2010).** "Review of 107 hallux MTP joint arthrodesis using dome-shaped reamers and a stainless-steel dorsal plate." *Foot Ankle Int* **31**(5): 385-390.
- Endler, F. (1951).** "Zur entwicklung einer kuenstilichen arthroplasik des grosszehengrundgel enke unde ihre bisherede indekation." *Z Orthop* **80**: 480.

- Erkokcak, O. F., H. Senaran, E. Altan, B. K. Aydin and M. A. Acar (2013).** "Short-term functional outcomes of first metatarsophalangeal total joint replacement for hallux rigidus." *Foot Ankle Int* **34**(11): 1569-1579.
- Frizziero, L., E. Govoni and P. Bacchini (1998).** "Intra-articular hyaluronic acid in the treatment of osteoarthritis of the knee: clinical and morphological study." *Clin Exp Rheumatol* **16**(4): 441-449.
- Fuhrmann, R. A. (2011).** "First metatarsophalangeal arthrodesis for hallux rigidus." *Foot Ankle Clin* **16**(1): 1-12.
- Garras, D. N., J. B. Durinka, M. Bercik, A. G. Miller and S. M. Raikin (2013).** "Conversion arthrodesis for failed first metatarsophalangeal joint hemiarthroplasty." *Foot Ankle Int* **34**(9): 1227-1232.
- Giannini, S., F. Ceccarelli, C. Faldini, R. Bevoni, G. Grandi and F. Vannini (2004).** "What's new in surgical options for hallux rigidus?" *JBJS* **86**(suppl_2): 72-83.
- Gibson, J. N. and C. E. Thomson (2005).** "Arthrodesis or total replacement arthroplasty for hallux rigidus: a randomized controlled trial." *Foot Ankle Int* **26**(9): 680-690.
- Grady, J. F., T. M. Axe, E. J. Zager and L. A. Sheldon (2002).** "A retrospective analysis of 772 patients with hallux limitus." *J Am Podiatr Med Assoc* **92**(2): 102-108.
- Granberry, W. M., P. C. Noble, J. O. Bishop and H. S. Tullos (1991).** "Use of a hinged silicone prosthesis for replacement arthroplasty of the first metatarsophalangeal joint." *J Bone Joint Surg Am* **73**(10): 1453-1459.
- Gupta, S. and S. Masud (2017).** "Long term results of the Toefit-Plus replacement for first metatarsophalangeal joint arthritis." *Foot (Edinb)* **31**: 67-71.
- Hattrup, S. J. and K. A. Johnson (1988).** "Subjective results of hallux rigidus following treatment with cheilectomy." *Clin Orthop Relat Res*(226): 182-191.
- Hecht, P. J., M. J. Gibbons, K. L. Wapner, C. Cooke and S. A. Hoisington (1997).** "Arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint to salvage failed silicone implant arthroplasty." *Foot Ankle Int* **18**(7): 383-390.
- Helal, B. and S. C. Chen (1982).** "[Arthroplasty of the basic joint of the big toe using a new silastic endoprosthesis]." *Orthopade* **11**(4): 200-206.
- Hodel, S., A. Viehofer and S. Wirth (2020).** "Minimally invasive arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint: A systematic literature review." *Foot Ankle Surg* **26**(6): 601-606.
- Hohmann, G. (1921).** "Symptomatische oder Physiologische Behandlung des Hallux Valgus." *Munchener Medizinische Wochenschrift* **68**: 1942-1945.

- Horisberger, M., D. Haeni, H. B. Henninger, V. Valderrabano and A. Barg (2016).** "Total Arthroplasty of the Metatarsophalangeal Joint of the Hallux." *Foot Ankle Int* **37**(7): 755-765.
- Horton, G. A., Y. W. Park and M. S. Myerson (1999).** "Role of metatarsus primus elevatus in the pathogenesis of hallux rigidus." *Foot Ankle Int* **20**(12): 777-780.
- Hromadka, R., V. Bartak, A. Sosna and S. Popelka (2012).** "MEDIN Implant of the First Metatarsophalangeal Joint." *Acta Chirurgiae Orthopaedicae Et Traumatologiae Cechoslovaca* **79**(2): 124-130.
- Choi, Y. R., H. S. Lee, D. E. Kim, D. H. Lee, J. M. Kim and J. Y. Ahn (2014).** "The diagnostic value of pedobarography." *Orthopedics* **37**(12): e1063-1067.
- Chraim, M., P. Bock, H. M. Alrabai and H. J. Trnka (2016).** "Long-term outcome of first metatarsophalangeal joint fusion in the treatment of severe hallux rigidus." *Int Orthop* **40**(11): 2401-2408.
- Jack, E. A. (1940).** "The aetiology of hallux rigidus." *British Journal of Surgery* **27**(107): 492-497.
- Janisse, D. J. and E. Janisse (2008).** "Shoe modification and the use of orthoses in the treatment of foot and ankle pathology." *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* **16**(3): 152-158.
- Jarvis, B. D., D. B. Moats, A. Burns and J. Gerbert (1986).** "Lawrence design first metatarsophalangeal joint prosthesis." *J Am Podiatr Med Assoc* **76**(11): 617-624.
- Johnson, K. A. (1989).** *Surgery of the foot and ankle.* New York, Raven Press.
- Kampner, S. L. (1987).** "Long-term experience with total joint prosthetic replacement for the arthritic great toe." *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst* **47**(2): 153-177.
- Karpe, P., M. C. Killen, A. Chauhan, R. Pollock and R. Limaye (2018).** "Early results of Roto-glide joint arthroplasty for treatment of hallux rigidus." *Foot (Edinb)* **34**: 58-62.
- Kelikian, A. S. (2005).** "Technical considerations in hallux metatarsalphalangeal arthrodesis." *Foot Ankle Clin* **10**(1): 167-190.
- Keller, W. L. (1904).** "The surgical treatment of bunions and hallux valgus." *N. Y. Med.* **80**: 741-742.
- Kitaoka, H. B., I. J. Alexander, R. S. Adelaar, J. A. Nunley, M. S. Myerson and M. Sanders (1994).** "Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes." *Foot Ankle Int* **15**(7): 349-353.

- Klaue, K., S. T. Hansen and A. C. Masquelet (1994).** "Clinical, quantitative assessment of first tarsometatarsal mobility in the sagittal plane and its relation to hallux valgus deformity." *Foot Ankle Int* **15**(1): 9-13.
- Koenig, R. D. (1990).** "Koenig total great toe implant. Preliminary report." *J Am Podiatr Med Assoc* **80**(9): 462-468.
- Kolodziej, L., A. Bohatyrewicz and P. Zietek (2013).** "First metatarsophalangeal joint replacement with modular three-component press-fit implant. Preliminary report." *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* **80**(1): 64-68.
- Kundert, H. P. and H. Zollinger-Kies (2005).** "[Endoprosthetic replacement of hallux rigidus]." *Orthopade* **34**(8): 748-757.
- Kunnasegaran, R. and G. Thevendran (2015).** "Hallux Rigidus: Nonoperative Treatment and Orthotics." *Foot Ankle Clin* **20**(3): 401-412.
- Lambrinudi, C. (1938).** "Metatarsus primus elevatus." *Proc R Soc Med* **31**(11).
- Landor, I., P. Vavrik, D. Jahoda, D. Pokorny, R. Ballay and A. Sosna (2009).** "[Long-term experience with the combined ARBOND hydroxyapatite coating in implant osteointegration]." *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* **76**(3): 172-178.
- Lange J, M. H., Barz T, Walther C, Follak N. (2008).** "Mittelfristige Ergebnisse der ToeFit-Großzehengrundgelenksendoprothese." *Z Orthop Unfall*. **146**: 609-615.
- LaPorta, G. A., P. Pilla, Jr. and K. P. Richter (1976).** "Keller implant procedure: a report of 536 procedures using a Silastic intramedullary stemmed implant." *J Am Podiatry Assoc* **66**(3): 126-147.
- Lubinus, H. (1983).** "[Endoprosthetic replacement of the metatarsophalangeal joint of the big toe]." *Z Orthop Ihre Grenzgeb* **121**(1): 89-91.
- Lucas, D. E. and K. J. Hunt (2015).** "Hallux Rigidus: Relevant Anatomy and Pathophysiology." *Foot Ankle Clin* **20**(3): 381-389.
- Lucas, D. E., T. Philbin and S. Hatic, 2nd (2014).** "The plantar plate of the first metatarsophalangeal joint: an anatomical study." *Foot Ankle Spec* **7**(2): 108-112.
- Lundeen, R. O. and J. M. Rose (2000).** "Sliding oblique osteotomy for the treatment of hallux abducto valgus associated with functional hallux limitus." *J Foot Ankle Surg* **39**(3): 161-167.
- Maceira, E. and M. Monteagudo (2014).** "Functional hallux rigidus and the Achilles-calcaneus-plantar system." *Foot Ankle Clin* **19**(4): 669-699.

- Mah, C. D. and A. S. Banks (2009).** "Immediate weight bearing following first metatarsophalangeal joint fusion with Kirschner wire fixation." *J Foot Ankle Surg* **48**(1): 3-8.
- Maher, A. (2007).** "An audit of the use of sodium hyaluronate 1% (Ostenil® Mini) therapy for the treatment of hallux rigidus." *Br J Podiatry* **10**: 47-51.
- Mahieu, C., A. Chaput and R. Bouillet (1992).** "[The treatment of rigid hallux using Swanson's silastic implant (single and double stem). Clinical, radiological and podobarographic review with a 16-year maximum follow-up]." *Acta Orthop Belg* **58**(3): 314-324.
- Mann, R. A. and T. O. Clanton (1988).** "Hallux rigidus: treatment by cheilectomy." *J Bone Joint Surg Am* **70**(3): 400-406.
- Mann, R. A., M. J. Coughlin and H. L. DuVries (1979).** "Hallux rigidus: A review of the literature and a method of treatment." *Clin Orthop Relat Res*(142): 57-63.
- McMaster, M. (1978).** "The pathogenesis of hallux rigidus." *The Journal of bone and joint surgery. British volume* **60**(1): 82-87.
- Meyer, J. O., L. R. Nishon, L. Weiss and G. Docks (1987).** "Metatarsus primus elevatus and the etiology of hallux rigidus." *J Foot Surg* **26**(3): 237-241.
- Moberg, E. (1979).** "A simple operation for hallux rigidus." *Clin Orthop Relat Res*(142): 55-56.
- Munteanu, S. E., G. V. Zammit, H. B. Menz, K. B. Landorf, C. J. Handley, A. Elzarka and J. Deluca (2011).** "Effectiveness of intra-articular hyaluronan (Synvisc, hylan G-F 20) for the treatment of first metatarsophalangeal joint osteoarthritis: a randomised placebo-controlled trial." *Ann Rheum Dis* **70**(10): 1838-1841.
- Myerson, M. S., L. C. Schon, F. X. McGuigan and A. Ozgur (2000).** "Result of arthrodesis of the hallux metatarsophalangeal joint using bone graft for restoration of length." *Foot Ankle Int* **21**(4): 297-306.
- Nikratowicz, P., W. Wozniak, L. Lapaj, M. Wierusz-Kozłowska and D. Lawniczak (2009).** "[Pedobarographic evaluation of the foot after Keller's procedure for Hallux valgus and Hallux rigidus]." *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol* **74**(4): 224-227.
- Nuesch, C., A. Mundermann and M. Horisberger (2017).** "Mid-term functional outcome of a total arthroplasty of the first metatarsophalangeal joint." *Clin Biomech (Bristol, Avon)* **41**: 9-13.

- Petrella, R. J. and A. Cogliano (2004).** "Intra-articular Hyaluronic Acid Treatment for Golfer's Toe: Keeping Older Golfers on Course." *Phys Sportsmed* **32**(7): 41-45.
- Pons, M., F. Alvarez, J. Solana, R. Viladot and L. Varela (2007).** "Sodium hyaluronate in the treatment of hallux rigidus. A single-blind, randomized study." *Foot Ankle Int* **28**(1): 38-42.
- Popelka, S., V. Barták, M. Mazura, J. Klouda, I. Landor and R. Hromádka (2023).** "Totální náhrada prvního metatarsofalangového skloubení Medin PH-Flex a její vliv na biomechaniku přednoží v propulzní fázi krokového cyklu." *Acta Chir Orthop Traumatol Cech. in Press*
- Popelka, S., R. Hromadka, V. Bartak, J. Klouda and I. Landor (2017).** "Our Experience with the Total Replacement of the First Metatarsophalangeal Joint by Medin PH-flex." *Acta Chirurgiae Orthopaedicae Et Traumatologiae Cechoslovaca* **84**(5): 380-385.
- Pulavarti, R. S., J. L. McVie and C. J. Tulloch (2005).** "First metatarsophalangeal joint replacement using the bio-action great toe implant: intermediate results." *Foot Ankle Int* **26**(12): 1033-1037.
- Rajan, R. and A. Mishra (2021).** "A systematic review of total arthroplasty and arthrodesis for end-stage hallux rigidus: A biomechanical perspective." *Foot (Edinb)* **49**: 101838.
- Rajan, R. A., P. Kodumuri, Y. Papamerkouriou, M. Kerr and H. Evans (2019).** "A consecutive, prospective analysis of the Rotoglide 1st metatarsophalangeal joint replacement." *Foot (Edinb)* **39**: 72-75.
- Regnauld, B. (1986). Disorders of the great toe. *The Foot: pathology, aetiology, seminology, clinical investigation and treatment*. R. Elson. New York, Springer-Verlag: 269–281, 344–349.
- Regnauld, B. (1986).** *The foot : Pathology, aetiology, semiology, clinical investigation and therapy*. Berlin, Springer.
- Reverdin, J. (1881).** "De la deviation en dehors du gros orteil et de son traitement chirurgical." *Trans Int Med Congr*(2): 408-412.
- Ris, H. B., M. Mettler and F. Engeloch (1988).** "[Long-term results using a Swanson silastic endoprosthesis of the metatarsophalangeal joint of the great toe. Discrepancy between clinical and radiologic findings]." *Z Orthop Ihre Grenzgeb* **126**(5): 526-529.

- Roukis, T. S., P. R. Scherer and C. F. Anderson (1996).** "Position of the first ray and motion of the first metatarsophalangeal joint." *J Am Podiatr Med Assoc* **86**(11): 538-546.
- Sammarco, V. J. and R. Nichols (2005).** "Orthotic management for disorders of the hallux." *Foot Ankle Clin* **10**(1): 191-209.
- Sarrafiian, S. K. (1993).** *Anatomy of the foot and ankle: descriptive, topographic, functional*, Lippincott Williams & Wilkins.
- Seeburger, R. H. (1964).** "Surgical Implants of Alloyed Metal in Joints of the Feet." *J Am Podiatry Assoc* **54**: 391-396.
- Seibert, N. R. and A. R. Kadakia (2009).** "Surgical management of hallux rigidus: cheilectomy and osteotomy (phalanx and metatarsal)." *Foot Ankle Clin* **14**(1): 9-22.
- Shamus, J., E. Shamus, R. N. Gugel, B. S. Brucker and C. Skaruppa (2004).** "The effect of sesamoid mobilization, flexor hallucis strengthening, and gait training on reducing pain and restoring function in individuals with hallux limitus: a clinical trial." *J Orthop Sports Phys Ther* **34**(7): 368-376.
- Shariff, R. and M. S. Myerson (2015).** "The Use of Osteotomy in the Management of Hallux Rigidus." *Foot Ankle Clin* **20**(3): 493-502.
- Schweitzer, M. E., S. Maheshwari and N. Shabshin (1999).** "Hallux valgus and hallux rigidus: MRI findings." *Clinical imaging* **23**(6): 397-402.
- Silfverskiold, N. (1924).** "Reduction of the uncrossed two joint muscles of the leg to one joint muscle in spastic conditions." *Acta Chir Scand* **56**: 315-330.
- Silva, L. F., C. V. Sousa, R. Rodrigues Pinto, C. Santos and J. M. Geada (2011).** "Preliminary Results from the Metis-Newdeal((R)) Total Metatarsophalangeal Prosthesis." *Rev Bras Ortop* **46**(2): 200-204.
- Singh, B., R. Draeger, D. J. Del Gaizo and S. G. Parekh (2008).** "Changes in length of the first ray with two different first MTP fusion techniques: a cadaveric study." *Foot Ankle Int* **29**(7): 722-725.
- Skopljak, A., M. Muftic, A. Sukalo, I. Masic and L. Zunic (2014).** "Pedobarography in diagnosis and clinical application." *Acta Inform Med* **22**(6): 374-378.
- Smetana, M. and S. Vencalkova (2003).** "[Use of a silicone metatarsophalangeal joint endoprosthesis in hallux rigidus over a 15-year period]." *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* **70**(3): 177-181.

- Smith, R. W., S. D. Katchis and L. C. Ayson (2000).** "Outcomes in hallux rigidus patients treated nonoperatively: a long-term follow-up study." *Foot Ankle Int* **21**(11): 906-913.
- Solan, M. C., J. D. Calder and S. P. Bendall (2001).** "Manipulation and injection for hallux rigidus. Is it worthwhile?" *J Bone Joint Surg Br* **83**(5): 706-708.
- Stevens, J., K. Meijer, W. Bijmens, M. C. Fuchs, L. W. van Rhijn, J. P. Hermus, S. van Hoeve, M. Poeze and A. M. Witlox (2017).** "Gait Analysis of Foot Compensation After Arthrodesis of the First Metatarsophalangeal Joint." *Foot Ankle Int* **38**(2): 181-191.
- Swanson, A. B., R. M. Lumsden and G. D. Swanson (1979).** "Silicone implant arthroplasty of the great toe. A review of single stem and flexible hinge implants." *Clin Orthop Relat Res*(142): 30-43.
- Swanson, A. B. C. V. M. C. (1973).** Flexible implant resection arthroplasty in the hand and extremities. Saint Louis, C. V. Mosby Company.
- Titchener, A. G., N. S. Duncan and R. A. Rajan (2015).** "Outcome following first metatarsophalangeal joint replacement using TOEFIT-PLUS: A mid term alert." *Foot Ankle Surg* **21**(2): 119-124.
- Tunstall, C., P. Laing, R. Limaye, C. Walker, S. Kendall, D. Lavalette, P. Mackenney, A. Adedapo and M. Al-Maiyah (2017).** "1st metatarso-phalangeal joint arthroplasty with ROTO-glide implant." *Foot Ankle Surg* **23**(3): 153-156.
- Wassink, S. and M. van den Oever (2009).** "Arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint using a single screw: retrospective analysis of 109 feet." *J Foot Ankle Surg* **48**(6): 653-661.
- Watson-Jones, R. (1927).** "Treatment of hallux rigidus." *BMJ*: pp. 1165-1166.
- Weil, L. S., R. A. Pollak and W. L. Goller (1984).** "Total first joint replacement in hallux valgus and hallux rigidus. Long-term results in 484 cases." *Clin Podiatry* **1**(1): 103-129.
- Youngswick, F. D. (1982).** "Modifications of the Austin bunionectomy for treatment of metatarsus primus elevatus associated with hallux limitus." *Journal of Foot Surgery* **21**(2): 114-116.
- Zembsch, A., H. J. Trnka and P. Ritschl (2000).** "Correction of hallux valgus. Metatarsal osteotomy versus excision arthroplasty." *Clin Orthop Relat Res*(376): 183-194.