

**Univerzita Karlova**

**1. lékařská fakulta**



**UNIVERZITA KARLOVA**  
**I. lékařská fakulta**

**Postgraduální doktorský program v biomedicině**

**Studijní obor: Experimentální chirurgie**

**MUDr. Petr Fojtík**

**Poranění syndesmózy u luxačních zlomenin hlezna**

**- Maisonneuveova zlomenina**

**Syndesmotic lesion in fracture-dislocations of the ankle**

**- Maisonneuve fracture**

**Disertační práce**

**Školitel: doc. MUDr. Ondřej Naňka, Ph.D.**

**Konzultant: prof. MUDr. Jan Bartoníček, DrSc.**

**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, 31.10.2023

MUDr. Petr Fojtík

**Identifikační záznam:**

FOJTÍK, Petr. *Poranění syndesmózy u luxačních zlomenin hlezna - Maisonneuveova zlomenina. [Syndesmotic lesion in fracture-dislocations of the ankle - Maisonneuve fracture]*. Praha, 2023. Počet stran 100. Disertační práce. Univerzita Karlova, 1. LF UK, Anatomický ústav 1. LF UK Praha, Klinika ortopedie 1. LF UK a ÚVN Praha. Vedoucí práce Naňka, Ondřej.

## Abstrakt

Maisonneuveova zlomenina (MZ) je luxační zlomenina hlezna způsobená zevně rotačním násilím. V tradičním pojetí obsahuje subkapitální zlomeninu fibuly, poranění tibiofibulární syndesmózy a *membrana interossea* a je považována za nestabilní poranění.

Experimentálním (anatomickým) cílem disertace bylo detailní studium *incisura fibularis tibiae* (IFT), její maximální hloubka a lokalizace vzhledem ke kloubní štěrbině hlezna. Druhým experimentálním cílem byl detailní popis laterální plochy distální fibuly, kde se nachází výrazná, ale dosud bezejmenná hrana, která dává distální fibule na transverzálním řezu typický trojúhelníkový tvar (pracovně nazvaná *crista malleoli lateralis*, CML). Obě tyto struktury jsou nesmírně důležité při diagnostice i léčbě zlomenin hlezna. Klinická část práce zahrnovala přehled veškeré literatury věnované MZ a dále analýzu našeho souboru pacientů s MZ se zaměřením na zlomeninu *malleolus posterior* (MP).

Anatomické studie byly provedeny na 352 suchých kostěných preparátech dospělých tibií a fibul. Klinická studie byla provedena na souboru 100 pacientů s MZ u dospělých pacientů ošetřených na Klinice ortopedie 1.LF UK a ÚVN v Praze v letech 2012-2022.

V experimentální části práce byly detailně popsány dvě anatomické struktury a to IFT a CML. Bylo lokalizováno nejhlubší místo IFT, které souvisí s hodnocením polohy distální fibuly v IFT na CT skenech. CML jsme popsali vůbec jako první. Její tvar a průběh má zásadní význam pro operační stabilizaci tibiofibulární vidlice syndesmálními šrouby a při osteosyntéze zlomenin zevního kotníku.

Analýza všech dostupných studií věnovaných MZ v klinické části ukazuje, že MZ není všemi autory vnímána stejně (rozdíly ve stabilitě zlomeniny i výčtu poraněných struktur). Zásadní roli při diagnostice proto hraje CT, které je třeba provádět před i pooperačně.

Zlomenina MP se u MZ v naší studii vyskytuje v 74 %. Její význam byl doposud podceňován, přestože zásadním způsobem porušuje integritu IFT a destabilizuje tibiofibulární vidlici. Proto je třeba při operaci provést nejprve repozici a osteosyntézu MP, čímž se obnoví i integrita IFT.

## Abstract

A Maisonneuve fracture (MF) is a fracture dislocation of the ankle caused by external rotational force. In the traditional concept it includes a subcapital fracture of the fibula, an injury to the tibiofibular syndesmosis and to the interosseous membrane, and it is considered as an unstable injury. The experimental (anatomical) goal of the dissertation work was a detailed study of the *incisura fibularis tibiae* (IFT), its maximum depth and its localization relative to the articular surface of the ankle. The second experimental goal was a detailed description of the lateral surface of the distal fibula, where there is a prominent but still nameless edge that gives the distal fibula its typical triangular shape on a transverse section (workingly we called it lateral malleolar crest, LMC). Both of these structures are extremely important in the diagnosis and treatment of ankle fractures. The clinical part of the work included an overview of all the literature devoted to MF and further analysis of our group of patients with MF with a focus on the posterior malleolus (PM) fracture. Anatomical studies were performed on 352 dry bone specimens of adult tibiae and fibulae. The clinical study was conducted on a group of 100 patients with MF in adult patients treated at The Department of Orthopedics, 1st Faculty of Medicine, Charles University, The Central Military Hospital, in the years 2012-2022. In the experimental part of the work, two anatomical structures were described in detail, i.e. IFT and LMC. The deepest point of the IFT was located and related to the assessment of the distal fibula position in the IFT on CT scans. We were the first to describe LMC. Its shape and course are of fundamental importance for operative stabilization of the tibiofibular fork with syndesmal screws and for plate osteosynthesis of external ankle fractures. The analysis of all available studies devoted to MF in the clinical part shows that MF is not perceived the same by all authors (differences in the stability of the fracture and the list of injured structures). CT therefore plays a fundamental role in diagnosis, which must also be performed pre and postoperatively. PM fracture occurs in 74% of MFs in our study. Its importance has so far been underestimated, even though it fundamentally violates the integrity of the IFT and destabilizes the tibiofibular fork.

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Současný stav studované problematiky.....	2
2.1 Pathoanatomie .....	3
2.2 Diagnostika .....	5
2.3. Terapie .....	7
3. Cíle práce.....	9
4. Materiál a metodika.....	11
5. Výsledky ve formě publikací .....	16
5.1. Fojtík P, Kostlivý K, Bartoníček J, Naňka O. The fibular notch: an anatomical study. Surg Rad Anat. 2020;42:1161-1166.....	16
5.2. Fojtík P, Kašper Š, Bartoníček J, Tuček M, Naňka O. Lateral malleolar crest and its clinical importance. Surg Rad Anat. 2023;45:255-262.....	23
5.3. Bartoníček J, Fojtík P, Bunganičová E, Tuček M. Maisonneuveova zlomenina hlezna. Rozhl Chir. 2023;102:48-59.....	32
5.4. Tuček M, Bartoníček J, Fojtík P, Kamin K, Rammelt R. Injury to the posterior malleolus in Maisonneuve fractures. 2023 Nov; Epub ahead of print. ....	45
6. Souhrn výsledků.....	66
7. Diskuse .....	71
8. Závěr.....	80
9. Literatura .....	82
10. Publikace, přednášky.....	92
11. Poděkování.....	94

# 1. Úvod

Poranění tibiofibulární syndesmózy patří u luxačních zlomenin hlezna k jedné z nejdiskutovanějších problematik [110]. V posledních letech je mimořádná pozornost věnována postavení distální fibuly v incisura fibularis tibiae (IFT), zejména CT diagnostice včetně metod měření [108] a technice repozice [41, 65]. To se týká především tzv. zlomenin typu Weber C, kde specifický problém představuje Maisonneuveova zlomenina (MZ). Termín MZ je všeobecně velmi dobře znám. Recentní CT a MR studie však ukázaly, že tomuto poranění byla v literatuře věnována minimální pozornost, a že stále převládají desítky let staré představy o pathoanatomii této zlomeniny, které se v řadě aspektů zcela rozcházejí s poznatky novými [8, 41, 65]. MZ tak představuje nedořešenou kapitolu luxačních zlomenin hlezna, a proto jsem si ji zvolil jako téma své disertační práce.

## 2. Současný stav studované problematiky

Disertační práce se zabývá Maisonneuveovou zlomeninou (MZ, obr. 1). Poprvé byla popsána r. 1840 Julesem Germainem Francoisem Maisonneuvem (1809–1897), francouzským chirurgem [81], na základě experimentů prováděných na kadaverech. Tradičně je chápána jako subkapitální zlomenina fibuly, která byla způsobena zevně rotačním násilím. Nedílnou součástí je poranění tibiofibulární syndesmózy a *membrana interossea*, díky čemuž je považována za velmi nestabilní poranění. MZ se podílí na 3,5 až 7 % všech luxačních zlomenin hlezna [29, 61, 68, 120, 127]. Poměr mužů a žen i jejich průměrný věk se relativně liší dle jednotlivých autorů.

Komplexní rozbor literatury se vztahem k MZ byl tématem článku (*Bartoniček J, Fojtík P, Bunganičová E, Tuček M. Maisonneuveova zlomenina hlezna. Rozhl Chir. 2023;102:48-59*), zde proto uvádím pouze zjednodušený přehled a nejdůležitější problémy s MZ spojené.



**Obr. 1** Základní typy MZ: **a** - nestabilní; pronačně-everzní zlomenina; **b** - stabilní, supinačně-everzní zlomenina. Bílá šipka ukazuje zlomeniny na fibule, červená šipka označuje zlomeninu Tillaux-Chaputova hrbolu. (Převzato z: *Bartoniček J, Fojtík P, Bunganičová E, Tuček M. Maisonneuveova zlomenina hlezna. Rozhl Chir. 2023;102:48-59*).



## 2.1 Pathoanatomie

Na základě dosud publikovaných studií lze MZ definovat jako luxační zlomeninu hlezna (v proximální čtvrtině fibuly), která je spojená s poraněním tibiofibulární syndesmózy. Starší studie MZ vycházely především z rentgenových a peroperačních nálezů a zaměřovaly se především na poranění vazů tibiofibulární vidlice, tj. *lig. tibiofibulare anterius* (LTFA), *lig. tibiofibulare interosseum* (LTFI), *lig. tibiofibulare posterius* (LTFP) a *membrana interossea* (MI). Recentní CT studie [8, 41, 65] však ukazují, že MZ je mnohem komplexnější poranění, a pod pojem MZ je třeba zařadit poranění řady dalších struktur (mediálního malleolu, zadní hrany tibie, Tillaux-Chaputova hrbolu). Stabilita MZ rovněž není konstantní a osciluje v širokém spektru, od zlomenin minimálně dislokovaných a stabilních až po kompletně dislokované a velmi nestabilní zlomeniny [8, 41, 65].

### 2.1.1. Poranění fibuly

Typickým poraněním fibuly jsou zlomeniny v její proximální či subkapitální oblasti nebo v proximální čtvrtině, tyto faktury jsou obvykle spirální. Někteří autoři do kategorie MZ řadí i všechny zlomeniny střední třetiny fibuly [96, 101, 134]. Jiní zase hovoří o „Maisonneuve-like fractures“, čímž myslí vzácnější případy s intaktní fibulou (tzv. distorze tibiofibulárního kloubu nebo luxace hlavice fibuly) [16, 47, 49, 75, 77]. K atypickým typům zlomenin fibuly patří takřka neznámá dvojitá zlomenina, tj. ve dvou etážích, v proximální i distální čtvrtině (doposud v literatuře popsáno pouze 15 případů [22, 46, 66, 116, 137]).

### 2.1.2. Poranění mediálních struktur

Do kategorie poranění mediálních struktur patří fraktury mediálního malleolu (MM), ruptury lig. deltoideum (LD) nebo kombinace obou lézí (částečné i kompletní). Vzácně mohou zůstat mediální struktury bez poranění [8, 60, 111]. Zlomeniny MM mohou postihovat pouze

*colliculus anterior* (CA), častěji se však vyskytují bikolikulární zlomeniny vnitřního kotníku [65, 41]. U zlomenin CA může být současně poraněna i tibiotalární (hluboká) část LD, a vzniká tak kombinované osteoligamentózní poranění.

### **2.1.3. Poranění zadní hrany distální tibie**

Zlomenina zadní hrany distální tibie (malleolus posterior, MP) se u MZ vyskytuje podle recentních CT studií v 77 % až 83 % případů [8, 41, 65]. To je mnohem více, než bylo obecně u luxačních zlomenin hlezna udáváno [61, 127] a v případě, že zlomenina MP zasahuje až do incisura fibularis (IFT), i velmi terapeuticky významné (viz 2.3 Terapie).

### **2.1.4. Poranění tibiofibulární syndesmózy**

Poranění vazů tibiofibulární syndesmózy a membrana interossea (MI) patří k poraněním typickým pro MZ. Téměř všichni autoři mimo Bonina [18] se shodují, že u MZ musí být poraněno LTFA a LTFI vždy.

### **2.1.5. Poranění membrana interossea**

V oblasti poranění MI nejsou autoři jednotní. Podle Weberovy monografie [132] a AO literatury [45, 92] je ruptura MI až do výše zlomeniny na fibule považována za konstantní součást MZ [69, 120]. Toto tvrzení však zpochybnili na základě MR vyšetření autoři Moriis a Manyi [41, 82, 88, 93], kteří zaznamenali poranění MI u pouze do výše 6, resp. 11 cm nad kloubní štěrbinou hlezna.

### **2.1.6. Postavení fibuly v incisura fibularis**

Postavení distální fibuly v incisura fibularis tibiae (IFT) patří k základním problémům MZ. Recentní CT studie MZ ukázaly značnou variabilitu vztahu a vzájemné polohy obou kostí

v oblasti incisura fibularis [8, 65]. Prostor mezi fibulou a IFT může být rozšířen pouze minimálně (do 2 mm při měření v centru IFT), nebo o více než 2 mm s mírnou zevní rotací fibuly, anebo je rozšíření tibiofibulární syndesmózy spjata s výraznou zevní rotací fibuly. Analýza Kašpera et al. [65] dokazuje, že s postupným rozšiřováním tibiofibulární štěrbině postupně narůstá zevní rotace fibuly.

## 2.2 Diagnostika

Diagnostika MZ se nijak neliší od diagnostiky ostatních úrazů, vždy začínáme anamnézou. Zajímáme se o historii nemocného a předešlé úrazy, velmi podstatné jsou zejména starší zlomeniny či operace ve vyšetřované oblasti. Zaznamenáme kde a kdy se úraz stal a zda byl pracovní či nepracovní. Ptáme se na prvotní ošetření a přínosem bude též informace o pozici nohy v okamžiku úrazu, MZ totiž vzniká pronačně-everzním či supinačně-everzním mechanismem [74,109].

Pokračujeme klinickým vyšetřením, které by se nemělo lišit v rámci všech poranění hlezna. Pohledem můžeme vidět otok a hematom v oblasti kotníků, dále exkoriace či defiguraci hlezenného kloubu. Velmi důležitá je palpace, kdy je nezbytné palpovat fibulu v celé její délce, dále provést „tibiofibular squeeze“ test (komprese fibuly proti tibií) a vyzkoušet stabilitu hlavice fibuly v tibiofibulárním kloubu. Bolest či krepitace při těchto testech svědčí pro poranění tibiofibulárního kloubu nebo fibuly. Důležitá je i palpace v oblasti mediálního a laterálního kotníku, případná bolest zvyšuje podezření na poranění příslušných vazů. Pozitivní zevně rotační test je příznakem poranění LTFA.

Radiologické vyšetření hlezna zahrnuje tři projekce, předozadní projekci, projekci na vidlici a projekci bočnou. V případě suspekce na MZ je třeba doplnit předozadní a bočný snímek celého bérce. Velmi důležitá je skutečnost, že až ve 24 % případů nemusí být zlomenina proximální fibuly v předozadní projekci viditelná [8].

Po nálezu MZ na RTG snímcích indikujeme CT [108], to poskytne další zásadní informace. O postavení distální fibuly v IFT (nejméně se hodnotí na transverzálních CT řezech v místě, kde je IFT nejhlubší), anatomii a případné dislokaci MP, který se u MZ vyskytuje až v 80 % případů [8, 41, 65]. Z CT vyšetření můžeme detekovat i zlomeninu Tillaux-Chaputova hrboleku, kterou lze snadno na RTG snímcích přehlédnout [106].

Dalším vyšetřením, které poskytne u MZ řadu důležitých informací o poranění vazů či chrupavek může být MR [42, 82, 88, 93] či artroskopie [60, 111, 139], tyto metody ale zatím nepatří do běžné praxe.

### 2.3. Terapie

MZ je většinou autorů považována za nestabilní poranění a je zpravidla indikována k operačnímu řešení [11]. Konzervativní léčbu doporučuje pouze několik autorů [18, 85, 26]. Tato se sestává z fixace sádrovým obvazem na 6-8 týdnů. V současné době je konzervativní terapie indikována pouze u nedislokovaných (nutno verifikovat CT) a stabilních MZ, které vznikly supinačně-everzním mechanismem, kde mediální struktury zůstaly intaktní [11, 42, 65].

V operační léčbě je nejdůležitější přesná repozice distální fibuly do IFT [37, 50, 68] a její stabilizace. Ta v minulosti zahrnovala především zavřené perkutánní techniky stabilizace jedním či dvěma syndesmálními šrouby, ale bez revize přední části tibiofibulární syndesmózy [9, 17, 45, 132]. Tato zavřená repozice a perkutánní stabilizace však vede k řadě malpozic distální fibuly v IFT, jak bylo zjištěno pomocí pooperačních CT studií [37, 100].

U MZ je totiž typickou dislokací distální fibuly v IFT zevní rotace, zadopřední subluxe a rozšíření tibiofibulární štěrby, toto je dáno lézí LTFA a zevně rotačním mechanismem poranění. Nedílnou součástí repozice proto musí být derotace distální fibuly. Při zavřené repozici, ale není možné kontrolovat zrakem oblast tibiofibulární vidlice v oblasti LTFA a vzájemnou kongruenci obou kostí. Proto by repozice fibuly do IFT měla být prováděna zásadně otevřeně, tj. za kontroly zraku.

Samotná repozice fibuly, ale bývá někdy obtížná, především pokud je přítomna zlomenina MP (což je dle recentních studií až v 80 % [8, 41, 65], která nese větší část incisury. Proto je nezbytné provést nejprve repozici a osteosyntézu MP. Operační léčení zlomenin zadní hrany tibie byla detailně diskutována v recentní literatuře [12, 13, 105]. Teprve následně lze přistoupit k repozici a stabilizaci MM a až poslední fází operace je repozice distální fibuly do IFT a její stabilizace.

Zlomeniny MM se liší velikostí fragmentu - mohou být bikolikulární, kdy nese odlomený fragment kompletní tibiální úpon LD, tedy včetně jeho tibiotalární (hluboké) porce, která spojuje MM s kladkou talu. Naopak u zlomeniny předního kolikulu fragment nese pouze úpon přední, subtalární části LD. Zlomenina proximální fibuly u MZ není indikována k osteosyntéze, zejména pro riziko poranění n. peroneus communis.

Nejasnosti panují i kolem stabilizace fibuly syndesmálními šrouby, jejich počet, průměr šroubu, tri/ tetrakortikální zavedení a výška jejich zavedení [38,89]. Tyto drobné detaily však nejsou rozhodující, důležitější je správná technika, tj. výška a místo jejich zavedení [11,45]. Šrouby musí procházet středem fibuly a středem konkavity IFT. V případě zavedení z anterolaterální či posterolaterální plochy distální fibuly šrouby neprocházejí středem fibuly a jejich trajektorie v tibií zdaleka není ideální. V případě příliš vysokého zavedení riskujeme sklouznutí vrtáku po konvexní hraně tibie (*margo interosseus*) anteriorně či posteriorně. Takto zavedený šroub pak snadno dislokuje fibulu v incisuře a vytvoří malpozici fibuly v IFT, která předtím vůbec nemusela být přítomna [45]. V případě příliš nízkého zavedení je fixace tibiofibulární vidlice rigidnější, toto není žádoucí a je zde větší tendence ke zlomení šroubů po zahájení zátěže. Velmi důležité je provést časně pooperačně kontrolní CT, které ukáže přesnost repozice fibuly i ostatních zlomenin. Všechny tyto zásady léčby MZ se teprve nyní pomalu postupně dostávají do širšího povědomí a jejich zavádění na pracovištích mnohdy není jednoduché.

### 3. Cíle práce

Práce byla rozdělena do dvou částí a to experimentální (anatomické) a klinické.

**Experimentální část** je založena na studiu anatomických preparátů tibií a fibul pocházejících z Pachnerovy sbírky [97] Anatomického ústavu 1. LF UK a Katedry antropologie a genetiky člověka Přírodovědecké fakulty UK v Praze.

**Klinická část** vychází z analýzy souboru pacientů s MZ, kteří byli ošetřeni na Klinice Ortopedie 1.LF UK a ÚVN v letech 2012-2022.

#### 3.1. Experimentální část

Prvním cílem experimentální (anatomické) části disertace bylo studium anatomie IFT. Zajímala nás především její maximální hloubka včetně lokalizace vzhledem ke kloubní štěrbině hlezna. V tomto místě je totiž nejvhodnější hodnotit postavení distální fibuly v IFT na CT řezech.

Druhým cílem bylo detailně popsat anatomii distální fibuly, zejména její zevní (laterální) plochy. Zde se nachází výrazná, ale dosud bezejmenná hrana, která dává zevní ploše distální fibuly na CT axiálních skenech typický triangulární tvar. Ten je významný pro posuzování postavení distální fibuly v IFT. Tvar a průběh hrany, kterou jsme pracovníčně nazvali *crista malleoli lateralis* (CML), má zásadní význam pro zavádění syndesmálních šroubů a přikládání dlahy při osteosyntéze zlomenin zevního kotníku.

***Výsledky studia této problematiky jsou shrnuty v publikacích 5.1. a 5.2.***

### 3.2. Klinická část

V klinické části jsme provedli metaanalýzu veškeré nám dostupné literatury související s MZ od roku 1840 až po současnost.

*Výsledky studia této problematiky jsou shrnuty v publikaci 5.3.*

Na základě této analýzy jsme se zaměřili na problematiku zlomenin tzv. zadního malleolu (*malleolus posterior*, MP) u MZ. Zlomenina MP porušuje integritu IFT a destabilizuje tibiofibulární vidlici, neboť odlomený fragment nese úpon LTFFP. Vzhledem k tomu, že v dosavadních studiích byly zlomeniny MP u MZ zmíněny pouze obecně, zaměřili jsme se na jeho pathoanatomii včetně dislokace a rozsahu poškození IFT. Vycházeli jsme přitom z hypotézy, že v případě rozsáhlejšího poškození IFT je nutné nejdříve repozicí a fixací MP obnovit její integritu, což významně usnadní repozici distální fibuly. Analyzovali jsme soubor 100 MZ, u kterých bylo provedeno poúrazové CT vyšetření včetně 3D CT rekonstrukcí. Takto velký soubor nebyl dosud v literatuře publikován.

*Výsledky studia této problematiky jsou shrnuty v publikaci 5.4.*



## 4. Materiál a metodika

Tato část disertační práce byla rozdělena na část experimentální (anatomickou) a část klinickou.

**Anatomická část** zahrnovala anatomickou studii distální tibie a fibuly na suchých kostních preparátech, metriku sledovaných struktur a statistickou analýzu získaných dat.

**Klinická část** vycházela z komplexní metaanalýzy dostupné literatury věnované MZ a dále z analýzy rentgenových snímků hlezna i bérce a následného CT vyšetření včetně 3D rekonstrukcí.

### 4.1. Experimentální část

Experimentální část disertační práce zahrnovala anatomickou studii *incisura fibularis tibiae* a distální fibuly.

#### 4.1.1. Anatomická studie *incisura fibularis tibiae*

**Materiál:** Ve studii jsme zkoumali tibie dospělých mužů i žen z Pachnerovy osteologické sbírky [97] Anatomického ústavu 1. LF UK v Praze. Tato kolekce vzniklá v letech 1934-1935 poskytuje základní údaje o každém skeletu, tj. pohlaví, věku jedince a jeho výšce v době úmrtí.

Vyřazeny byly všechny preparáty s patologickými změnami a známkami poškození. Soubor tak tvořilo 261 tibií, 190 mužských a 71 ženských. Pravostranných tibií bylo 142, levostranných 119. Průměrný věk celého souboru činil 51 roků, průměrný věk mužů byl 52 roků, průměrný věk žen činil 47 roků. Průměrná výška mužů byla 168 cm, průměrná výška žen 156 cm.

**Metoda:** Na každé tibií jsme měřili následující parametry:

- délku tibie (L), tj. vzdálenost *tibiale-apex malleoli medialis*,

- výšku *incisura fibularis tibiae* (V), tj. vzdálenost od nejvyššího místa *facies articularis inferior tibiae* k vrcholu incisury, ve kterém se sbíhají incisurální hrany a přecházejí v *margo interosseus tibiae*,
- šířku *incisura fibularis tibiae* v nejširším místě (BM), tj. mezi předním a zadním okrajem *facies articularis inferior tibiae*,
- šířku *incisura fibularis tibiae* 3 mm (B3) nad nejvyšším místem *facies articularis inferior*,
- hloubku *incisura fibularis tibiae* 3 mm (D3) nad nejvyšším místem *facies articularis inferior*,
- šířku *incisura fibularis tibiae* měřenou jako spojnicí incisurálních hran 10 mm (B10) nad nejvyšším místem *facies articularis inferior tibiae*,
- hloubku IFT měřenou kolmo ke spojnicí incisurálních hran 10 mm (D10) nad nejvyšším bodem *facies articularis inferior tibiae*,
- největší hloubku *incisura fibularis tibiae* měřenou v oblasti největší prominence *tuberculum anterius et posterius tibiae* (DM) a její vzdálenost nejhlubšího místa IFT od nejvyššího bodu *facies articularis inferior tibiae* (K).

Každé měření bylo prováděno každým z autorů dvakrát. První měření sloužilo k osvojení si techniky, výsledky druhého měření byly dále zpracovávány. Vlastní měření bylo prováděno posuvným měřidlem s přesností na desetinu milimetru.

**Hodnocení:** Naměřená data byla zpracována pomocí tabulkového kalkulátoru Microsoft Excel Office 2016 s výpočtem maximálních, minimálních, průměrných, středních hodnot a směrodatné odchylky.

#### 4.1.2 Crista malleoli lateralis a její klinický význam

**Materiál:** Ve studii jsme zkoumali fibuly dospělých mužů i žen z Pachnerovy osteologické sbírky Anatomického ústavu 1. LF UK v Praze. Tato kolekce, která vznikla v letech 1934-1935, poskytuje základní údaje o každém skeletu, tj. pohlaví a věku jedince v době úmrtí.

Ze studie jsme vyřadili všechny preparáty patologicky změněné, se známkami poškození a nepárové vzorky. Soubor poté tvořilo 352 fibul (176 párů), z toho 192 mužských (96 párů) a 160 ženských (80 párů). Průměrná výška v celém souboru činila 162,2 cm (139-183), průměrná výška mužů byla 168,6 cm (140-183), průměrná výška žen 154,5 cm (139-172,5). Průměrný věk byl v celém souboru 52 let (18-86), u mužů 51 (22-81) a u žen 53 (18-86) roků.

**Metoda:** Na každé fibule jsme sledovali výskyt CML a její vliv na tvar zevní plochy zevního kotníku (LM). Následně jsme měřili tyto parametry:

- (F) délku fibuly - vzdálenost mezi *apexem* hlavice a nejdálším místem zevního kotníku
- (LCM) celkovou délku CML - tj. vzdálenost od jejího odstupu od *crista anterior* (AC) k nejdálšímu místu LM
- (A) délku od horního okraje kloubní plochy LM do nejproximálnějšího místa, které je ještě ve středu fibuly
- (B) délku mediální trojúhelníkovité drsné plošky ohraničené proximálně *crista interossea* a distálně horním okrajem kloubní plochy LM (AFLM)

Na základě výše uvedených naměřených hodnot byl dopočten poměr délky CML k celé fibule. Měření ve studii bylo prováděno posuvným a tyčovým měřidlem s přesností měření jedna setina milimetru pro posuvné měřidlo a jeden milimetr u měřidla tyčového.

**Hodnocení:** Naměřená data byla dále zpracována pomocí tabulkového kalkulátoru Microsoft Excel Office 2016 s výpočtem maximálních, minimálních, průměrných, středních hodnot a

směrodatné odchylky. Statistické zhodnocení a porovnání párových vzorků probíhalo pomocí Studentova T-testu při 5 % hladině významnosti.

## **4.2. Klinická část**

Klinická část disertační práce zahrnovala analýzu literatury věnované MZ a dále hodnocení souboru pacientů s MZ ve vztahu ke zlomenině MP.

### **4.2.1. Maisonneuveova zlomenina hlezna**

Metaanalýza veškeré dostupné literatury související s MZ byla provedena pomocí webových vyhledávačů PubMed a Ovid MEDLINE s použitím klíčových slov: „Maisonneuve, fracture, ankle“. Nejstarší literární pramen pochází z roku 1840, naopak nejrecentnější studie vyšly teprve v roce vydání této práce.

### **4.2.2. Poranění malleolus posterior u Maisonneuveovy zlomeniny**

V období od ledna 2012 do dubna 2022 jsme prospektivně shromáždili a vyhodnotili 117 pacientů s MZ, které jsme léčili na naší klinice. MZ byla definována jako zlomenina hlezna nebo luxační zlomenina hlezna, která zahrnovala zlomeninu proximální čtvrtiny fibuly. Kompletní radiologická dokumentace, tj. rentgenové snímky a počítačová tomografie (CT), byla provedena a dostupná u všech pacientů. Ze studijního souboru bylo vyloučeno 17 pacientů s MZ z důvodu nezralosti skeletu, předchozích úrazů a operací, osteoartrózy hlezna a etážové zlomeniny fibuly („*dvojíta Maisonneuveova zlomenina*“) [65].

Konečný soubor tedy tvořilo 100 pacientů s průměrným věkem 51,2 let (26-84). Mezi nimi bylo 67 mužů s průměrným věkem 47,8 let (26-78) a 33 žen s průměrným věkem 58,3 let (39-84). Pravá strana byla postižena v 56 případech, levá strana ve 44 případech. Konzervativní léčbu podstoupilo 16 pacientů a 84 pacientů bylo ošetřeno operativně, z toho 23 jedinců

lčených otevřenou repozicí s přímou vnitřní fixací dislokovaného MP ze zadního přístupu (posterolaterální přístup v 17 případech a posteromediální přístup u 6 pacientů).

**Metodika:** Všichni pacienti podstoupili kompletní radiologické vyšetření, tj. anteroposteriorní (AP), projekci na vidlici, boční projekci hlezna, ap a laterální projekci bérce. CT skeny zahrnovaly axiální, koronární, sagitální řezy a 3D CT rekonstrukce.

**Hodnocení:** Na základě radiologické dokumentace byly posouzeny následující parametry:

- výskyt a typ zlomenin MP podle Bartoníčkoví-Rammeltovi (B-R) klasifikace [10],
- plocha průřezu fragmentu MP,
- postižení IFT na CT snímcích [8, 11, 108].
- dislokaci fragmentů MP na axiálních a sagitálních skenech a 3D CT rekonstrukcích (zlomeniny s dislokací menší než 2 mm ve všech částech fragmentu byly klasifikovány jako nedislokované)
- výskyt, lokalizace a eventuální dislokace interkalárních fragmentů u jednotlivých typů zlomenin MP [90].
- poranění mediálních struktur (MS), tj. ruptura LD, zlomenina MM popř. kombinovaná (osteoligamentózní) léze
- zlomenina Tillaux-Chaputova hrbolku (TCT) klasifikovaná podle Rammelta et al. [106].

## **5. Výsledky ve formě publikací**

- 5.1. Fojtík P, Kostlivý K, Bartoníček J, Naňka O. The fibular notch: an anatomical study. Surg Rad Anat. 2020;42:1161-1166.**



# The fibular notch: an anatomical study

Petr Fojtík<sup>1,3</sup> · Karel Kostlivý<sup>2</sup> · Jan Bartoniček<sup>1,3</sup> · Ondřej Naňka<sup>1</sup>

Received: 3 March 2020 / Accepted: 13 April 2020  
© Springer-Verlag France SAS, part of Springer Nature 2020

## Abstract

**Introduction** Reduction of the distal fibula into the fibular notch (FN) poses a problem that has not been fully resolved, yet. A number of methods have been developed for the assessment of the position of the fibula in the FN, but none of them is ideal. A majority of authors assess the FN 1 cm above the tibiotalar joint space, without specifying the reason for the choice of this distance. None of the previous studies has addressed at what level the FN is the deepest. Our findings show that it is 4–5 mm above the ankle joint space and verification of this hypothesis has been the aim of this study.

**Materials and methods** Dry adult tibial bone specimens from the Pachner's collection of the Institute of Anatomy of 1st Faculty of Medicine, Charles University, Prague were used in the study. Height of the FN at its widest point, 3 mm and 10 mm above the articular surface of the distal tibia were measured in each specimen, as well as the depth of the FN at the deepest point, 3 mm and 10 mm above the articular surface of the distal tibia and the distance between the highest point of this surface and the deepest point of the notch.

**Results** The mean length of the tibia was 350 mm; the mean height of the FN was 42.5 mm; the mean width of the FN at its widest point was 23.6 mm, at 3 mm above the tibiotalar joint space 22 mm, 10 mm above this articular surface of distal tibia (tibial plafond) 18.9 mm. The mean depth of the notch at 3 mm above the tibial plafond was 3.8 mm, at 10 mm above this surface 4.1 mm. The maximum mean depth of the notch was 4.5 mm, the distance from this point to the highest point of the tibial plafond was 5.3 mm.

**Conclusion** The deepest point of the FN lies 5 mm above the articular surface of the tibial plafond, with the mean value of the depth being 4.5 mm. This region is, therefore, ideal for assessment of the position of the distal fibula in the FN.

**Keywords** Fibular notch · Incisura fibularis tibiae · Reduction of the distal fibula

## Introduction

Anatomical reduction of the distal fibula and its evaluation on CT axial scans pose a serious problem in trauma surgery of the ankle, that has not been resolved, yet [4, 5]. A number of metric methods have been developed for the assessment of the position of the distal fibula in the fibular notch (incisura fibularis tibiae), however, none of which is ideal [3–5, 7, 9,

14, 15, 18, 23]. One of the reasons is the choice of the optimal distance of the reference line from the ankle joint line. A majority of methods use the reference line 1 cm proximal to the tibiotalar joint line, without explaining the reason for such a choice [5, 7, 8, 10, 11, 14–16, 21–25].

Determination of the optimal level requires more detailed data on the anatomy of the tibio-fibular contact and primarily on the anatomy of the fibular notch (FN). These issues were dealt with by a number of both anatomical [11, 14, 16, 21, 22], CT-based [5, 7, 8, 10, 15, 23, 25] and MRI [20, 24] studies, using various methods and producing different results (Table 1). None of these studies, however, addressed at what level above the tibiotalar joint line the FN is the deepest.

Based on our experience gained in our previous anatomical [1] and CT-based [2, 3] studies, we have hypothesized that the deepest point of FN is located 4–5 mm

✉ Ondřej Naňka  
Ondrej.Nanka@lf1.cuni.cz

<sup>1</sup> Institute of Anatomy, 1st Faculty of Medicine, Charles University, Prague, Czech Republic

<sup>2</sup> Department of Surgery of 1st Faculty of Medicine, Charles University and Thomayer Hospital, Prague, Czech Republic

<sup>3</sup> Department of Orthopedics, 1st Faculty of Medicine, Charles University and the Central Military Hospital, Prague, Czech Republic

**Table 1** Comparison of studies focused on the fibular notch

Author	Year	N specimens	Material	Level of measurement of FN depth (mm)	FN depth (mm)	FN width (mm)	FN height (mm)
Yildirim [24]	2003	150 (75 individuals)	MRI	At the level of incisural tubercles	M—3.6 F—2.9	—	—
Sora [21]	2004	20	Plastination slices	At the level of incisural tubercles	5.1	23.8	—
Taser [22]	2009	35 (tibia+ fibula)	Dry bone specimens	At the level of incisural tubercles	3.7 35% > 4	23.3	29.4
Elgafy [10]	2010	100	CT	9—12 mm proximal to the tibial plafond	—	—	—
Kulkarni [14]	2012	34	Dry bone specimens	At the level of incisural tubercles	6.1 Deep concave FN in 88%	23.2	—
Musa [16]	2014	156	Dry bone specimens	At the level of incisural tubercles	3.4 75% < 4	21.5	32.4
Chen [7]	2015	484	CT + X ray	At the level of incisural tubercles, 12 mm (M) 7.8 mm (F) proximal to the tibial plafond	M—5.1 F—4.2	—	M—35.1 F—33.7
Cherney [8]	2016	35 individuals (after operative treatment of injury to the syndesmosis)	CT	10 mm proximal to the tibial plafond	3.5 Shallow FN in 23%	—	—
Tonogai [23]	2017	120	CT	10 mm proximal to the tibial plafond	4.1 64% > 4	—	—
Boszczyk [5]	2017	72 (comparison of the intact side and the side after a high fracture)	CT	At the level of incisural tubercles	Noninjured side 4 Injured side 3.3	—	—
Gupta [11]	2018	37	Dry bone specimens	At the level of incisural tubercles	10.8	23.3	—
Liu [15]	2018	775	CT	At the level of incisural tubercles	3.3 Shallow FN in 40%	—	—
Yu [25]	2018	184 (92 individuals—comparison of the intact and injured sides)	CT	Approx. 10 mm proximal to the tibial plafond (9–11)	Deep FN in 67%	—	—
Park [18]	2019	240 (120 individuals)	CT	Approx. 10 mm proximal to the tibial plafond	M—4.4 F—4.1	M—18.2 F—16.8	M—24.4 F—22.6
Authors	2020	261	Dry bone specimens	3, 5.3 and 10 mm above the highest point of the tibial plafond	4.5 56.4% > 4	23.6	42.5

CT computed tomography, MRI magnetic resonance imaging, *incisural tubercles* anterior and posterior tibial tubercles, *approx.* approximately, M male, F female, FN fibular notch

above the ankle joint line and that this level is the most appropriate for assessment of the position of the distal fibula in FN. The aim of the present study was to verify this hypothesis on adult tibial bone specimens.

## Materials and methods

### Material

Both male and female adult tibial bone specimens from



the Pachner's osteological collection of the Institute of Anatomy of 1st Faculty of Medicine, Charles University, Prague were used in the study. This collection of 1934–1935 provides the basic details about each skeleton, i.e., the individual's gender, age and height at the time of death.

Excluded from the study were all specimens with pathological changes and signs of damage. Thus the series comprised 261 tibiae, including 190 male and 71 female and 142 right and 119 left ones. The mean age of the donors was 51 years (range 18–87), the mean age of men 52 years (range 20–87), the mean age of women 47 years (range 18–82). The mean height of men was 168 cm (range 152–183), that of women 156 cm (range 140–173).

**Methods**

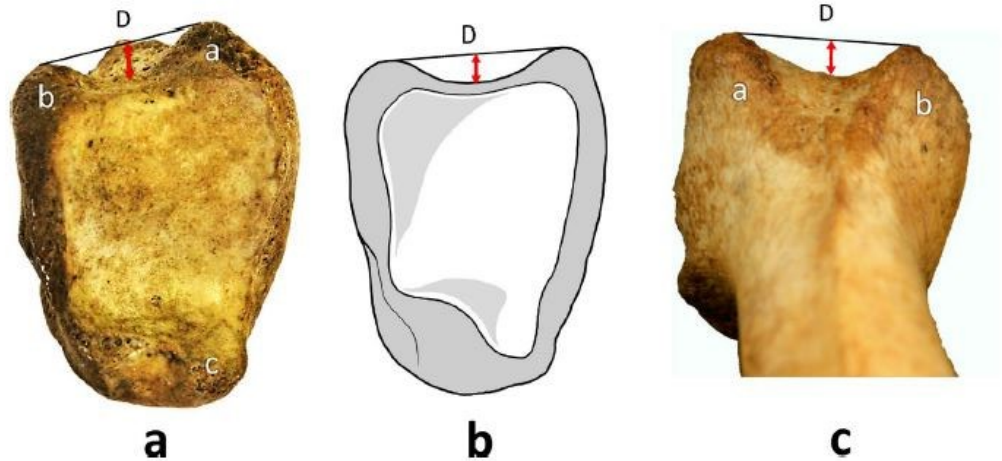
The following parameters were measured on each tibia (Figs. 1, 2):

- Height of the FN (FNH), i.e., distance from the highest point of the tibial plafond (facies articularis inferior tibiae) to the highest point of the FN where incisural borders converge to the interosseous crest,

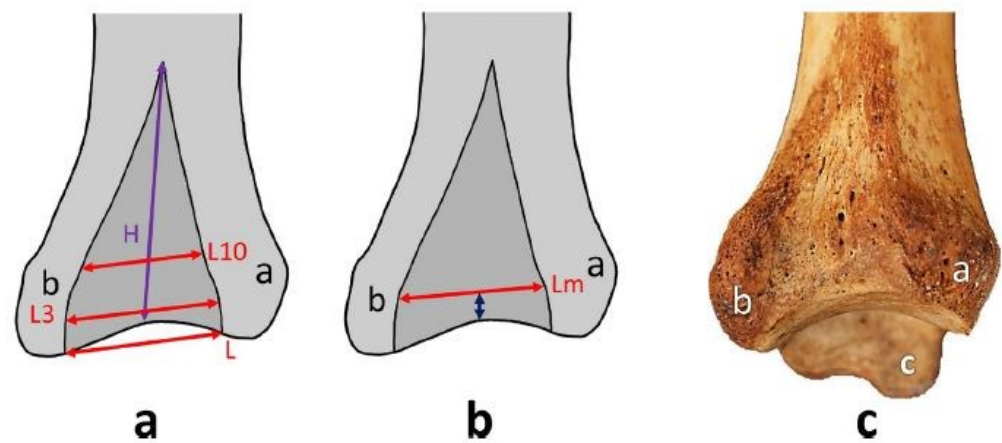
- Width of the FN at the widest point ( $W_{max}$ )—i.e., between the anterior and posterior borders of the FN,
- Width of the FN at 3 mm (L3) above the highest point of the tibial plafond,
- Depth of the FN at 3 mm (D3) above the highest point of the tibial plafond,
- Width of the FN measured as the line connecting incisural borders, at 10 mm (W10) above the highest point of the tibial plafond,
- Depth of the FN measured on a line perpendicular to the line connecting the incisural borders, at 10 mm (D10) above the highest point of the tibial plafond,
- The deepest point of the FN measured at the level of the most marked prominence of the anterior and posterior tibial tubercles ( $D_{max}$ ) and its distance from the highest point of the tibial plafond (D).

Each measurement was performed twice by each author by means of a sliding gauge with 0.1 mm accuracy. The first of them served for mastering the technique and the results of the second one were further processed.

**Fig. 1** Measuring FN depth **a** tibial plafond of right tibia, inferior view; **b** schema, **c** FN of right distal tibia, superior view. **a**—anterior tibial tubercle (Chaput), **b**—posterior tibial tubercle, **c**—anterior colliculus of medial malleolus, **D** depth of FN



**Fig. 2** Levels of measuring FN depth on the lateral aspect of right distal tibia. **a**, **b** schemas, **c** dry bone specimen: **H** height of FN, **a**—anterior tibial tubercle (Chaput); **b**—posterior tibial tubercle, **L**—at the level of tibial plafond, **L3**—3 mm proximal to tibial plafond, **L10**—10 mm proximal to tibial plafond



## Evaluation

The data obtained were processed with the use of Microsoft Excel Office 2016 spreadsheets, including calculation of maximum, minimum, mean and median values and standard deviations.

## Results

Overview of the results of all parameters measured is shown in Table 2.

**Height of FNs:** The mean height in the whole series was  $42.5 \pm 0.56$  mm (range 27–61); of this in men  $43 \pm 6$  mm (range 27–61) and in women  $42 \pm 4$  mm (range 33–51). Only 4 individuals (1.5%) showed the FN height  $\leq 30$  mm and 4 individuals (1.5%) the FN height  $\geq 55$  mm.

**Width of FN at the level of the tibial plafond:** The mean value in the whole series was  $23.6 \pm 2.6$  mm (range 17–32), of this in men  $24.6 \pm 2.2$  mm (range 20–32) and in women  $21 \pm 1.6$  mm (range 17–25).

**Width of FN at 3 mm above the tibial plafond:** The value in the whole series was  $22 \pm 2.2$  mm (range 17–29), of this in men  $22.7 \pm 2$  mm (range 18–29) and in women  $20.2 \pm 1.6$  mm (range 17–27).

**Depth of FN at 3 mm above the tibial plafond:** The mean value in the whole series was  $3.8 \pm 1.2$  mm (range 1.4–7.6), of this in men  $3.9 \pm 1.3$  mm (range 1.4–7.6) and in women  $3.4 \pm 1.1$  mm (range 1.6–6 mm).

**Width of FN at 10 mm above the tibial plafond:** The mean value in the whole series was  $18.9 \pm 2.3$  mm (range 14–26), of this in men  $19.6 \pm 2.1$  mm (range 14–26) and in women  $17.2 \pm 4.4$  mm (range 14–22).

**Depth of FN at 10 mm above the tibial plafond:** The mean value in the whole series was  $4.1 \pm 1.2$  mm (range 1.5–7), of this in men  $4.3 \pm 1.2$  mm (range 1.5–7) and in women  $3.7 \pm 1.1$  mm (range 2–6.5).

**The maximum depth of FN and its level in relation to the tibial plafond:** The maximum depth of FN in the whole series was  $4.5 \pm 1.2$  mm (range 2–8), of this in men  $4.8 \pm 1.2$  mm (range 2–8) and in women  $4 \pm 1$  mm (range 2.5–6.5). A total of 145 (56%) tibiae were more than 4 mm deep. The distance

from the deepest point of FN to the highest point of the tibial plafond was in the whole series  $5.3 \pm 1$  mm (range 3.8–8.5), of this in men  $5.7 \pm 1$  mm (4.1–8.5) and in women  $5.1 \pm 0.9$  mm (3.8–8.3).

## Discussion

The FN shape and depth have been dealt with by a number of studies, using bone specimens [11, 16, 22], plastination slices [21], CT scans [5, 7, 8, 10, 15, 23, 25] and MRI scans [20, 24]. But for a few exceptions [11], the results of the studies differ by 1–2 mm. These differences may be caused by ethnic or geographic influences [14, 16, 22], the age of osteological collections (our series) or the method of measuring (Table 1). Another significant factor is the level of measuring. One group of authors [8, 10, 15, 23, 25] measured the FN depth at 1 cm above the ankle joint space, while another group of authors [5, 11, 14, 16, 21, 22, 24] did not specify the distance from the FN depth measurement to the ankle joint space or the rim of the tibial plafond. Only in our study, we measured the FN depth at 3 mm, 10 mm proximal to the articular surface of the distal tibia and the deepest point of FN and its distance from the articular surface of the distal tibia.

The highest FN depth value in the whole series averaged 4.5 mm which is approximately the median of values measured by other authors [5, 7, 21–23, 25]. It is by 0.8–1.0 mm more than the value measured on bone specimens in the studies by Musa et al. [16]—3.7 mm (Kenya population), Kulkarni et al. [14] 3.5 mm (India population) and Taser et al. [24] 3.3 mm (Turkey population) (Table 1). By contrast, Sora et al. [23] obtained the value of the depth 5.1 mm on plastination slices (Central European population). All these values significantly differ from those measured by Gupta et al. [11] who recorded the maximum FN depth on bone specimens, of 11 mm (India population). None of these authors [5, 8, 10, 11, 14–16, 21, 22, 24, 25], however, mentioned the level of measurement in relation to the tibial plafond.

CT- and MRI-based studies present values in the range of 2.2–4.1 mm [5, 15, 18, 23, 24]. Chen et al. [7] recorded on

**Table 2** Measurement of FN

	Age (y)	BH (cm)	FN H (mm)	D <sub>max</sub> (mm)	D3 (mm)	D10 (mm)	WM (mm)	W3 (mm)	W10 (mm)	D (mm)
Male	51.7 ± 14.9	168 ± 0.68	42.9 ± 5.9	4.8 ± 1.2	3.9 ± 1.3	4.3 ± 1.2	24.6 ± 2.2	22.7 ± 2.0	16.9 ± 2.1	5.7 ± 1.0
Female	47.2 ± 16.8	156.7 ± 6.7	41.5 ± 4.4	4.0 ± 1.0	3.4 ± 1.1	3.7 ± 1.1	21.0 ± 1.6	20.1 ± 1.4	17.2 ± 1.5	5.1 ± 0.9
Total	50.5 ± 15.6	164.5 ± 8.7	42.5 ± 5.6	4.5 ± 1.2	3.8 ± 1.2	4.1 ± 1.2	23.6 ± 2.6	22.0 ± 2.2	18.9 ± 2.3	5.3 ± 1.0

BH body height, FNH FN height between the tibial plafond and the point of convergence of incisural borders, DM FN depth at the deepest point, D10 FN depth 10 mm above the tibial plafond, D3 FN depth 3 mm above the tibial plafond, WM FN width at the widest point, W3 FN width 3 mm above the tibial plafond, W10 FN width 10 mm above the tibial plafond, D distance from DM to the convexity of the tibial plafond

3D CT reconstruction the mean FN depth of 5.1 mm in men and 4.2 mm in women.

The reference line 1 cm proximal to the articular surface of the distal tibia was used by Tonogai et al. [23], Liu et al. [15], Yu et al. and Cherney et al. [8] when measuring the FN depth on CT scans.

Chen et al. [7] used 3D CT reconstructions to measure the FN depth 12 mm and 8 mm from the articular surface of the distal tibia in men and women, respectively, without specifying the reason for such a choice.

The highest possible value of the FN depth without specification of the distance from the articular surface of the distal tibia was obtained by Gupta et al. [11], Taser et al. [24], Musa et al. [16] and Kulkarni et al. [14] on bone specimens, Sora et al. [21] on plastination slices, Boszczyk et al. [5] and Park et al. [18] on CT and Yildirim et al. [24] on MRI scans.

In our study, the width measured at the FN widest point was 23.6 mm which corresponds to the results from previous studies, specifically by Musa et al. [16]—21.5 mm, Taser et al. [22]—23.3 mm, Gupta et al. [11]—23.3 mm, Sora et al. [21]—23.8 mm and Kulkarni et al. [14]—23.2 mm.

According to the data in the literature, the FN depth and width increase in the proximodistal direction [12]. This has been confirmed also by our results showing that the FN deepest point lies 5 mm, and not 10 mm, from the articular surface of the distal tibia. Based on our results there is no rationale for the “conventional” distance of 1 cm used by many authors [8, 15, 23, 25].

The mean FN height in our study was 42.5 mm which is significantly more than the value presented by Taser et al. [22]—29.3 mm and Musa et al. [16]—32.4 mm. The mentioned comparisons show that in our study the FN width was approximately the same as in studies by Taser et al. [22] and Musa et al. [16], but the FN height was significantly greater. The value closest to our measurement was presented by Chen et al. [7]—35 mm, while Gupta et al. [11] and Kulkarni et al. [14] did not measure the FN height.

All the above-mentioned studies [5, 10, 11, 14, 15, 21–23, 25], as well as a number of others [7, 8] show that there exists marked variability in the FN shape and depth on axial CT and MR scans. Based on these findings it is a question how these studies may improve the methods of evaluation of the anatomical position of the distal fibula in FN. In our view, their significance is for several reasons highly limited.

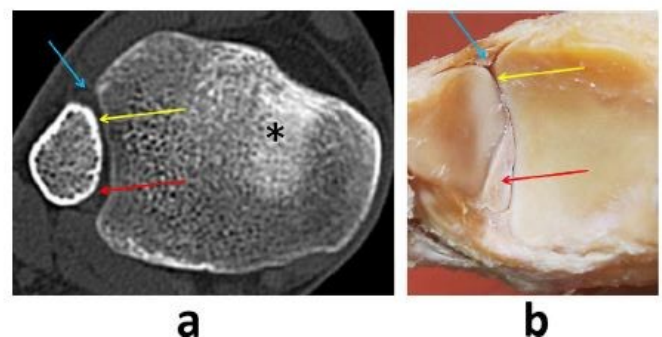
Anatomy of the tibiofibular syndesmosis is much more complicated and changes markedly in the proximodistal direction. The FN shape, more specifically its concavity, is completed by a constant narrow cartilaginous facet 1–2 mm thick, which articulates with the opposite facet on the distal fibula [1]. However, this tibial cartilaginous facet is absent in bone specimens and cannot be displayed by CT scans, either. In the posterior part of the tibiofibular space, the two bones are separated by a constant synovial fold [1, 17]. As

a result, the contact between the distal tibia and the distal fibula in the area of FN is minimal, because the syndesmotic structures are stressed primarily by distraction, rather than compression, forces.

Similarly, the shape of the distal fibula also significantly changes in the proximodistal direction on axial CT scans. In the proximal direction, it loses its triangular shape on the cross-section and becomes round. This again complicates the evaluation of the normal tibiofibular relationship.

For these reasons, we believe that it is optimal to evaluate the tibiofibular relationship in the area of FN on CT scans obtained 5 mm above the level of the articular surface of the distal tibia where the tibiofibular space has a typical shape, consisting of three parts [1]. A small triangular incongruence can be seen anteriorly, actually filled with a triangular meniscoid. In the middle part, the tibia and fibula are in direct contact and contact facets are covered by hyaline cartilage. In the largest, posterior crescent-shaped part, a constant synovial fold fills the space between the tibia and the fibula (Fig. 3). The anterolateral surface of the distal fibula obviously corresponds to the anterior aspect of distal tibia and the posterolateral surface of the distal fibula to the posterior aspect of the distal tibia [1]. The proper level of CT axial scan can be assessed according to the condensation of cancellous bone close to the medial malleolus [3].

The advantage of our study is the fact that the FN depth and width were measured at three levels. Another benefit is its number of tibiae analyzed, significantly exceeding their number in most of the studies published to date (Table 1). In addition, age and gender were known in all our specimens. A disadvantage is the age of our osteological collection, i.e., 90 years. The smaller mean body height of the population of that time might, although minimally, influence our measurements of FN parameters [6]. This advantage, however, is relative as the height of the investigated individuals is also today influenced by their ethnic origin. The above-cited



**Fig. 3** Anatomy of the distal tibiofibular contact. **a** transverse CT scan, **b** anatomic specimen of the right tibiofibular mortise, inferior view. Blue arrow—triangular meniscoid, yellow arrow—direct contact of distal tibia and fibula, red arrow—tibiofibular synovial fold, \*subchondral condensation of cancellous bone (color figure online)

studies were performed in various ethnic groups which differ in terms of body proportions [11, 14, 16, 18, 22, 23]. For instance, Park et al. [18] present in the contemporary Korean population the mean height of the investigated individuals, both men and women, only by 3 cm more than is the value in our study. Therefore, Musa et al. [16] compared the FN depth in various ethnic groups and found out that the values measured on dry bone specimens (by direct measurement on the bones) do not differ much and range between 3.4 and 3.7 mm.

## Conclusion

The deepest FN point is approximately 5 mm above the articular surface of the distal tibia and its value averages 4.5 mm. At the level of 1 cm above the articular surface of the distal tibia, FN is shallower and narrower. Therefore, this level is not suitable for the assessment of the position of the distal fibula in FN.

**Author contributions** PF: data collection and analysis, manuscript preparation; KK: data collection and analysis; JB: project development, data collection and analysis, manuscript preparation; ON: data collection and analysis, manuscript preparation.

**Funding** The project was supported by the AZV 16-28458A Grant—Trimalleolar ankle fractures—CT diagnosis of fractures of the posterior rim of the distal tibia, their classification, operative treatment.

## Compliance with ethical standards

**Conflict of interest** The authors declare that they have no conflict of interests.

**Ethical approval** The authors certify that the study was performed in accordance with the ethical standards as laid down in the 1964 Declaration of Helsinki and its later amendments.

## References

- Bartoníček J (2003) Anatomy of the tibiofibular syndesmosis and its clinical relevance. *Surg Radiol Anat* 25:379–386
- Bartoníček J, Rammelt S, Kostlivý K, Vaněček V, Klika D, Trešl I (2015) Anatomy and classification of the posterior tibial fragment in ankle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 135:506–516
- Bartoníček J, Rammelt S, Kašper Š, Malík J, Tuček M (2019) Pathoanatomy of Maisonneuve fracture based on radiologic and CT examination. *Arch Orthop Trauma Surg* 139:497–506
- Boszczyk A, Kwapisz A, Krümmel M, Graas R, Rammelt S (2017) Anatomy of the tibial incisura as a risk factor for syndesmotic injury. *Foot Ankle Surg* 25:51–58
- Boszczyk A, Kwapisz S, Krümmel M, Graas R, Rammelt S (2018) Correlation of incisura anatomy with syndesmotic malreduction. *Foot Ankle Int* 39:369–375
- Brzobohatá H, Krajíček V, Velemínský P, Velemínská J (2019) Three-dimensional geometry of human tibial anterior curvature in chronologically distinct population samples of Central Europeans (2900 BC—21st century AD). *Sci Rep* 9:4234
- Chen Y, Qiang M, Zhang K, Li H, Dai H (2015) A reliable radiographic measurement for evaluation of normal distal tibiofibular syndesmosis: a multi-detector computed tomography study in adults. *J Foot Ankle Res* 8:32
- Cherney SM, Spraggs-Hughes AG, McAndrew CM, Ricci WM, Gardner MJ (2016) Incisura morphology as a risk factor for syndesmotic malreduction. *Foot Ankle Int* 37:748–754
- Dalmau-Pastor M, Vega J (2017) Letter regarding: cadaveric analysis of the distal tibiofibular syndesmosis. *Foot Ankle Int* 38:343–345
- Elgafy H, Semaan HB, Blessinger B, Wassef A, Ebraheim NA (2010) Computed tomography of normal distal tibiofibular syndesmosis. *Skelet Radiol* 39:559–564
- Gupta C, Nayak N, Palimar V (2018) A morphometric study of incisura fibularis in south Indian population with its clinical implications. *Int J Anat Appl Physiol* 4:84–86
- Hermans JJ, Beumer A, De Jong TA, Kleinrensink GJ (2010) Anatomy of the distal tibiofibular syndesmosis in adults: a pictorial essay with a multimodality approach. *J Anat* 217:633–645
- Hu WK, Chen DW, Li B, Yang YF, Yu GR (2019) Motion of the distal tibiofibular syndesmosis under different loading patterns: a biomechanical study. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 27:1–6
- Kulkarni RR, Prakash ChR, Nidhi S (2012) Importance of fibular incisura measurements in ankle reconstructive surgeries. *Int J AJ Inst Med Sci* 1:80–85
- Liu GT, Ryan E, Gustafson E, VanPelt MD, Raspovic KM, Lalli T, Wukich DK, Xi Y, Chhabra A (2018) Three-dimensional computed tomographic characterization of normal anatomic morphology and variations of the distal tibiofibular syndesmosis. *J Foot Ankle Surg* 57:1130–1136
- Musa M, Pamela M, Moses O, Beda O, Gichambira G (2014) Morphometric characteristics of the fibular incisura in adult Kenyans. *Anat J Afr* 3:243–249
- O'Sullivan E, Bowyer G, Webb AL (2013) The synovial fold of the distal tibiofibular joint: a morphometric study. *Clin Anat* 26:630–637
- Park CH, Kim GB (2019) Tibiofibular relationships of the normal syndesmosis differ by age on axial computed tomography—anterior fibular translation with age. *Injury* 50:1256–1260
- Prakash A (2017) Is incisura fibularis a reliable landmark for assessing syndesmotic stability? A systematic review of morphometric studies. *Foot Ankle Spec* 10:246–251
- Sharif B, Welck M, Saifuddin A (2020) MRI of the distal tibiofibular joint. *Skeletal Radiol* 49:1–17
- Sora MC, Strobl B, Stavkov D, Förster-Streffleur S (2004) Evaluation of the ankle syndesmosis: a plastination slices study. *Clin Anat* 17:513–517
- Taser F, Toker S, Kilincoglu V (2009) Evaluation of morphometric characteristics of the fibular incisura on dry bones. *Joint Dis Rel Surg* 20:52–58
- Tonogai I, Hamada D, Sairyō K (2017) Morphology of the incisura fibularis at the distal tibiofibular syndesmosis in the Japanese population. *J Foot Ankle Surg* 56:1147–1150
- Yildirim H, Mavi A, Büyükbeyci O, Gümüşburun E (2003) Evaluation of the fibular incisura of the tibia with magnetic resonance imaging. *Foot Ankle Int* 24:387
- Yu M, Zhang Y, Su Y, Wang F, Zhao D (2018) An anthropometric study of distal tibiofibular syndesmosis (DTS) in a Chinese population. *J Orthop Surg Res* 13:95–102

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

**5.2. Fojtík P, Kašper Š, Bartoníček J, Tuček M, Naňka O. Lateral malleolar crest and its clinical importance. Surg Rad Anat. 2023;45:255-262.**



# Lateral malleolar crest and its clinical importance

Petr Fojtík<sup>1,2</sup> · Štěpán Kašper<sup>2</sup> · Jan Bartoníček<sup>1,2</sup> · Michal Tuček<sup>2</sup> · Ondřej Naňka<sup>1</sup>

Received: 18 November 2022 / Accepted: 6 January 2023  
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag France SAS, part of Springer Nature 2023

## Abstract

**Purpose** During study of anatomy of a fractured posterior malleolus of the ankle on CT scans, the authors noticed a prominent crest on the lateral malleolus, which they termed the lateral malleolar crest (LMC). As, in their view, LMC is a clinically important structure which was only briefly mentioned by a few authors without an official term, they focused on the anatomy of this structure.

**Materials and methods** A total of 352 dry fibulae were analyzed and the following parameters recorded: (F) length of the fibula, (LMC) total length of LMC, (A) length of the part of the examined crest from the superior border of the articular facet of the lateral malleolus (AFLM) to its most proximal intersection with the midline of the fibula, (B) height of the medial triangular rough surface, and (A/F) A/F ratio.

**Results** The crest was observed in all specimens. (F) was  $346.5 \pm 26$  mm (95% confidence interval [CI] 344–349), (LMC) was  $85.4 \pm 11.6$  mm (95% CI 84.2–86.6), (A/F) was  $25\% \pm 3\%$  (95% CI 24.7–25.3) in the whole group. (A) was  $25.9 \pm 6.5$  mm (95% CI 24.8–26.8) in the whole group, (B) was  $34.9 \pm 4.7$  mm (95% CI 34.3–35.5) in the whole group,  $36 \pm 6.1$  mm (95% CI 35.1–36.9).

**Conclusion** LMC is an important structure on the lateral malleolus. The knowledge of its anatomy is essential for placement of syndesmotic screws or/and the fibular plate.

**Keywords** Anatomy · Lateral malleolus · Distal fibula · Fibular notch · Ankle fracture · Syndesmotic screw

## Introduction

Progress in diagnosis and treatment of ankle fracture–dislocations has been considerably influenced by anatomical studies that have brought many new findings, particularly as concerns the tibiofibular syndesmosis, fibular ligaments and the deltoid ligament [1, 2, 5, 6, 13, 16]. Somewhat disregarded in this context has been, for a long time, the distal fibula, although it is a very important structure, essential for the function of the ankle. An exception are only a few studies [4, 8, 15, 22], which, however, did not deal with the anatomy of the fibular malleolus.

During analysis of the pathoanatomy of posterior malleolus fractures, Maisonneuve fractures (MF) [3] and assessment of the position of the distal fibula in the fibular notch, we have noticed on 3D CT reconstructions a prominent curved ridge on the lateral surface of the distal fibula, giving the characteristic shape to the lateral aspect of the fibular malleolus. Even if this crest is well known from CT axial sections of the ankle, nobody has focused on it yet. Some anatomical textbooks and atlases present its image [14, 25], but without an official term. This structure was very briefly described only by a few authors [7, 10–12, 18, 21, 24, 26]. Only two authors mentioned also its clinical importance [9, 12]. This crest, which we have termed *crista malleoli lateralis* (lateral malleolar crest—LMC), is in our view highly important in clinical terms [3, 19], and therefore we have decided to focus in detail on its anatomy.

✉ Ondřej Naňka  
Ondrej.Nanka@lf1.cuni.cz

<sup>1</sup> Institute of Anatomy, 1st Faculty of Medicine, Charles University, U Nemocnice 3, Prague 2, Prague, Czech Republic

<sup>2</sup> Department of Orthopedics, 1st Faculty of Medicine, Charles University, The Central Military Hospital, U Vojenské Nemocnice 1200, Prague 6, Prague, Czech Republic

## Material and method

### Material

The present study is based on examination of adult fibulae, both male and female, from the Pachner's osteological collection of the Institute of Anatomy, 1st Faculty of Medicine, Charles University, Prague. This collection, created in 1934–1935, provides basic data on each skeleton, including the individual's gender and age at the time of death [17].

Excluded from the study were all specimens with pathological changes, signs of damage and unpaired specimens. The resulting study group comprised 352 fibulae (176 pairs), of these 192 male (96 pairs) and 160 female (80 pairs) samples. The mean height of donors was 168.6 cm (range 140–183) in men, 154.5 cm (range 139–172.5) in women and 162.2 cm (range 139–183) in the whole group. Their mean age was, 51 years (range 22–81) in men, 54 years (23–86) in women and 52 years (range 23–86) in the whole group.

### Method

Each fibula was assessed in terms of incidence of LMC and its influence on the shape of the lateral surface of the lateral malleolus (LM). The measured parameters included (Fig. 1):

- (F) length of the fibula—the distance between the apex of the fibular head and the most distal point of LM,
- (LMC) total length of LMC—the distance between its origin at the anterior crest (AC) and the most distal point of LM,
- (A) length of the part of LMC from the level of the superior border of the articular facet of the lateral malleolus to its most proximal intersection with the midline of the fibula,
- (B) height of the medial triangular rough surface of distal fibulae defined proximally by the interosseous crest and distally by the superior border of the articular facet of the lateral malleolus (AFLM).

Based on the above-mentioned parameters we determined the ratio of LMC length to the length of the entire fibula.

Measurements were made by a sliding gauge and a measuring rod, with the measurement accuracy of 0.01 mm and 1 mm, respectively.

### Evaluation

The recorded data were processed by the Microsoft Excel Office 2016 table calculator, including calculation of the

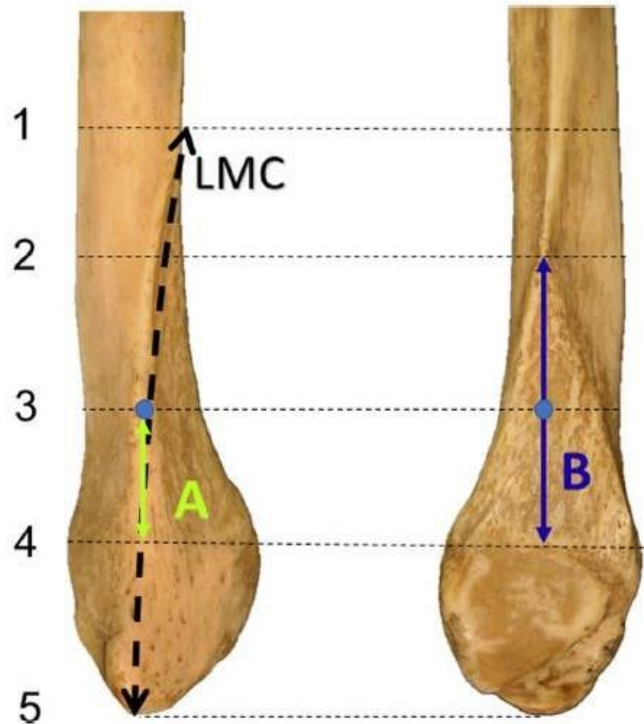


Fig. 1 Measured parameters. *LMC* lateral malleolar crest, *A* length of the part of LMC from the superior border of the articular facet of the lateral malleolus to its most proximal intersection with the midline of the fibula (3–4), *B* height of the medial triangular surface (2–4), total length of LMC (1–5)

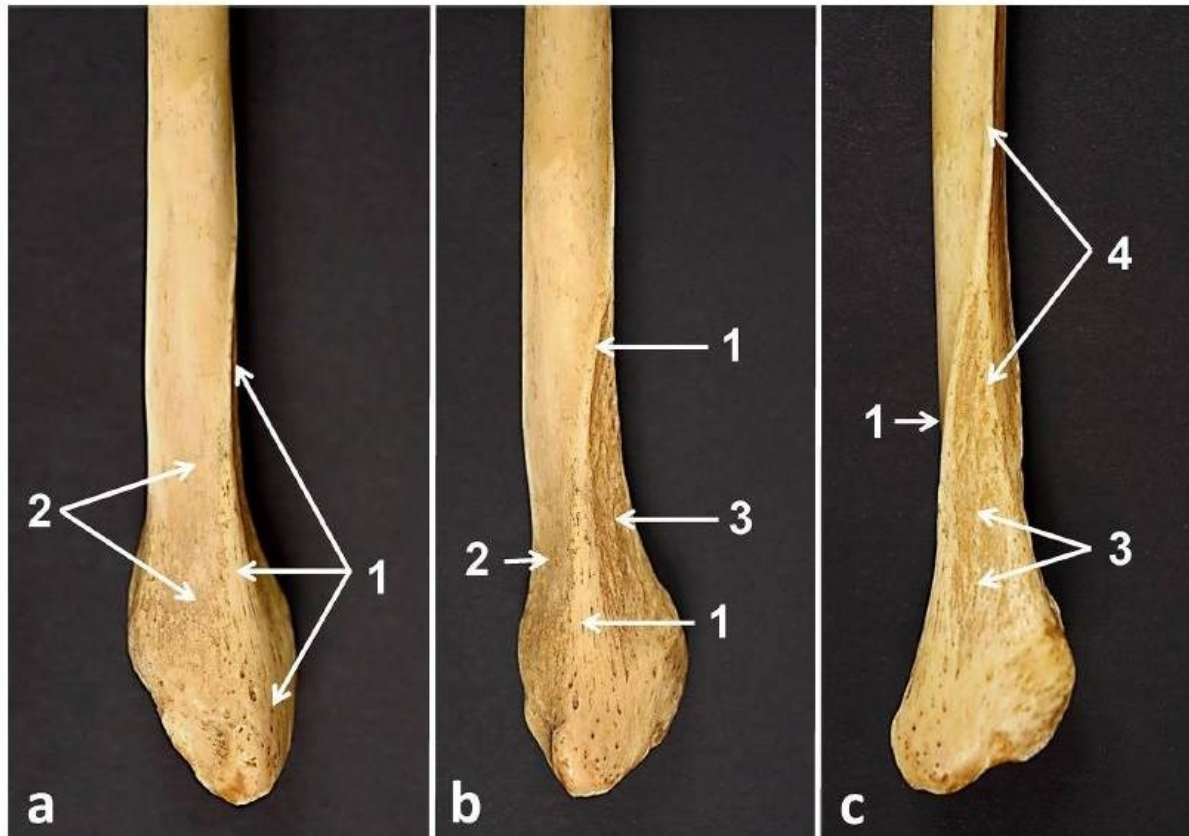
maximum, minimum, mean and median values and standard deviation. Statistical evaluation and comparison of paired samples were based on Student *t* test with a 5% significance level.

## Results

### Anatomy of LMC

The crest was observed in all specimens as a constantly present structure with no tendency to variables. It was always created by division of anterior border of the fibula into two, anterior and posterior, branches. The posterior branch, LMC, arched in its proximal third posteriorly and then descended distally in midline of lateral aspect of the LM to its apex. In its distal third, more specifically from the level of the superior border of AFLM up to the apex of LM, LMC was slightly flattened and was not so prominent as in its two proximal thirds (Fig. 2).

LMC split the outer aspect of the distal fibula into two, anterolateral (triangular subcutaneous area) and posterolateral (peroneal area) surfaces that were mutually slanted. As a result the profile of the distal fibula acquired its typical triangular shape. The flat anterolateral surface had a triangular



**Fig. 2** Anatomy of the lateral surface of the right distal fibula. **a** Posterolateral view; **b** lateral view; **c** anterolateral view. 1—anterolateral (triangular subcutaneous) area, 2—lateral malleolar crest, 3—posterolateral (peroneal) area, 4—anterior border of the fibula



**Fig. 3** Topography of the lateral aspect of the right distal fibula. 1—anterolateral (triangular subcutaneous) area, 2—posterolateral (peroneal) area covered by peroneal muscles, black arrow—tendon of the peroneus brevis leaving the peroneal groove

shape. The concave posterolateral surface became distally deeper to create the peroneal groove and LMC formed its anterior margin (Fig. 3).

### Metrics

The mean length of the fibula (F) was  $346.5 \pm 26$  mm (95% confidence interval [CI] 344–349) in the whole group,  $362.6 \pm 21.4$  mm (95% CI 360–366) in men and  $327.1 \pm 15.7$  mm (95% CI 325–330) in women (Table 1). *T* test for comparison of the length of the fibula between males and females was 0.00, side-to-side difference was 0.31 in males and 1.00 in females (Table 2).

The mean LMC length was  $85.4 \pm 11.6$  mm (95% CI 84.2–86.6) in the whole group,  $89.1 \pm 10.6$  mm (95% CI 87.6–90.6) in men and  $81.1 \pm 11.2$  mm (95% CI 79.4–82.8) in women. *T* test for comparison of the LMC length between males and females was 0.00, side-to-side difference was 0.31 in males and 0.64 in females.

The ratio of the LMC length to the fibula length was  $25\% \pm 3\%$  (95% CI 24.7–25.3) in the whole group,



**Table 1** Measured parameters and results

Results		F (mm)	LMC (mm)	LMC/F (%)	A (mm)	B (mm)
Male	MV	362.6	89.1	25	25.6	36
	CI 95%	360–366	87.6–90.6	24.6–25.4	24.2–27	35.1–36.9
Female	MV	327.1	81.1	25	26.1	33.6
	CI 95%	325–330	79.4–82.8	24.5–25.5	24.7–27.3	32.8–34.4
All	MV	346.5	85.4	25	25.9	34.9
	CI 95%	344–349	84.2–86.6	24.7–25.3	24.8–26.8	34.3–35.5

A—length of the part of the examined crest from the superior border of the articular facet of the lateral malleolus (AFLM) to its most proximal intersection with the midline of the lateral aspect of the fibula, B—height of the medial triangular rough surface

MV mean value, CI 95% confidence interval 95%, F length of the fibula, LMC total length of LMC

**Table 2** Statistical analysis—paired tests

T tests		F (mm)	LMC (mm)	LMC/F (%)	A (mm)	B (mm)
Male	Left–right	0.31	0.31	0.20	0.22	0.69
Female	Left–right	1.00	0.64	0.69	0.01*	0.92
Male–female		0.00*	0.00*	0.90	0.76	0.00*

A—length of the part of the examined crest from the superior border of the articular facet of the lateral malleolus (AFLM) to its most proximal intersection with the midline of the lateral aspect of the fibula, B—height of the medial triangular rough surface

F length of the fibula, LMC total length of LMC

\*Statistically significant difference

$25\% \pm 3\%$  (95% CI 24.6–25.4) in men and  $25\% \pm 3\%$  (95% CI 24.5–25.5) in women. *T* test for comparison of the ratio of the LMC length to the fibula length between males and females was 0.90, side-to-side difference was 0.2 in males and 0.69 in females.

The length of the examined crest from level of the superior border of the articular surface of LM to its most proximal intersection with the midline of the lateral aspect of the distal fibula (A) was  $25.9 \pm 6.5$  mm (95% CI 24.8–26.8) in the whole group,  $25.6 \pm 5.4$  mm (95% CI 24.2–27) in men and  $26.1 \pm 6.9$  mm (95% CI 24.7–27.3) in women. *T* test for comparison of the (A) between males and females was 0.76, side-to-side difference was 0.22 in males and 0.01 in females.

The height of the medial triangular rough surface defined proximally by the fibular interosseous crest and distally by the superior border of AFLM (B) was  $34.9 \pm 4.7$  mm (95% CI 34.3–35.5) in the whole group,  $36 \pm 6.1$  mm (95% CI 35.1–36.9) in men and  $33.6 \pm 4.9$  mm (95% CI 32.8–34.4) in women. *T* test for comparison of the (B) between males and females was 0.00, side-to-side difference was 0.69 in males and 0.92 in females.

## Discussion

The present study deals in detail with the LMC anatomy. We evaluated paired fibulae; donors' age and gender were known in all our specimens. A limitation is the age of our osteological collection, i.e., 90 years. Differences in the measured values between men and women are mostly statistically significant, primarily with a higher mean height of men than of women. The generally smaller mean body height of the population of that time might, although minimally, influence our quantitative measurements of fibular parameters.

LMC was briefly mentioned by only a few authors [10, 14, 24, 25]. Testut [24] states that: "A thin and sharp anterior ridge of the fibula splits caudally, to form a triangular facet. The anterior margin of this facet, sometimes quite insignificant, extends toward the anterior rim of the lateral malleolus, while the posterior margin is formed by the ridge of the anterior rim of the groove of peroneal muscles." Hovelacque [11] in his textbook only shows the crest and terms the two facets, created by the crest on the LM outer surface, "versant antérieur triangulaire" and "versant posterior". Rouviere [21] used the term "crête oblique" (crest oblique) in the text, but without the legend in figures. Toldt's atlas [25] and Lanz-Wachsmuth

textbook [14] present a faithful image of the crest, but without any description. Frazer [7] mentions in the legend to a figure showing the crest, only the two facets, calling the anterior one “the subcutaneous surface” and the posterior one “the peroneal surface”. Gray’s Anatomy [11] states: “The anterior border of the fibula divides inferiorly into two ridges which enclose between them a subcutaneous triangular surface. ... The lower part of the posterior margin of triangular area gives attachment to the lateral extremity of the superior peroneal retinaculum.” But in the latest edition of the Gray’s Anatomy [23], LMC is completely omitted. Heim et al. [9] called LMC “*Lateral Sporn*” (*Lateral calcar*) and pointed out the necessity to shape the plate for internal fixation of a lateral malleolar fracture. Kelikian [12], as the only one, presented a highly detailed description of LMC ... “the anterior border (of the fibula) divides into two branches, anterior and posterior... The posterior branch or oblique crest is directed downward and posteriorly... This oblique crest delineates two surfaces: antero-inferior and postero-superior... and this must be taken into consideration during application of a plate”. White et al. [26] present multiple images of LMC in their textbook, but without any specification. They only briefly describe “the triangular subcutaneous area”.

The overview shows that all authors agree on the image and description of the crest, although only few of them use a specific term for them, namely “the lateral calcar” [9] or “the oblique crest” [12] or crete oblique [18, 21]. The antero-inferior surface is identically called a triangular subcutaneous surface and the posterosuperior surface a peroneal surface [12].

LMC is an important reference point for application of syndesmotic screws (SS) and a plate, as well as for assessment of the position of the distal fibula in the fibular notch.

The optimal level for insertion of syndesmotic screw(s) is 2.0–3.5 cm above the joint line [2, 6], as in this interval the drill bit is directed toward the FN concavity and cannot slip over the convex interosseous crest [9]. It is important to insert SS through the center of the distal fibula and FN (Fig. 4). If it is inserted from the triangular area, neither the course nor fixation of SS in the fibula is optimal (Fig. 5). Our results have revealed that an ideal site for SS insertion is within 2.5 cm proximally from the ankle joint line. If the SS is inserted more proximally, the entry point lies 1 to 2 mm posterior to LMC. According to measurements of samples from the mentioned osteological collection, the height of the

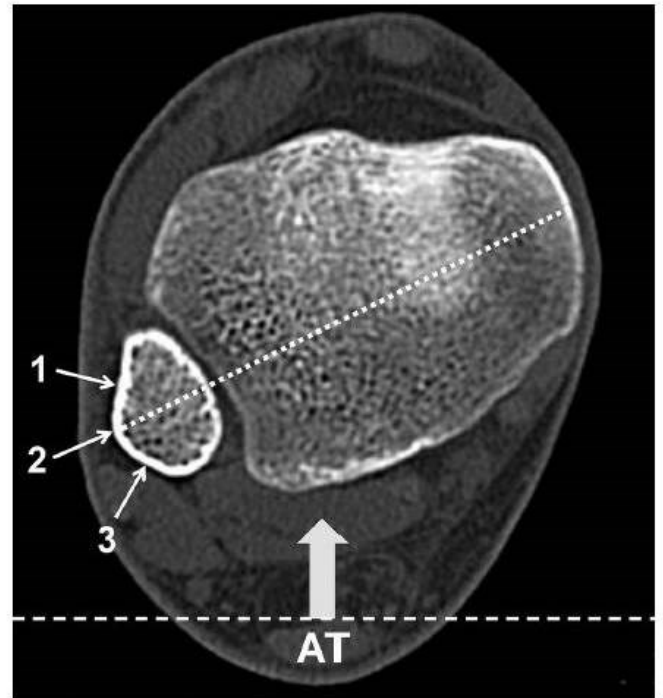
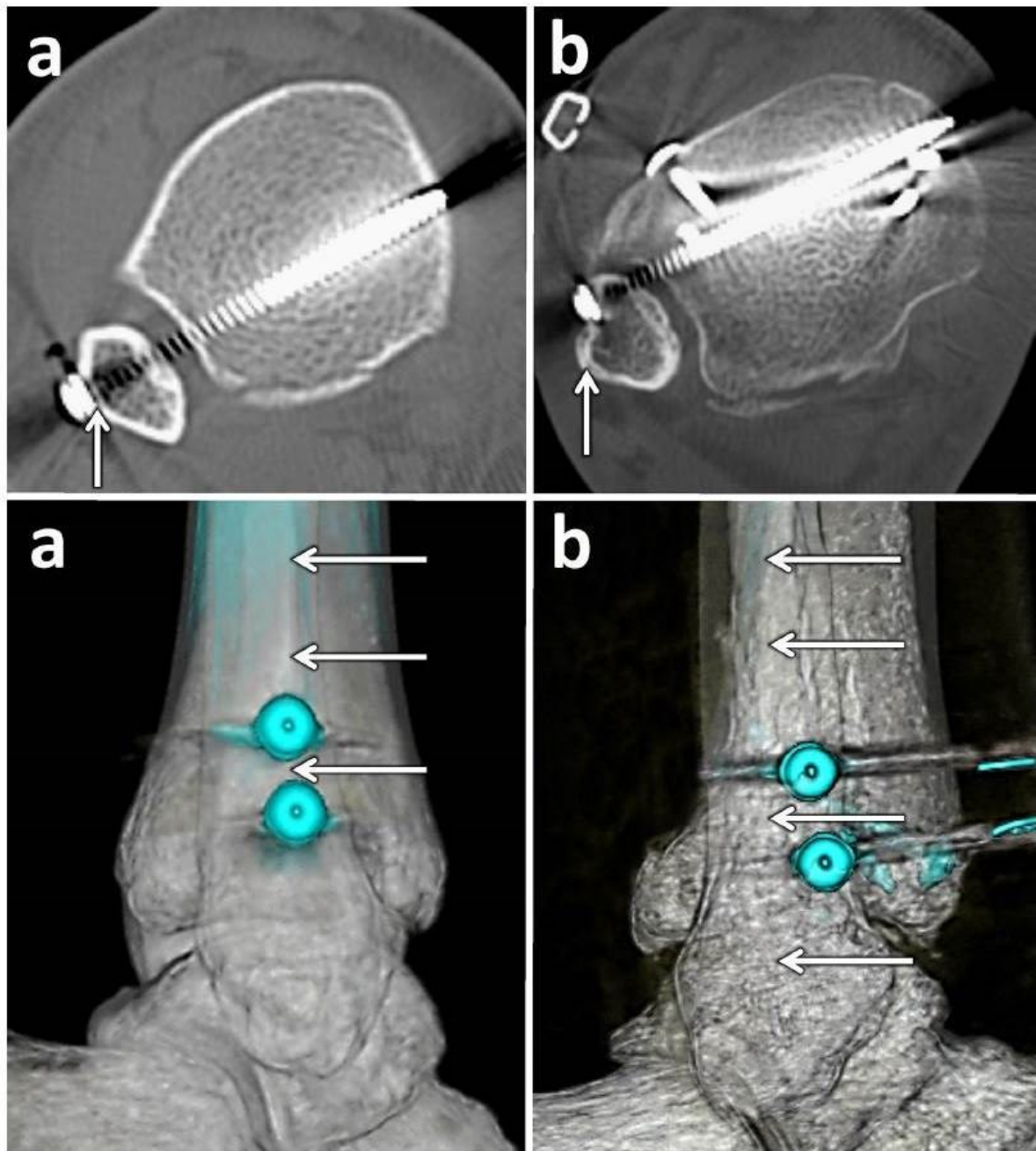


Fig. 4 Lateral malleolar crest on axial CT scan 5 mm proximal to the ankle joint line. 1—anterolateral (triangular subcutaneous) area, 2—lateral malleolar crest, 3—posterolateral (peroneal) area, AT Achilles tendon

triangular rough space (B) corresponds with the height of FN [6].

LMC must be taken into account during application of the plate on the lateral malleolus. The plate should respect the midline of the lateral aspect of the distal fibula [10]. However, it usually covers the triangular area (Fig. 6). In case of asymmetric placement of the plate relative to the LMC, it is impossible to insert SS through the crest along an optimal trajectory (Fig. 7). It should be noted in this respect that the posterolateral peroneal surface is covered by peroneal muscles and their fascia is attached to the LMC. For correct plate placement must be this fascia detached from the LMC.

LMC is essential for assessment of the position of the distal fibula in FN on the axial CT scan [20]. The optimal level is 4–5 mm proximally to the ankle joint line [3, 6]. Where the position of the fibula is anatomical, its anterolateral aspect (triangular area) corresponds on the CT axial scan with the anterior surface of the distal tibia and the posterolateral area of the distal fibula (peroneal area) with the posterior surface of the distal tibia (Fig. 8).



**Fig. 5** Placement of syndesmotic screws on CT axial scan and 3D CT reconstruction. **a** Proper entry points on the lateral malleolar crest (LMC); **b** incorrect entry points on the anterolateral surface. White arrows—LMC

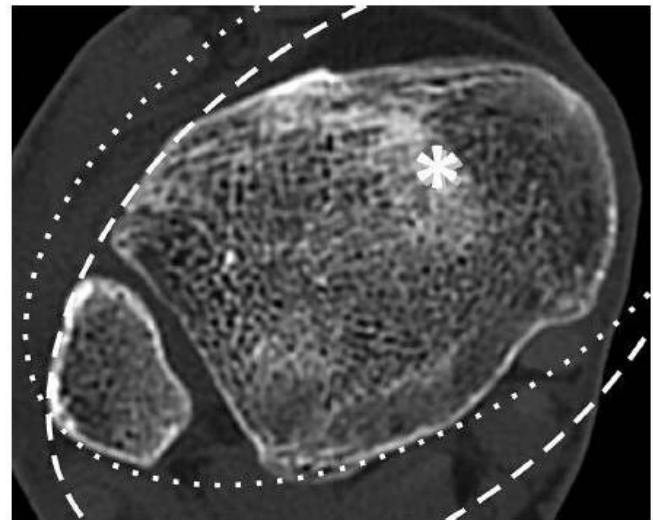
## Conclusion

LMC is an important, constantly occurring, reference structure on the lateral aspect of the fibular malleolus, which divides the lateral aspect of the distal fibula into

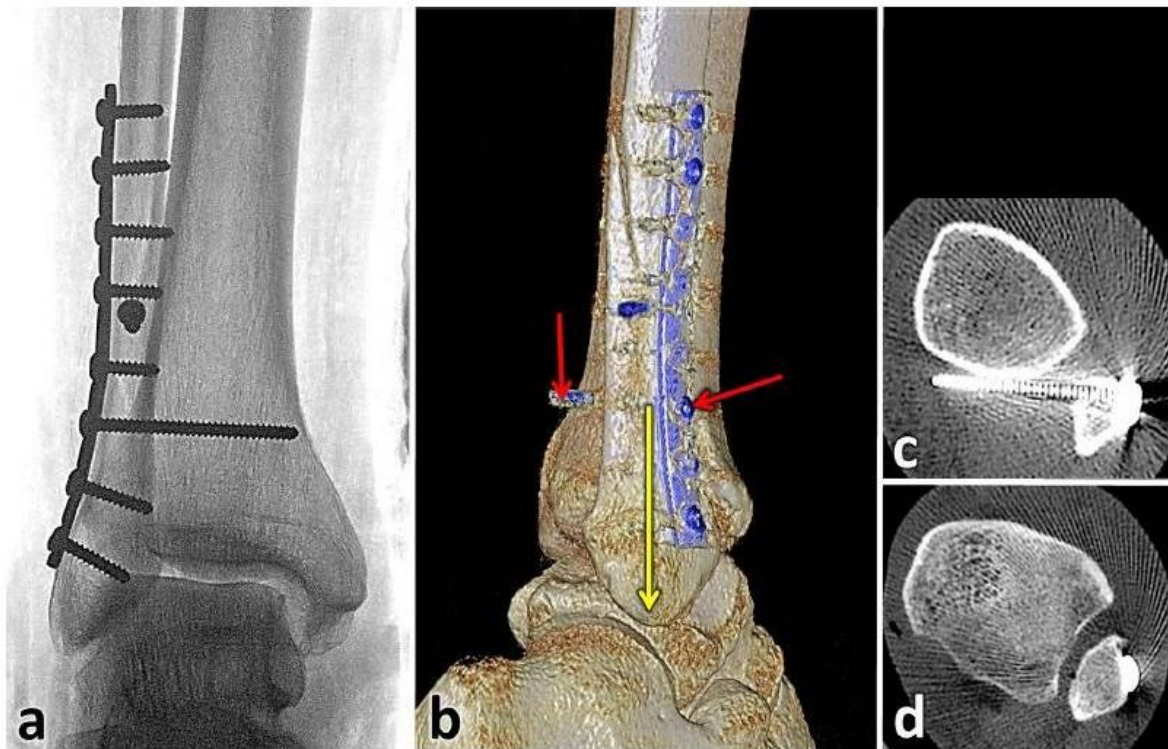
the anterolateral (triangular subcutaneous area) and the posterolateral (peroneal area) surfaces. The knowledge of its course is essential for application of SS, fibular plate placement and assessment of the distal fibula position in FN.



**Fig. 6** Placement of a fibular plate. **a** In the midline of the lateral surface; **b** on the anterolateral area



**Fig. 8** Assessment of the position of the distal fibula in the fibular notch on axial CT scan 5 mm proximal to the ankle joint line. Normally, the anterolateral surface of the distal fibula corresponds with the anterior aspect of the distal tibia (dotted line), and the posterolateral surface of the distal fibula corresponds with the posterior aspect of the distal tibia (dotted line). \*Medial condensation of cancellous bone in the distal tibial metaphysis indicating the proper level of CT scan



**Fig. 7** Effect of anterolateral placement of a fibular plate on the trajectory of the syndesmosis screw. **a** ap radiograph; **b** 3D CT reconstruction; **c** axial CT scan at the level of the syndesmosis screw; **d**

axial CT scan 5 mm proximal to the ankle joint line showing malposition of the distal fibula in the fibular notch. Red arrows—syndesmosis screws, yellow arrow—lateral malleolar crest (color figure online)

**Author contributions** PF: data collection, statistical analysis, manuscript writing. ŠK: data collection, manuscript writing. JB: project development, manuscript editing. MT: project development, data analysis. ON: data analysis, statistical analysis, manuscript editing. All authors reviewed the manuscript.

**Funding** This study was supported by Grant AZV 22-10-00240—Severe types of ankle fracture–dislocations (Maisonneuve and Bosworth fractures)—diagnostics, pathoanatomy, treatment, complications and by Cooperatio Morphological Disciplines of Medicine.

**Data availability** Data were obtained from institutional collections—Pachner’s osteological collection of the Institute of Anatomy of 1st Faculty of Medicine of Charles University and Department of Anthropology and Human Genetics of the Faculty of Science of Charles University, Prague. Original tables with data are available from the authors.

## Declarations

**Conflict of interest** The authors have no relevant financial or non-financial interests to disclose.

**Ethical approval** This article does not contain any studies with human participants or animals, performed by any of the authors.

**Consent for publication** Not applicable.

## References

- Babacan S, Kafa İM (2022) Morphology of the ligaments located on the medial side of the ankle and on the plantar surface of the foot. *Surg Radiol Anat* 44:261–271
- Bartoníček J (2003) Anatomy of the tibiofibular syndesmosis and its clinical relevance. *Surg Radiol Anat* 25:379–386
- Bartoníček J, Rammelt S, Kašper Š, Malík J, Tuček M (2019) Pathoanatomy of Maisonneuve fracture based on radiologic and CT examination. *Arch Orthop Trauma Surg* 139:497–506
- Bazin I, Armendariz M, Marcheix PS, Pichon M, Fredon F, Mabit C, Mathieu PA (2019) A computed tomography study of the fibula: morphology, morphometry, intramedullary anatomy, application prospects on intramedullary nailing. *Surg Radiol Anat* 41:681–687
- Edama M, Takabayashi T, Inai T, Kikumoto T, Ito W, Nakamura E, Hirabayashi R, Ikezu M, Kaneko F, Kageyama I (2019) The effect of differences in the number of fiber bundles of the anterior tibial ligament on ankle braking function: a simulation study. *Surg Radiol Anat* 41:69–73
- Fojtík P, Kostlivý K, Bartoníček J, Naňka O (2020) The fibular notch: an anatomical study. *Surg Radiol Anat* 42:1161–1166
- Frazer JES (1946) *The anatomy of the human skeleton*. Churchill, London, pp 131–137
- Gan K, Xu D, Hu K et al (2020) Dynamic fixation is superior in terms of clinical outcomes to static fixation in managing distal tibiofibular syndesmosis injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28:270–280
- Heim U, Pfeifer KM (1972) *Periphere Osteosynthesen*. Springer, Berlin, p 216
- Hovelacque A (1933) *Ostéologie*. Fascicule 1. Doin & Cie, Paris, p 180
- Johnston TB, Davis DV, Davis F (1958) *Gray’s anatomy*, 32nd edn. Longmans, London, pp 423–430
- Kelikian AS (2011) Sarrafian’s anatomy of the foot and ankle descriptive topographic functional. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp 40–45
- Kakegawa A, Fukushima N, Sumitomo N et al (2022) Relationship between inferior fascicle of anterior talofibular ligament and articular capsule in lateral ankle ligament complex. *Surg Radiol Anat* 44:253–259
- von Lanz T, Wachsmuth W (1938) *Praktische Anatomie—Bein und Statik*. Springer, Berlin, p 33
- Matcuk GR Jr, Patel DB, Cen S, Heidari KS, Tan EW (2019) Fibular groove morphology and measurements on MRI: correlation with fibularis tendon abnormalities. *Surg Radiol Anat* 41:75–85
- Nozaki S, Watanabe K, Kato T, Miyakawa T, Kamiya T, Katayose M (2019) Radius of curvature at the talocrural joint surface: inference of subject-specific kinematics. *Surg Radiol Anat* 41:53–64
- Pachner P (1937) Pohlavní rozdíly na lidské páňvi [Sex differences in the human pelvis], In Czech. *Česká akademie věd a umění, Praha*
- Poirier P, Charpy A (1911) *Traité d’anatomie humaine*. Tome I. Masson et Cie, Paris
- Rammelt S, Bartoníček J (2020) Posterior malleolar fractures: a critical analysis review. *JBJS Rev* 8:e19.00207. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.19.00207>
- Rammelt S, Boszczyk A (2018) Computed tomography in the diagnosis and treatment of ankle fractures: a critical analysis review. *JBJS Rev* 6:e7. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.17.00209>
- Rouviere H (1943) *Anatomie humaine descriptive et topographique*. Tome II. Masson et Cie, Paris, p 276
- Schlickewei C, Schweizer C, Püschel K, Ondruschka B, Kleintertz H, Barg A, Rolvien T, Stürznickel J (2022) Age-, sex-, and subregion-specific properties of distal fibular microarchitecture and strength: an ex vivo HR-pQCT study. *J Orthop Res* 22:e9. <https://doi.org/10.1002/jor.25351>
- Standring S (ed) (2021) *Gray’s anatomy—the anatomical basis of clinical practice*. Elsevier, London, pp 1401–1402
- Testut L (1889) *Traité d’anatomie humaine*. Octave Doin, Paris, pp 295–296
- Toldt K, Hochstetter F (1928) *Anatomischer Atlas*. Erster Band. 14. Auflage. Urban und Schwarzenberg, Berlin, p 140
- White TD, Black MT, Folkens PA (2012) *Human osteology*. Elsevier, Burlington, pp 263–270

**Publisher’s Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Springer Nature or its licensor (e.g. a society or other partner) holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.

**5.3. Bartoníček J, Fojtík P, Bunganičová E, Tuček M. Maisonneuveova  
zlomenina hlezna. Rozhl Chir. 2023;102:48-59.**

# Maisonneuveova zlomenina hlezna

J. Bartoníček<sup>1</sup>, P. Fojtík<sup>1</sup>, E. Bunganičová<sup>2</sup>, M. Tuček<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Klinika ortopedie, 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy a Ústřední vojenské nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice Praha

<sup>2</sup>Radiodiagnostické oddělení, Ústřední vojenská nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice Praha

**Věnováno památce prof. MUDr. Miroslava Rysky, CSc.**

## Souhrn

Maisonneuveova zlomenina (MZ) je definována jako luxační zlomenina hlezna, kde došlo vždy ke zlomenině proximální čtvrtiny fibuly a roztržení lig. tibiofibulare anterius a lig. tibiofibulare interosseum. Další poranění jsou variabilní. Recentní CT studie ukázaly, že MZ je mnohem komplexnější poranění, než se předpokládalo. Proto je třeba zásadním způsobem změnit pohled na tuto problematiku. MZ je spojena přibližně v 80 % případů se zlomeninou malleolus posterior a dále s malpozicí distální fibuly v incisura fibularis tibiae (IFT). Přesné zhodnocení těchto poranění vyžaduje úrazové CT, které by mělo být u MZ v dnešní době standardem. Hlavním cílem ošetření je anatomická repozice distální fibuly do IFT. To vyžaduje v případě odlomení většího fragmentu malleolus posterior provést nejdříve jeho repozici a fixaci z posterolaterálního přístupu. Tím dojde k obnově integrity IFT. Zavřená repozice distální fibuly je spojena s malpozicí až v 50 % případů. Proto se dává přednost otevřené repozici z krátkého anterolaterálního přístupu. Přesnost repozice je nutné vždy ověřit pooperačním CT.

**Klíčová slova:** Maisonneuveova zlomenina, luxační zlomeniny hlezna, zlomeniny malleolus posterior

## Summary

### Review

## Maisonneuve ankle fracture

J. Bartoníček<sup>1</sup>, P. Fojtík<sup>1</sup>, E. Bunganičová<sup>2</sup>, M. Tuček<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Orthopedy, 1<sup>st</sup> Faculty of Medicine, Charles University and Central Military Hospital – University Hospital Prague

<sup>2</sup>Department of Radiology, Central Military Hospital – University Hospital Prague

Maisonneuve fracture (MF) is defined as an ankle fracture-dislocation associated always with a fracture of the proximal quarter of the fibula and rupture of the anterior and interosseous tibiofibular ligaments. Other injuries are variable. Recent CT studies have demonstrated that MF is a far more complex injury than initially supposed. Therefore it is necessary to change substantially the current concepts related to this issue. MF is combined in about 80% of cases with a fracture of the posterior malleolus and also with malposition of the distal fibula in the fibular notch. An exact assessment of these injuries requires post-injury CT examination which should be used as a standard in MFs. The main goal of treatment is anatomical reduction of the distal fibula into the fibular notch. In case of avulsion of a larger fragment of the posterior malleolus, it is necessary to perform as the first step its reduction and fixation from the posterolateral approach and thus restore integrity of the notch. Closed reduction of the distal fibula is associated with malposition in up to 50% of cases and therefore open reduction from a short anterolateral approach is preferred. Accuracy of reduction should be always checked by postoperative CT scan.

**Key words:** Maisonneuve fracture, ankle fracture-dislocations, posterior malleolus fractures

*Rozhl Chir.* 2023;102:48–59

doi:10.33699/PIS.2023.102.2.48–59

## ÚVOD

Maisonneuveova zlomenina (MZ) je v traumatologii hlezna obecně známá entita, přesto o ní existuje řada nesprávných představ. V České republice je MZ vlivem historického vývoje spojena s představou subkapitální zlomeniny fibuly, roztržením membrana interossea (MI) až do výše zlomeniny na fibule a díky tomu je považována za velmi nestabilní poranění. Analýza literatury věnované MZ [1] odhalila protichůdné názory jednot-

livých autorů i nutnost dalšího studia. Recentní CT studie [2–4] ukázaly, že MZ je mnohem komplexnější poranění, než jsme se domnívali, a že je třeba zásadním způsobem změnit pohled na tuto problematiku.

## Historie

Subkapitální zlomenina fibuly způsobená zevně rotačním mechanismem a spojená s poraněním tibiofibulární syndesmózy byla poprvé popsána v r. 1840 francouzským chirurgem Julesem Germainem Francoisem

Maisonneuvem (1809–1897) [5], a to na základě experimentů na mrtvolách. Eponym Maisonneuveova zlomenina se postupně rozšířil na začátku 20. století díky jeho krajanům, kterými byli především Quenu [6], Chaput [7] a Destot [8]. První podrobný popis MZ doprovázený rtg snímky publikoval Tanton [9] v r. 1916. Ashhurst [10] zavedl eponym „Maisonneuve fracture“ do anglické literatury v r. 1923. Bonin [11] se v monografii z r. 1950 zabýval MZ velmi podrobně a hodnotil ji jako stabilní poranění, u kterého dochází k ruptuře lig. tibiofibulare anterioris, ale mediální struktury zůstávají intaktní. V německé literatuře se o MZ v průběhu 60. let 20. století stručně zmínil B. G. Weber [12]. V anglické literatuře je považována za prioritní studie Pankoviche [13] z r. 1976. Ammann [14] publikoval v r. 1981 rozsáhlou, bohužel v literatuře téměř neznámou studii MZ čítající 37 operovaných případů. V rámci AO/ASIF se MZ věnoval především U. Heim [15]. Postupně přibývaly popisy dalších případů, většinou kazuistické, početnějších souborů bylo publikováno pouze několik [16–42]. Recentní pathoanatomické studie založené na 3D CT vyšetření zásadně změnily pohled na MZ [2–4]. V české literatuře první studii detailněji se zabývající MZ publikoval Kolman [43] v r. 1999 a druhou Kašper, et al. [3] v r. 2020.

### Definice MZ

Pojem MZ zlomenina není všemi autory chápán stejně. Původní Maisonneuveho popis hovořil o subkapitální zlomenině fibuly spojené s roztržením lig. tibiofibulare anterioris [5]. Někteří autoři sem řadí všechny zlomeniny střední třetiny nebo proximální poloviny fibuly [23,40,44]. Jiní hovoří o „Maisonneuve-like fractures“, a myslí tím případy s intaktní fibulou (tzv. distorze tibiofibulárního kloubu nebo luxace hlavice fibuly) [45–50]. Naopak, Kašper, et al. [51] popsali dvojitou MZ (Obr. 1), která byla do té doby v literatuře téměř neznámá [52–55]. Na základě dosud publikovaných analýz lze MZ definovat jako zlomeninu proximální čtvrtiny fibuly spojenou minimálně s rupturou lig. tibiofibulare anterioris (LTFA) a lig. tibiofibulare interosseum (LTFI).

### Epidemiologie

MZ tvoří 3,5 až 7 % všech luxačních zlomenin hlezna [16,20,24,56,57]. Bilaterální výskyt je velmi vzácný [37]. Zastoupení mužů a žen a průměrný věk pacientů se liší podle jednotlivých autorů (Tab. 1). Kašper, et al. [3] zaznamenali v souboru 70 pacientů 47 mužů průměrného věku 46 let (19–78) a 23 žen průměrného věku 52 let (23–75). Průměrný věk celého souboru činil 48 let. Maximum výskytu MZ v celém souboru a u mužů bylo v 5. dekádě, u žen v 6. dekádě. Ve skupině do 50 let převládali muži (30:8). Ve skupině nad 50 let byl poměr téměř vyrovnaný (17:15). Pravá strana byla postižena ve 44 případech a levá v 26 případech.

### Diagnostika

MZ zlomenina bývá často přehlédnuta [17–19,34]. Například Merrill [19] zaznamenal v souboru 9 pacientů s MZ 4 primárně přehlédnuté případy. Příčinou vždy bylo nedodržení standardního vyšetřovacího postupu.



**Obr. 1: Základní typy MZ**

(a – pronačně-everzní zlomenina, b – supinačně-everzní zlomenina, c – dvojitá zlomenina. Bílá šipka ukazuje zlomeniny na fibule, červená šipka označuje zlomeninu Tillaux-Chaputova hrboleu.)

### Fig. 1: Basic types of Maisonneuve fracture

(a – pronation-eversion fracture, b – supination-eversion fracture, c – double fractures. The white arrow shows fractures of the fibula, the red arrow indicates a fracture of the Tillaux-Chaput tubercle.)

**Klinické vyšetření:** Provádíme ho stejným způsobem jako u všech poranění hlezna. Velmi důležité je palpační vyšetření. Je nutné prohmatat fibulu v celé její délce, provést „tibiofibular squeeze“ test (komprese fibuly proti tibii) a vyzkoušet stabilitu hlavice fibuly v tibiofibulárním kloubu. Bolest či krepitus svědčí o poranění fibuly nebo tibiofibulárního kloubu. Velmi důležitá je palpace i v oblasti mediálního a laterálního kotníku, kdy případná bolest signalizuje poranění příslušných vazů. Pozitivní zevně rotační test je příznakem poranění LTFA.

**Radiologie:** Základní RTG vyšetření hlezna zahrnuje tři projekce, tj. předozadní projekci, projekci na vidlici a bočnou projekci. V případě podezření na MZ je třeba doplnit snímky celého bérce ve dvou projekcích (předozadní, bočná). Bartoníček, et al. [2] zjistili, že ve 24 % případů nebyla zlomenina proximální fibuly v předozadní projekci viditelná!

Pokud na rtg diagnostikujeme MZ, je indikováno CT [58], které poskytne zásadní informace o postavení distální fibuly v incisura fibularis tibiae, anatomii a dislokaci odlomeného zadního fragmentu distální tibie (malleolus posterior), který se u MZ vyskytuje v 80 % případů [2–4]. CT vyšetření je důležité i pro detekci zlomeniny Tillaux-Chaputova hrboleku, kterou často nelze na rtg snímcích identifikovat [59]. Totéž platí o kompresi laterální části pilonu tibie v oblasti incisura fibularis tibiae a o osteochondrálních zlomeninách talu [2].



**Tab. 1: Základní publikace o Maisonneuveho zlomenině**  
**Tab. 1: Basic dates concerning Maisonneuve fracture**

Autor	Rok	N	OP	M/Ž	Věk	MP	MS
Pankovich	1976	12*	6	NS	17–42	10	MM-3, DL-1, IN-8
Ammann	1981	37	37	23/14	36	13	MM-13, DL-20, IN-4
Merrill	1993	9	1	NS	NS	4	MM-1, DL-8
Kolman	1999	19		11/8	37	NS	MM-9, DL-10
Kirschner	1999	32	32	25/7	NS	12	MM-NS, D-8
Manyi	2000	12	5**	9/3	38	8	MM-7, DL-5
Babis	2000	26	26	16/10	25	20	MM-20, DL-6
Sproule	2004	14	14	12/2	36	5	MM-1, DL-13
Pelton	2010	12	4	12/2	28	9	MM-9, D-3
Bartoníček	2019	54	51	33/21	48	41	MM-20, DL-27, IN-7
Kašper	2020	70	67	47/43	48	54	MM-27, DL-36, IN-7
He	2020	41	40	32/9	38	34	MM-30, DL-10, IN-1

Vysvětlivky: N – počet pacientů, Op – počet operovaných pacientů, M/Ž – muži/ženy, MP – zlomeniny malleolus posterior, MS – poranění mediálních struktur, MM – zlomenina malleolus medialis, DL – ruptura deltového vazy, IN – intaktní MS, NS – nespecifikováno, \* – pouze pacienti se zlomeninou fibuly, \*\* – není přesně uvedeno.

Notes: N – number of patients, OP – number of operated patients, M/Ž – males/females, MP – fractures of the posterior malleolus, MS – injury of medial structures, MM – fracture of the medial malleolus, DL – rupture of the deltoid ligament, IN – intact MS, NS – not specified, \* – only patients with fibular fracture, \*\* – not accurately specified, věk – age, rok – age of publication.

MR poskytuje důležité informace o rozsahu vazivových poranění, nikoli však o stabilitě zlomeniny [22,26,60,61]. Proto není běžně používána při vyšetření MZ, ale může být přínosem v případě nejasných poranění a odhalit poranění kloubní chrupavky.

Artrioskopie umožňuje přesné posouzení poranění vazů tibiofibulární vidlice a kloubní chrupavky, ale je třeba si uvědomit její riziko u akutní zlomeniny [29,32,42].

### Pathoanatomie

Starší studie MZ vycházející především z rtg a peroperačních nálezů se soustředily především na poranění vazů tibiofibulární syndesmózy a membrana interossea (MI). Recentní CT studie však ukazují, že pathoanatomie MZ je mnohem komplexnější [2–4] a že spektrum této zlomeniny z hlediska stability je velmi široké, od minimálně dislokovaných až po kompletně nestabilní zlomeniny [2–4].

**Poranění proximální fibuly:** Typické jsou zlomeniny v subkapitální oblasti či v proximální čtvrtině fibuly, které jsou obvykle spirální, jen výjimečně kominutivní. Vzácné jsou zlomeniny hlavičky fibuly [2,3].

**Atypické zlomeniny fibuly:** Téměř neznámá je dvojitá zlomenina fibuly, tj. nejen v proximální, ale i distální čtvrtině. Dosud jich bylo v literatuře popsáno pouze 15 [51–55]. Ve 13 případech byla distální zlomenina fibuly klasifikována jako typ Weber C, ve 2 případech jako typ Weber B.

**Poranění mediálních struktur:** V této oblasti vznikají zlomeniny mediálního malleolu (MM), ruptury lig. deltoideum (LD) nebo kombinace obou lézí. Vzácně zůstanou mediální struktury (MS) intaktní [2,34,42]. Zastoupení jednotlivých poranění je udáváno různě (Tab. 1). Kašper, et al. [3] našli u 70 pacientů poranění

LD v 51 %, zlomeninu MM v 39 % a v 10 % případů byly MS neporaněny. Intaktní MS u MZ zaznamenali Madhusudhan, et al. [31], Choropoulos, et al. [34] a van Wesssem, et al. [40], každý po 1 případě, Dietrich, et al. [41] ve 2 případech. Morris, et al. [22] zjistili na MR rupturu povrchové části LD u všech 5 vyšetřovaných pacientů, intaktní hlubokou část LD u 1 pacienta, parciální rupturu hluboké části LD rovněž u 1 pacienta a kompletní rupturu LD u 3 pacientů.

Zlomeniny MM postihovaly v některých případech pouze colliculus anterior (CA), většinou se však vyskytovaly bikolikulární zlomeniny vnitřního kotníku [3,4]. U zlomenin CA může být současně poraněna i tibio-talární (hluboká) část LD a vzniká tak kombinované, osteoligamentózní poranění.

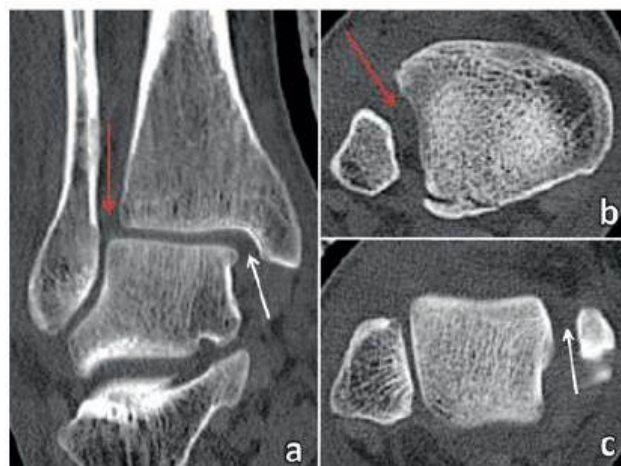
**Zlomeniny zadního malleolu:** Zlomenina malleolus posterior (MP) se u MZ vyskytuje podle recentních CT studií v 77 % až 83 % případů [2–4]. To je mnohem více, než je udáváno u luxačních zlomenin hlezna obecně [56,57]. Např. Jehlička, et al. [56] zaznamenali zlomeninu MP u 46 % všech zlomenin typu Weber B a C. Kašper, et al. [3] hodnotili i typ zlomeniny MP podle CT klasifikace Bartoníčka-Rammelta (B-R) [62,63]. Typ 1 (extracisurální) našli v 15 %, typ 2 (posterolaterální) v 50 %, typ 3 (dvoufragmentový s postižením mediálního kotníku) v 29 % a typ 4 (velký triangulární fragment) v 6 % případů. Tato distribuce přibližně odpovídá výskytu zlomenin MP u všech trimalleolárních zlomenin [62].

**Poranění vazů tibiofibulární syndesmózy a membrana interossea:** Všichni autoři s výjimkou Bonina [11] se shodují, že u MZ je vždy poraněno LTFA a LTFI. Kostním ekvivalentem poranění LTFA může být avulze Tillaux-Chaputova hrbolu [3,31]. Kašper, et al. [3] ji zaznamenali v 9 (13 %) ze 70 případů.

Názory na poranění lig. tibiofibulare posterius (LTFP) a MI se různí. Ruptura MI až do výše zlomeniny na fibule byla pod vlivem Weberovy učebnice [12] a AO literatury [64,65] považována za konstantní součást MZ [16,43]. Toto tvrzení zpochybnili někteří autoři [4,22,26,60]. Morris, et al. [22] zaznamenali na MR poranění MI u 4 z 5 pacientů, a to pouze do výše 6 cm nad kloubní šterbinou hlezna. Proximálněji už MR skeny nezasahovaly. Manyi, et al. [26] v MR studii zahrnující 12 pacientů s MZ našli roztržení MI vždy, ale pouze v její distální třetině, přesněji maximálně do výše 11 cm nad kloubní plochou hlezna. Nielson, et al. [60] v r. 2004 vyšetřili 73 zlomenin hlezna MR a zjistili, že „*The level of fibular fracture does not correlate reliably with the integrity or extent of the interosseous membrane tears identified on MRI in operative ankle fractures*“. He, et al. [4] vyšetřili MR 33 pacientů s MZ. Své nálezy však neprezentovali jednoznačně. U většiny pacientů byla MI roztržena v distální části v délce 6 až 9 cm. Autoři mimo jiné uváděli, že „... *the rupture of the IOM was also present near the fibular fracture with intact IOM between the proximal and distal ruptures in some patients*“. Recentně He, et al. [61] vyšetřili 15 pacientů s MZ pomocí MR. Zjistili, že v oblasti hlezna byla MI roztržena v úseku 8 cm (4–12 cm), pak až v oblasti zlomeniny fibuly, a to v rozsahu 7 cm (4–9 cm). Ve své střední části byla MI vždy intaktní. Obdobnou zkušenost jsme učinili u 2 našich pacientů s MZ. Všechny zmíněné studie uvádějí, že hodnotit poranění MI na MR není zcela jednoduché a vyžaduje značnou zkušenost.

Poranění LTFP nebylo v artroskopické studii Yoshimury, et al. [29] zaznamenáno u žádného ze 4 operovaných pacientů, autoři se však nezmínili o poranění MP. Naopak Morris, et al. [22] prezentovali v souboru 5 pacientů 3 případy s intaktním LTFP, 1 případ s parciální rupturou a 1 případ s kompletní rupturou vazů. Avšak ani tito autoři nediskutovali případné poranění MP. Hinds, et al. [38] popsali na MR intaktní LTFP, ale vždy byla přítomna zlomenina MP. Tento případ ukazuje na fakt, že právě zlomenina MP je kostním ekvivalentem ruptury LTFP. Kombinace ruptury LTFP a zlomeniny MP nebyla dosud v literatuře popsána.

**Postavení distální fibuly v incisura fibularis tibiae:** Recentní CT studie prokázaly výraznou variabilitu vzájemného vztahu obou kostí v oblasti incisury [2,3], (Obr. 2). Kašper, et al. [3] studovali postavení distální fibuly v incisure tibie na axiálních CT skenech u 59 pacientů 3–4 mm nad kloubní plochou distální tibie, kde je incisura fibularis tibiae nejhlubší [66]. V 15 případech byl prostor mezi fibulou a incisurou rozšířen pouze minimálně, a to do 2 mm (měřeno v centru incisury), v 15 případech o více než 2 mm s mírnou zevní rotací fibuly, ve 25 případech bylo rozšíření spojeno s výraznou zevní rotací fibuly. Ve 2 případech Bosworthovy zlomeniny došlo k dorzální dislokaci distálního fragmentu fibuly z incisury a jeho zachycení na dorzální ploše distální tibie. Ve 2 případech vznikla kompletní diastáza tibiofibulární vidlice s vklíněním talu mezi obě kosti (logsplitter injury). Obdobný případ tibiofibulární diastázy popsali Downey, et al. [39]. Analýza Kašpera, et



**Obr. 2: MZ na CT**

Rozšíření tibiofibulární vidlice (červená šipka) a zevní rotace distální fibuly svědčí o ruptuře lig. tibiofibulare anterioris a lig. tibiofibulare interosseum, rozšíření „medial clear space“ (bílá šipka) je známkou ruptury hluboké porce lig. deltoideum, fibulotalární artikulace je intaktní. a – frontální sken, b – transverzální sken 5 mm nad kloubní šterbinou ukazuje odlomení MP typ 2 B-R klasifikace, c – transverzální sken 5 mm pod kloubní šterbinou ukazuje rozšíření „medial clear space“.

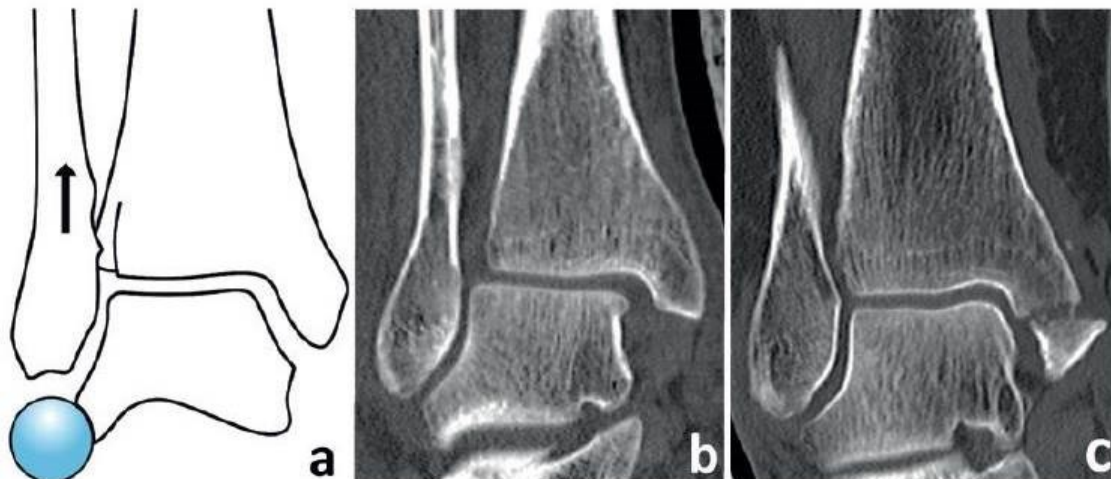
**Fig. 2: MF on CT**

Widening of the tibiofibular mortise (red arrow) and external rotation of the distal fibula indicate rupture of the anterior tibiofibular and the interosseous tibiofibular ligaments; widening of the “medial clear space” (white arrow) is a sign of rupture of the deep part of the deltoid ligament; fibulo-talar articulation is intact. a – frontal scan, b – axial scan 5 mm above the joint line shows avulsion of MP of type 2 of B-R classification, c – axial scan 5 mm below the joint line shows widening of the “medial clear space”.

al. [3] ukázala, že s postupným rozšířením tibiofibulární šterbiny narůstá zevní rotace fibuly.

**Poranění fibulárních postranních vazů:** Morris, et al. [22] našli na MR rupturu lig. fibulotalare anterioris u všech 5 vyšetřovaných pacientů, rupturu lig. fibulotalare posterioris u 3 z 5 pacientů a rupturu lig. fibulotalare anterioris u pacienta s MZ, kdy došlo i ke zlomenině MP, ale mediální struktury zůstaly intaktní. Hinds, et al. [38] zaznamenali obdobný případ, pouze rupturu lig. fibulotalare anterioris diagnostikovaná MR byla kompletní. My jsme v jednom případě zjistili poranění tohoto vazů peroperačně.

**Fibulo-talární vztah:** Proximální posun (zkrácení) fibuly a porušení tzv. Weberova kruhu (Obr. 3) je považováno za jeden z příznaků zlomenin typu Weber C včetně MZ [67]. Tento fakt je však diskutabilní. Vzájemný vztah kloubní plochy fibulárního malleolu a laterální kloubní plochy kladky talu (tzv. lateral gutter) je zabezpečen systémem tří fibulárních vazů. Až na výše uvedené výjimky jsou tyto vazy u MZ intaktní a udržují normální vztah mezi distální fibulou a zevní plochou kladky talu. Talus a distální fragment fibuly tak tvoří jeden celek, kdy je zachována kongruence obou kloubních



**Obr. 3: Fibulo-talární vztah (lateral gutter)**

(a – tradiční Weberovo schéma demonstrující proximální posun fibuly (šipka), b – nestabilní pronačně-everzní MZ s laterálním posunem talu, rupturou lig. deltoideum a rozšířením tibio-fibulární vidlice, c – stabilní supinačně-everzní MZ se zlomeninou colliculus anterior, hluboká porce lig. deltoideum je zřejmě intaktní, talus zůstává v anatomické pozici vzhledem k distální tibii. U obou zlomenin je zachován normální fibulo-talární vztah.)

**Fig. 3: Fibulo-talar relationship (lateral gutter)**

(a – traditional Weber scheme demonstrating the proximal shift of the fibula (arrow), b – an unstable pronation-eversion Maisonneuve fracture with lateral shift of the talus, rupture of the deltoid ligament and widening of the tibiofibular mortise, c – a stable supination-eversion MF with a fracture of the anterior colliculus; the deep portion of the deltoid ligament is obviously intact, the talus remains in the anatomical position in relation to the distal tibia. Both fractures show a preserved normal fibula-talar relationship.)

ploch, a to i v případě Bosworthovy zlomeniny nebo tibiofibulární diastázy. Pokud horní plocha kladky talu artikuluje s kloubní plochou distální tibie v anatomickém postavení, nemůže dojít k proximálnímu posunu fibuly. To je možné pouze tehdy, dojde-li k laterálnímu posunu a valgóznímu sklonu kladky talu. Tato dislokace vzniká především v případě kompletní ruptury LD. Bikolikulární zlomeniny MM kladky talu jsou u MZ většinou dislokované minimálně [2].

**Další přidružená poranění:** Osteochondrální fraktura kladky talu byla popsána několika autory [3,4,29,32,42]. V 6 případech byla léze lokalizována mediálně, v 1 případě laterálně [3,4,29,32]. Tyto léze byly diagnostikovány pomocí CT [4], MR nebo artroskopicky [29,32]. Rofrano, et al. [42] našli osteochondrální poranění u 11 ze 13 případů MF, v 9 případech pouze na talu, ve 2 případech současně na talu i na tibii. Smith, et al. [28] popsali interpozici osteochondrálního fragmentu v tibiofibulární vidlici, zřejmě z laterální části pilonu. Kompresi laterální části kloubní plochy tibie v oblasti incisura fibularis tibiae popsali Bartoníček, et al. [2].

### Mechanismus poranění

Jako první se tímto problémem zabýval Pankovich [13] a popsal celkem pět fází vzniku MZ:

- 1) Ruptura LTFA nebo avulzní zlomenina jeho úponu s poraněním LTFI.
- 2) Zlomenina zadní hrany tibie nebo ruptura LTFF.
- 3) Ruptura anteromediální části kloubního pouzdra nebo avulzní zlomenina jeho úponu.
- 4) Zlomenina proximální třetiny fibuly.
- 5) Ruptura deltového vazy nebo zlomenina vnitřního malleolu.

Význam anteromediální části kloubního pouzdra pro stabilitu zůstává nejasný. Autor ho mohl zaměnit s přední, tibionavikulární částí LD.

Recentní studie uznávají na základě Lauge-Hanseny klasifikace [68] dva mechanismy vzniku MZ. Každý z nich má celkem čtyři stadia [69].

#### **Pronačně-everzní (zevně rotační) mechanismus:**

- I. stadium – poranění MS (MM, LD),
- II. stadium – ruptura LTFA, LTFI a distální část MI,
- III. stadium – spirální zlomenina proximální fibuly,
- IV. stadium – ruptura LTFF nebo zlomenina MP.

#### **Supinačně-everzní (zevně rotační) mechanismus:**

- I. stadium – ruptura LTFA, LTFI a distální část MI,
- II. stadium – spirální zlomenina proximální fibuly,
- III. stadium – ruptura LTFF nebo zlomenina MP,
- IV. stadium – poranění MS (mediální malleolus, deltový vaz).

Většina autorů se domnívá, že MZ vzniká pronačně-everzním (P-E) mechanismem. Ten však není schopen objasnit případy, kdy mediální struktury zůstaly intaktní. To lze vysvětlit pouze působením supinačně-everzního (S-E) mechanismu.

K MZ dochází již ve II. stadiu S-E mechanismu nebo ve III. stadiu P-E mechanismu. Oba tyto mechanismy dobře korespondují s výše uvedeným popisem pathoanatomických změn včetně osteochondrálních zlomenin kladky talu a komprese laterální části pilonu tibie. Ruptura MI až do výše zlomeniny na fibule není nutná. Merrill [19] to vysvětlil následovně: „... the IOM is a fascial structure connecting tibia and fibula in one plane... also, because of its liner insertion IOM affords little rotational control to the fibula, and can remain intact while fibula rotates.“ Sekvence stadií S-E mechanismu vysvět-

luje, proč v některých případech MZ zůstávají mediální struktury intaktní.

Problém představuje poranění fibulárních vazů popsané především Morrisem, et al. [22] a některými dalšími autory [34,38]. Tyto léze by šlo vysvětlit dvojitým mechanismem, kdy supinací a addukcí dochází nejdříve k poranění fibulárních vazů a následně přechází addukční násilí na zevně rotační s typickou sekvencí poranění. V každém případě vyžaduje poranění fibulárních vazů u MZ další studium. Obtížné je vysvětlit i mechanismus dvojité MZ. Svoji roli v úrazovém mechanismu může hrát i kvalita (elasticita) kosti. Poranění hlezna bez zlomeniny fibuly jsou totiž typická především pro mladší pacienty, většinou do 30 let [70].

### Principy léčby

Většina autorů považuje MZ za nestabilní poranění, které je nutné operovat [1]. Pouze Bonin [11], Merrill [19] a Dietrich, et al. [41] doporučili konzervativní léčbu. Merrill [19] ošetřoval 9 pacientů, z toho u 8 aplikoval krátký (6 pacientů) nebo dlouhý (2 pacienti) sádrový obvaz po dobu 4 až 6 týdnů. Pouze 1 pacient byl operován. Kontrola v průměru 2 roky po úrazu prokázala výborný výsledek u 6 pacientů, dobrý u 2 a uspokojivý u 1 pacienta. V současné době je konzervativní léčba u MZ indikována pouze u nedislokovaných stabilních zlomenin vzniklých S-E mechanismem, kdy mediální struktury zůstaly intaktní [1,3,4]. Dietrich, et al. [41] léčili úspěšně takoveto 2 pacienty, přestože u nich došlo k odlomení MP.

V případě operační léčby byl kladen hlavní důraz na perkutánní stabilizaci tibiofibulární vidlice jedním či dvěma syndesmálními šrouby bez revize přední části tibiofibulární syndesmozy [12,63,64,71]. V současné době je nejdůležitější otázkou přesná repozice distální fibuly do tibiální incisury, nejlépe za kontroly zraku [24,72,73]. Komplexní náhled na ošetření všech lézí, zejména rekonstrukci incisury, pokud byla výrazněji poškozena odlomením většího fragmentu MP, však chybí [1]. MZ zahrnuje řadu poranění, která je nutno identifikovat (nejlépe pomocí CT) a následně zvážit způsob jejich ošetření:

- zlomenina fibuly a její malpozice v incisura fibularis,
- zlomenina MM,
- ruptura LD,
- zlomenina MP,
- poranění LTFA,
- poranění LTFP.

U jednotlivých zlomenin je třeba zhodnotit stupeň dislokace a velikost fragmentu, resp. kloubní plochy, kterou nese.

**Zlomenina fibuly a její malpozice v incisura fibularis:** Typickou dislokací zlomeniny proximální fibuly u MZ je zevní rotace, což je dáno mechanismem poranění. Tolik diskutované zkrácení fibuly dosahuje maximálně 1 až 2 mm a je způsobeno laterálním posunem a valgózním sklonem kladky talu. Zlomenina fibuly u MZ není indikována k osteosyntéze z řady důvodů. Jako hlavní je udáváno riziko poranění n. peroneus communis. Klíčovým krokem v léčbě je anatomická re-

pozice fibuly do incisury. Tato repozice však bývá obtížná, zvláště je-li odlomen MP nesoucí větší část incisury. Tibiofibulární štěrbina v oblasti incisury je u MZ na CT transversálních řezech rozšířena, zejména v přední části, což je dáno zevní rotací distální fibuly. Proto musí být součástí repozice distální fibuly její derotace do neutrálního postavení.

**Zlomenina MM:** Dislokované zlomeniny je nutno reponovat a fixovat. Tyto zlomeniny se však liší velikostí fragmentu. V případě bikolikulární zlomeniny nese odlomený fragment kompletní tibiální úpon LD, tedy včetně jeho tibiotalární (hluboké) porce, která spojuje MM s kladkou talu. Ta je na zevní straně spojena fibulárními vazy s distální fibulou. To znamená, že při repozici a fixaci bikolikulárního fragmentu MM dochází i k repozici kladky talu vzhledem ke kloubní ploše distální tibie. Prostřednictvím kladky talu je ovlivněno i postavení distální fibuly, která je ke kladce fixována fibulárními vazy (Obr. 4).

Zcela jiná je situace u zlomeniny předního kolikulu. Odlomený fragment nese pouze úpon přední (subtalární) části LD. Tato část vazů, někdy považovaná za anteromediální část pouzdra [13], však nemá žádné spojení s talem. Proto repozice a fixace CA postavení talu neovlivní. Zlomenina CA může být izolovaná nebo spojena s rupturou zadní, tibiotalární (hluboké) části LD. V tomto případě vzniká kombinované osteoligamentózní poranění MS.

**Ruptura LD:** Kompletní ruptura LD se obvykle projevuje rozšířením „medial clear space“ (tzv. medial gutter) na více než 4 mm (viz Obr. 2). Názory na ošetření kompletní ruptury LD se různí [74]. Většinou převládá názor, že otevřená revize a sutura vazů není nutná, pokud je po ošetření fibuly „medial clear space“ normální. Pokud interpozice vazů představuje repoziční překážku, je indikována jeho otevřená revize.

V některých případech MZ mohou vznikat i parciální léze LD, kdy je přítomna ruptura pouze jeho přední subtalární části (anteromedial capsule), zadní tibiotalární porce však zůstane intaktní a stabilizuje talus vůči MM. Naopak při zlomenině CA je přední část LD intaktní, ale může být poraněna jeho zadní, tibiotalární část.

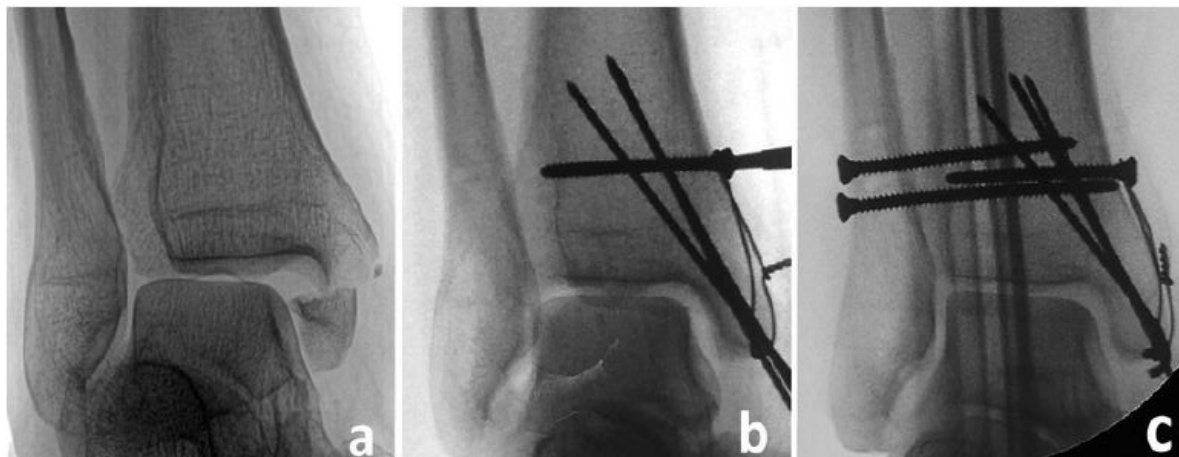
**Zlomenina MP:** Toto poranění se vyskytuje přibližně v 80 % případů a má významný vliv na stabilitu MZ i její ošetření. Fragment MP nese až na některé výjimky (typ I B-R klasifikace) celý nebo téměř celý tibiální úpon LTFP. Velikost fragmentu MP je variabilní a závisí na ní velikost odlomené kloubní plochy distální tibie (pilonu) a současně, což je velmi důležité, i incisura fibularis. Repozicí a fixací MP lze obnovit nejen tibiotalární kongruenci a stabilitu, ale částečně stabilitu tibiofibulární vidlice a integritu incisury (Obr. 5), [75,76]. Proto má zásadní význam předoperační CT k posouzení velikosti a dislokace fragmentu MP.

**Ruptura LTFP:** Toto poranění destabilizující tibiofibulární vidlici se však nevyskytuje příliš často, neboť v 80 % MZ dochází místo něj k odlomení MP. Ve zbývajících 20 % nemusí k poranění LTFP vždy dojít. Intaktní vaz působí při zevně rotační dislokaci distální fibuly v incisure jako pant (hinge). Kombinace zlomeniny MP

a LTFA nebyla dosud zaznamenána [77]. Pokud k ruptuře vazů dojde, není to indikace k jeho revizi a sutuře.

**Ruptura LTFA:** Toto poranění je standardní součástí MZ a umožňuje zevní rotaci fibuly a rozšíření přední části tibiofibulární vidlice. Na jeho ošetření jsou různé názory. Pokud je prováděna zavřená repozice distální fibuly do incisury a perkutánní stabilizace syndesmálního šroubem, nelze vaz revidovat a ošetřit. U otevřené

repozice je doporučována sutura vazů. Ta je však pouze adaptační a takto ošetřený vaz nemůže táhnout zevně rotovanou distální fibulu do anatomického postavení nebo toto postavení udržet. To je možné pouze v případě odlomení Tillaux-Chaputova hrbolu (typ 2 a 3 Rammeltovy klasifikace [59]), kdy intaktní LTFA je vytrženo z tibiae s dostatečně velkým kostním fragmentem umožňujícím jeho fixaci šroubem.

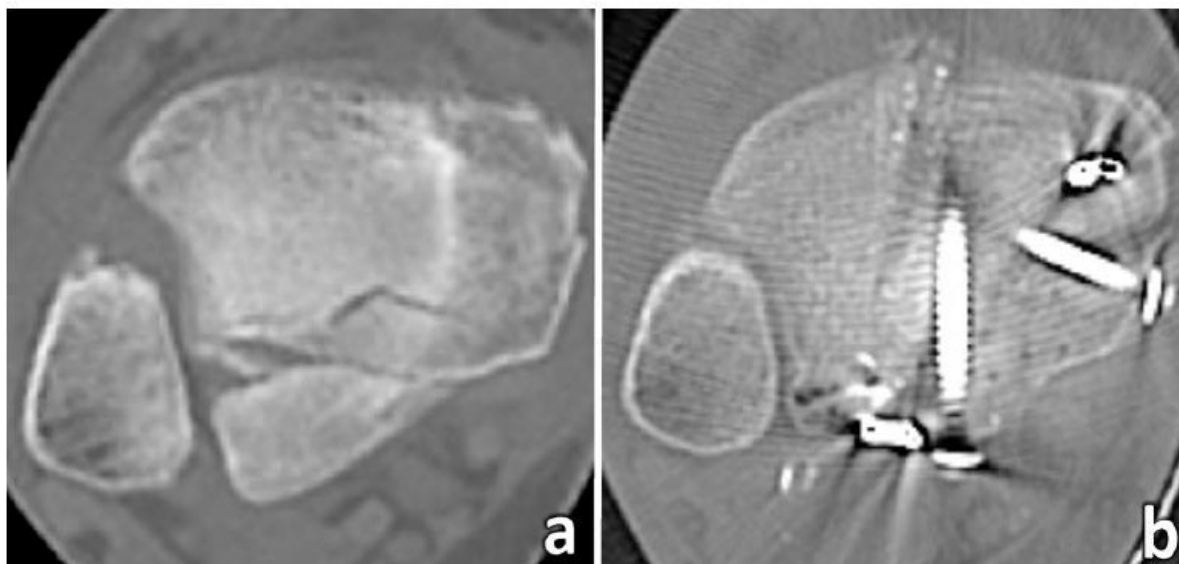


**Obr. 4: Význam repozice a fixace bikolikulární zlomeniny vnitřního kotníku pro repozici talu „pod“ distální tibií**

(a – MZ s laterální subluxací talu, fragment vnitřního kotníku zůstává ve spojení s kladkou talu díky intaktní hluboké porci lig. deltoideum, b – po repozici a fixaci vnitřního kotníku je obnoven normální tibiotalární vztah, c – po repozici distální fibuly je obnovena kongruence ve všech částech kloubní štěrbiny.)

**Fig. 4: Importance of reduction and fixation of a bicollicular fracture of the medial malleolus for reduction of the talus “below” the distal tibia**

(a – Maisonneuve fracture with lateral subluxation of the talus, fragment of the medial malleolus preserves its connection with the talar dome thanks to the intact deep part of the deltoid ligament, b – reduction and fixation of the medial malleolus restore a normal tibiotalar relationship, c – reduction of the distal fibula restores congruence in all parts of the joint line.)



**Obr. 5: Význam rekonstrukce incisura fibularis tibiae pro úspěšnou repozici distální fibuly**

(a – CT transverzální řez ukazuje odlomení malleolus posterior nesoucího zadní třetinu incisury, b – repozici fibuly předcházela repozice a fixace malleolus posterior z posterolaterálního přístupu, následně provedena anatomická repozice distální fibuly.)

**Fig. 5: Importance of reconstruction of the fibular notch for a successful reduction of the distal fibula**

(a – CT axial scan shows avulsion of the posterior malleolus carrying the posterior third of the notch, b – reduction of the fibula was preceded by reduction and fixation of the posterior malleolus from the posterolateral approach, and followed by anatomical reduction of the distal fibula.)

## Operační technika

Základní principy operační techniky u MZ jsou stejné jako u všech luxačních zlomenin hlezna. Nejdříve je třeba identifikovat všechna potenciální poranění, určit poranění indikovaná k operačnímu ošetření, stanovit sekvence jednotlivých fází ošetření a zvolit vhodný operační přístup(y), což ovlivňuje polohu pacienta.

**Identifikace lézí:** Kostní léze jsou patrné již na rtg snímcích, jejich přesnou anatomii ukáže CT. Vazivové léze jsou diagnostikovány nepřímo podle vzájemného vztahu jednotlivých kostí na rtg snímcích či na CT (medial clear space, tibio-fibular clear space), popřípadě je zjistíme peroperačně (zevně-rotací test na LD a hákový test stability tibiofibulární vidlice).

**Nutnost operačního ošetření jednotlivých lézí:** Repozici a stabilizaci fibuly provádíme vždy, totéž platí pro dislokované zlomeniny mediálního malleolu. U zlomenin MP záleží na typu a jeho dislokaci. Typ 1 B-R klasifikace nerevidujeme. U typu B-R 2 představuje hlavní profit částečné obnovení stability tibiofibulární vidlice a u větších fragmentů i obnovení integrity incisury. U většiny zlomenin typu B-R 3 a všech zlomenin typu B-R 4 to je rekonstrukce incisury, kloubní plochy distální tibie a tibiotalární kongruence a stability. Revize a sutura LD je nutná jen v případě, že vaz tvoří repositionální překážku. Revize a sutura LTFF není nutná. LFTA a LTFI bychom měli revidovat vždy, když provádíme otevřenou repozici distální fibuly do fibulární incisury. Někdy lze nalézt v prostoru incisury drobný osteochondrální fragment, většinou vylomený z MP. Ten je třeba odstranit. U poranění LFTA můžeme provést adaptační suturu, pokud je možná. Repozice a fixace Chaputova hrbolu je indikována vždy, když to dovolí velikost fragmentu [78].

**Sekvence jednotlivých fází:** Téměř všichni autoři začínají repozicí a fixací fibuly [24,73]. To nemá logické důvody. Fibulu je nutno reponovat do „intaktní“ incisury. Zvláště u dislokovaných zlomenin MP typu 3 a 4 B-R klasifikace bývá odlomena až dorzální polovina incisury. Proto je nutné obnovit nejdříve její integritu. Repozici distální fibuly by měla rovněž předcházet repozice a fixace bikolikulárních zlomenin MM. Reponovaný MM táhne prostřednictvím LD kladku talu do anatomického postavení vzhledem k distální tibii. Distální fibula díky integritě fibulárních vazů následuje talus směrem mediálním a dochází tak k její částečné repozici do incisury. V případě zlomeniny pouze CA tato výhoda odpadá a poranění je lépe ošetřit až po repozici a fixaci fibuly.

V případě současné zlomeniny MP a bikolikulární zlomeniny MM vzniká otázka, co ošetřit dříve. To záleží na pathoanatomii obou poranění a volbě operačních přístupů. Zlomeniny MP typu 2 je nutné ošetřit z posterolaterálního přístupu, rovněž typ 4 se lépe ošetřuje z posterolaterálního přístupu. Zlomeniny typu B-R 3 zasahující do colliculus posterior MM je někdy nutné revidovat z obou přístupů. Zde jsou výhodné 3D CT rekonstrukce dávající jasnou představu o anatomii obou zlomenin a jejich vzájemném vztahu. Z posteromediálního přístupu lze fixovat nejen frakturu MM, ale i některé zlomeniny MP typu 3 a 4, i když je to někdy velmi



**Obr. 6:** Výsledek zavřené repozice distální fibuly do incisury s příliš vysoko zavedenými syndesmálními šrouby (a – úrazový rtg snímek, b – rtg po operaci, c – CT transverzální skeny ukazující malpozici fibuly v incisure.)

**Fig. 6:** Result of closed reduction of the distal fibula into the fibular notch with syndesmotic screws inserted too high

(a – post-injury radiograph, b – postoperative radiograph, c – CT axial scans showing malposition of the fibula in the notch.)

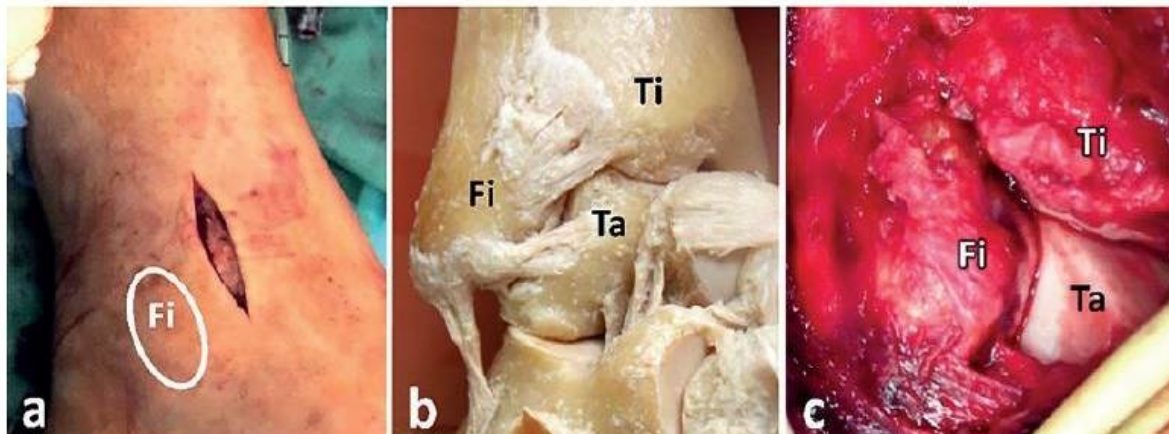
obtížné. Na tyto situace neexistuje jednotný přístup, vždy záleží na zkušenosti chirurga.

**Přístupy a poloha pacienta:** Revize přední části syndesmózy a otevřená repozice vyžadují anterolaterální přístup (poloha na zádech), revize MP především typu 2 a 4 B-R klasifikace posterolaterální přístup v semi-pronační či pronační (poloha na břiše) pozici. Ošetření MM nebo LD provádíme z mediálního či posteromediálního přístupu. Oba přístupy jdou provést v poloze na zádech či méně pohodlné poloze na břiše.

**Jednotlivé techniky:** Bez ohledu na pořadí je třeba, aby ošetření každého z poranění bylo technicky správně provedeno. Zásady osteosyntézy zlomenin MM jsou všeobecně známy [64,65]. Operační léčba zlomenin MP byla velmi detailně diskutována v recentní literatuře [75,76,79]. Paradoxně nejvíce mylných představ je spojeno s repozicí distální fibuly do incisury a její stabilizací.

Repozice distální fibuly vyžaduje intaktní incisuru. Proto je nutné provést repozici a osteosyntézu MP, pokud tento fragment nese více než jednu třetinu incisury. Teprve pak je možno přistoupit k repozici distální fibuly. Představa, že fibula bývá výrazně zkrácená, je mylná. Pokud eliminujeme laterální posun a valgózní sklon talu, je zkrácení minimální, neboť fibulo-talární artikulace (lateral gutter) je díky intaktním fibulárním vazům kongruentní. Hlavní problém představuje rotační dislokace přední fibuly obvykle spojená s její zado-přední translací.

V minulosti byla standardním postupem zavřené repozice a perkutánní fixace distální fibuly jedním či dvěma syndesmálními šrouby. CT studie však zjistily vysoké procento malpozice fibuly v incisure, kdy na CT transverzálních řezech většinou perzistovala subluxace a malrotace fibuly (Obr. 6), [33,72]. Proto je dnes dávana přednost



**Obr. 7: Otevřená repozice distální fibuly do incisura fibularis tibiae**

(a – anterolaterální přístup (Fi – projekce zevního kotníku), b – anatomický preparát, anterolaterální oblast pravého hlezna, c – oblast tří rohů, tj. Tillaux-Chaputova hrbolek, Wagstaffova hrbolek a laterální hrany kladky talu. Fi – fibula, Ti – tibia, Ta – talus.)

**Fig. 7: Open reduction of the distal fibula into the fibular notch**

(a – anterolateral approach (Fi – lateral malleolus projection), b – anatomical specimen, anterolateral region of the right ankle, c – “three corners” area, i.e., Tillaux-Chaput tubercle, Wagstaff tubercle and lateral crest of the talar dome. Fi – fibula, Ti – tibia, Ta – talus.)

otevřené repozici z krátkého anterolaterálního řezu. Díky roztrženému LTFA můžeme kontrolovat oblast „tří rohů“, tj. Tillaux-Chaputův hrbolek, Wagstaffův hrbolek a laterální hrana kladky talu (Obr. 7). Tyto tři kloubní plochy musejí být kongruentní. Repozici lze provádět různým způsobem, tj. pomocí kleští, kostního háku, K-drátem nebo kombinací těchto nástrojů, vždy však za kontroly rtg zesilovače. Komprese tibiofibulární vidlice kleštěmi sama o sobě není schopná eliminovat zevní rotaci fibuly. To je možné provést pomocí K-drátu zavedeného do fibuly jako joystick. Doporučuje se provést i vnitřní rotaci nohy. Důležité je i postavení v hleznu. Při dorziflexi roztlačuje přední široká část kladky talu tibiofibulární vidlici a tlačí distální fibulu do zevní rotace. Naopak při plantiflexi široká přední část kladky talu vystupuje z vidlice, současně se napíná lig. fibulotalare anterius a táhne fibulu do vnitřní rotace. Pokud se domníváme, že jsme dosáhli anatomické repozice, fixujeme fibulu K-drátem k tibii. Následuje kontrola symetrie kloubní štěrbinou mezi tibiofibulární vidlicí a kladkou talu. Jakákoli asymetrie svědčí o nepřesné repozici. Důležité je přitom provádět kontrolu v přesné projekci na vidlici. Přínosná je kontrola zlomeniny proximální fibuly v obou projekcích. Pokud je přítomna výraznější dislokace, je to opět známka malpozice distální fibuly v incisure. V poslední době se začalo využívat peroperační CT. Pokud je vše v pořádku, zavedeme dva syndesmální šrouby a pak odstraníme K-drát.

Velmi diskutovaným problémem je stabilizace fibuly syndesmálním šroubem(y), tj. jejich počet, průměr šroubu, tri- či tetrakortikální zavedení a výška zavedení [80,81]. V současné době jsou doporučovány dva 3,5mm tetrakortikálně zavedené šrouby, tyto detaily však nemají zásadní význam. Mnohem důležitější je korektní technika jejich zavedení, jak bylo již popsáno výše. S tím souvisí i výše a místo jejich zavedení [1,64].

Šrouby by měly procházet středem fibuly a středem konkavity distální tibie, tedy středem incisury (Obr. 8).

V případě vysokého zavedení, tj. 4 cm a více nad kloubní štěrbinou, směřuje vrták proti konvexní hraně tibie (margo interosseus) a jeho špička může snadno sklouznout anteriorně či posteriorně. Následně zavedený šroub pak může způsobit malpozici distální fibuly v incisure (Obr. 9), [64]. V případě nízkého zavedení, tj. 1,5 cm a níže nad kloubní štěrbinou, prochází syndesmální šroub přes recessus superior kloubní dutiny hlezna. Současně je třeba si uvědomit, že čím je syndesmální šroub situován níže, tím je stabilizace tibiofibulární vidlice rigidnější. Za optimální považujeme z anatomického hlediska zavedení obou šroubů v intervalu 2 až 4 cm nad kloubní štěrbinou hlezna (Obr. 10). Distální šroub by se měl vždy zavádět jako první. Šrouby by měly procházet středem fibuly, tj. distální šroub přes crista malleoli lateralis, proximální šrouby 2 mm dorzálně od ní [82]. Pokud je syndesmální šroub zaveden z anterolaterální či posterolaterální plochy distální fibuly, tj. před crista malleoli lateralis či za ní, neprochází středem fibuly a jeho trajektorie v tibia není optimální (viz Obr. 9).

Po operaci přikládáme podkolenní sádrovou fixaci nebo pevnou ortézu na 6–8 týdnů s postupnou zátěží. Velmi důležité je časně pooperační CT, které ukáže přesnost repozice nejen fibuly, ale i ostatních zlomenin. V případě malpozice distální fibuly v incisure je třeba zvážit reoperaci. Na odstranění syndesmálních šroubů (SS) není jednotný názor. Odstraňovat by se měly nejdříve za 8–10 týdnů, kdy je zhojena zlomenina fibuly a vazy tibiofibulární vidlice. Někteří autoři doporučují odstranit SS pouze v případě potíží. Na straně druhé, pacienti se zlomenými šrouby či osteolýzou kolem nich vykazovali klinicky lepší výsledek [83]. Song, et al. [84] zjistili v prospektivní studii, že u 8 z 9 pacientů s malpozicí distální fibuly zjištěné na pooperačním CT došlo po odstranění SS a plné zátěži během 1 měsíce ke spontánní repozici. Zdá se tedy, že je lepší SS odstranit, nejlépe po 3 měsících [1].



**Obr. 8: Správné zavedení syndesmálních šroubů na CT skenech** (a – proximální šroub je zaveden 4 cm nad kloubní štěrbinou, distální šroub 2,5 cm, b – transverzální sken v úrovni proximálního šroubu ukazuje jeho správnou trajektorii středem fibuly i středem incisury, c – transverzální sken v úrovni distálního šroubu demonstruje totéž.)

**Fig. 8: Correct insertion of syndesmosis screws on CT scans**

(a – the proximal screw is inserted 4 cm and the distal screw 2.5 cm above the joint line, b – axial scan on the level of the proximal screw shows its correct trajectory through the center of the fibula as well as the center of the fibular notch, c – axial scan on the level of the distal screw demonstrates the same.)

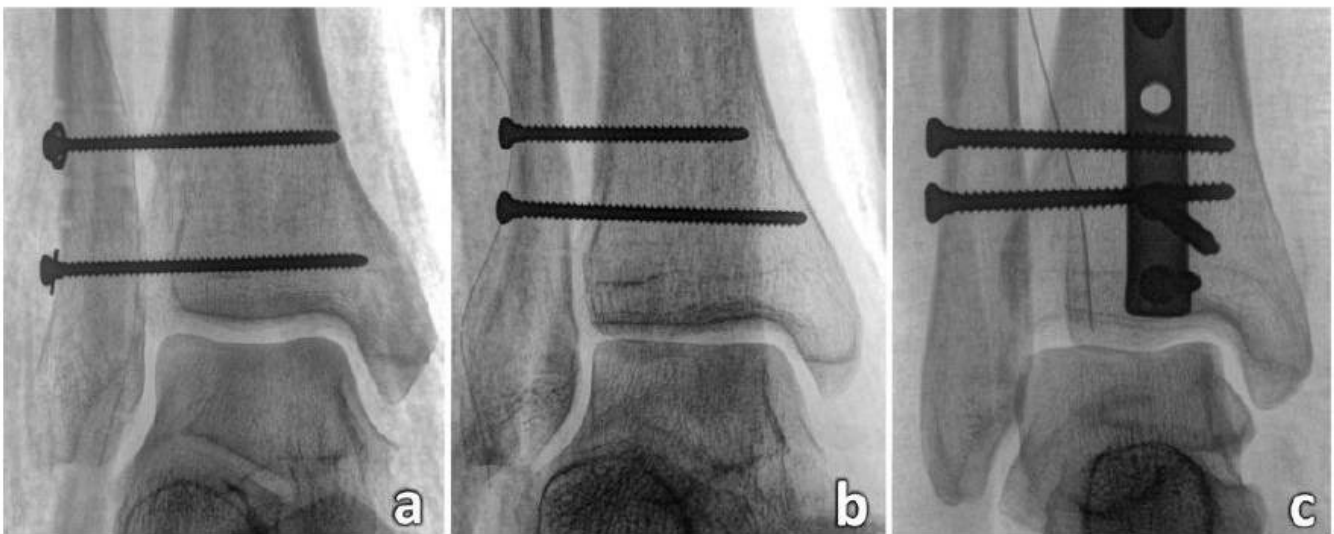


**Obr. 9: Výsledek zavřené repozice a perkutánní stabilizace distální fibuly**

(a – pooperační rtg snímek ukazuje příliš vysoko zavedené šrouby, b – na transverzálních CT skenech je patrná výrazná malpozice distální fibuly a zavedení distálního šroubu z posterolaterální plochy distální fibuly, červená šipka – crista malleoli lateralis.)

**Fig. 9: Result of closed reduction and percutaneous stabilization of the distal fibula**

(a – postoperative radiograph shows screws inserted too high, b – axial CT scans document a marked malposition of the distal fibula and insertion of the distal screw from the posterolateral surface of the distal fibula, red arrow – lateral malleolar crest.)



**Obr. 10: Výška zavedení syndesmálních šroubů**

(a – proximální šroub v ideální pozici, distální šroub v přijatelné poloze, i když je příliš nízká a prochází horní výchlípkou kloubní dutiny hlezna, z hlediska tibiofibulární vidlice je tato fixace více rigidní, b – ideální fixace tibiofibulární vidlice, c – oba šrouby jsou příliš vysoko, repozice fibuly není zřejmě zcela anatomická, jak ukazuje kontura kloubní štěrbin.)

**Fig. 10: The level of insertion of syndesmosis screws**

(a – the proximal screw is placed in an ideal position, the distal screw in an acceptable position, although it is too low and passes through the superior recess of the ankle joint cavity, from the viewpoint of the tibiofibular mortise, this fixation is more rigid, b – ideal fixation of the tibiofibular mortise, c – both screws are too high, reduction of the fibula is obviously not quite anatomical as shown by the contour of the joint line.)

**Výsledky operační léčby**

Studii zabývajících se operační léčbou MZ s větším počtem pacientů než 10 není příliš mnoho (Tab. 2),

řada případů byla publikována jako kazuistiky. Navíc mnozí autoři nezmiňují důležité údaje, jako je způsob repozice fibuly (zavřená/otevřená), způsob ošetření



**Tab. 2: Výsledky operační léčby**  
**Tab. 2: Results of operative treatment**

Autor	Rok	N	Repozice fibuly	Ošetření MP	Sledování (měsíce)	Výsledek
Ammann	1981	33	NS	NS	69 (8113)	rizikové faktory: zkrácení fibuly, zlomeniny MP
Kirschner	1999	20	otevřeně	NS	55 (6–144)	80 % velmi dobrý nebo dobrý 20 % neuspokojivý
Babis	2000	26	otevřeně	20/0	76 (24–144)	88 % výborný/dobrý 8 % uspokojivý 4 % špatný
Sproule	2004	14	zavřeně	5/2	25 (12–72)	86 % 14% neuspokojivý

Vysvětlivky: N – počet operovaných pacientů, MP – osteosyntéza MP, NS – nespecifikováno.

Notes: N – number of operated patients, Ošetření MP – internal fixation of the posterior malleolus, NS – not specified. Repozice fibuly – reduction of distal fibula (otevřeně – open, zavřeně closed), Sledování – follow-up (month), Výsledek – result.

zlomeniny MP, způsob hodnocení výsledků atd. V žádné z uvedených studií [14,24,25,27] nebylo provedeno předoperační, natož pooperační CT. I když uváděné výsledky jsou prezentovány jako výborné či dobré v 80–88 %, je otázkou, zda tomu tak skutečně bylo, neboť autoři nepoužili k hodnocení standardní skórovací systémy.

## ZÁVĚR

Maisonneuveova zlomenina představuje stále neřešenou kapitolu zlomenin hlezna, o které panuje řada nesprávných představ. Pathoanatomicky se jedná o variabilní poranění, jehož spektrum se pohybuje od stabilních až po vysoce nestabilní zlomeniny. Vzhledem k vysokému výskytu zlomenin MP a posouzení postavení fibuly v incisura fibularis tibiae je nezbytné předoperační CT. U léčby a jejích výsledků byl dosud značně podceňován význam zlomeniny MP. V současné době je dáována přednost otevřené repozici distální

fibuly. Dosáhnout anatomického postavení není jednoduché. Nutné je rovněž přehodnotit sekvenci jednotlivých operačních kroků, zejména koncepci „fibula první“ i techniku její repozice. Nezbytností se ukazuje pooperační CT pro zhodnocení přesnosti repozice distální fibuly i zlomeniny MP. Studie založené na předoperačním CT v literatuře dosud chybí.

Autoři děkují PhDr. Ludmile Bébarové za pomoc s přípravou rukopisu a Marku Jantačovi za pomoc s přípravou obrazové dokumentace.

Grant AZV 2022 NU22-10-00240: Závažné typy luxačních zlomenin hlezna (Maisonneuveova a Bosworthova zlomenina) – Diagnostika, pathoanatomie, léčba, komplikace

### Konflikt zájmů

Autoři článku prohlašují, že nejsou v souvislosti se vznikem tohoto článku ve střetu zájmů a že tento článek nebyl publikován v žádném jiném časopise, s výjimkou kongresových abstrakt a doporučených postupů.

## LITERATURA

- Bartoníček J, Rammelt S, Tuček M. Maisonneuve fractures of the ankle: A critical analysis review. *JBSJ Rew.* 2022;10(2):e21.00160. doi:10.2106/JBSJ.RVW.21.00160.
- Bartoníček J, Rammelt S, Kašper Š, et al. Pathoanatomy of Maisonneuve fracture based on radiologic and CT examination. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019;139:497–506. doi:10.1007/s00402-018-3099-2.
- Kašper Š, Bartoníček J, Kostlivý K, et al. Maisonneuveho zlomenina. *Rozhl Chir.* 2020;99:77–85. doi:10.33699/PIS.2020.99.2.77-85.
- He JQ, Ma XL, Xin JY, et al. Pathoanatomy and injury mechanism of typical Maisonneuve fracture. *Orthop Surg.* 2020;12:1644–1651. doi:10.1111/os.12733.
- Maisonneuve JG. Recherches sur la fracture du peroné. *Arch Gen Med.* 1840;7:165–187,433–473.
- Quenu E. Fracture de Maisonneuve (fracture dite par diastase). *Bull Soc Chir. (Paris)* 1906;32:943–945.
- Chaput VAH. Les fractures malléolaires du cou-de-pied et les accidents du travail. Paris, Masson 1907.
- Destot E. Traumatisme du pied et rayons X. Paris, Masson 1911.
- Tanton J. Fractures en général: Fractures des membres inférieurs. Paris, JB Bailliere 1916.
- Ashhurst APC, Bromer RS. Classification and mechanism of fractures of the leg bones involving the ankle. *Arch Surg.* 1922;4:51–129.
- Bonnin JG. Injuries to the Ankle. London, Heinemann 1950.
- Weber BG. Die Verletzungen des oberen Sprunggelenkes. Bern, Huber 1966.
- Pankovich AM. Maisonneuve fracture of the fibula. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58–A:337–342.
- Ammann E. Die Maisonneuve-Fraktur Resultate von 37 behandelten Fällen in der Jahren 1971–1981. Inauguraldissertation. Universität Basel 1981.
- Heim U. Malleolarfrakturen. Unfallheilkunde 1983;86:248–258.
- de Souza LJ, Gustilo RB, Meyer TJ. Results of operative treatment of displaced external rotation-abduction fractures of the ankle. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67-A:1066–1074.
- Lock TR, Shaffer JJ, Minolli A. Maisonneuve fracture: case report of a misdiagnosis. *Ann Emerg Med.* 1987;16:805–807.
- Savoie FH, Wilkinson MM, Bryan A, et al. Maisonneuve fracture dislocation of the ankle. *J Athl Train.* 1992;27:268–269.
- Merrill KD. The Maisonneuve fracture of the fibula. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;287:218–223.

20. Duchesneau S, Fallat LM. The Maisonneuve fracture. *J Foot Ankle Surg.* 1995;34:422–428. doi:10.1016/S1067-2516(09)80016-1.
21. Chan D, Jones D. Irreducible syndesmosis due to an entrapped posterior fragment. *Injury* 1995;26:569–572. doi:10.1016/0020-1383(95)00087-p.
22. Morris JR, Lee J, Thordarson D, et al. Magnetic resonance imaging of acute Maisonneuve fractures. *Foot Ankle Int.* 1996;17:259–263. doi:10.1177/107110079601700504.
23. Obeid EMH, Amr M, Hirst P, et al. Percutaneous fixation of Maisonneuve and Maisonneuve-type fractures: a minimally invasive approach. *Injury* 1998;29:619–622. doi:10.1016/S0020-1383(98)00149-1.
24. Kirschner P, Brünner M. Die Operation der Maisonneuve-Fraktur. *Oper Orthop Traumatol.* 1999;11:11–18. doi:10.1007/s00064-006-0078-5.
25. Babis GC, Papagelopoulos PJ, Tsarouchas J, et al. Operative treatment for Maisonneuve fracture of the proximal fibula. *Orthopedics* 2000;23:687–690. doi:10.3928/0147-7447-20000701-15.
26. Manyi W, Guowei R, Shengsong Y, et al. A sample of Chinese literature MRI diagnosis of interosseous membrane injury in Maisonneuve fractures of the fibula. *Injury* 2000;31:S-C107–110. doi:10.1016/S0020-1383(00)80038-8.
27. Sproule JA, Khalid M, O'Sullivan M, et al. Outcome after surgery for Maisonneuve fracture of the fibula. *Injury* 2004;35:791–798. doi:10.1016/S0020-1383(03)00155-4.
28. Smith MG, Ferguson E, Kurdy NM. Persistent diastasis in a Maisonneuve fracture -interposition of a tibial osteochondral fragment: A case report. *J Foot Ankle Surg.* 2005;44:225–227. doi:10.1053/j.jfas.2005.02.004.
29. Yoshimura I, Naito M, Kanazawa K, et al. Arthroscopic findings in Maisonneuve fractures. *J Orthop Sci.* 2008;13:3–6. doi:10.1007/s00776-007-1192-4.
30. Hirschmann M, Mauch Ch, Mueller C, et al. Lateral ankle fracture with missed proximal tibiofibular joint instability (Maisonneuve injury). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16:952–956. doi:10.1007/s00167-008-0597-8.
31. Madhusudhan TR, Dhana SRM, Smith IC. Report of the case of a rare pattern of Maisonneuve fracture. *J Foot Ankle Surgery* 2008;47:160–162. doi: 10.1053/j.jfas.2007.12.001.
32. Imade SI, Takao M, Miyamoto W, et al. Leg anterior compartment syndrome following ankle arthroscopy after Maisonneuve fracture. *Arthroscopy* 2009;25:215–218. doi:10.1016/j.arthro.2007.08.027.
33. Pelton K, Thordarson DB, Barnwell J. Open versus closed treatment of the fibulae in Maisonneuve injuries. *Foot Ankle Int.* 2010;31:604–608. doi:10.3113/FAI.2010.0604.
34. Charopoulos I, Kokoroghiannis C, Kragiannis S, et al. Maisonneuve fracture without deltoid ligament disruption: A rare pattern of injury. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49:86e11–86e17. doi:10.1053/j.jfas.2009.10.001.
35. Kalyani BS, Roberts CS, Giannoudis PV. The Maisonneuve injury: A comprehensive review. *Orthopedics* 2010;33:190–197. doi:10.3928/01477447-20100301-04.
36. Stufkens SA, van den Bekerom MPJ, Doornberg JN, et al. Evidence-based treatment of Maisonneuve fractures. *J Foot Ankle Surg.* 2011;50:62–67. doi:10.1053/j.jfas.2010.08.017.
37. Dienstknecht T, Horst K, Pape H-Ch. A 72-year-old patient with bilateral Maisonneuve fractures. *Clinics and Practice* 2012;2(180–181):e72. doi:10.4081/cp.2012.e72.
38. Hinds R, Tran WH, Lorich DG. Maisonneuve-Hyperplantarflexion variant ankle fracture. *Orthopedics* 2014;37:E140–E144. doi:10.3928/01477447-20141023-92.
39. Downey MW, Fleming JJ, Elgamil B, et al. Syndesmosis injury with concomitant deltoid disruption in trimalleolar equivalent ankle fracture: A case. *Ann Sports Med Res.* 2015;2(1–7):1049.
40. van Wessem KJP, Leenen LPH. A rare type of ankle fracture: Syndesmotic rupture combined with a high fibular fracture without medial injury *Injury* 2016;47:766–755. doi:10.1016/j.injury.2016.01.003.
41. Dietrich G, Prod'homme M, Müller J, et al. Conservative management of a specific subtype of Maisonneuve fractures: a report of two cases. *AME Case Rep.* 2022 Apr 25;6:17. doi:10.21037/acr-21-67.
42. Rofrano M, Herrera H. Arthroscopic findings in Maisonneuve injuries. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol.* 2022;87:5–14. https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2022.87.1.1350.
43. Kolman J. Maisonneuveova zlomenina. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 1999;66:41–45.
44. Pérez RL, Costa IG. Atypical pattern of Maisonneuve's fracture-dislocation. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2009;19:291–295. doi:10.1007/s00590-008-0415-5.
45. Kumar G, Sankar B, Anand S, et al. Superior tibiofibular joint disruption - as a variant of Maisonneuve injury. *Foot Ankle Surgery* 2004;10:41–43. doi:10.1055/s-0039-1692625.
46. Levy BA, Vogt KJ, Herrera DA, et al. Maisonneuve fracture equivalent with proximal tibiofibular dislocation. *J Bone Joint Surg. Am.* 2006;86-A:1111–1116. doi:10.2106/JBJS.E.00954.
47. Hirschmann MT, Mauch C, Mueller C, et al. Lateral ankle fracture with missed proximal tibiofibular joint instability (Maisonneuve injury). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16:952–956. doi:10.1007/s00167-008-0597-8.
48. Hey, Lau BPH, Thambiah J, et al. "Floating fibula" secondary to traumatic dislocation of the ankle joint, ankle syndesmosis, and the proximal tibiofibular joint: A case report. *JBJS Case Connect* 2013 Oct 23;3(4 Suppl 2):e1071–1075. doi:10.2106/JBJS.CC.M.00028.
49. Bissuel T, Gaillard F, Dagneaux L, et al. Maisonneuve equivalent injury with proximal tibiofibular joint dislocation: Case report and literature review. *J Foot Ankle Surg.* 2017;56:404–407. doi:10.1053/j.jfas.2016.10.003.
50. Liu GP, Li JG, Gong X, et al. Maisonneuve injury with no fibula fracture: A case report. *World J Clin Cases.* 2021 May 26;9(15):3733–3740. doi:10.12998/wjcc.v9.i15.3733.

(Ostatní položky literatury jsou k dispozici v elektronické verzi RvCH 2)

doc. MUDr. Michal Tuček, Ph.D.  
 Klinika ortopedie, 1. LF UK  
 ÚVN – Vojenská fakultní nemocnice Praha  
 e-mail: tucekmic@gmail.com

**5.4. Tuček M, Bartoníček J, Fojtík P, Kamin K, Rammelt R. Injury to the posterior malleolus in Maisonneuve fractures. 2023 Nov; Epub ahead of print.**

**European Journal of Trauma and Emergency Surgery**  
**Injury to the posterior malleolus in Maisonneuve fractures**  
 --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	EJOT-D-23-00339R2	
Full Title:	Injury to the posterior malleolus in Maisonneuve fractures	
Article Type:	Original Article	
Corresponding Author:	Michal Tuček, Ass. Prof., MD, Ph.D. Ustredni vojenska nemocnice - Vojenska fakultni nemocnice Praha CZECH REPUBLIC	
Corresponding Author Secondary Information:		
Corresponding Author's Institution:	Ustredni vojenska nemocnice - Vojenska fakultni nemocnice Praha	
Corresponding Author's Secondary Institution:		
First Author:	Michal Tuček, Ass. Prof., MD, Ph.D.	
First Author Secondary Information:		
Order of Authors:	Michal Tuček, Ass. Prof., MD, Ph.D. Jan Bartoníček, Prof., MD, DSc. Petr Fojtík, MD Konrad Kamin, MD Stefan Rammelt, Prof. MD, PhD.	
Order of Authors Secondary Information:		
Funding Information:	Ministerstvo Zdravotnictví České Republiky (NU 22-10-00240)	Mr Michal Tuček
Abstract:	<p><b>Purpose</b> The aim of this study was to describe the incidence and a complex pathoanatomy of posterior malleolus fractures in a Maisonneuve fracture.</p> <p><b>Methods</b> The study included 100 prospectively collected patients with a complete clinical and radiological documentation of an ankle fracture or fracture-dislocation including a fracture of the proximal quarter of the fibula.</p> <p><b>Results</b> A posterior malleolus fracture was identified in 74 patients, and in 27% of these cases it carried more than one quarter of the fibular notch. Displacement of the posterior fragment by more than 2 mm was shown by scans in 72 % cases. Small intercalary fragments were identified in 43 % cases. Fractures of the Tillaux-Chaput tubercle were identified in 20 patients.</p> <p><b>Conclusion</b> Our study has proved a high rate of posterior malleolus fractures associated with a Maisonneuve fracture, and documented their considerable variability in terms of involvement of the fibular notch, tibiotalar contact area, direction of displacement and frequency of intercalary fragments. Of no less importance is a combination of Tillaux-Chaput fractures with a Maisonneuve fracture.</p>	
Response to Reviewers:	<p>Dear Editor,</p> <p>Below please find our answers to the comments of the fourth reviewer which, however, rather contradict the comments of three reviewers from the first review to which we have already responded. Two of them recommended only minor revisions and the third one required none.</p> <p>Therefore, we present only our explanatory notes to the comments of the fourth reviewer here, without responding to them in the text.</p> <p>Reviewer #4: In Material and Method section the sentence: "Among these were 67 men with the</p>	

mean age of 47.8 years (range, 26-78) and 33 women with the mean age of 58.3 years (range, 39-84). The right side was involved in 56 and the left side in 44 cases. Non-operative treatment was employed in 16 patients, and 84 patients were treated operatively, including 23 individuals treated with open reduction and direct internal fixation of a displaced PM from a posterior approach (posterolateral approach in 17 and posteromedial approach in 6 patients)." should be in the Results section.

Answer: They are the basic characteristics of the study group, rather than results of the study. That's why they are included in the Material and Method section.

Response: None – due to the fact that the previous 3 reviewers did not require the transfer. In Material and Method section, i do not understand why patients with ankle osteoarthritis or previous injuries are excluded. This is a potential bias of patient selection. Answer: In our view, these are standard exclusion criteria, the aim of which is to "clear" the cohort so that the overall results are not influenced by other variables. Namely osteoarthritic changes may modify the results of measuring.

Response: None – due to the fact that the previous 3 reviewers had no objections related to the criteria.

In Results section there is a pure description of the findings. No statistics has been used. Answer: We agree but it is a descriptive study which should demonstrate variability of Maisonneuve fracture (MF) with a focus on fractures of the posterior malleolus (PM). Statistical analysis would not, in our view, produce any substantial data and would limit the space for a detailed description of individual lesions.

Response: None – also in view of absence of this comment in the previous 3 reviewers. Did the fracture morphology had any influence on the (surgical) treatment? I mean, what is the practical significance of this possible publication? If the goal is to present a pure description of the pathoanatomy then ok.

Answer: The primary goal of the study is description of MF pathoanatomy, with a focus on the posterior malleolus. Based on the previous comments we added, within the first review, a paragraph about the basic clinical impact. A detailed presentation of treatment of individual MF subtypes and its results will be the subject of separate studies that will discuss also the importance of MF pathoanatomy for the practical treatment.

Response: None.

Personally, i do not agree with a CT examination in all patients with a Maisonneuve injury. If the posterior malleolar fracture cannot be seen on X-rays then a CT will not change the treatment plan.

Answer: Here, we beg to differ for several reasons:

- 1) We perform CT examination in MF not only because of fractures of the posterior malleolus (PM), but also because of the position of the distal fibula in the fibular notch (nonoperative versus operative treatment). In addition, CT reveals a number of lesions that cannot be seen on radiographs, e.g., avulsion of the Tillaux-Chaput fragment, or small intraarticular fragment. This has been demonstrated by multiple recent studies.
- 2) These studies have also shown that CT has quite often significantly influenced the operative treatment plan both in MF and PM fractures.
- 3) Literature has proved on a long-term basis, that postoperative CT scans have shown a number of malpositions that were not revealed by radiographs.
- 4) Our analysis of the MF series has so far demonstrated that pre- and postoperative CT examinations have fundamentally changed our procedures and improved the results of MF treatment.
- 5) Last but not least, we cannot imagine that an IF journal would accept for publication a PM or MF study which would not include CT examination.

Response: None.

## Injury to the posterior malleolus in Maisonneuve fractures

Michal Tuček<sup>1</sup>, Jan Bartoniček<sup>1</sup>, Petr Fojtík<sup>1</sup>, Konrad Kamin<sup>2</sup>, Stefan Rammelt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Orthopaedics, First Faculty of Medicine, Charles University and Military University Hospital Prague, U Vojenské Nemocnice 1200, 169 02 Prague 6, Czech Republic

<sup>2</sup>University Center for Orthopaedics, Trauma and Plastic Surgery, University Hospital Carl Gustav Carus at TU Dresden, Fetscherstrasse 74, 01307 Dresden, Germany

Corresponding author:

Michal Tuček

mail: [tucekmic@gmail.com](mailto:tucekmic@gmail.com), telephone: +420605707768

Department of Orthopaedics, First Faculty of Medicine, Charles University and Military University Hospital Prague, U Vojenské Nemocnice 1200, 169 02 Prague 6, Czech Republic

ORCID Nr.

Michal Tuček: 0000-0001-5465-7276

Jan Bartoniček: 0000-0002-2228-1443

Petr Fojtík: 0000-0003-2875-8983

Konrad Kamin: 0000-0002-7029-5452

Stefan Rammelt: 0000-0003-1141-6493

**Ethical approval:** Approved by Ethics Committee of the Military University Hospital Prague.

Reference number: 108/16-35/2021.

**Informed consent:** Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

**Acknowledgments:** The authors wish to thank Ludmila Bébarová PhD for their assistance in the editing of the manuscript.

**Funding:** This study was funded by AZV ČR NU 22-10-00240: Severe types of ankle fracture-dislocations.

**Conflict of Interest:** All authors declare that they have no conflict of interest.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

[Click here to view linked References](#)

### Injury to the posterior malleolus in Maisonneuve fractures

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65



## Abstract

**Purpose** The aim of this study was to describe the incidence and a complex pathoanatomy of posterior malleolus fractures in a Maisonneuve fracture.

**Methods** The study included 100 prospectively collected patients with a complete clinical and radiological documentation of an ankle fracture or fracture-dislocation including a fracture of the proximal quarter of the fibula.

**Results** A posterior malleolus fracture was identified in 74 patients, and in 27% of these cases it carried more than one quarter of the fibular notch. Displacement of the posterior fragment by more than 2 mm was shown by scans in 72% of cases. Small intercalary fragments were identified in 43 % of cases. Fractures of the Tillaux-Chaput tubercle were identified in 20 patients.

**Conclusion** Our study has proved a high rate of posterior malleolus fractures associated with a Maisonneuve fracture, and documented their considerable variability in terms of involvement of the fibular notch, tibiotalar contact area, direction of displacement and frequency of intercalary fragments. Of no less importance is a combination of Tillaux-Chaput fractures with a Maisonneuve fracture.

### Key words

Maisonneuve fracture, Posterior malleolus, Fibular notch, Tillaux-Chaput tubercle

## Introduction

Maisonneuve fracture (MF) is a generally known, although not very frequent type of ankle fracture-dislocation [1-4]. Recent studies have shown that it is an injury with a highly variable pathoanatomy, associated in about 80% of cases with a fracture of the posterior malleolus (PM) [2,3,5,6]. This fact is very important as reduction and fixation of a displaced PM may considerably facilitate anatomical reduction of the distal fibula into the fibular notch (FN). The few existing studies on that topic [2,5] have mentioned PM injury in MF only briefly, therefore we have decided to focus on this issue on a large patient cohort and in greater detail.

## Material and methods

Between January 2012 and April 2022 we collected prospectively and evaluated 117 patients with MF treated at our institution. MF was defined as an ankle fracture or fracture-dislocation, including a fracture of the proximal quarter of the fibula. Full radiological documentation, i.e., radiographs and computed tomography (CT) scans, was available for all patients. Excluded from the study group were 17 patients with MF, due to skeletal immaturity, with previous injuries or interventions at the ankle, ankle osteoarthritis or a two-level fibular fracture (“double Maisonneuve fracture”) [7].

The final study group thus comprised 100 patients with the mean age of 51.2 years (range, 26-84). Among these were 67 men with the mean age of 47.8 years (range, 26-78) and 33 women with the mean age of 58.3 years (range, 39-84). The right side was involved in 56 and the left side in 44 cases. Non-operative treatment was employed in 16 patients, and 84 patients were treated operatively, including 23 individuals treated with open reduction and direct internal fixation of a displaced PM from a posterior approach (posterolateral approach in 17 and posteromedial approach in 6 patients).

**Methods:** All the patients underwent complete radiological examination, i.e., anteroposterior (ap), mortise and lateral views of the ankle, ap and lateral views of the lower leg and CT scanning, including axial, coronal, sagittal scans and 3D CT reconstructions. Radiological evaluation was performed always by the first two authors, in case of different opinions, the respective case was discussed by all authors in order to reach agreement.

**Assessment:** The following parameters were assessed on the basis of radiological documentation:

- PM fracture incidence and type according to the Bartoníček-Rammelt (B-R) classification [8],
- cross-sectional area of the PM fragment;
- involvement of the fibular notch (FN) on CT scans [2,3,9];

- PM fragment displacement on axial and sagittal scans, and 3D CT reconstructions (fractures with a displacement of less than 2 mm in all parts of the fragment were classified as nondisplaced);
- incidence, location and displacement of intercalary fragments in individual types of PM fractures [10];
- injuries to the medial structures (MS), i.e. rupture of the deltoid ligament, fracture of the medial malleolus or a combined (osteoligamentous) lesion;
- fracture of the Tillaux-Chaput tubercle (TCT) classified after Rammelt et al. [11].

## Results

**Incidence and type of PM fractures:** A PM fracture was identified in 74 patients (74%) with a MF. In 70 cases, it was detected on plain radiographs. In 4 cases it could be seen only on CT scans, all of those were non-displaced fractures of type 1 (1 case) and type 2 (3 cases) of the B-R classification.

Individual types of the B-R classification [8] were represented in 74 patients as follows: type 1 occurred in 12 cases (16%), type 2 in 44 cases (60%), type 3 in 15 patients (20%) and type 4 in 3 cases (4%).

The exact size of the PM fragment could be assessed on CT scans in 73 of 74 patients, only in 1 case of type 1 the bone was completely crushed. The size of the cross-sectional area of the PM fragment and involvement of the fibular notch by individual types are shown in [Table 1](#).

**Displacement of the fractured PM:** Displacement of the PM fragment by more than 2 mm was recorded on CT scans in 53 cases (72%). We identified three basic directions of displacement: lateral ([Fig. 1](#)), proximal and fracture line opening laterally, with a medial hinge ([Fig. 2](#)).

In 22 patients, displacement by more than 2 mm was measurable in one of the basic directions only. In 31 cases, the fragment was displaced in 2 to 3 basic directions. In these cases, the resulting displacement of the PM fragment was always a combination of a shift or rotation in several directions: lateral displacement, proximal displacement, posterior displacement, rotation in the axial plane around a medial hinge.

Overall, proximal displacement was detected in 25 cases, lateral displacement in 13 cases, posterior displacement in 27 cases and fracture line opening laterally with a medial hinge in 20 patients. In one patient with a B-R type 3 fracture, the PM fragment was displaced proximally, posteriorly and medially ([Fig. 3](#)).

**Involvement of FN:** The posterior malleolar fragment carried more than one quarter of FN in 20 patients (27% of all PM fractures) ([Fig. 4](#)) and more than one third of FN in 10 patients (14% of all PM fractures) ([Table 1](#)). Reduction and fixation of a displaced PM via a posterior approach was performed in 23 patients. Of these, a total of 15 patients showed involvement of FN  $\geq 25\%$  and 8 patients  $\leq 25\%$ .

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

**Incidence of intercalary fragments:** Small intercalary fragments (ICF) were identified on CT scans in 32 of 74 cases (43%) of PM fractures. Of these, 24 (75%) were displaced (Fig. 5). Intercalary fragments were most often found in B-R type 2 fractures: 24 of 44 cases (55%), followed by type 3 in 7 of 15 cases (47%) and type 4 in 1 of 3 cases (33%). In 27 of 32 cases (84%), the fragments were located in zone 7 or 8 [10]. In another 8 cases small bone fragments were displaced into the fibular notch or tibio-talar articulation (Fig. 5).

**Injuries to medial structures:** Injury to the deltoid ligament (DL) or fracture of the medial malleolus (MM) were diagnosed in 82 cases (82%). A DL rupture, defined as a medial clear space of more than 4 mm on ap radiograph or CT coronal scan, or a positive external rotation test at the beginning of operation, was found in 39 patients (39%). A bicollicular MM fracture was recorded in 24 cases (24%). An osteoligamentous lesion of the MS, i.e., fracture of the anterior colliculus and rupture of the tibiotalar part of the DL (as evidenced by medial clear space between the intact posterior colliculus of the MM and talar dome of more than 4 mm) was observed in 19 cases (19%). The types of injuries to MS in individual PM fracture patterns are shown in Table 2.

**Fracture of the Tillaux-Chaput tubercle (anterior malleolus, AM):** This injury was identified in 20 patients (20%). The AM fractures were detected on plain radiographs in 3 cases (one case of type 1 and two cases of type 2 of the Rammelt classification [11]); 17 cases were revealed only by CT. Overall, 15 cases were classified as Rammelt type 1 and 5 cases as type 2. No Rammelt type 3 fracture (impaction of the lateral plafond) was seen. In 17 cases this injury was associated with a PM fracture, including 13 cases of type 2, 3 cases of type 1 and 1 case of type 4 according to the B-R classification

## Discussion

In a CT-based analysis of 100 patients with Maisonneuve fractures (MF) we found associated posterior malleolus (PM) fractures in almost three quarters of cases (74%). The incidence of PM fractures in MF has been mentioned in several previous studies with considerable variations. Some of them presented low incidence rates in a range of 35-37% [12-14], while others published substantially higher incidences in the range of 77-83% [2,5,15-17]. Only 4 fractures (5%) in our study group were not detected on plain radiographs, all of them being small fragments of type 1 or 2 of the B-R classification. In contrast, He et al. [5] presented 17% of PM fractures seen only on CT scans. Good quality radiographs with exact projections are a prerequisite for detecting PM fractures. These may be difficult to obtain in the setting of an acute fracture with a painful ankle that is immobilized in a splint or cast. The indication to CT scanning should therefore be made generously if a PM fracture is suspected [3].

1 The share of PM fractures in individual patterns of ankle fracture-dislocations varies considerably. Jedlička et  
2 al. [1], in a radiographic study of 232 patients with ankle fracture-dislocations, found a PM fracture in 4% of  
3 Weber type A and in 46% of Weber type B and C fractures. Kostlivý et al. [18] identified a PM fracture in 70%  
4 of 110 cases of Bosworth fracture-dislocation (BF). These findings point to a higher severity of MF and BF as  
5 compared to other types of ankle fracture-dislocations.  
6  
7

8  
9 Comparison of individual types of PM fractures with previous studies [2,5] showed certain differences. Bartoníček  
10 et al. [6] when analyzing 141 consecutive cases of a PM fractures found a ratio of types 1 and 2 (milder types  
11 resulting merely from rotation) to types 3 and 4 (more severe types with a compression component) of 1.6:1, while  
12 in the present series of MF it was 3.2:1 (Table 3). Similar to our results, the most frequent PM fragment  
13 morphology was type 2 of the B-R classification.  
14  
15

16  
17 Besides the size of PM fragment, in terms of involvement of the articular surface, involvement of FN and the  
18 presence and dislocation of ICFs as a criterion for operative treatment has been introduced only recently [3,10].  
19

20  
21 As the percentage of the articular surface carried by the PM fragment increases from medial to lateral on the  
22 sagittal scans, measurements have to be standardized (Fig. 6). The same applies to assessment of FN involvement  
23 which is based on axial scans, because the values increase from proximal to distal direction [6,9]. Based on the  
24 anatomical study by Fojtík et al. [19], we measured the values 5 mm proximal to the tibio-talar joint line, where  
25 FN is the deepest. The best way to measure the size of PM fragment including involvement of FN are 3D CT  
26 reconstruction views of FN with subtraction of the fibula (Fig. 4) and in mortise view with subtraction of the talus  
27 (Fig. 1).  
28  
29

30  
31 In our series,  $\geq 33\%$  of FN was involved in 14% of all PM fractures and 25% to 33% of FN in 27% of all PM  
32 fractures. Reduction and fixation of a displaced PM from the posterior approach were performed in 15 patients  
33 with  $\geq 25\%$  and in 8 patients with  $\leq 25\%$  of FN involvement.  
34  
35

36  
37 Displacement of the PM fragment is an indication criterion for direct internal fixation from the posterior  
38 approach [3,4,6,20-25]. However, the direction of displacement has not yet been described in the literature. In a  
39 majority of cases (58%), fragments showed complex displacement in several directions.  
40  
41

42  
43 The most important from the clinical viewpoint is, in our view, proximal or lateral displacement. A proximally  
44 displaced fragment as seen in 47% of cases in the present study reduces the size of the tibiotalar articular surface.  
45 A laterally displaced fragment found in 25% of cases leads to additional malalignment in FN and, as a result,  
46 prevents reduction of the distal fibula resulting in an incongruent ankle mortise.  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

1 We recorded solid intraarticular ICF in 43% of cases, similarly as Mueller et al. [10] who found ICF in 41% of  
2 PM fractures in tri- and quadrimalleolar fractures, most frequently in types 2 and 3 of the B-R classification. These  
3 fragments were most often observed in the region of the fracture line, in zones 7 and 8. In another 8 cases we found  
4 minor bone chips extruded into FN or the tibio-talar joint space, where, similarly as ICF, they may act as a  
5 mechanical obstacle.  
6  
7

8  
9  
10 The Tillaux-Chaput tubercle which carries the anterior syndesmosis shares many features with the posterior  
11 malleolus and may be considered a 4<sup>th</sup> or anterior malleolus [11]. In the present study, 17 of 100 MF had a  
12 concomitant anterior and posterior malleolar fracture which would be considered a quadrimalleolar fracture or  
13 pronation external rotation stage 4 according to the Lauge-Hansen classification. Taken together with the more  
14 severe types of PM fractures, this shows the relatively high energy producing a MF.  
15  
16

17  
18  
19 Our results point to a high variability of the shape, size and displacement of PM fragments associated with MF,  
20 as well as to their clinical importance from the viewpoint of impairment of FN integrity. Restoration of FN integrity  
21 is one of the basic prerequisites of anatomical reduction of the distal fibula into FN. Such reduction is also one of  
22 the basic factors influencing clinical and radiological results of MF treatment.  
23  
24  
25

26  
27  
28 For this reason, all MFs should be examined by CT which will show pathoanatomy of a PM fragment, that is  
29 essential for the choice of treatment method, and may also reveal additional injuries not detected by radiographs  
30 [3]. Further research evaluating individual MF subtypes is required to establish clear criteria for operative  
31 treatment of individual lesions within MF.  
32  
33  
34

35  
36 One of the benefits of our study is the high number of prospectively included patients and their standardized CT  
37 evaluation, while a relative disadvantage may be absence of MRI examination providing important details about  
38 injuries to ligamentous structures.  
39  
40  
41  
42  
43

#### 44 **Conclusion**

45  
46 Our study has proved a high rate of PM fractures (74%) associated with MF, and documented their considerable  
47 variability in terms of involvement of FN, tibiotalar contact area and direction of displacement. Most of them were  
48 of type 2 of the B-R classification. The rate of more severe PM fractures (types 3 and 4) was twice as high as in a  
49 comparable study looking at all types of malleolar fractures. A high incidence and displacement of ICF and AM  
50 fractures should be taken into account during preoperative planning.  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

CT scans in axial, sagittal and coronal planes should be a standard part of radiological examination in MF as they allow, among other things, also to determine the type, size and displacement of the PM fragment, i.e., details essential for planning of the operative treatment.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## References

1. Jehlička D, Bartoniček J, Svatoš F, Dobiáš J. Luxační zlomeniny hlezna u dospělých. I. Část: Epidemiologické zhodnocení ročního souboru [Fracture-dislocations of the ankle joint in adults. Part I: epidemiologic evaluation of patients during a 1-year period]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2002;69:243-7.
2. Bartoniček J, Rammelt S, Kašper Š, Malík J, Tuček M. Pathoanatomy of Maisonneuve fracture based on radiologic and CT examination. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019;139:497-506.
3. Bartoniček J, Rammelt S, Tuček M. Maisonneuve fractures of the ankle: A critical analysis review. *JBJS Rev.* 2022;10. doi: 10.2106/JBJS.RVW.21.00160.
4. Stufkens SA, van den Bekerom MP, Doornberg JN, van Dijk CN, Kloen P. Evidence-based treatment of maisonneuve fractures. *J Foot Ankle Surg.* 2011;50:62-7.
5. He JQ, Ma XL, Xin JY, Cao HB, Li N, Sun ZH, Wang GX, Fu X, Zhao B, Hu FK. Pathoanatomy and injury mechanism of typical Maisonneuve fracture. *Orthop Surg.* 2020;12:1644-51.
6. Bartoniček J, Rammelt S, Tuček M, Naňka O. Posterior malleolar fractures of the ankle. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2015;41:587-600.
7. Kašper Š, Bartoniček J, Rammelt S, Kamin K, Tuček M. "Double Maisonneuve fracture": an unknown fracture pattern. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48:2433-9.
8. Bartoniček J, Rammelt S, Kostlivý K, Vaněček V, Klika D, Trešl I. Anatomy and classification of the posterior tibial fragment in ankle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135:505-16.
9. Rammelt S, Boszczyk A. Computed tomography in the diagnosis and treatment of ankle fractures: A Critical Analysis Review. *JBJS Rev.* 2018;6:e7.
10. Mueller E, Kleinertz H, Tessarzyk M, Rammelt S, Bartoniček J, Frosch KH, Barg A, Schlickewei C. Intercalary fragments in posterior malleolar fractures: incidence, treatment implications, and distribution within CT-based classification systems. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2023;49:851-8.
11. Rammelt S, Bartoniček J, Kroker L. Pathoanatomy of the anterolateral tibial fragment in ankle fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 2022;104:353-63.
12. Amman E. Die Maisonneuve-Fraktur Resultate von 37 behandelten Fällen in der Jahren 1971-1981. Inauguraldissertation. Universität Basel; 1981.
13. Kirschner P, Brünner M. Die Operation der Maisonneuve-Fraktur. *Oper Orthop Traumatol.* 1999;11:11-8.
14. Sproule JA, Khalid M, O'Sullivan M, McCabe JP. Outcome after surgery for Maisonneuve fracture of the fibula. *Injury.* 2004;35:791-8.
15. Babis GC, Papagelopoulos PJ, Tsarouchas J, Zoubos AB, Korres DS, Nikiforidis P. Operative treatment for Maisonneuve fracture of the proximal fibula. *Orthopedics.* 2000;23:687-90.
16. Pankovich AM. Maisonneuve fracture of the fibula. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58:337-42.
17. Pelton K, Thordarson DB, Barnwell J. Open versus closed treatment of the fibulae in Maisonneuve injuries. *Foot Ankle Int.* 2010;31:604-8.
18. Kostlivý K, Bartoniček J, Rammelt S. Posterior malleolus fractures in Bosworth fracture-dislocations. A combination not to be missed. *Injury.* 2020;51:537-41.
19. Fojtík P, Kostlivý K, Bartoniček J, Naňka O. The fibular notch: an anatomical study. *Surg Radiol Anat.* 2020;42:1161-6.



20. Gardner MJ, Brodsky A, Briggs SM, Nielson JH, Lorch DG. Fixation of posterior malleolar fractures provides greater syndesmotic stability. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;447:165-71
21. Drijthout van Hooff CC, Verhage SM, Hoogendoorn JM. Influence of fragment size and postoperative joint congruency on longterm outcome of posterior malleolar fractures. *Foot Ankle Int.* 2015;36:673-8.
22. Miller MA, McDonald TC, Graves ML, Spitler CA, Russell GV, Jones LC, Replogle W, Wise JA, Hydrick J, Bergin PF. Stability of the syndesmosis after posterior malleolar fracture fixation. *Foot Ankle Int.* 2018;39:99-104.
23. Baumbach SF, Herterich V, Dambelmont A, Hieber F, Böcker W, Polzer H. Open reduction and internal fixation of the posterior malleolus fragment frequently restores syndesmotic stability. *Injury.* 2019;50:564-70.
24. Miller AN, Carroll EA, Parker RJ, Helfet DL, Lorch DG. Posterior malleolar stabilization of syndesmotic injuries is equivalent to screw fixation. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468:1129-35.
25. Haraguchi N, Haruyama H, Toga H, Kato F. Pathoanatomy of posterior malleolar fractures of the ankle. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88:1085-92.

**Legend:**

**Fig. 1** Lateral displacement of PM fragment together with the distal fibula.

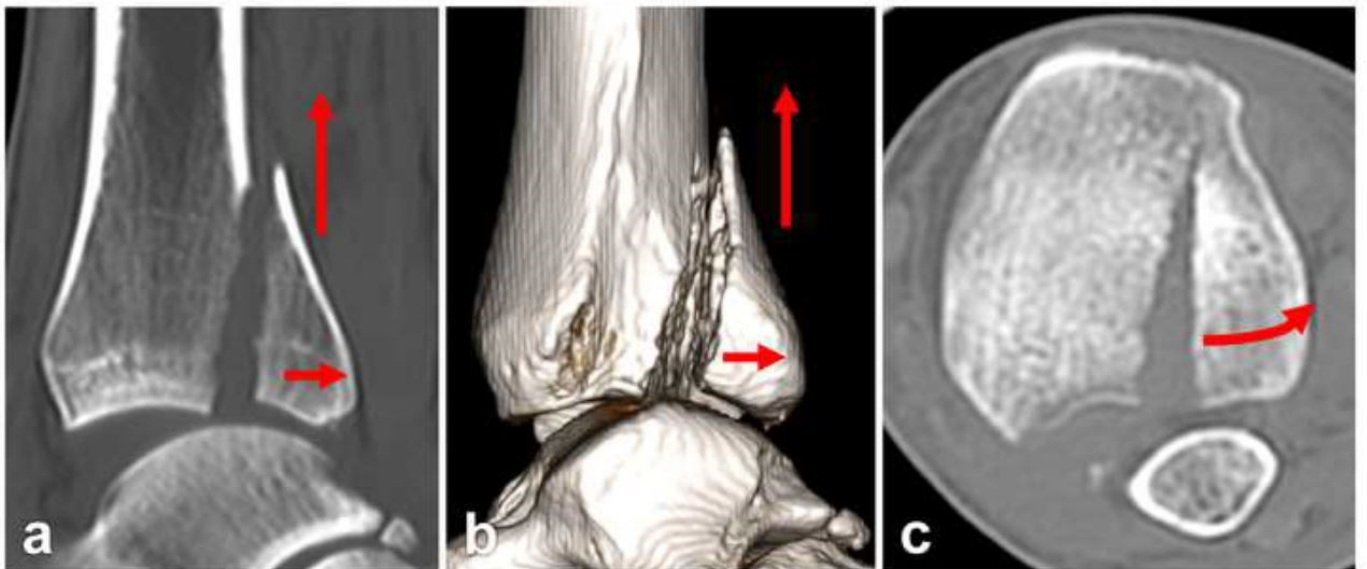
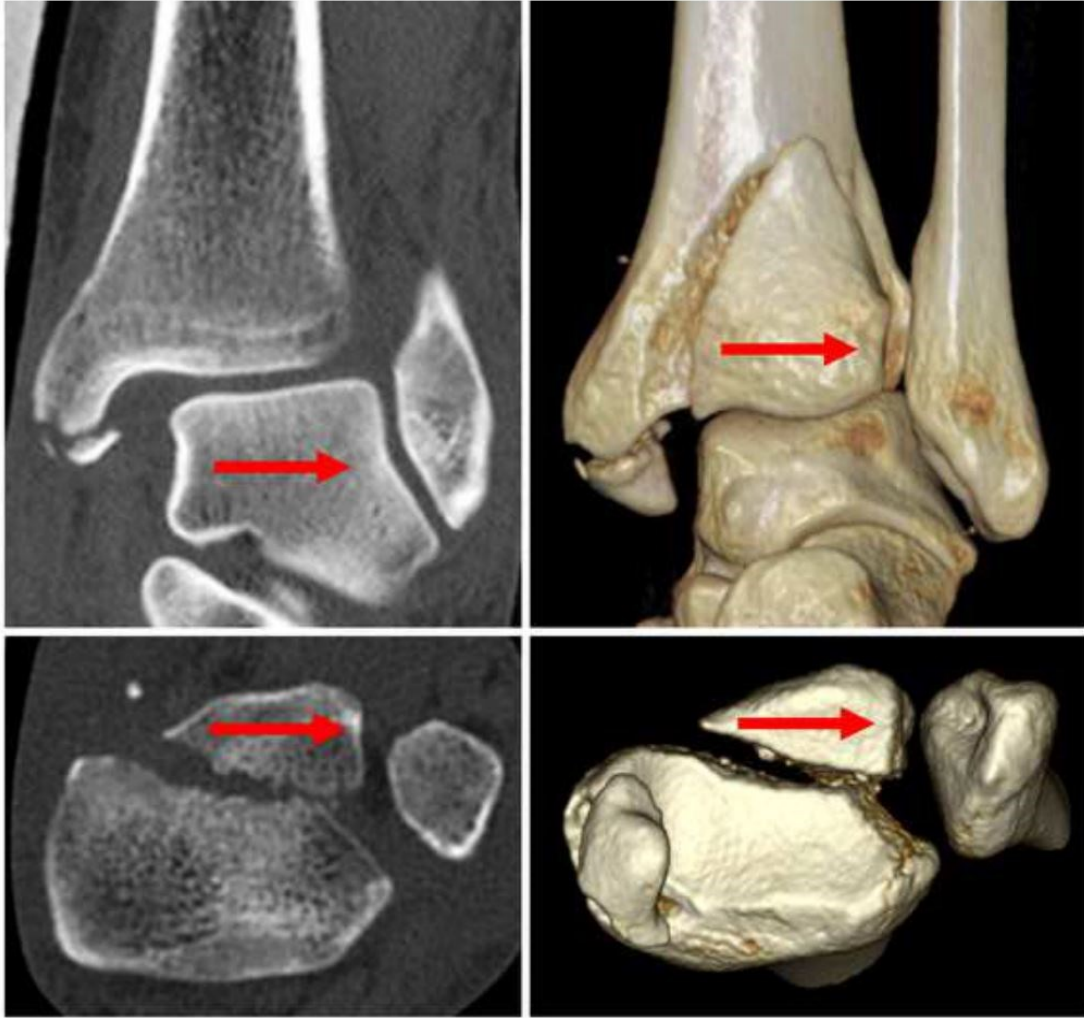
**Fig. 2** Proximal and posterior displacement of PM (**a**, **b**) and lateral opening of fracture line with a medial hinge (**c**).

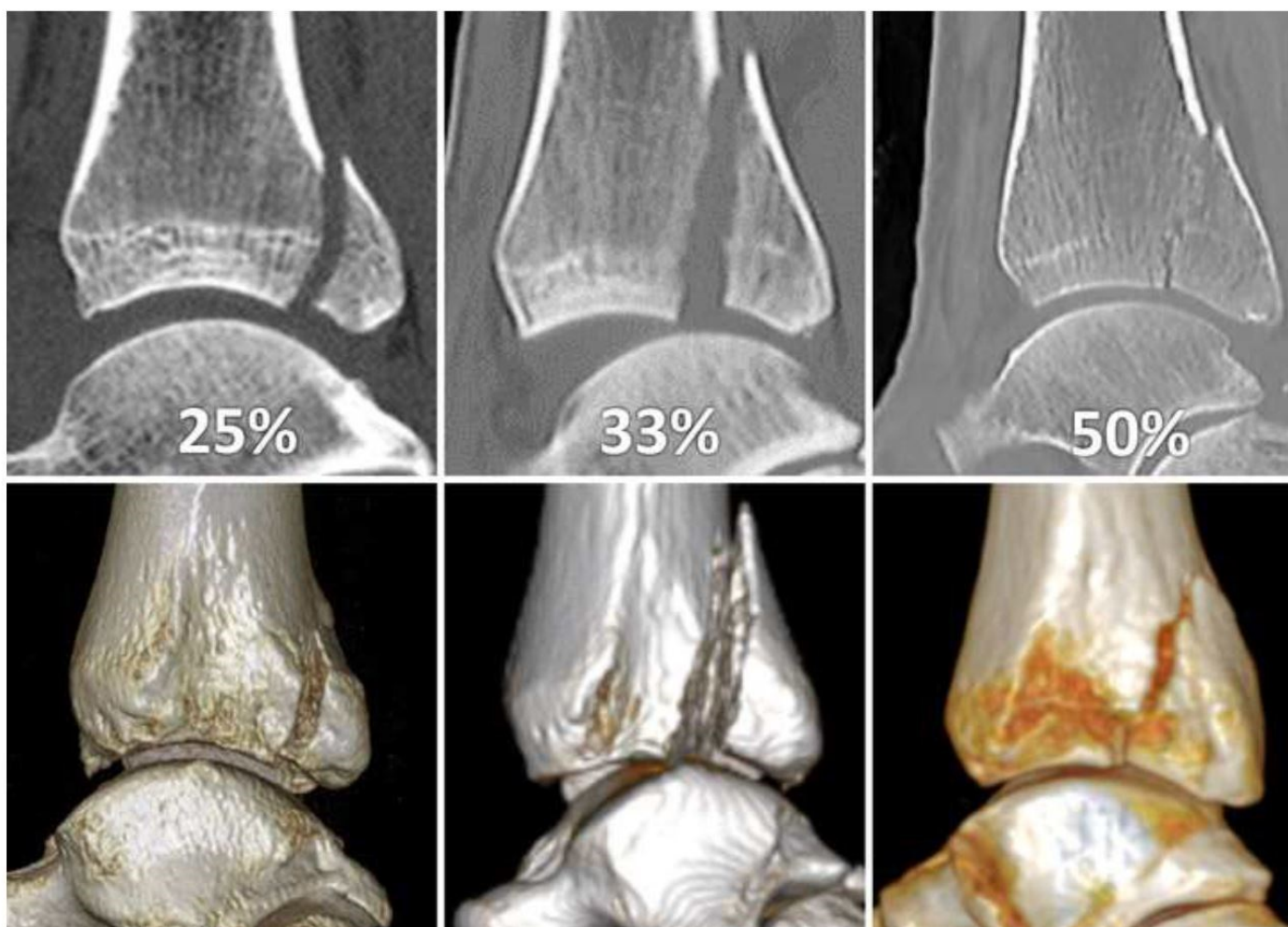
**Fig. 3** Medial shift of PM fragment.

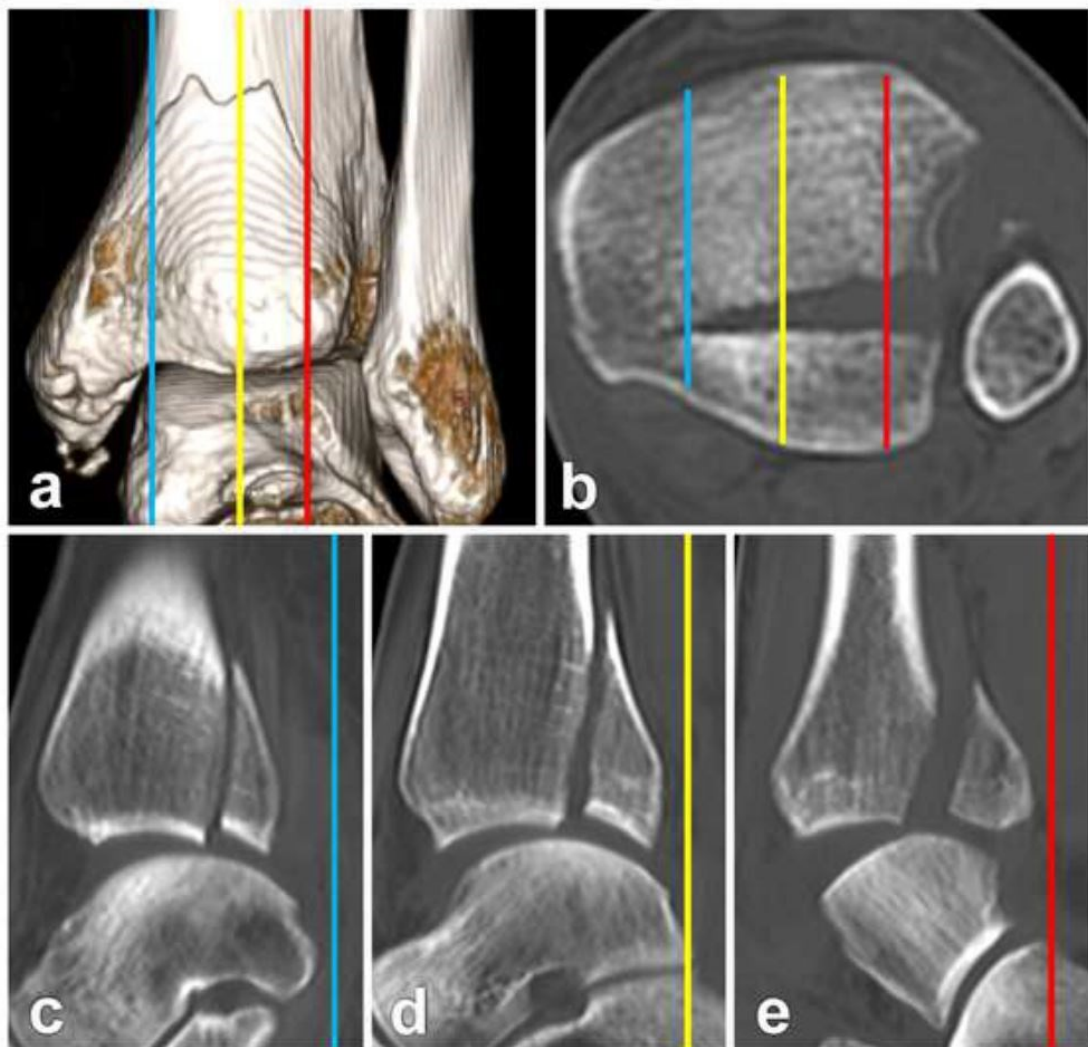
**Fig. 4** Increasing involvement of fibular notch by fracture of PM on 2D and 3D CT (lateral view with fibula subtraction) reconstructions.

**Fig. 5** Distributions of intercalary fragments. **a**, **b** – in fracture line of PM (yellow arrows), **c** – in joint cavity (red arrows).

**Fig. 6** The size of PM fragment and its articular surface depending on location sagittal CT scans. **a** – 3D CT posterior view; **b** – axial CT scans; **c** – medial (blue line) sagittal CT scan; **d** – central (yellow line) sagittal scan; **e** – lateral (red line) sagittal scan.







Table

	<b>CSA</b>	<b>FNI</b>	<b>N FNI ≥ 25 %</b>	<b>N FNI ≥ 33%</b>
<b>Type 1</b>	11.2 % (8-18 %)	-	-	-
<b>Type 2</b>	18.2 % (13-30 %)	19.3 % (9-44 %)	8	4
<b>Type 3</b>	26.1 % (14-43 %)	28.2 % (15-45 %)	10	4
<b>Type 4</b>	32.7 % (24-47 %)	38.7 % (19-50 %)	2	2

**Table 1** Fragment size in individual types of PM fractures according to B-R classification. *CSA* - Cross-sectional area, *FNI* - Fibular notch involvement, *N* - number of cases.

Table

	<b>PM 0</b>	<b>PM 1</b>	<b>PM 2</b>	<b>PM 3</b>	<b>PM 4</b>	<b>Cohort</b>
<b>Intact</b>	12	1	3	1	1	<i>18</i>
<b>DL</b>	7	8	18	4	2	<i>39</i>
<b>BC</b>	4	1	15	4	0	<i>24</i>
<b>Osseo-Lig</b>	3	2	8	6	0	<i>19</i>
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>12</b>	<b>44</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>100</b>

**Table 2** Injuries to medial structures in individual types of PM fractures according to the B-R classification. *DL* - deltoid ligament, *BC* - bicollicular fracture of medial malleolus, *Osseo-Lig* - Osseoligamentous lesion, i.e., fracture of anterior colliculus and rupture of tibiotalar part of deltoid ligament.

Table

<b>B-R Type</b>	<b>Bar 2015 141 trimall fxs (%)</b>	<b>Authors 100 MF</b>
<i>Type 1</i>	8	16
<i>Type 2</i>	52	60
<i>Type 3</i>	28	20
<i>Type 4</i>	9	4
<i>Type 5</i>	3	0

**Table 3** Comparison of shares of individual types of PM fractures between the series of 141 trimalleolar fractures [8] and the series of 100 Maisonneuve fractures.

## 6. Souhrn výsledků

Podrobné výsledky včetně přehledových tabulek jsou popsány v jednotlivých publikacích, zde je uveden pouze jejich stručný přehled.

### 6.1. Anatomická studie incisura fibularis tibiae

Zjištěné výsledky týkající se všech sledovaných rozměrů jsou uvedeny v přehledu v tabulce v kapitole 5.1.

**Průměrná délka tibiae:** Byla v celém souboru  $350,0 \pm 25$  mm. Průměrná délka tibiae u mužů byla  $360 \pm 20$  mm, u žen  $324 \pm 16$  mm.

**Průměrná výška IFT:** Byla v celém souboru  $42,5 \pm 0,56$  mm. Výška IFT u mužů byla  $43 \pm 6$  mm, u žen v průměru  $42 \pm 4$  mm. Pouze u 4 jedinců (1,5 %) byla výška IFT menší nebo rovná 30 mm a rovněž u 4 individuů (1,5 %) byla výška IFT větší či rovna 55 mm.

**Poměr délky tibiae a výšky IFT:** Byl v celém souboru  $0,12 \pm 0,02$ , u mužů  $0,12 \pm 0,02$  a u žen  $0,13 \pm 0,01$ .

**Šířka IFT v úrovni *facies articularis inferior tibiae*:** Byla v celém souboru  $23,6 \pm 2,6$  mm, u mužů  $24,6 \pm 2,2$  mm, u žen  $21 \pm 1,6$  mm.

**Šířka IFT 3 mm nad *facies articularis inferior tibiae*:** Byla v celém souboru  $22 \pm 2,2$  mm, u mužů  $22,7 \pm 2$  mm, u žen  $20,2 \pm 1,6$  mm.

**Hloubka IFT 3 mm nad *facies articularis inferior tibiae*:** Činila v celém souboru  $3,8 \pm 1,2$  mm, u mužů  $3,9 \pm 1,3$  mm, u žen  $3,4 \pm 1,1$  mm.

**Šířka IFT 10 mm nad *facies articularis inferior tibiae*:** Byla v celém souboru  $18,9 \pm 2,3$  mm, u mužů  $19,6 \pm 2,1$  mm, u žen  $17,2 \pm 4,4$  mm.

**Hloubka IFT 10 mm nad *facies articularis inferior tibiae*:** Byla v celém souboru  $4,1 \pm 1,2$  mm, u mužů  $4,3 \pm 1,2$  mm, u žen  $3,7 \pm 1,1$  mm.



**Největší hloubka IFT a její úroveň vzhledem k *facies articularis inferior tibiae*:** Byla v celém souboru  $4,5 \pm 1,2$  mm, u mužů  $4,8 \pm 1,2$  mm, u žen  $4 \pm 1$  mm. Počet tibií s IFT hlubší než 4 mm byl 145 (56 %). Vzdálenost nejhlubšího místa IFT od nejvyššího místa *facies articularis inferior tibiae* činila v celém souboru  $5,3 \pm 1$  mm, u mužů  $5,7 \pm 1$  mm, u žen  $5,1 \pm 0,9$  mm.

## 6.2. Crista malleoli lateralis a její klinický význam

Zjištěné výsledky týkající se všech sledovaných rozměrů jsou přehledně uvedeny v tabulce v kapitole 5.2.

**Anatomie:** Studovaná hrana byla pozorována u všech vzorků jako konstantně se vyskytující struktura beze sklonu k variabilitám. Vznikla vždy rozdělením přední hrany fibuly (*crista anterior*) na přední a zadní raménko. Méně výrazné přední raménko tvořilo distální pokračování *crista anterior*. Zadní raménko, které formovalo CML, se ve své proximální třetině stáčelo obloukovitě dorzálně a distálně až do středu zevní plochy zevního kotníku a poté sestupovalo v této linii dále až k nejdálšímu místu LM. Úroveň horního okraje kloubní plochy LM dělila CML na dvě nestejně části. Proximálně byla CML výraznější než distálně pod úrovní horního okraje artikulační plochy distální tibie. CML dělila svým průběhem zevní plochu distální fibuly na dvě plošky - anterolaterální a posterolaterální, které nebyly ve stejné rovině. Distální fibula tak nabývala na průřezu svůj charakteristický triangulární tvar. Anterolaterální plocha měla triangulární tvar. Posterolaterální plocha se distálně prohlubovala do *sulcus peronealis* a CML tak tvořila jeho přední okraj.

**Metrika: Délka fibuly:** Byla v celém souboru  $346,5 \pm 26$  mm. Průměrná délka fibuly u mužů byla  $362,6 \pm 21,4$  mm u žen byla  $327,1 \pm 15,7$  mm. T-test pro délku fibuly mezi muži a ženami byl 0,00, při porovnání pravé a levé strany u mužů 0,39, u žen 0,89.

**Délka CML:** Byla v celém souboru  $85,4 \pm 11,6$  mm, u mužů  $89,1 \pm 10,6$  mm a u žen v průměru  $81,1 \pm 11,2$  mm. T-test pro délku CML byl mezi muži a ženami 0,00, při porovnání pravé a levé strany u mužů 0,24, u žen 0,59.

**Poměr délky CML a délky fibuly:** Byl v celém souboru  $25 \% \pm 3 \%$ , u mužů  $25 \% \pm 3 \%$  a u žen v  $25\% \pm 3 \%$ . T-test pro poměr délky fibulární hrany k délce fibuly byl při porovnání mužů a žen 0,9, mezi muži 0,2, mezi ženami pak 0,69.

**Délka CML od *crista anterior* k hornímu okraji *facies articularis malleoli lateralis*:** Byla v celém souboru  $62,3 \pm 10,9$  mm, u mužů  $63,9 \pm 10,5$  mm a u žen  $60,4 \pm 11,1$  mm. Hodnota T-testu mezi muži a ženami byla 0,00, při porovnání pravé a levé strany u mužů 0,03, u žen 0,88.

**Délka CML od horního okraje *facies articularis malleoli lateralis* k nejdálšímu místu LM:** Byla v celém souboru  $23,1 \pm 4$  mm, u mužů  $25,2 \pm 3,5$  mm a u žen  $20,6 \pm 2,9$  mm. Hodnota T-testu mezi muži a ženami byla 0,00, při porovnání pravé a levé strany u mužů 0,12 u žen 0,14. Tato část hrany, tedy úseku pod kloubní úroveň hlezna, tvořila 27 % celkové délky CML.

### 6.3. Maisonneuveova zlomenina hlezna

Výsledky přehledového článku Maisonneuveova zlomenina hlezna byly použity v úvodu disertační práce a jsou obsahem publikace 5.3.

### 6.4. Poranění malleolus posterior u Maisonneuveovy zlomeniny

**Incidence a typ zlomenin MP:** Zlomenina MP byla identifikována u 74 pacientů (74 %) s MZ. V 70 případech byla detekována již na prostém rentgenovém snímku. Ve 4 případech byla viditelná pouze na CT, zde se ve všech případech jednalo o nedislokované zlomeniny MP *typu 1* (1 případ) a *typu 2* (3 případy) dle klasifikace B-R.

**Klasifikace MP:** Hodnoceno podle B-R klasifikace [10] a zastoupení jednotlivých typů u 74 pacientů vypadalo následovně - *1. typ* se vyskytl u 12 případů (16 %), *typ 2* ve 44 případech (60 %), *typ 3* u 15 pacientů (20 %) a *typ 4* ve 3 případech (4 %).

**Velikost fragmentu MP:** Přesnou velikost fragmentu MP bylo možné posoudit na CT snímcích u 73 ze 74 pacientů, pouze u 1 případu *1. typu* zlomeniny MP, kde byla fraktura natolik tříštivá, že to nebylo možné.

**Dislokace zlomeniny MP:** Dislokace fragmentu MP o více než 2 mm bylo zaznamenáno dle CT vyšetření v 53 případech (72 %). Identifikovali jsme tři základní směry dislokace: laterální, proximální a s rozevřením linie lomu laterálně (osa rotace je mediálně). U 22 pacientů byla dislokace o více než 2 mm měřitelná pouze v jednom ze základních směrů. Ve 31 případech byl fragment posunut ve 2 až 3 základních směrech. V těchto případech byl výsledný posun fragmentu MP vždy kombinací posunu nebo rotace v několika směrech: laterální posun, proximální posun, dorzální posun, rotace v axiální rovině kolem mediální osy. Celkově byla proximální dislokace detekována ve 25 případech, laterální ve 13 případech, dorzální dislokace ve 27 případech a rozevření lomné linie laterálně u 20 pacientů. U jednoho pacienta se zlomeninou MP *typu 3* B-R klasifikace byl fragment MP posunut proximálně, posteriorně a mediálně.

**Rozsah postižení IFT:** Zadní malleolární fragment nesl více než jednu čtvrtinu IFT u 20 pacientů (27 % všech zlomenin MP) a více než třetinu IFT u 10 pacientů (14 % všech zlomenin MP). Repozice a fixace dislokovaného MP ze zadního přístupu byla provedena u 23 pacientů. Z toho celkem 15 pacientů vykazovalo postižení IFT  $\geq 25$  % a 8 pacientů  $\leq 25$  %.

**Výskyt interkalárních fragmentů:** Malé interkalární fragmenty (ICF) byly identifikovány na CT skenech u 32 ze 74 případů (43 %) zlomenin MP. Z nich bylo 24 (75 %) dislokováno. Interkalární fragmenty se vyskytovaly nejčastěji u zlomenin *typu 2* B-R: 24 ze 44 případů

(55 %), následuje *typ 3* v 7 z 15 případů (47 %) a *typ 4* v jednom ze tří případů (33 %). Ve 27 z 32 případů (84 %) byly fragmenty lokalizovány v zóně 7 nebo 8 [90]. V dalších 8 případech byly malé kostní fragmenty dislokovány do IFT nebo *tibio-talárního* kloubu.

**Poranění mediálních struktur:** Poranění LD nebo zlomenina MM byly diagnostikovány v 82 případech (82 %). Ruptura LD, definovaná jako rozšíření „*medial clear space*“ na více než 4 mm v AP projekci na rentgenovém snímku, CT koronárním řezu nebo pozitivní zevně rotační test na začátku operace, byl nalezen u 39 pacientů (39 %). Bikolikulární zlomenina MM byla zaznamenána ve 24 případech (24 %). Osteoligamentózní léze mediálních struktur, tj. zlomenina *colliculus anterior* a ruptura tibiotalární části LD (ukazující se jako rozšíření „*medial clear space*“ mezi intaktním *colliculus posterior* MM a okrajem talu na více než 4 mm) v 19 případech (19 %).

**Zlomenina Tillaux-Chaputova hrbolu (AM):** Toto poranění jsme zaznamenali u 20 pacientů (20 %). Zlomeniny AM byly detekovány na prostém rentgenovém snímku ve 3 případech (jeden případ *typu 1* a 2 případy *typu 2* Rammeltovy klasifikace [106]) a 17 případů odhalilo pouze CT. Celkem bylo klasifikováno 15 případů jako *typy* Rammelt 1 a 5 případů jako *typ 2*. Nebyla zjištěna žádná zlomenina *typu* Rammelt 3 (impakce laterální kloubní plochy). V 17 případech bylo toto poranění spojeno se zlomeninou MP, z toho 13 případů 2. *typu*, tři případy 1. a jeden případ *typu 4* podle klasifikace B-R.

## 7. Diskuse

Podrobně jsou diskuse uvedeny v jednotlivých publikacích, zde je uveden pouze jejich stručný přehled.

### 7.1. Anatomická studie incisura fibularis tibiae

Tvarem a hloubkou IFT se zabývala celá řada studií, a to na kostních preparátech [39,91,138], plastinovaných preparátech [119], CT řezech [20,31,56,59,78,140] a MR řezech [115,138]. Výsledky jednotlivých studií se až na výjimky [39] liší o 1 až 2 mm. Tyto odchylky mohou být způsobeny etnickými, resp. geografickými vlivy [71,91,138], stářím kostních sbírek (náš soubor) či metodou měření. Významná je úroveň měření. Jedna skupina autorů [31,59,78,129,140] měřila hloubku IFT 1 cm nad úroveň kloubní štěrbiny hlezna. Druhá skupina autorů [20,39,71,91,129,138] měřila největší hloubku IFT, aniž by uvedla vzdálenost od kloubní štěrbiny hlezna, resp. od okraje kloubní plochy *facies articularis inferior tibiae*. Pouze v naší studii byla nejdříve určena maximální hloubka IFT a poté zjištěna její lokalizace vzhledem ke kloubní ploše distální tibie. Dále jsme měřili hloubku IFT 3 a 10 mm nad úroveň kloubní plochy distální tibie.

Námi zjištěná průměrná největší hloubka IFT činila v celém souboru 4,5 mm, což představuje přibližně střední hodnotu ve srovnání s výsledky ostatních autorů [20,56,129,138,140]. Je to o 0,8 až 1,0 mm více než hodnota zjištěná na kostních preparátech ve studiích Musay et al. [91] 3,7 mm (keňská populace), Kulkarniho et al. [71] 3,5 mm (indická populace) a Tasera et al. [125] 3,3 mm (turecká populace). Naopak Sora et al. [119] naměřili na plastinovaných preparátech hloubku 5.1 mm (středoevropská populace). Všechny tyto hodnoty se významně liší od výsledků Guptay et al. [39], kteří zaznamenali na kostních preparátech největší hloubku

IFT 11 mm (indická populace). Žádný z těchto autorů [20,31,39,59,71,78,91,129,138] však nezmínil úroveň měření vzhledem k *facies articularis inferior tibiae*.

CT a MR studie uvádějí hodnoty od 2,2 mm do 4,1 mm [20,78,99,129,138]. Chen et al. [56] zaznamenali na 3D CT rekonstrukcích průměrnou hloubku IFT u mužů 5,1 mm a 4,2 mm u žen.

Referenční linii 1 cm proximálně od kloubní plochy distální tibie použili Tonogai et al. [129], Liu et al. [77], Yu et al. a Cherney et al. [59] při měření na CT skenech. Chen et al. [56] na 3D CT rekonstrukcích naměřili hloubku IFT u mužů 12 mm a u žen 8 mm od kloubní plochy distální tibie. Důvody však nevysvětlili.

Největší možnou hloubku IFT bez udání vzdálenosti od kloubní plochy distální tibie měřili Gupta et al. [39], Taser et al. [125], Musa et al. [91] a Kulkarni et al. [71] na kostních preparátech, Sora et al. [119] na plastinovaných řezech, Boszczyk et al. [20] a Park et al. [99] na CT a Yildirim et al. [138] na MR skenech.

Šířka IFT měřená v naší studii byla stanovena v nejširším místě na 23,6 mm. To koresponduje s výsledky předchozích studií, konkrétně Musa et al. [91] - 21,5 mm, Taser et al. [125] - 23,3 mm, Gupta et al. [39] - 23,3 mm, Sora et al. [119] - 23,8 mm a Kulkarni et al. [71] - 23,2 mm.

Literární údaje uvádějí, že hloubka a šířka IFT se zvětšují v proximodistálním směru [43]. To potvrzují i naše výsledky ukazující, že IFT je nejhlubší v úrovni vzdálené 5 mm od kloubní plochy distální tibie, nikoli 10 mm od ní. „Konvenční“ vzdálenost 1 cm používaná řadou autorů [59,78,129,140] nemá na základě našich výsledků racionální zdůvodnění.

Průměrná výška IFT v naší studii byla 42,5 mm, což je významně více než u Taseera et al. [125] - 29,3 mm a Musay et al. [91] - 32,4 mm. Uvedená srovnání ukazují, že v naší studii byla šířka IFT sice přibližně stejná, jako ve studiích Taseera et al. [125] a Musay et al. [91], ale výška IFT byla v naší studii významně vyšší. Nejvíce se námi naměřené výšce přiblížili Chen et al.

[55], kteří uvádějí 35 mm, zatímco ve studiích Guptay et al. [39] a Kulkarniho et al. [71] nebyla výška IFT měřena.

Všechny výše zmíněné studie [20,31,39,71,78,129,138,140] i řada dalších [55,59] ukazují, že existuje výrazná variabilita ve tvaru a hloubce IFT na axiálních CT i MR řezech. Je tedy otázkou: jak mohou tyto studie zlepšit metody hodnocení normální pozice distální fibuly v IFT? Domníváme se, že jejich význam je značně omezený, a to z několika důvodů.

Anatomie tibiofibulární syndesmózy je mnohem komplikovanější a výrazně se mění v proximodistálním směru. Tvar IFT, přesněji její konkavitu, dotváří konstantní úzká chrupavčitá ploška o tloušťce 1-2 mm, která artikuluje s protilehlou ploškou na distální fibule [5]. Tato tibiální chrupavčitá ploška však na kostních preparátech chybí a nelze ji zachytit ani na CT řezech. V dorzální části tibiofibulární štěrbiny jsou obě kosti odděleny konstantní synoviální řasou [5,95]. Kontakt distální tibie a distální fibuly v oblasti IFT je tak minimální, protože struktury syndesmózy jsou namáhány především distrakčními, nikoli kompresními silami.

V proximodistálním směru se výrazně mění na axiálních CT řezech i tvar distální fibuly. Ta směrem proximálním ztrácí svůj trojúhelníkový průřez a zakulacuje se. To opět ztěžuje hodnocení normálního tibiofibulárního vztahu.

Z těchto důvodů se domníváme, že optimální je hodnotit tibiofibulární vztah v oblasti IFT na CT řezech provedených 5 mm nad úroveň kloubní plochy distální tibie. Zde má tibiofibulární štěrbina svůj charakteristický tvar. Vpředu je patrná malá trojúhelníková inkongruence vyplněná ve skutečnosti triangulárním meniskoidem. Ve střední části se obě kosti dotýkají prostřednictvím chrupavčitých facet. V největší, dorzální, srpkovité části se mezi tibií a fibulou vsouvá konstantní synoviální řasa. Přitom je patrné, že anterolaterální plocha distální fibuly koresponduje s Tillaux-Chaputovým hrbolkem a posterolaterální plocha distální fibuly

*s tuberculum posterius tibiae* [5]. Správnou úroveň CT axiálního skenu lze posoudit podle kondenzace spongiózy poblíž mediálního malleolu [8].

Výhodou naší studie je, že hloubka i šířka IFT byla měřena ve třech úrovních. Další plus představuje počet analyzovaných tibií, který významně převyšuje počty ve většině studií dosavadních, a u každého jedince byl znám věk a pohlaví. Nevýhodou je stáří naší kostní sbírky, a to 90 let. Průměrná menší tělesná výška tehdejší populace mohla ovlivnit, byť minimálně, námi naměřené hodnoty týkající se rozměrů IFT [21]. Tato nevýhoda je však relativní, neboť i v současné době je výška zkoumaných jedinců ovlivněna etnickým původem. Výše citované studie byly prováděny na různých etnických skupinách, které se od sebe liší tělesnými proporcemi [39,71,91,138,99,140]. Např. Park et al. [99] uvádějí u současné korejské populace průměrnou výšku zkoumaných jedinců pouze o 3 cm větší, než byla v našem souboru, a to jak u mužů i u žen. Musa et al. [91] proto provedli srovnání hloubky IFT u různých etnik a zjistili, že hodnoty získané měřením suchých kostních preparátů se příliš neliší a pohybují se od 3,4 do 3,7 mm. Práce již byla citována v souhlasném duchu autory Chen et al. [55], Cheung et al. [57] a Li et al. [76].

## **7.2. Crista malleoli lateralis a její klinický význam**

Tato studie se podrobně zabývala anatomíí CML. Hodnotili jsme párové fibuly dospělých jedinců, jejichž věk a pohlaví bylo známé u všech vzorků. Limitem studie je stáří sbírky, tj. 90 let. Rozdíly v měřených parametrech mezi muži a ženami byly většinou statisticky významné, což je dáno především vyšší průměrnou výškou mužů než žen. Obecně menší průměrná výška populace z doby vzniku sbírky mohla, leč minimálně, ovlivnit naměřená data.

CML byla krátce popsána pouze několika autory [51,73,126,128]. Testut [126] uvádí, že ...  
*„Tenká a ostrá přední hrana fibuly se kaudálně rozdvouje za vzniku trojúhelníkovité plošky. Přední okraj této plošky, někdy velmi nevýrazný, směřuje k přednímu okraji zevního malleolu,*



*zadní okraj tvoří hranka předního okraje žlábků peroneálních svalů.*“ Hovelacque [51] ve své učebnici hranu pouze zobrazuje s popisem okolních dvou plošek na vnější ploše laterálního malleolu, které hrana odděluje, „*versant antérieur triangulaire*“ a „*versant posterior*“. Rouviere [112] použil termín „*crete oblique*“ (šikmá hrana) v textu, ale bez legendy v obrázcích. Toldtův atlas [128] a Lanz-Wachsmuthova učebnice [73] předkládají věrný obraz hranky, ale bez jakéhokoliv popisu. Frazer [34] uvádí v popisu k obrázku pouze dvě fasety, přední, kterou nazývá „*subcutaneous surface*“ a zadní „*peroneal surface*“. Grayova anatomie [62] uvádí: „*Přední hrana fibuly se distálně dělí na dvě raménka, mezi kterými se nachází trojúhelníková podkožní plocha*“. V nejnovějším vydání Gray's Anatomy [122] je ale CML je zcela vynechána. Heim a kol. [45] označili CML jako „*Lateraler Sporn*“ (Laterální calcar) a poukázali na nutnost tvarování dlahy pro vnitřní fixaci zlomeniny laterálního malleolu. Kelikian [67], jako jediný, publikoval velmi podrobný popis CML ... „*přední hrana (fibuly) se dělí na dvě větve, přední a zadní... Zadní větev nebo šikmá hrana směřuje dolů a dozadu... Tato šikmá hrana vymezuje dva povrchy: anteroinferiorní a posterosuperiorní a to je třeba vzít v úvahu při aplikaci dlahy*“. White a kol. [135] publikovali několik obrázků CML ve své učebnici, ale taktéž bez jakéhokoliv popisu. Pouze stručně popisují „*trojúhelníková podkožní oblast*“.

Z přehledu vyplývá, že se na obrázku a popisu shodují všichni autoři, i když jen málo z nich používá pro hranu specifický termín, konkrétně „*lateral calcar*“ [45] nebo „*the oblique crest*“ [67] nebo „*crete oblique*“ [102,112]. Anteroinferiorní povrch se shodně nazývá trojúhelníková podkožní ploška a posterosuperiorní jakožto ploška peroneální [67]. CML je důležitým referenčním bodem pro aplikaci syndesmálních šroubů (SS) i dlahy, jakož i pro posouzení polohy distální fibuly v IFT.

Optimální úroveň pro zavádění syndesmálních šroub(ů) je 2,0-3,5 cm nad kloubní plochou [5,33], v tomto intervalu je vrták směřován do konkavity IFT a nemůže sklouznout přes

konvexní hranu *margo interosseus* [45]. Je velmi důležité zavést syndesmální šroub středem distální fibuly a středem incisury. Pokud je zaveden z trojúhelníkové plochy, ani průběh, ani fixace SS ve fibule není optimální. Naše výsledky odhalily, že ideální místo pro zavedení SS je 2,5 cm proximálně od linie hlezenného kloubu. Pokud je vložen SS více proximálně, leží vstupní bod 1 až 2 mm posteriorně do CML. Podle měření vzorků ze zmíněné osteologické kolekce odpovídá výška trojúhelníkové drsné plochy (B) výšce IFT [5].

Na CML je třeba pamatovat zejména při osteosyntéze zevního kotníku dlahou. Dlahy by měla pokrývat střední čáru laterální plochy distální fibuly [51]. Obvykle však pokrývá trojúhelníkovou oblast. V případě asymetrického umístění dlahy vzhledem k CML není možné zavést SS přes hranu optimální trajektorií. V tomto ohledu je třeba poznamenat, že posterolaterální plocha je kryta peroneálními svaly s jejich fasciemi, které se upínají na CML. Pro správné umístění dlahy musí být tato fascie od CML uvolněna.

CML je zásadní strukturou pro posouzení pozice distální fibuly v IFT na axiálním CT [108]. Optimální úroveň je 4-5 mm proximálně od linie hlezenného kloubu [8,33]. Kde je poloha fibuly anatomická, anterolaterální plocha (trojúhelníková oblast) koresponduje na CT axiálních řezech s přední plochou distální tibie a posterolaterální oblast distální fibuly (peroneální oblast) zase se zadní plochou distální tibie.

### 7.3. Maisonneuveova zlomenina hlezna

MZ představuje stále nedořešenou kapitolu zlomenin hlezna, o které panuje řada nesprávných představ. Původní popis JGF Maisonneuvea [81], který zahrnuje subkapitální zlomeninu fibuly s poraněním tibiofibulární syndesmózy a *membrana interossea*, byl již v řadě ohledů překonán [8,41,65].

Pathoanatomicky se jedná o velmi variabilní poranění, do kterého kromě poranění mediálních struktur (MM, LD), LTFA, LTFP a *membrana interossea* patří dle recentních CT studií

[8,41,65] i poranění řady struktur dalších (MM, MP, AM). Poranění LTFA a LTFI patří pod pojem MZ stabilně a autoři mimo Bonina [18] se na něm shodují. Kostním ekvivalentem léze LTFA může být avulze TCT [65,80]. Kašper et al. [65] ji zaznamenali v 9 (13 %) ze 70 případů. Hinds et al. [48] pozorovali ve své MR studii, že u MZ, u kterých bylo intaktní LTFP, byla zároveň vždy přítomna zlomenina MP. Toto může ukazovat na fakt, že zlomenina MP je kostním ekvivalentem léze LTFP. Kombinace ruptury LTFP a zlomeniny MP totiž nebyla doposud v literatuře popsána.

V oblasti poranění MI nejsou autoři jednotní. Dle Weberovy monografie [132] a AO literatury [45,92] je ruptura MI až do výše zlomeniny na fibule považována za konstantní součást MZ [69,120]. Toto tvrzení však zpochybnili na základě MR vyšetření autoři Moriis a Manyi [41,83,88,93], kteří zaznamenali poranění MI u pouze do výše 6, resp. 11 cm nad kloubní štěrbinou hlezna.

Zlomenina MP se u MZ vyskytuje podle recentních CT studií v 77 % až 83 % [8,41,65], což je mnohem více, než bylo obecně udáváno u luxačních zlomenin hlezna [61,127]. Např. Jehlička, et al. [61] zaznamenali zlomeninu MP u 46 % všech zlomenin typu Weber B a C. Kašper, et al. [65] hodnotili typ zlomeniny MP podle B-R [9,10] klasifikace na CT a zjistili, že distribuce zlomenin MP přibližně odpovídá výskytu zlomenin MP u všech trimalleolárních zlomenin [10].

Vzhledem k vysokému výskytu zlomenin MP a posouzení postavení fibuly v IFT je nezbytné provést předoperační CT. V operační léčbě je nejdůležitější přesná repozice distální fibuly do IFT [37,50] a její stabilizace.

Samotná repozice fibuly, ale bývá někdy obtížná, především pokud je přítomna zlomenina MP, která nese větší část IFT. Operační léčení zlomenin zadní hrany tibie není problémem, bylo již detailně diskutováno v recentní literatuře [12,13,105].

#### 7.4. Poranění malleolus posterior u Maisonneuveovy zlomeniny

V naší CT analýze 100 pacientů s MZ jsme zaznamenali zlomeninu MP v 74 %. To je výrazný rozdíl oproti výskytu zlomeniny MP u trimalleolárních zlomenin hlezna [61]. Výskyt zlomenin MP u MZ byl již okrajově zmíněn v několika předchozích studiích a to se značnými odchylkami [1,4,8,41,68,98,100,121]. Některé z nich udávaly výskyt zlomenin MP v rozmezí 35-37 % [1,68,121], zatímco jiné zjistily podstatně vyšší výskyt v rozmezí 77-83 % [4,8,42,98,100,123]. Pouze 4 (5 %) zlomeniny MP v našem souboru nebyly detekovány na prostém RTG snímku. Vždy se jednalo o malé fragmenty *typu 1* nebo *2* klasifikace B-R. Naproti tomu He et al. [41] pozorovali 17 % zlomenin MP pouze na CT skenech. Předpokladem detekce zlomenin MP jsou kvalitní rentgenové snímky v přesných projekcích. Toto může být problémem v případě akutní zlomeniny z řady subjektivních i objektivních důvodů. Indikace k CT vyšetření u zlomeniny hlezna by proto neměla být odkládána, zvláště pokud existuje důvodné podezření na zlomeninu MP [11].

Podíl zlomenin MP u jednotlivých typů luxačních zlomenin hlezna se značně liší. Jehlička et al. [61] našli v radiografické studii zahrnující 232 pacientů s luxační zlomeninou hlezna zlomeninu MP u 4 % pacientů se zlomeninou fibuly typu Weber A, u 46 % typu Weber B a C. Kostlivý a spol. [70] identifikovali zlomeninu MP v 70 % ze 110 případů Bosworthovy luxační zlomeniny hlezna (BZ). Tato zjištění poukazují na vyšší závažnost MZ a BZ ve srovnání s jinými typy luxačních zlomenin hlezna.

Při porovnání jednotlivých typů zlomenin MP s předchozími studiemi [8,41] se objevily určité rozdíly. Bartoníček a spol. [13] v analýze 141 případů trimalleolárních zlomenin zjistili poměr zlomenin MP *typů 1 a 2* k *typům 3 a 4* 1,6:1, zatímco v současné sérii MZ to bylo 3,2:1. V obou studiích se nejčastěji vyskytoval *typ 2* B-R klasifikace. Kromě velikosti fragmentu MP, postižení kloubního povrchu, postižení IFT, jsou pro indikaci operační léčby důležité i

přítomnost a dislokace interkalárních fragmentů. Toto kritérium operační léčby bylo zavedeno teprve nedávno [11,90].

Protože velikost kloubního povrchu neseného fragmentem MP se v sagitálních CT řezech zvyšuje mediolaterálním směrem, musí být měření standardizováno. Obdobně to platí pro hodnocení postižení IFT a distální fibuly, kde je hodnocení založeno na řezech axiálních a hodnoty se zvyšují proximodistálním směrem [12,108]. V naší anatomické studii [33] byla naměřena největší hloubka IFT 5 mm nad linií tibiotalárního kloubu. Nejlepším způsobem měření velikosti fragmentu MP a jeho pozice vzhledem k IFT jsou 3D CT rekonstrukce se subtrakcí distální fibuly a v 3D CT pohledu do tibiofibulární vidlice se subtrakcí talu.

V naší sérii byla více jak třetina IFT odlomena u 14 zlomenin MP a jedna čtvrtina až jedna třetina IFT u 27 zlomenin MP. Repozice a fixace dislokovaného MP ze zadního přístupu byla provedena u 15 pacientů s odlomením více jak jedné čtvrtiny IFT. Naopak u 8 operovaných pacientů byla odlomená část IFT menší.

Dislokace fragmentu MP je indikačním kritériem pro otevřenou repozici a přímou vnitřní fixaci ze zadního přístupu [11,13,14,28,36,40,86,87,123]. Směr dislokace však dosud nebyl v literatuře popsán. Ve většině našich případů (58 %) fragmenty MP vykazovaly komplexní posun v několika směrech. Z klinického hlediska je podle nás nejdůležitější proximální nebo laterální posun fragmentu. Proximální dislokaci jsme zaznamenali nejčastěji, a to u 47 % případů, laterální u 25 % případů. Při obou typech dislokace dochází ke snížení kontaktní tibiotalární kloubní plochy. Laterální dislokace navíc brání repozici distální fibuly do IFT.

Větší intraartikulární interkalární fragmenty (ICF) jsme zaznamenali ve 43 % případů, podobně jako Mueller et al. [90] kteří našli ICF u 41 % zlomenin MP, nejčastěji u typu 2 a 3 B-R klasifikace. V dalších 8 případech jsme našli drobné kostní úlomky extrudované do IFT nebo štěrbinu tibiotalárního kloubu, kde obdobně jako ICF mohou působit jako mechanická překážka.

## 8. Závěr

V anatomické části disertační práce jsme se detailně zabývali dvěma strukturami a tyto studie jsou v řadě aspektů prioritní.

***Crista malleoli lateralis*** jako anatomickou strukturu jsme detailně popsali jako vůbec první. Naše studie prokázala její minimální anatomickou variabilitu. Z tohoto důvodu je velmi vhodná pro orientaci v oblasti zevního kotníku. Znalost jejího průběhu je esenciální při zavádění syndesmálních stabilizačních šroubů a dále pro korektní přiložení dlahy při osteosyntéze zevního kotníku.

***Incisura fibularis tibiae*** je struktura, kterou se zabývala již řada autorů před námi. My jsme však prokázali, že v úrovni 1 cm nad kloubní plochou distální tibie, která je k metrice v literatuře standardně používána, je IFT mělčí a užší než je tomu distálněji. Proto tato úroveň není vhodná k hodnocení pozice distální fibuly v IFT. Pro hodnocení kvality repozice distální fibuly je důležitá úroveň její maximální hloubky. Ta leží přibližně 5 mm nad kloubní plochou distální tibie, což je nutné respektovat při hodnocení axiálních CT skenů.

V klinické části jsme nejdříve provedli analýzu veškeré dostupné literatury věnované MZ a následně jsme se zaměřili na poranění MP u MZ.

***Maisonneuveova zlomenina hlezna - analýza literatury.*** Naše studie byla v české literatuře prioritní. Ukázala, že MZ je jednotlivými autory vnímána různě, a to jak rozsahem poraněných struktur, tak z hlediska stability zlomeniny. V české literatuře byla MZ prezentována jako subkapitální zlomenina fibuly s poraněním tibiofibulární syndesmózy a *membrana interossea* až do výše zlomeniny na fibule. Podle recentních CT studií se však jedná o poranění velmi variabilní s různým stupněm stability, které zahrnuje i postižení řady dalších struktur (MM, LD, MP). Vzhledem k vysokému výskytu zlomenin MP u MZ a nutnosti posouzení postavení distální fibuly v IFT je nezbytné provést předoperační i pooperační CT. Stabilní nedislokované

MZ lze léčit konzervativně, dislokované nestabilní zlomeniny jsou indikovány k osteosyntéze. V současné době je dávána přednost otevřené repozici distální fibuly do IFT. Dosáhnout anatomického postavení ale není jednoduché. Studie založené na před- a pooperačním CT v literatuře dosud chybí.

*Zlomenina malleolus posterior* se u MZ v naší klinické studii vyskytuje v 74 %, což je podstatně více, než bylo v minulosti uváděno. Význam zlomeniny MP u MZ byl dosud značně podceňován. To je třeba přehodnotit, neboť fragment MP nese ve 20 % případů více než jednu čtvrtinu IFT. Z tohoto důvodu je nutné před repozicí distální fibuly nejprve obnovit integritu IFT, tedy provést repozici a fixaci odlomeného MP.

## 9. Literatura

1. **Ammann E.** *Die Maisonneuve-Fraktur Resultate von 37 behandelten Fällen in der Jahren 1971–1981.* Inauguraldissertation. Basel, Universität Basel 1981.
2. **Ashhurst APC, Bromer RS.** *Classification and mechanism of fractures of the leg bones involving the ankle.* Arch Surg. 1922;4:51-129.
3. **Babacan S, Kafa İM.** *Morphology of the ligaments located on the medial side of the ankle and on the plantar surface of the foot.* Surg Radiol Anat. 2022;44:261-271.
4. **Babis GC, Papagelopoulos PJ, Tsarouchas J, Zoubos AB, Korres DS, Nikiforidis P.** *Operative treatment for Maisonneuve fracture of the proximal fibula.* Orthopedics. 2000;23:687-690.
5. **Bartoniček J.** *Anatomy of the tibiofibular syndesmosis and its clinical relevance.* Surg Radiol Anat. 2003;25:379-386.
6. **Bartoniček J, Fojtík P, Bunganičová E, Tuček M.** *Maisonneuveova zlomenina hlezna.* Rozhl Chir. 2023;102:48-59.
7. **Bartoniček J, Frič V, Svatoš F, Luňáček L.** *Bosworth-type fibular entrapment injuries of the ankle - the Bosworth lesion: A report of six cases and literature review.* J Orthop Trauma 2007;21:710-717.
8. **Bartoniček J, Rammelt S, Kašper Š, Malík J, Tuček M.** *Pathoanatomy of Maisonneuve fracture based on radiologic and CT examination.* Arch Orthop Trauma Surg. 2019;139:497-506.
9. **Bartoniček J, Rammelt S, Klika D, Naňka O, Tuček M, Kostlivý K, Vaněček V.** *Klasifikace zlomenin zadní hrany tibie u zlomenin u zlomenin hlezna.* Rozhl Chir. 2018;97:52-59.
10. **Bartoniček J, Rammelt S, Kostlivý K, Vaněček V, Klika D, Trešl I.** *Anatomy and classification of the posterior tibial fragment in ankle fractures.* Arch Orthop Trauma Surg. 2015;135:506-516.
11. **Bartoniček J, Rammelt S, Tuček M.** *Maisonneuve fractures of the ankle: A critical analysis review.* JBJS Rev. 2022;21:10:1-12.
12. **Bartoniček J, Rammelt S, Tuček M.** *Posterior malleolar fractures: Changing concepts and recent developments.* Foot Ankle Clin N Am. 2017;22:125-145.
13. **Bartoniček J, Rammelt S, Tuček M, Naňka O.** *Posterior malleolar fractures of the ankle.* Eur J Trauma Emerg Surg. 2015;41:587-600.



14. **Baumbach SF, Herterich V, Damblemont A, Hieber F, Böcker W, Polzer H.** *Open reduction and internal fixation of the posterior malleolus fragment frequently restores syndesmotic stability.* *Injury.* 2019;50:564-70.
15. **Bazin I, Armendariz M, Marcheix PS, Pichon M, Fredon F, Mabit C, Mathieu PA.** *A computed tomography study of the fibula: morphology, morphometry, intramedullary anatomy, application prospects on intramedullary nailing.* *Surg Radiol Anat.* 2019;41:681-687.
16. **Bissuel T, Gaillard F, Dagneaux L, Canovas F.** *Maisonnette equivalent injury with proximal tibiofibular joint dislocation: Case report and literature review.* *J Foot Ankle Surg.* 2017;56:404-407.
17. **Boldin C, Grechening W, Mayr J, Szyszkowitz R.** *Surgical treatment of Maisonneuve fractures.* *Oper Orthop Traumatol.* 2004;16:433-450.
18. **Bonnin JG.** *Injuries to the Ankle.* London, Heinemann 1950; 17-25.
19. **Boszczyk A, Kwapisz A, Krümmel M, Graas R, Rammelt S.** *Anatomy of the tibial incisura as a risk factor for syndesmotic injury.* *Foot Ankle Surg.* 2017;25:51-58.
20. **Boszczyk A, Kwapisz S, Krümmel M, Graas R, Rammelt S.** *Correlation of incisura anatomy with syndesmotic malreduction.* *Foot Ankle Int* 2018;39:369-375.
21. **Brzobohatá H, Krajíček V, Velemínský P, Velemínská J.** *Three-dimensional geometry of human tibial anterior curvature in chronologically distinct population samples of Central Europeans (2900 BC - 21st century AD).* *Sci Rep.* 2019;9:4234.
22. **Colenbrander RJ, Struijs PAA, Ultee JM.** *Bimalleolar ankle fracture with proximal fibular fracture.* *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005;125:571-574.
23. **Dalmau-Pastor M, Vega J.** *Letter regarding: cadaveric analysis of the distal tibiofibular syndesmosis.* *Foot Ankle Int.* 2017;38:343-345.
24. **Destot E.** *Traumatisme du pied et rayons X.* Paris, Masson 1911.
25. **Dienstknecht T, Horst K, Pape H-Ch.** *A 72-year-old patient with bilateral Maisonneuve fractures.* *Clinics and Practice.* 2012;2(180–181):e72.
26. **Dietrich G, Prod'homme M, Müller J, Ballhausen T, Helfer L.** *Conservative management of a specific subtype of Maisonneuve fractures: a report of two cases.* *AME Case Rep.* 2022;25:17.
27. **Downey MW, Fleming JJ, Elgamil B, Quinn C.** *Syndesmosis injury with concomitant deltoid disruption in trimalleolar equivalent ankle fracture: A case report.* *Ann Sports Med Res.* 2015;2:1049.

28. **Drijfhout van Hooff CC, Verhage SM, Hoogendoorn JM.** *Influence of fragment size and postoperative joint congruency on long term outcome of posterior malleolar fractures.* Foot Ankle Int. 2015;36:673-678.
29. **Duchesneau S, Fallat LM.** *The Maisonneuve fracture.* J Foot Ankle Surg. 1995;34:422-428.
30. **Edama M, Takabayashi T, Inai T, Kikumoto T, Ito W, Nakamura E, Hirabayashi R, Ikezu M, Kaneko F, Kageyama I.** *The effect of differences in the number of fiber bundles of the anterior tibial ligament on ankle braking function: a simulation study.* Surg Radiol Anat. 2019;41:69-73.
31. **Elgafy H, Semaan HB, Blessinger B, Wassef A, Ebraheim NA.** *Computed tomography of normal distal tibiofibular syndesmosis.* Skeletal Radiol. 2010;39:559-564.
32. **Fojtík P, Kašper Š, Bartoníček J, Tuček M, Naňka O.** *Lateral malleolar crest and its clinical importance.* Surg Rad Anat. 2023;45:255-262.
33. **Fojtík P, Kostlivý K, Bartoníček J, Naňka O.** *The fibular notch: an anatomical study.* Surg Rad Anat. 2020;42:1161-1166.
34. **Frazer JES.** *The anatomy of the human skeleton.* Churchill, London 1946; 131-137.
35. **Gan K, Xu D, Hu K et al.** *Dynamic fixation is superior in terms of clinical outcomes to static fixation in managing distal tibiofibular syndesmosis injury.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2020;28:270-280.
36. **Gardner MJ, Brodsky A, Briggs SM, Nielson JH, Lorich DG.** *Fixation of posterior malleolar fractures provides greater syndesmotic stability.* Clin Orthop Relat Res. 2006;447:165-171.
37. **Gardner MJ, Demetrakopoulos D, Briggs SM, Helfet DL, Lorich DG.** *Malreduction of the tibiofibular syndesmosis in ankle fractures.* Foot Ankle Int. 2006;27:788-792.
38. **Gardner R, Yousri T, Holmes F, Clark D, Pollintine P, Miles AW, Jackson M.** *Stabilization of the syndesmosis in the Maisonneuve fracture - a biomechanical study comparing 2-hole locking plate and quadricortical screw fixation.* J Orthop Trauma 2013;27:212-216.
39. **Gupta C, Nayak N, Palimar V.** *A morphometric study of incisura fibularis in south Indian population with its clinical implications.* Int J Anat Appl Physiol. 2018;4:84-86.
40. **Haraguchi N, Haruyama H, Toga H, Kato F.** *Pathoanatomy of posterior malleolar fractures of the ankle.* J Bone Joint Surg Am. 2006;88:1085-1092.

41. **He JQ, Ma XL, Xin JY, Cao HB, Li N, Sun ZH, Wang GX, Fu X, Zhao B, Hu FK.** *Pathoanatomy and injury mechanism of typical Maisonneuve fracture.* Orthop Surg. 2020;12:1644-1651.
42. **He J, Ma X, Hu Y, Wang S, Cao H, Li N, Wang G, Guo L, Zhao B.** *Investigation of the characteristics and mechanism of interosseous membrane injuries in typical Maisonneuve fracture.* Orthop Surg. 2023;15:777-784.
43. **Hermans JJ, Beumer A, De Jong TA, Kleinrensink GJ.** *Anatomy of the distal tibiofibular syndesmosis in adults: a pictorial essay with a multimodality approach.* J Anat. 2010;217:633-645.
44. **Heim U.** *Malleolarfrakturen.* Unfallheilkunde. 1983;86:248-258.
45. **Heim U, Pfeifer KM.** *Periphere Osteosynthesen.* Berlin, Springer 1972: 216-220.
46. **Hensel KS, Harpstrite JK.** *Maisonneuve fracture associated with a bimalleolar ankle fracture-dislocation: A case report.* J Orthop Trauma 2002;16:525-528.
47. **Hey HW, Lau BPH, Thambiah J, Khong KS, Murphy DP.** *“Floating fibula” secondary to traumatic dislocation of the ankle joint, ankle syndesmosis, and the proximal tibiofibular joint: A case report.* JBJS Case Connect. 2013;23;3:e1071-1075.
48. **Hinds R, Tran WH, Lorich DG.** *Maisonneuve-Hyperplantarflexion variant ankle fracture.* Orthopedics. 2014;37:E1040-E1044.
49. **Hirschmann MT, Mauch C, Mueller C, Mueller W, Friederich NF.** *Lateral ankle fracture with missed proximal tibiofibular joint instability (Maisonneuve injury).* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2008;16:952-956.
50. **Houben M, Poeze M.** *High fibula fracture with syndesmotic disruption (Maisonneuve).* In: Rammelt S, Swords M, Dhillon MS, Sands AK (eds). *Manual of fracture management foot and ankle.* Stuttgart, Thieme 2019; 173-178.
51. **Hovelacque A.** *Osteologie. Fascicule 1.,* Paris, Doin & Cie 1933; 180-186.
52. **Hu WK, Chen DW, Li B, Yang YF, Yu GR.** *Motion of the distal tibiofibular syndesmosis under different loading patterns: a biomechanical study.* J Orthop Surg. 2019;27:1-6.
53. **Chan D, Jones D.** *Irreducible syndesmosis due to an entrapped posterior fragment.* Injury. 1995;26:569-572.
54. **Chaput VAH.** *Les fractures malléolaires du cou-de-pied et les accidents du travail.* Paris, Masson 1907.
55. **Chen J, Peng X, Yang Y, Tang X, Yang S, Liu T, Shi H, Zhang L.** *In different gender groups, what is the impact of the fibular notch on the severity of high ankle sprain: a retrospective study of 360 cases.* Orthop Surg. 2023 Aug; Epub ahead of print.

56. **Chen Y, Qiang M, Zhang K, Li H, Dai H.** *A reliable radiographic measurement for evaluation of normal distal tibiofibular syndesmosis: A multi-detector computed tomography study in adults.* J Foot Ankle Res. 2015;8:1-10.
57. **Cheung YC, Yee DK, Fang C.** Defining the fit and ideal entry site of the fibula rod system - a computed tomography based study in elderly patients with lower limb infections, vascular diseases or tumors. J Orthop Surg (Hong Kong). 2023;31:1-9.
58. **Charopoulos I, Kokoroghiannis C, Kragiannis S, Lyritis GP, Papaioannou N.** *Maisonneuve fracture without deltoid ligament disruption: A rare pattern of injury.* J Foot Ankle Surg. 2010;49:86e11–86e17.
59. **Cherney SM, Spraggs-Hughes AG, McAndrew CM, Ricci WM, Gardner MJ.** *Incisura morphology as a risk factor for syndesmotomic malreduction.* Foot Ankle Int. 2016;37:748-754.
60. **Imade SI, Takao M, Miyamoto W, Imade S, Takao M, Miyamoto W, Nishi H, Uchio Y.** *Leg anterior compartment syndrome following ankle arthroscopy after Maisonneuve fracture.* Arthroscopy. 2009;25:215-218.
61. **Jehlička D, Bartoníček J, Svatoš F, Dobiáš J.** *Luxační zlomeniny hlezna u dospělých. I. část: Epidemiologické zhodnocení ročního souboru.* Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 2002;69:243-247.
62. **Johnston TB, Davis DV, Davis F.** *Gray's anatomy, 32nd edition.* London, Longmans 1958; 423-430.
63. **Kakegawa A, Fukushima N, Sumitomo N, Nagira A, Ichinose Y, Moriizumi T.** *Relationship between inferior fascicle of anterior talofibular ligament and articular capsule in lateral ankle ligament complex.* Surg Radiol Anat. 2022;44:253-259.
64. **Kalyani BS, Roberts CS, Giannoudis PV.** *The Maisonneuve injury: A comprehensive review.* Orthopedics 2010;33:190-197.
65. **Kašper Š, Bartoníček J, Kostlivý K, Malík J, Tuček M.** *Maisonneuveho zlomenina.* Rozhl Chir. 2020;99:77-85.
66. **Kašper Š, Bartoníček J, Rammelt S, Kamin K, Tuček M.** *"Double Maisonneuve fracture": An unknown fracture pattern.* Eur J Trauma Emerg Surg. 2022;48:2433-2439.
67. **Kelikian AS.** *Sarraffian's anatomy of the foot and ankle descriptive topographic functional.* Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins 2011: 40-45.
68. **Kirschner P, Brünner M.** *Die Operation der Maisonneuve-Fraktur.* Oper Orthop Traumatol. 1999;11:11-18.
69. **Kolman J.** *Maisonneuveova zlomenina.* Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 1999;66:41-45.

70. **Kostlivý K, Bartoníček J, Rammelt S.** *Posterior malleolus fractures in Bosworth fracture-dislocations. A combination not to be missed.* Injury. 2020;51:537-41.
71. **Kulkarni RR, Prakash ChR, Nidhi S.** *Importance of fibular incisura measurements in ankle reconstructive surgeries.* Int J AJ Inst Med Sci. 2012;1:80-85.
72. **Kumar G, Sankar B, Anand S, Murali SR.** *Superior tibiofibular joint disruption - as a variant of Maisonneuve injury.* Foot Ankle Surgery. 2004;10:41-43.
73. **von Lanz T, Wachsmuth W.** *Praktische Anatomie - Bein und Statik.* Berlin, Springer 1938; 33-35.
74. **Lauge-Hansen N.** *Fractures of the ankle II. Combined experimental-surgical and experimental-roentgenologic investigations.* Arch Surg. 1950; 60:957-985.
75. **Levy BA, Vogt KJ, Herrera DA, Cole PA.** *Maisonneuve fracture equivalent with proximal tibiofibular dislocation.* J Bone Joint Surg. 2006;86-A:1111-1116.
76. **Li JK, Yu Y, Wu YH, Wang J, Zeng XT, Zhao JG.** *Does the Level of Syndesmotic Screw Insertion Affect Clinical Outcome after Ankle Fractures with Syndesmotic Instability?* Orthop Surg. 2023;15:247-255
77. **Liu GP, Li JG, Gong X, Li JM.** *Maisonneuve injury with no fibula fracture: A case report.* World J Clin Cases. 2021;26:3733-3740.
78. **Liu GT, Ryan E, Gustafson E, VanPelt MD, Raspovic KM, Lalli T, Wukich DK, Xi Y, Chhabra A.** *Three-dimensional computed tomographic characterization of normal anatomic morphology and variations of the distal tibiofibular syndesmosis.* J Foot Ankle Surg. 2018;57:1130-1136.
79. **Lock TR, Shaffer JJ, Minolli A.** *Maisonneuve fracture: case report of a misdiagnosis.* Ann Emerg Med. 1987;16:805-807.
80. **Madhusudhan TR, Dhana SRM, Smith IC.** *Report of the case of a rare pattern of Maisonneuve fracture.* J Foot Ankle Surgery. 2008;47:160-162.
81. **Maisonneuve JG.** *Recherches sur la fracture du peroné.* Arch Gen Med. 1840;7:165-187,433-473.
82. **Manjoo A, Sanders DW, Tieszer C, MacLeod MD.** *Functional and radiographic results of patients with syndesmotic screw fixation: implications for screw removal.* J Orthop Trauma. 2010;24:2-6
83. **Manyi W, Guowei R, Shengsong Y, Chunyan J.** *A sample of Chinese literature MRI diagnosis of interosseous membrane injury in Maisonneuve fractures of the fibula.* Injury. 2000;31:107-110.

84. **Matcuk GR Jr, Patel DB, Cen S, Heidari KS, Tan EW.** *Fibular groove morphology and measurements on MRI: correlation with fibularis tendon abnormalities.* Surg Radiol Anat. 2019;41:75-85.
85. **Merrill KD.** *The Maisonneuve fracture of the fibula.* Clin Orthop Relat Res. 1993;287:218-223.
86. **Miller AN, Carroll EA, Parker RJ, Helfet DL, Lorich DG.** *Posterior malleolar stabilization of syndesmotic injuries is equivalent to screw fixation.* Clin Orthop Relat Res. 2010;468:1129-1135.
87. **Miller MA, McDonald TC, Graves ML, Spitler CA, Russell GV, Jones LC, Replogle W, Wise JA, Hydrick J, Bergin PF.** *Stability of the syndesmosis after posterior malleolar fracture fixation.* Foot Ankle Int. 2018;39:99-104.
88. **Morris JR, Lee J, Thordarson D, et al.** *Magnetic resonance imaging of acute Maisonneuve fractures.* Foot Ankle Int. 1996;17:259-263.
89. **Mousavi M, Egkher A, Pichl W, Kubiena H, Kolonja A, Egkher E, Vécsei V.** *Dynamics of tibiofibular syndesmosis in correlation with the level of the syndesmotic screw in Maisonneuve fractures of the ankle – a cadaver study.* Eur J Trauma. 2001;27:87-91.
90. **Mueller E, Kleinertz H, Tessarzyk M, Rammelt S, Bartoniček J, Frosch KH, Barg A, Schlickewei C.** *Intercalary fragments in posterior malleolar fractures: incidence, treatment implications, and distribution within CT-based classification systems.* Eur J Trauma Emerg Surg. 2023;49:851-858.
91. **Musa M, Pamela M, Moses O, Beda O, Gichambira G.** *Morphometric characteristics of the fibular incisura in adult Kenyans.* Anat J Afr. 2014;3:243-24.
92. **Müller ME, Allgöwer M, Willenegger H, Schneider R (eds).** *Manual of internal fixation.* Berlin, Springer 1991; 427-432.
93. **Nielson JH, Sallis JG, Potter HG, Helfet DL, Lorich DG.** *Correlation of interosseous membrane tears to the level of the fibular fracture.* J Orthop Trauma. 2004;18:68-74.
94. **Nozaki S, Watanabe K, Kato T, Miyakawa T, Kamiya T, Katayose M.** *Radius of curvature at the talocrural joint surface: inference of subject-specific kinematics.* Surg Radiol Anat. 2019;41:53-64.
95. **O'Sullivan E, Bowyer G, Webb AL.** *The synovial fold of the distal tibiofibular joint: a morphometric study.* Clin Anat. 2013;26:630-637.
96. **Obeid EMH, Amr M, Hirst P, Paul AS.** *Percutaneous fixation of Maisonneuve and Maisonneuve-type fractures: a minimally invasive approach.* Injury. 1998;29:619-622.

97. **Pachner P.** *Pohlavní rozdíly na lidské pánvi.* Praha, Česká akademie věd a umění, 1938; 21-26.
98. **Pankovich AM.** *Maisonneuve fracture of the fibula.* J Bone Joint Surg Am. 1976; 58:337-342.
99. **Park CH, Kim GB.** *Tibiofibular relationships of the normal syndesmosis differ by age on axial computed tomography - anterior fibular translation with age.* Injury. 2019;50:1256-1260.
100. **Pelton K, Thordarson DB, Barnwell J.** *Open versus closed treatment of the fibulae in Maisonneuve injuries.* Foot Ankle Int. 2010;31:604-608.
101. **Pérez RL, Costa IG.** *Atypical pattern of Maisonneuve's fracture-dislocation.* Eur J Orthop Surg Traumatol. 2009;19:291-295.
102. **Poirier P, Charpy A.** *Traite d'anatomie humaine.* Tome I., Masson, Paris 1911; 540-543.
103. **Prakash A.** *Is incisura fibularis a reliable landmark for assessing syndesmotic stability? A systematic review of morphometric studies.* Foot Ankle Spec 2017;10:246-251.
104. **Quenu E.** *Fracture de Maisonneuve (fracture dite par diastase).* Bull Soc Chir. Paris 1906;32:943-945.
105. **Rammelt S, Bartoníček J.** *Posterior malleolar fractures: a critical analysis review.* JBJS Rev 2020;8:e19.00207.
106. **Rammelt S, Bartoníček J, Kroker L.** *Pathoanatomy of the anterolateral tibial fragment in ankle fractures.* J Bone Joint Surg Am. 2022;104-A:353-363.
107. **Rammelt S, Bartoníček J, Schepers, Kroker L.** *Fixation of anterolateral distal tibial fractures: The anterior malleolus.* Oper Orthop Traumatol 2021;33:125-138.
108. **Rammelt S, Boszczyk A.** *Computed tomography in the diagnosis and treatment of ankle fractures: A critical analysis review.* JBJS Rev. 2018;6:e7.
109. **Rammelt S, Grass R, Zwipp H.** *Sprunggelenkfrakturen.* Unfallchirurg. 2008;111:421-437.
110. **Rammelt S, Obruba P.** *An update on the evaluation and treatment of syndesmotic injuries.* Eur J Trauma Emerg Surg. 2015;41:601-614.
111. **Rofrano M, Herrera H.** *Arthroscopic findings in Maisonneuve injuries.* Rev Asoc Argent Ortop Traumatol. 2022;87:5-14.
112. **Rouviere H.** *Anatomie humaine descriptive et topographique.* Tome II. Paris, Masson 1943; 275-277.
113. **Savoie FH, Wilkinson MM, Bryan A, Barrett GR, Shelton WR, Manning JO.** *Maisonneuve fracture dislocation of the ankle.* J Athl Train. 1992;27:268-269.

114. **Schlickewei C, Schweizer C, Puschel K, Ondruschka B, Kleinertz H, Barg A, Rolvien T, Sturznicke J.** *Age-, sex-, and subregion-specific properties of distal fibular microarchitecture and strength: an ex vivo HR-pQCT study.* J Orthop Res. 2022;22:e9.
115. **Sharif B, Welck M, Saifuddin A.** *MRI of the distal tibiofibular joint.* Skeletal Radiol 2020;49:1-17.
116. **Slawski DP, West C.** *Maisonneuve fracture with an associated distal fibular fracture.* Clin Orthop Rel Res. 1995;317:193-198.
117. **Smith MG, Ferguson E, Kurdy NM.** *Persistent diastasis in a Maisonneuve fracture - interposition of a tibial osteochondral fragment: A case report.* J Foot Ankle Surg. 2005;44:225-227.
118. **Song DJ, Lanzi JT, Groth AT, Drake M, Orchowski JR, Shaha SH, Lindell KK.** *The effect of syndesmosis screw removal on the reduction of the distal tibiofibular joint: a prospective radiographic study.* Foot Ankle Int. 2014;35:543-548.
119. **Sora MC, Strobl B, Stavkov D, Förster-Streffleur S.** *Evaluation of the ankle syndesmosis: A plastination slices study.* Clin Anat. 2004;17:513-517.
120. **de Souza LJ, Gustilo RB, Meyer TJ.** *Results of operative treatment of displaced external rotation-abduction fractures of the ankle.* J Bone Joint Surg Am. 1985;67:1066-1074.
121. **Sproule JA, Khalid M, O'Sullivan M, McCabe JP.** *Outcome after surgery for Maisonneuve fracture of the fibula.* Injury. 2004;35:791-798.
122. **Standring S (ed).** *Gray's anatomy - the anatomical basis of clinical practice.* London, Elsevier 2021; 1401-1402.
123. **Stufkens SA, van den Bekerom MP, Doornberg JN, van Dijk CN, Kloen P.** *Evidence-based treatment of maisonneuve fractures.* J Foot Ankle Surg. 2011;50:62-67.
124. **Tanton J.** *Fractures en général: Fractures des membres inférieurs.* Paris, JB Bailliere 1916.
125. **Taser F, Toker S, Kilincoglu V.** *Evaluation of morphometric characteristics of the fibular incisura on dry bones.* Joint Dis Rel Surg. 2009;20:52-58.
126. **Testut L.** *Traite d'anatomie humaine.* Paris, Octave Doin 1889; 295-296.
127. **Thur CK, Edgren G, Jansson K-A, Wretenberg P.** *Epidemiology of adult ankle fractures in Sweden between 1987 and 2004: a population-based study of 91,410 Swedish inpatients.* Acta Orthop. 2012;83:276-281.
128. **Toldt K, Hochstetter F.** *Anatomischer Atlas. Erster Band. 14. Auflage.* Berlin, Urban und Schwarzenberg, 1928;140-144.



129. **Tonogai I, Hamada D, Sairyo K.** *Morphology of the incisura fibularis at the distal tibiofibular syndesmosis in the Japanese population.* J Foot Ankle Surg. 2017;56:1147-1150.
130. **Tuček M, Bartoníček J, Fojtík P, Kamin K, Rammelt R.** *Injury to the posterior malleolus in Maisonneuve fractures.* Eur J Trauma Emerg Surg. 2023 Nov; Epub ahead of print.
131. **Warner SJ, Garner MR, Schottel PC, Hinds RM, Loftus ML, Lorich DG.** *Analysis of PITFL injuries in rotationally unstable ankle fractures.* Foot Ankle Int. 2015;36:377-382.
132. **Weber BG.** *Die Verletzungen des oberen Sprunggelenkes.* Bern, Huber 1966;78-95.
133. **Weber BG, Simpson LA.** *Corrective lengthening osteotomy of the fibula.* Clin Orthop Relat Res. 1985;199:62-67.
134. **van Wessem KJP, Leenen LPH.** *A rare type of ankle fracture: Syndesmotic rupture combined with a high fibular fracture without medial injury.* Injury. 2016;47:766-755.
135. **White TD, Black MT, Folkens PA.** *Human osteology.* Burlington, Elsevier 2012; 263-270.
136. **Wiegerinck JJI, Stufkens SA.** *Deltoid rupture in ankle fractures: To repair or not to repair?* Foot Ankle Clin. 2021;26:361-371.
137. **Wolfram D, Lottersberger C, Blauth M, Piza-Katzer H.** *Mögliche Nervenverletzungen bei Sprunggelenkluxationsverletzungen trimalleoläre Fraktur mit Beteiligung der proximalen Fibula.* Unfallchirurg 2007;110:70–74.
138. **Yildirim H, Mavi A, Büyükbebeci O, Gümüşburun E.** *Evaluation of the fibular incisura of the tibia with magnetic resonance imaging.* Foot Ankle Int. 2003;24:387-391.
139. **Yoshimura I, Naito M, Kanazawa K, Takeyama A, Ida T.** *Arthroscopic findings in Maisonneuve fractures.* J Orthop Sci. 2008;13:3-6.
140. **Yu M, Zhang Y, Su Y, Wang F, Zhao D.** *An anthropometric study of distal tibiofibular syndesmosis (DTS) in a Chinese population.* J Orthop Surg Res. 2018;13:95-102.

## 10. Publikace, přednášky

### 10.1. Seznam publikací v souvislosti se studiem

1. **Fojtík P, Kostlivý K, Bartoníček J, Naňka O.** *The fibular notch: an anatomical study.* Surg Rad Anat. 2020;42:1161-1166. **Impact Factor: 1,4**  
**Dle WOS citováno 7x**
2. **Fojtík P, Kašper Š, Bartoníček J, Tuček M, Naňka O.** *Lateral malleolar crest and its clinical importance.* Surg Rad Anat. 2023;45:255-262. **Impact Factor: 1,4**  
**Dle WOS citováno 1x**
3. **Bartoníček J, Fojtík P, Bunganičová E, Tuček M.** *Maisonneuveova zlomenina hlezna.* Rozhl Chir. 2023;102:48-59.
4. **Pirri C, Stecco C, Güvener O, Mezian K, Ricci V, Jačisko J, Fojtík P, Kara M, Chang KV, Dughbaj M, Özçakar L.** *EURO-MUSCULUS/USPRM Dynamic Ultrasound Protocols for Ankle/Foot.* Am J Phys Med Rehabil. 2023 Oct; Epub ahead of print. **Q1, Impact Factor: 3,0**
5. **Tuček M, Bartoníček J, Fojtík P, Kamin K, Rammelt R.** *Injury to the posterior malleolus in Maisonneuve fractures.* Eur J Trauma Emerg Surg. 2023 Nov; Epub ahead of print. **Impact Factor: 2,1**

### 10.2. Publikace bez vztahu k tématu disertace

1. **Štulík J, Hodasová G, Podhráský M, Nesnídal P, Fojtík P, Naňka O.** *Anatomy of the dens and its implications for fracture treatment: an anatomical and radiological study.* Eur Spine J. 2019;28:317-323. **Impact Factor: 2,8**  
**Dle WOS citováno 3x**

2. Štulík J, Geri G, Slavcová L, Barna M, Fojtík P, Naňka O. *Pediatric dens anatomy and its implications for fracture treatment: an anatomical and radiological study*. Eur Spine J. 2021;30:416-424.

**Impact Factor: 2.8**

**Dle WOS citováno 2x**

### **10.3. Přednášková činnost**

1. Fojtík P, Naňka O, Bartoníček J. *Anatomická studie incisura fibularis tibiae*. 20. Studentská vědecká konference 1. LF UK, Praha, 23.5.2019.
2. Fojtík P, Naňka O, Bartoníček J. *Anatomie incisura fibularis tibiae a její klinický význam*. 41. Symposium Ortopedické kliniky 1. LF UK a IPVZ a Nemocnice na Bulovce, Praha, 22.-23.11.2019.
3. Fojtík P, Naňka O, Bartoníček J. *Anatomická studie musculus anconeus*. 21. Studentská vědecká konference 1. LF UK, Praha, 16.5.2021.
4. Fojtík P, Kašper Š, Naňka O, Bartoníček J. *Anatomická studie distální fibuly*. 23. Studentská vědecká konference 1. LF UK, Praha, 17.5.2022.
5. Fojtík P, Naňka O, Bartoníček J. *Klinická anatomie m. anconeus*. Frejkovy dny, Brno, 16.-17.6.2022.

## 11. Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému školiteli *doc. MUDr. Ondřeji Naňkovi, Ph.D.* za odborné vedení v experimentální i klinické části vědeckého i profesního života.

Dále bych chtěl poděkovat svému spoluškoliteli *prof. MUDr. Janu Bartoníčkoví, DrSc.* za trpělivost a možnost skloubit vědeckou a pracovní činnost na Klinice ortopedie 1. LF UK a ÚVN Praha.

V neposlední řadě bych rád poděkoval celé své rodině za neobyčejnou podporu a míru tolerance během mého studia.