

**Univerzita Karlova
1. lékařská fakulta**

**Postgraduální doktorský program v biomedicině
Studijní obor: Experimentální chirurgie**



**UNIVERZITA KARLOVA
1. lékařská fakulta**

mjr. MUDr. Štěpán Kašper

**Maisonneuveova zlomenina –
anatomie, diagnostika, operační přístupy a techniky osteosyntézy**

**Maisonneuve fracture –
anatomy, diagnostics, operative approaches, technics of osteosynthesis**

Disertační práce

Školitel: doc. MUDr. Michal Tuček, Ph.D.

Konzultanti: prof. MUDr. Jan Bartoníček, DrSc.

doc. MUDr. Ondřej Naňka, Ph.D.

Praha, 2023

Prohlášení:

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

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

V Praze, 3.10.2023

mjr. MUDr. Štěpán Kašper

Identifikační záznam:

KAŠPER, Štěpán. Maisonneuveova zlomenina – anatomie, diagnostika, operační přístupy a techniky osteosyntézy [*Maisonneuve fracture - anatomy, diagnostics, operative approaches, technics of osteosynthesis*]. Praha, 2023. Počet stran 70. Disertační práce. Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta, Klinika ortopedie 1. LF UK a ÚVN Praha. Vedoucí práce Tuček, Michal.

Obsah

1. Úvod	1
2. Současný stav řešené problematiky	3
2.1. Historie	3
2.2. Diagnostika a klasifikace poranění v rámci MZ	5
2.3. Mechanismus vzniku MZ	8
2.4. Principy léčby MZ	9
3. Cíle práce	14
4. Základní materiál a metodika	15
5. Základní výsledky	18
6. Diskuze	22
7. Publikace se vztahem k tématu práce	30
7.1. <i>Fojtík P., Kašper Š., Bartoníček J., Tuček M., Naňka O.: Lateral malleolar crest and its clinical importance</i>	30
7.2. <i>Bartoníček J., Rammelt S., Kašper Š., Malík J., Tuček M.: Pathoanatomy of Maisonneuve fracture based on radiologic and CT examination</i>	38
7.3. <i>Kašper Š., Bartoníček J., Rammelt S., Kamin K., Tuček M.: “Double Maisonneuve fracture”: an unknown fracture pattern</i>	47
7.4. <i>Kašper Š., Bartoníček J., Kostlivý K., Malík J., Tuček M.: Maisonneuveova zlomenina</i>	53
8. Závěry	62
9. Literatura	63
10. Publikační činnost a přednášky	69
11. Poděkování	70

1. Úvod

Maisonneuveova zlomenina (MZ) je v traumatologii hlezna obecně známý pojem, přesto o ní existuje řada nesprávných představ, které mohou vést ke špatné volbě léčebného postupu. A to i přesto, že Maisonneuveova zlomenina tvoří okolo 5 % všech luxačních zlomenin hlezna a postižení jsou většinou aktivní pacienti v páté nebo šesté dekádě.

V České republice je MZ vlivem historického vývoje spojena s představou subkapitální zlomeniny fibuly, roztržením membrana interossea až do výše zlomeniny na fibule a díky tomu je považována za velmi nestabilní poranění (Bartoníček J., 2023).

Analýza literatury věnované MZ odhalila protichůdné názory jednotlivých autorů. Především recentní CT studie (Bartoníček J., 2019; He JQ., 2020) ukázaly, že MZ je mnohem komplexnější a variabilnější poranění, než jsme se domnívali. Navíc pojem MZ zlomenina není všemi autory chápán stejně.

Původní Maisonneuveho popis hovořil o subkapitální zlomenině fibuly spojené s roztržením lig. tibiofibulare anterius (Maisonneuve JG., 1840). Někteří autoři k MZ řadí i zlomeniny proximální poloviny nebo dokonce střední třetiny fibuly (Obeid EMH., 1998; Pérez RL., 2009).

Jiní hovoří o “Maisonneuve-like fractures“, a myslí tím případy s intaktní fibulou, tzv. distorze tibiofibulárního kloubu nebo luxace hlavice fibuly (Bissuel T., 2017; Hey HW., 2013; Hirschmann MT., 2008; Kumar G., 2004; Levy BA., 2006; Liu GP., 2021).

Nicméně na základě dosud publikovaných analýz lze Maisonneuveovu zlomeninu definovat jako zlomeninu proximální čtvrtiny fibuly spojenou minimálně s rupturou lig. tibiofibulare anterius (LTFA) a lig. tibiofibulare interosseum (LTFI) (Bartoníček J., 2022).

Navíc v 75 % případech dochází ke zlomenině zadní hrany tibie což je velmi významný fakt, neboť repozice a fixace dislokované zlomeniny zadní hrany významně napomáhá anatomické

repozici fibuly do její tibiální incisury a tím zlepšuje podmínky pro zhojení předního i interoseálního tibiofibulárního ligamenta.

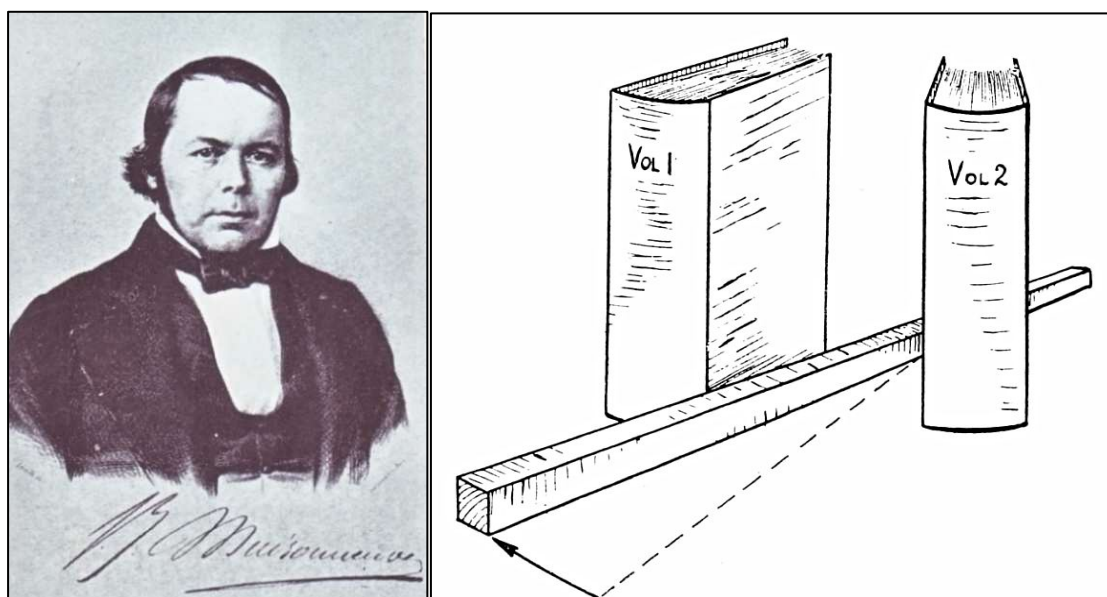
Vysoká variabilita poranění, různé nálezy na CT vyšetření, neuspokojivé výsledky zavřené repozice fibuly a nekonstantní průběh syndesmálních šroubů nás přiměly se problematikou Maisonneuveovy zlomeniny podrobněji zabývat.

Hlavní náplní mého studia byl popis jednotlivých lézí a forem v rámci Maisonneuveovy zlomeniny a optimalizace zavedení syndesmálních šroubů.

2. Současný stav řešení problematiky

2.1. Historie

Subkapitální zlomenina fibuly způsobená zevně rotačním mechanismem a spojená s poraněním tibiofibulární syndesmózy byla poprvé popsána v r. 1840 francouzským chirurgem Julesem Germainem Francois Maisonneuvem (**Obr. 1**), a to na základě experimentů na mrtvolách. S klinickým případem se však autor nikdy nesetkal (Maisonneuve JG., 1840).



Obr. 1 Portrét JG Maisonneuva, schéma vzniku Maisonneuveho zlomeniny,
převzato z: *Bonin JG., 1950.*

Eponym Maisonneuveova zlomenina se rozšiřoval až ve 20. století díky autorům jako Ashhurst, Chaput nebo Destot (Ashhurst APC., 1922; Destot E., 1911; Chaput VAH., 1907).

První podrobný popis MZ doprovázený Rtg snímkem publikoval Tanton v r. 1916 (Tanton J., 1916).

Bonin se v monografii z r. 1950 zabýval MZ velmi podrobně a hodnotil ji jako stabilní poranění, u kterého dochází k ruptuře lig. tibiofibulare anterius, ale mediální struktury zůstávají

intaktní (Bonnin JG., 1950). O 30 let později publikoval naopak Ammann rozsáhlou studii čítající 37 operovaných případů (Ammann E., 1981).

V anglické literatuře je považována za prioritní studie Pankoviche z r. 1976 (Pankovich AM., 1976). Na základě 17 případů totiž popsal celkem pět fází vzniku MZ (**Obr. 2**):

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



Obr. 2 Rtg hlezna a proximální části bérce vpravo, MZ fáze 5, převzato z: *Pankovich AM., 1976.*

V české literatuře se Maisonneuveově zlomenině detailněji věnovala pouze studie Kolmana z r. 1999 (Kolman J., 1999).

2.2. Diagnostika a klasifikace poranění v rámci MZ

Základním předpokladem úspěšné diagnostiky Maisonneuveovy zlomeniny je především u každého poranění hlezna na tuto entitu pomýšlet.

Klinické vyšetření každého hlezna by mělo vždy obsahovat palpaci celé délky fibuly, kompresi fibuly proti tibií (“tibiofibular squeeze“ test) a vyšetření stability proximálního tibiofibulárního skloubení.

Radiologické vyšetření je však pro diagnostiku MZ důležitější. Základní vyšetření se skládá z Rtg hlezna ve třech projekcích (předožadní, projekci na vidlici a bočné) a Rtg bérce ve dvou projekcích (předožadní, bočná) (**Obr. 3**). Obě projekce bérce jsou důležité, protože až čtvrtina zlomenin proximální fibuly v předožadní projekci není viditelná (Bartoníček J., 2019).

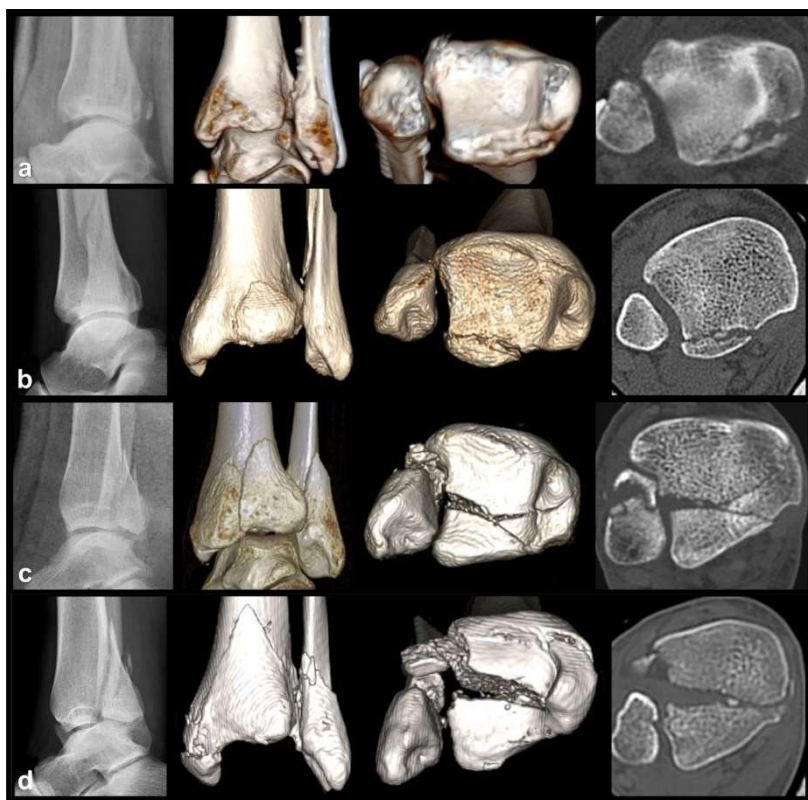


Obr. 3 Rtg hlezna ve třech projekcích (předožadní, projekci na vidlici a bočné) a Rtg bérce ve dvou projekcích (předožadní, bočná).

Rtg bérce doplňujeme i při negativním klinickém nálezů a nejasném nálezů na Rtg hlezna (izolovaná zlomenina vnitřního kotníku, izolovaná zlomenina zadní hrany tibie, rozšíření syndesmózy nebo rozšíření tzv. “medial clear space”).

U každé MZ na našem pracovišti indikujeme CT hlezna, neboť jen toto zobrazení umožní přesnou představu o morfologii jednotlivých lézí a jejich dislokacích.

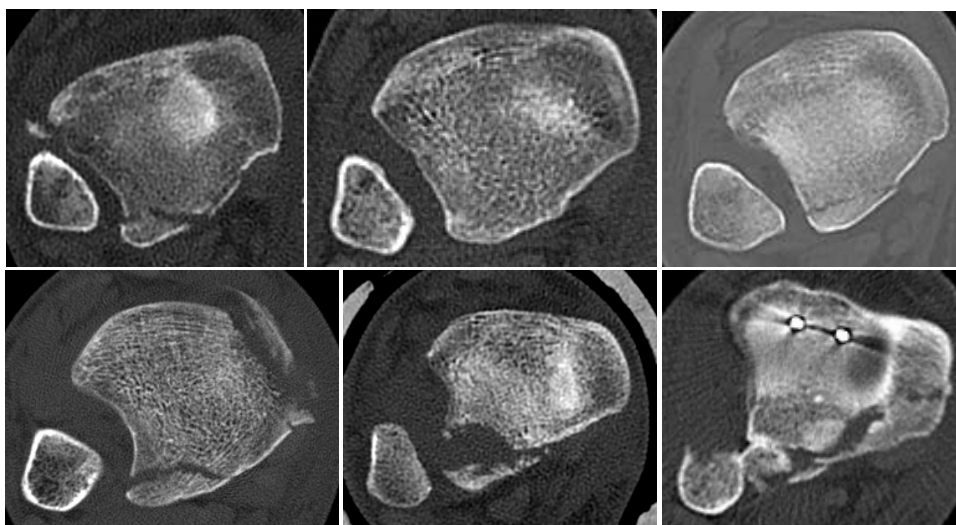
Zlomeniny zadní hrany tibie doprovází 75 % případů MZ. Jsou sice detekovatelné na Rtg, ale jen CT umožní získat potřebné informace o morfologii, velikosti a dislokaci fragmentu/ů zadní hrany (Rammelt S., 2018) (**Obr. 4**). Důležitá je i detekce interfragmentů zadní hrany, které mohou být dislokovány do lomné linie, volně do kloubu nebo do oblasti incisury.



Obr. 4 Bartoníčkova-Rammeltova klasifikace zlomenin zadní hrany tibie. **a** - typ 1 (extrainsurální), **b** - typ 2 (posterolaterální), **c** - typ 3 (dvou-fragmentová zlomenina s mediální extenzí), **d** - typ 4 (velký triangulární). U všech typů patrné interfragmenty v lomné linii. Převzato z: Bartoníček J., 2015.

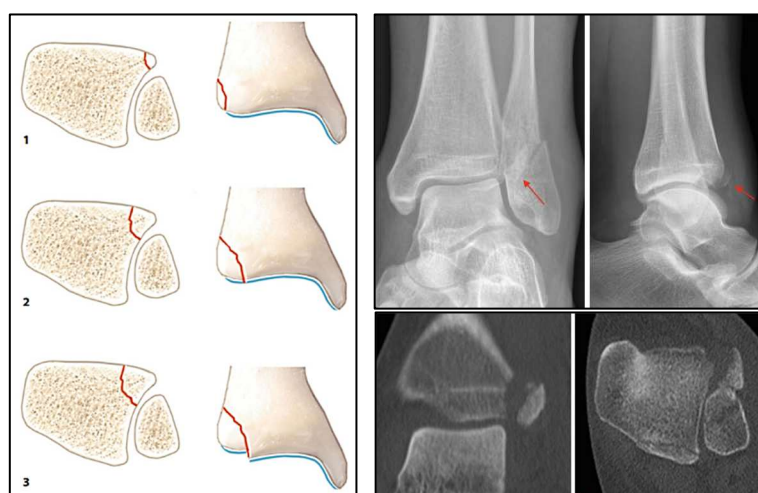
Postavení distální fibuly v incisura fibularis tibiae je velmi variabilní a znalost této dislokace je důležitým faktorem pro plánování léčby, především směru a velikosti otevřené repozice. Postavení nejlépe zhodnotíme na axiálním řezu 3-5 mm nad úrovní kloubní plochy hlezna (Bartoníček J., 2015). Dislokace fibuly může být minimální (do 2 mm posunu nebo do 15° rotace). Častěji je však patrná dislokace ad latus, rotační posun, předozadní translace

nebo kombinace více směrů. V případech tzv. Bosworthovy léze může být fibula z incisury luxována dorzálně (**Obr. 5**).



Obr. 5 Variabilita postavení distální fibuly v incisura fibularis tibiae.

Zlomenina Tillaux-Chaputova hrbolku je kostním ekvivalentem ruptury lig. tibiofibulare anterius (Rammelt S., 2021). Na Rtg snímku můžeme detekovat pouze velké a dislokované fragmenty. Přesnou představu o typu a posunu poskytne CT vyšetření (**Obr. 4d, 6**).



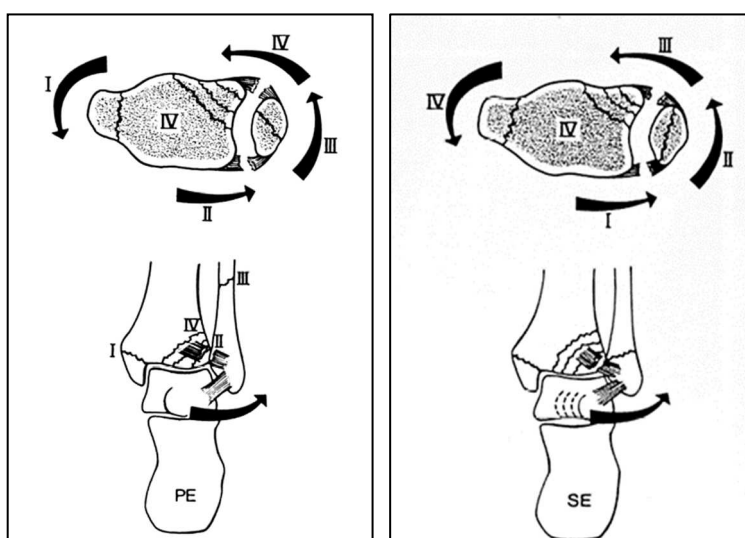
Obr. 6 Klasifikace zlomenin Tillaux-Chaputova hrbolku. **1** - extraincisurální avulze, **2** - zlomeniny zasahující do incisury a laterální části kloubní plochy tibie, **3** - zlomeniny s impakcí laterální části kloubní plochy tibie. Rtg a CT zobrazení hlezna pacienta se zlomeninou typu 3 (červené šipky). Převzato z: Rammelt S., 2021.

2.3. Mechanismus vzniku Maisonneuveovy zlomeniny

Velkou variabilitu poranění v rámci MZ lze vysvětlit i různými mechanismy jejího vzniku. Původní Pankovichovy fáze byly zpochybněny a recentní studie uznávají dva mechanismy založené na Lauge-Hansenově klasifikace zlomenin hlezna (Lauge-Hansen N., 1950; Babis GC., 2000; Sproule JA., 2004). V obou případech vzniká zlomenina zevně rotačním násilím, poloha nohy může být v pronaci anebo supinaci (**Tab. 1, Obr. 7**).

Stadium	Pronačně-everzní mechanismus	Supinačně-everzní mechanismus
I.	zlomenina mediálního malleolu / ruptura deltového vazu	ruptura LTFA a LTFI + distální část membrana interossea
II.	ruptura LTFA a LTFI + distální část membrana interossea	<i>spirální zlomenina proximální fibuly</i>
III.	<i>spirální zlomenina proximální fibuly</i>	ruptura lig. tibio-fibulare posterius / zlomenina zadního malleolu
IV.	ruptura lig. tibio-fibulare posterius / zlomenina zadního malleolu	zlomenina mediálního malleolu / ruptura deltového vazu

Tab. 1 Mechanismy vzniku MZ podle Lauge-Hansenovy klasifikace zlomenin hlezna. LTFA - lig. tibiofibulare anterius, LTFI - lig. tibiofibulare interosseum.



Obr. 7 Schéma fází MZ podle Lauge-Hansenovy klasifikace zlomenin hlezna. PE - pronačně-everzní, SE - supinačně-everzní. Upraveno podle: *Browner BD., 1998.*

Většina zlomenin vzniká pronačně-everzním mechanismem. Ten však není schopen objasnit případy, kdy mediální struktury zůstaly intaktní. To lze vysvětlit pouze působením supinačně-everzního mechanismu.

Nedořešeným problémem zůstává vysvětlení doprovodného poranění fibulárních vazů u části pacientů. Jednou z teorií je dvojitý mechanismu poranění. V první fázi dochází supinací a addukcí k poranění fibulárních vazů a následně přechází addukční násilí na zevně rotační s typickou sekvencí poranění.

Podobně by bylo možné vysvětlit i mechanismus tzv. dvojitě MZ nebo dalších atypických forem MZ.

2.4. Principy léčby

Většina autorů považuje Maisonneuveovu zlomeninu za nestabilní poranění, které je nutné operovat. Nejvíce studií se proto věnovalo technice zavádění syndesmálních šroubů nebo jejich alternativ (Heim U., 1983; Pang EQ., 2019; Tornetta P., 2019; Wu K., 2018).

Ošetření jednotlivých lézí v rámci MZ je však stejné nebo velmi podobné jako u ostatních typů zlomenin hlezna (Rammelt S., 2020).

Vzhledem k zaměření práce se budeme zabývat jen vztahem mezi pathoanomií zlomeniny a způsobem léčby. Vycházíme z toho, že vysoká variabilita MZ vyžaduje sestavení individuálního plánu pro každého pacienta. Vždy je nutné uvážit které léze a v jakém pořadí budeme ošetřovat.

Neméně důležité je zhodnocení našeho výsledku časnou CT kontrolou, neboť Rtg zobrazení hlezna ani bérce neposkytuje jistou představu o výsledku repozic a umístění osteosyntetického materiálu. Kontrolní CT na naší klinice provádíme u všech pacientů první pooperační den, abychom na případnou malpozici mohli co nejdříve zareagovat.

Konzervativní léčba

V současné době je konzervativní léčba u MZ indikována pouze u nedislokovaných stabilních zlomenin s intaktními mediálními strukturami (Bartoníček J., 2020; He JQ., 2020).

Merrill publikoval soubor 8 pacientů (6 léčených krátkým sádrovým obvazem a 2 léčených dlouhým sádrovým obvazem). Kontrola v průměru 2 roky po úrazu prokázala výborný výsledek u 6 pacientů, a dobrý u 2 pacientů (Merrill KD., 1993). Dietrich a kol. léčili konzervativně úspěšně 2 pacienty, přestože u nich došlo i k odlomení zadní hrany tibie (Dietrich G., 2022).

Dle našich zkušeností je možné konzervativně léčit přibližně 10 % pacientů s MZ, u nichž není na úrazovém CT vyšetření patrná dislokace v hlezenním kloubu větší než 2 mm a malrotace fibuly nepřesahuje 15°. Příkládáme podkolenní sádrový obvaz na 6 týdnů s částečnou zátěží po 4 týdnech. Funkční i radiologické výsledky jsou výborné (*publikace je v přípravě*).

Operační léčba

V minulosti byla standardním ošetření zavřená repozice a perkutánní stabilizace tibiofibulární syndesmózy jedním či dvěma syndesmálními šrouby bez revize její přední části. Mediální struktury byly ošetřovány až v následné fázi a zlomeniny zadní hrany tibie byly ignorovány anebo ošetřeny předozadně zavedeným šroubem (**Obr. 8**). Kontrolní CT však u tohoto přístupu prokázalo až 50 % malpozic (Boszczyk A., 2019; Pelton K., 2010; Gardner MJ., 2006).

V současné době je jednoznačně preferována otevřená repozice fibuly do incisury, ale především identifikace všech lézí na základě CT vyšetření. Operační technika je následně plánována podle přítomných kostních a vazivových lézí. U otevřených technik respektujících pathoanatomii zlomenin je počet malpozic do 10 % (Bartoníček J., 2022; McGoldrick NP., 2016; Tornetta P., 2019).



Obr. 8 Špatný výsledek zavřené repozice a stabilizace MZ, kontrolní CT bylo provedeno až s odstupem 6 měsíců pro špatný funkční výsledek. Patrné je neošetření zlomeniny zadní hrany tibie a artrotické změny.

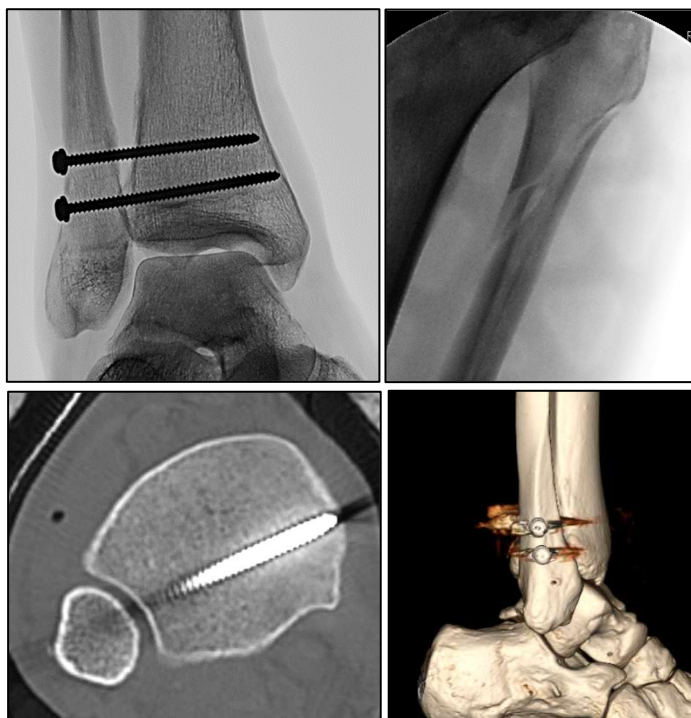
Zlomenina proximální fibuly: Typickou dislokací zlomeniny proximální fibuly je zevní rotace, zkrácení fibuly dosahuje maximálně 2 mm a je způsobeno laterálním posunem a valgózním sklonem kladky talu.

Zlomenina proximální fibuly u MZ není indikována k osteosyntéze z řady důvodů. Jako hlavní je udáváno riziko poranění n. peroneus communis (Babis GC., 2000; Kirschner P., 1999; Sproule JA., 2004).

Malpozice fibuly v incisura fibularis tibiae: Anatomická repozice fibuly do incisury je hlavní součástí léčby MZ a jedním z nejdůležitějších prediktorů funkčního i radiologického výsledku.

Zlatým standardem je stále dvojice syndesmálních šroubů. Pro jejich správnou pozici je nutná otevřená anatomická repozice fibuly i talu dle směru dislokace (nejčastěji vnitřní derotace a komprese) a zvládnutá technika jejich zavedení z anterolaterálního i z posterolaterálního přístupu (Rammelt S., 2020; Bartoníček J., 2022).

Stabilizace syndesmózy může být první fází operace anebo následuje po osteosyntéze bimaleolární zlomeniny vnitřního kotníku, zadní hrany tibie nebo Chaputova hrbolku (**Obr. 9**).



Obr. 9 Výborný výsledek otevřené repozice a stabilizace MZ podle peroperačních Rtg (správné postavení hlezeného kloubu i syndesmálních šroubů, správné postavení zlomeniny proximální fibuly) i kontrolního CT (správný směr i místo zavedení syndesmálních šroubů).

Poranění mediálních struktur: Dislokované zlomeniny předního nebo obou kolikulů jsou jednoznačně indikovány k osteosyntéze.

Bikolikulární fragment nese kompletní tibiální úpon deltového vazy a je přes talus a fibulární vazy propojen přímo s fibulou. To znamená, že při jeho repozici je zlepšeno i postavení talu a distální fibuly. Proto by ošetření této zlomeniny mělo být první fází operace.

Zlomeniny předního kolikulu nesou pouze úpon přední (subtalární) části deltového vazy. Jejich repozice postavení talu neovlivní, a proto by ošetření této zlomeniny mělo být prováděno až na konci operace.

U lézí deltového vazy není jasné doporučení pro jeho revizi a suturu, pokud netvoří interpozitum, které by bránilo anatomické repozici fibuly do tibiální incisury. Někteří autoři doporučují revizi vazy při trvajícím pozitivě valgózního stress testu po stabilizaci fibuly, jiní

vnímají suturu vazů jako zlepšení podmínek pro zhojení vazů syndesmózy (Slullitel G., 2021; Wiegerinck JJI., 2021).

Zlomeniny zadní hrany tibie: Podle velikosti postižení kloubního povrchu tibie a incisury přispívá repozice a fixace fragmentu zadní hrany k obnovení tibio-talární kongruence a stability, ale také napomáhá kongruenci a stabilitě fibulární incisury (Baumbach SF., 2019; Miller AN., 2010; Rammelt S., 2020). Proto jsou k osteosyntéze indikovány všechny velké triangulární fragmenty (Bartoníček-Rammelt typ 4) a dislokované posterolaterální fragmenty s jejich eventuální posteromediální extenzí (Bartoníček-Rammelt typ 2 a 3).

Jasná hranice velikosti a dislokace fragmentu není do současnosti u MZ stanovena. Vzhledem k stabilizující funkci fragmentu zadního malleolu by jeho ošetření mělo být první fází operace anebo následovat osteosyntézu bikolikulární zlomeniny vnitřního kotníku (Bartoníček J., 2022).

Ruptura nebo avulze lig. tibiofibulare anterius: Toto poranění je součástí všech MZ, přesto není v současnosti jednoznačné doporučení k sutuře tohoto vazů. Pokud dojde k odtržení většího fragmentu přední hrany tibie (Tillaux-Chaputův hrbolek) je doporučena jeho repozice a osteosyntéza pro zlepšení kongruence a stability tibiotalárně i ve fibulární incisuře (Rammelt S., 2021).

Podle velikosti a kvality fragmentu provádíme jeho osteosyntézu před nebo po stabilizaci syndesmózy.

3. Cíle práce

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

Experimentální část byla založena na studiu kostěných preparátů z tzv. Pachnerovy sbírky (Pachner P., 1938).

Klinická část vychází ze souboru čítajícího 130 pacientů s různými typy Maisonneuveovy zlomeniny, které prospektivně sbíráme od roku 2012.

Anatomická část

Cílem bylo popsat výskyt a tvar a prokázat klinický význam crista malleoli lateralis, která se nachází na laterální straně distální fibuly a kterou předchází anatomické i klinické práce opomíjely.

Tato problematika je zpracována v publikaci 7.1

Klinická část

Cílem byl přesný popis pathoanatomie jednotlivých lézí v rámci „klasické“ i méně častých forem Maisonneuveovy zlomeniny na základě CT vyšetření a peroperačních nálezů.

Dále jsme chtěli vytvořit standardizovaný radiodiagnostický protokol, včetně pooperačního sledování.

Tato problematika je zpracována v publikacích 7.2-4

4. Základní materiál a metodika

Anatomická studie crista malleoli lateralis

V anatomické 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). Měření ve studii bylo prováděno posuvným a tyčovým měřidlem s přesností měření jedna setina milimetru pro posuvné měřidlo a jeden milimetr u měřidla tyčového.

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.

Na každé fibule jsme sledovali výskyt crista malleoli lateralis (CML) a její tvar na zevní ploše laterálního malleolu. Následně jsme měřili tyto parametry:

- délku fibuly: vzdálenost mezi apexem hlavice a nejdálším bodem laterálního malleolu,
- celkovou délku CML: vzdálenost od jejího odstupu z crista anterior k apexu laterálního malleolu,
- délku průběhu CML ve střední části fibuly nad kloubní fasetou,
- výšku trojúhelníkové drsnatiny na mediální straně distální fibuly mezi odstupem interoseální membrány a horním okrajem kloubní plochy.

Klinické studie „klasické“ a „dvojité“ Maisonneuveovy zlomeniny

Klinické studie zpracovaly soubor 54 pacientů s „klasickou“ Maisonneuveovou zlomeninou a 11 pacientů s tzv. „dvojitou“ Maisonneuveovou zlomeninou. Soubor „klasické“ Maisonneuveovy zlomeniny byl následně rozšířen na 70 pacientů a výsledky publikovány v domácím neimpaktovaném časopise (*pro přehlednost jsou dále uvedena jen data pilotní studie*).

Do studie „klasické“ Maisonneuveovy zlomeniny byly zahrnuti dospělí pacienti léčení na Klinice ortopedie 1. LF UK a ÚVN Praha v letech 2012-2018. MZ byla definována jako luxační zlomenina hlezna obsahující zlomeninu proximální čtvrtiny fibuly.

Exkludujícími kritérii byly artróza, předchozí poranění nebo intervence hlezna a nezralost skeletu. Ze souboru byly vyloučeni také pacienti s etážovou zlomeninou fibuly.

U všech pacientů byl zhotoven Rtg hlezna ve 3 projekcích (předožadní, bočná a projekce na vidlici) a Rtg celého bérce ve 2 projekcích (předožadní a bočná). CT vyšetření hlezna bylo zhotoveno u 43 pacientů, u 34 z nich byly zhotoveny také 3D rekonstrukce.

Hodnotili jsme následující parametry:

- věk pacientů a jejich distribuce v dekadách,
- anatomie zlomeniny fibuly,
- poranění mediálních struktur (lig. deltoideum, malleolus medialis),
- přítomnost a morfologie zlomenin zadní hrany tibie,
- poranění tibio-fibulární syndesmózy, včetně zlomeniny Tillaux-Chaputova hrbolku,
- postavení fibuly v tibiální incisurě v době úrazu,
- přidružená poranění v oblasti hlezna.

Ve studii „**dvojité**“ **Maisonneuveovy zlomeniny** bylo zpracováno 11 pacientů s luxační kombinovanou zlomeninou laterálního malleolu a subkapitální zlomeniny fibuly, které byly ošetřeny na naší klinice v letech 2012-2020. Soubor tvořilo 5 mužů a 6 žen průměrného věku 57 let.

U všech pacientů bylo zhotoveno Rtg hlezna ve 3 projekcích, Rtg celého bérce a úrazové CT vyšetření včetně 3D CT rekonstrukcí hlezna. Operačně léčeni byli všichni pacienti.

Na základě Rtg snímků, CT a peroperačních nálezů jsme hodnotili následující parametry:

- anatomii zlomenin fibuly proximálně a distálně,
- rozsah poranění mediálních struktur (lig. deltoideum, malleolus medialis),
- zlomeninu zadního malleolu,
- poranění tibiofibulární syndesmózy včetně Tillaux-Chaputova hrboleu.

5. Základní výsledky

Anatomická studie crista malleoli lateralis

Anatomie crista malleoli lateralis: Studovaná hrana byla pozorována u všech vzorků jako konstantně se vyskytující struktura bez sklonu k variabilitám. Ve své proximální třetině se stáčí obloukovitě dorzálně a poté sestupuje distálně ve střední části zevní plochy laterálního malleolu až k jeho apexu.

V proximálních dvou třetinách průběhu je prominence hrany výraznější, v distální třetině (především pod úrovní horního okraje artikulační plochy) je hrana plošší.

Metrika: Měřili jsme níže uvedené parametry.

Průměrná délka fibuly byla v celém souboru 346,5 mm, u mužů činila 362,6 mm a u žen 327,1 mm. T-test pro srovnání délky fibuly mezi muži a ženami byl 0,00. Stranové srovnání u mužů mělo hodnotu 0,31 u mužů a 1,00 u žen.

Průměrná délka CML činila v celém souboru 85,4 mm, u mužů 89,1 mm a u žen 81,1 mm. T-test pro srovnání délky CML mezi muži a ženami byl 0,00. Stranové srovnání u mužů mělo hodnotu 0,31 u mužů a 0,64 u žen.

Průměrná délka průběhu CML ve střední části fibuly nad kloubní fasetou činila v celém souboru 25,9 mm, u mužů 25,6 mm a u žen 26,1 mm. T-test pro srovnání délky průběhu CML ve střední části fibuly nad kloubní fasetou mezi muži a ženami byl 0,76. Stranové srovnání u mužů mělo hodnotu 0,22 u mužů a 0,01 u žen.

Průměrná výška trojúhelníkové drsnatiny na mediální straně distální fibuly činila v celém souboru 34,9 mm, u mužů 36,0 mm a u žen 33,6 mm. T-test pro srovnání výšky trojúhelníkové drsnatiny na mediální straně distální fibuly mezi muži a ženami byl 0,00. Stranové srovnání mělo hodnotu 0,69 u mužů a 0,92 u žen.

Studie „klasické“ Maisonneuveovy zlomeniny

Epidemiologie: Studie zahrnovala 33 mužů s průměrným věkem 46,5 let (rozmezí 19–78) a 21 žen průměrného věku 50,9 let (rozmezí 26–75). Průměrný věk celého souboru byl 48,2 roku. Většina pacientů byla v páté a šesté dekádě. Ve věkové kategorii do 50 let dominovali muži (21:8), nad 50 let byl poměr mužů a žen byl téměř vyrovnaný (12:13).

Pravá strana byla postižena ve 36 a levá strana v 18 případech.

Zlomenina proximální fibuly: Subkapitální zlomenina byla nalezena v 50 případech (jednoduchá spirální linie u 42 pacientů, kominutivní zlomenina u 3 pacientů a nedislokovaná fisura v 5 případech). Hlavička fibuly byla rozlomena u zbývajících 4 pacientů. Ve 14 případech (25 %) nebyla zlomenina fibuly patrná na předozadním snímku bérce, ale pouze v bočné projekci.

Poranění mediálních struktur: Poranění deltového vazy bylo zaznamenáno ve 27 případech (50 %). U 20 pacientů (37 %) byla nalezena zlomenina mediálního kotníku. Ve zbývajících 7 případech (13 %) byly mediální struktury hodnoceny jako intaktní.

Zlomeniny mediálního malleolu byly dále děleny na zlomeninu předního kolikulu (2 případy), na zlomeninu zasahující do interkolikulárního žlábků (5 případů) a na bikolikulární zlomeninu (13 případů).

Zlomenina zadní hrany tibie: Zlomeninu zadní hrany tibie jsme našli u 43 pacientů (80 %). Morfologie zlomeniny byla dle CT zobrazení určována podle klasifikace Bartoníčka a Rammelta. Typ 1 (extrainsurální) byl zjištěn v 5 případech, typ 2 (posterolaterální) v 18 případech, typ 3 (dvou-fragmentová zlomenina s mediální extenzí) v 11 případech a typ 4 (velký triangulární) ve 3 případech.

Postavení distální fibuly v incisura fibularis tibiae: Postavení distální fibuly v incisuře jsme hodnotili na základě CT vyšetření u 43 pacientů.

V 9 případech byl prostor mezi fibulou a incisurou rozšířen pouze minimálně (do 2 mm v centru incisury), v 11 případech bylo rozšíření větší než 2 mm a ve 20 případech bylo rozšíření spojeno se zevní rotací fibuly. Ve 2 případech Bosworthovy zlomeniny došlo k dorzální luxaci distální fibuly z incisura fibularis tibiae. V 1 případě vznikla kompletní diastáza tibio-fibulární vidlice s vklíněním talu mezi obě kosti.

Poranění tibio-fibulární syndesmózy: Poranění vazivových struktur syndesmózy bylo hodnoceno u všech 54 pacientů.

Na základě CT zobrazení bylo patrné rozšíření tibio-fibulární distance nebo zevně-rotáčnÍ úchylka fibuly v 33 případech. U 2 pacientů byla zjištěna dorzální luxace fibuly.

Zlomenina zadní hrany tibie typu 2-4 byla zobrazena ve 43 případech a avulze Chaputova hrbolku u 9 pacientů.

Přidružená poranění: Přidružená poranění byla identifikována ve 3 případech. Jednalo se o jeden případ osteochondrální zlomeniny laterální části kladky talu, jeden případ osteochondrální zlomeniny posteromediální části kladky talu a jeden případ kompresivní zlomeniny laterální části kloubní plochy tibie v oblasti incisura fibularis tibiae.

Studie „dvojité“ Maisonneuveovy zlomeniny

Zlomenina fibuly: Proximálně byla v 9 případech nalezena subkapitátní šikmá spirální zlomenina zasahující metadiafyzárně. Ve 2 případech byla zaznamenána vysoká, krátce šikmá zlomenina zasahující do hlavičky fibuly.

V 9 případech byla zlomenina výrazněji dislokovaná, ve 2 případech minimálně, resp. se jednalo o fisuru.

Distální zlomenina fibuly byla v 1 případě hodnocena jako typ Weber B a v 10 případech jako typ Weber C. Z toho se v 7 případech se jednalo o nízký typ zlomeniny, ve 2 případech

byla hlavní lomná linie 6-8 cm nad kloubní štěrbinou a v 1 případě byla zjištěna kominutivní zlomenina distální fibuly.

Poranění mediálních struktur: Poranění mediálních struktur bylo diagnostikováno na Rtg a CT vyšetření u všech 11 pacientů a následně potvrzeno i peroperačním nálezem.

Poranění deltového vazy (medial clear space větší než 4 mm) jsme na Rtg zaznamenali v 6 případech, u kterých byl peroperačně pozitivní zevně rotační test. U zbývajících 5 pacientů byla nalezena bikolikulární zlomenina mediálního malleolu.

Zlomeniny zadní hrany tibie: Zlomenina zadní hrany tibie se vyskytla u všech 11 pacientů. Podle CT klasifikace Bartoníčka-Rammelta se v 8 případech jednalo o typ 1 (extrainsurální) a ve 3 případech o typ 2 (posterolaterální).

Poranění tibiofibulární syndesmózy a Tillaux-Chaputova hrbolku: Na Rtg jsme našli rozšíření „tibio-fibular clear space“ větší než 5 mm v 9 případech. Rozšíření menší než 5 mm jsme našli u jednoho pacienta s distální zlomeninou Weber B a u jednoho pacienta s minimálně dislokovanou nízkou zlomeninou Weber C.

Avulzi Chaputova hrbolku jsme našli ve 4 případech, a u všech byla současně zjištěna zevní rotace distální fibuly. U zbývajících 7 pacientů jsme zevně rotační postavení distální fibuly zaznamenali 4krát. Ve 2 případech, kdy CT bylo prováděno až po stabilizaci hlezna zevní fixací nebo Kirschnerovými dráty, byla zjištěna přední translace fibuly. V 1 případě byla dislokace minimální.

Poranění lig. tibiofibulare interosseum jsme potvrdili u 7 pacientů na základě hákového testu v průběhu operace. Ve 2 případech (u pacienta se zlomeninou fibuly Weber B a u pacienta s nízkou zlomeninou Weber C) byl vaz intaktní.

Za avulzní poranění lig. tibiofibulare posterius jsme považovali 2 případy s CT verifikovanou zlomeninou zadní hrany tibie typu 2, u kterých byl při operační revizi nalezen intaktní vaz na fragmentu zadní hrany. V ostatních případech nebyl vaz během operace revidován.

6. Diskuze

Anatomická studie crista malleoli lateralis

Tato studie se podrobně zabývá anatomií crista malleoli lateralis (CML). Hodnotili jsme párové fibuly; věk a pohlaví dárců byly známy u všech našich exemplářů. Rozdíly v naměřených hodnotách mezi muži a ženami jsou většinou statisticky významné. Naproti tomu stranové rozdíly byly statisticky nevýznamné.

Anatomii CML stručně zmínilo v literatuře jen několik autorů. Testut uvádí: „*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.*“ (Testut L., 1889)

V Hovelacqueově učebnici je hrana pouze zobrazena a obě plošky, které na zevní straně vytváří, jsou pojmenovány jako “*versant antérieur triangulaire*” and “*versant posterior*” (Hovelacque A., 1933). Rouviere naopak použil v textu termín “*crête oblique*” (crest oblique), ale struktura nebyla zobrazena na obrázku (Rouviere H., 1943). V Toldtově atlasu a v Lanz-Wachsmuthově učebnici je hrana velmi věrně zobrazena, ale bez jakéhokoli popisu (Toldt K., 1928; von Lanz T., Wachsmuth W., 1938).

Frazer zmiňuje v popisu k obrázku pouze obě plošky, přední nazývá “*subcutaneous surface*” a zadní “*peroneal surface*” (Frazer JES., 1946). Gray’s Anatomy uvádí: “*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.*” (Johnston TB., 1958). Avšak poslední vydání Gray’s Anatomy CML zcela opomíjí (Standring S., 2021).

Heim nazval CML “*Lateraler Sporn*” (“*Lateral calcar*”) a upozornil na nutnost modelace dlahy při osteosyntéze zlomeniny laterálního malleolu (Heim U., 1972).

Kelikian byl jediný, kdo popsal CML velmi podrobně: “*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 surface: anteroinferior and posterosuperior... and this must be taken into consideration during application of a plate... subcutaneous surface.*” (Kelikian AS., 2011).

Ve Whitově monografii je CML opakovaně zobrazena, ale bez jakékoli specifikace. Autor stručně popisuje pouze “*triangular subcutaneous area*” (White TD., 2012).

Z přehledu je patrné, že všichni autoři se shodují v zobrazení a popisu hrany. Pouze několik autorů tuto hranu pojmenovalo (“*Lateral Sporn*” nebo “*crête oblique*” / “*oblique crest*”).

Z klinického pohledu však CML představuje význačný orientační bod při aplikaci syndesmálních šroubů (SŠ) nebo dlahy a v neposlední řadě pro hodnocení postavení distální fibuly v *incisura fibularis tibiae*.

Optimální úroveň pro zavedení syndesmálních šroub(ů) je 1,5-3,5 cm nad kloubní štěrbinou, protože v tomto intervalu směřuje vrták proti konkavitě incisury a nemůže sklouznout po konvexní interoseální hraně (Bartoníček J., 2003; Fojtík P., 2020; Heim U., 1972). Důležité je, aby syndesmální šroub procházel středem fibuly a středem *incisura fibularis tibiae*. Pokud je SŠ zaveden z “*triangular area*“, není jeho průběh ani fixace ve fibule optimální.

Naše výsledky prokázaly, že ideální místo pro zavedení SŠ je do 2,5 cm proximálně od linie hlezenního kloubu. Pokud je šroub umístěn proximálněji, leží vstupní bod 1 až 2 mm dorzálně od CML.

Při přikládání dlahy na zevní kotník je nutno s CML počítat a modelovat dlahu tak, aby procházela středem distální fibuly, nikoli dominantně pokrývala *area triangularis*. V případě asymetrické polohy dlahy vzhledem k CML nelze přes ni zavést syndesmální šroub v optimální trajektorii. V tomto kontextu je nutné poznamenat, že na posterolaterální povrch

fibuly naléhají peroneální šlachy a jejich fascie se upíná do CML. Proto musí být pro správné umístění dlahy tato fascie odpojena.

Crista malleoli lateralis je podstatná pro přesné posouzení pozice fibuly ve fibulární incisuře na axiálním CT (Rammelt S., 2018). Optimální úroveň řezu je 4-5 mm proximálně k linii hlezenního kloubu (Bartoníček J., 2019). Při anatomické centraci koresponduje anterolaterální plocha fibuly (triangular area) s přední plochou distální tibie a posterolaterální ploška distální fibuly (peroneal area) se zadní plochou distální tibie.

Studie „klasické“ Maisonneuveovy zlomeniny

Maisonneuveova zlomenina je běžnou a známou variantou luxačních zlomenin hlezna. Přesto se jen málo studií detailně věnovalo pathoanatomii této entity. Jen tři studie zahrnovaly více než 20 pacientů a žádná nebyla založena na CT vyšetření (Ammann E., 1981; Kirschner P., 1999; Babis GC., 2000). Proto jsme podrobně analyzovali náš soubor 54 pacientů s kompletním CT zobrazením a peroperačními nálezy.

Podle našich znalostí se jedná o největší dosud publikovaný soubor, který analyzuje podrobně pozici fibuly v incisuře, typologii zlomenin proximální fibuly i pathoanatomii zlomenin zadního a mediálního malleolu.

Někteří autoři zjistili nižší průměrný věk pacientů s MZ ve srovnání s ostatními luxačními zlomeninami hlezna. Náš průměrný věk 48 let je ve srovnání s ostatními studii nejvyšší, a navíc se shoduje s průměrným věkem naší předchozí studie která zpracovala 1 325 zlomenin hlezna (Bartoníček J., 2008).

Základním znakem MZ je spirální subkapitální zlomenina fibuly nebo zlomenina její hlavičky, které jsou následkem rotačního poranění hlezna. Někteří autoři k MZ řadí i zlomeniny fibuly ve střední části, což je dle našeho názoru jiný typ zlomeniny (Pelton K., 2010; Pérez RL., 2009).

Popisy poranění mediálních struktur se v literatuře liší. V našem souboru byly mediální struktury intaktní v 7 případech, což je podobný podíl jako v ostatních studiích (Hirschmann MT., 2008; Charopoulos I., 2010). Naznačuje to, že MZ může být způsobena nejen pronačně-everzním mechanismem, ale také supinačně-everzním mechanismem.

Zlomeniny předního kolikulu, případně zlomeniny zasahující do interkolikulárního žlábků se často vyskytují se ve formě tzv. osteoligamentózního poranění, neboť jsou spojeny s částečnou nebo úplnou rupturou hluboké porce deltového vazů.

Morris et al. ve své MR studii popsali rupturu povrchové části deltového vazů u všech 5 analyzovaných případů, úplnou rupturu hluboké části vazů ve 3 případech a částečnou rupturu hluboké porce v 1 případě. V jednom případě zůstala hluboká porce deltového vazů intaktní (Morris JR., 1996). To v souhrnu znamená, že mediální struktury mohou být poraněny kompletně (bikolikulární zlomenina, kompletní léze deltového vazů nebo zlomenina předního kolikulu s kompletní lézí hluboké porce deltového vazů) nebo částečně (izolovaná ruptura povrchové části deltového vazů nebo izolovaná zlomenina předního kolikulu).

Zlomeniny zadní hrany tibie jsme našli u 80 % pacientů. Podle Bartoníčkovy-Rammeltovy klasifikace se nejčastěji jednalo o typy 2 a 3. Zlomeniny zadní hrany byly zmíněny i dalšími autory, incidence je rovněž podobná.

Ověření poranění jednotlivých vazů tibiofibulární syndesmózy vyžaduje komplexní pohled. Rupturu předního tibiofibulárního ligamenta nebo ekvivalentní avulzi Tillaux-Chaputova hrbolku jsme našli u všech pacientů. Yoshimura et al. artroskopicky ověřili poškození LTFA ve všech 4 zkoumaných případech (Yoshimura I., 2008). Jak Morris, tak Manyi našli prasknutí LTFA ve všech jejich případech a vždy v kombinaci s lézí interoseálního tibiofibulárního ligamenta (Morris JR., 1996; Manyi W., 2000).

Mezikostní membrána je podle klasického chápání pathoanatomie MZ roztržena vždy a až na úroveň fibulární zlomeniny. Ve studii využívající MR Manyi zjistil, že MZ byla spojena

s rupturou membrány u všech 12 pacientů, ale pouze u její distální třetiny, tzn. ne více než 112 mm nad úrovní hlezenního kloubu (Manyi W., 2000). Morris pomocí MR detekoval rupturu mezikostní membrány u čtyř z pěti vyšetřených pacientů (Morris JR., 1996).

Lézi zadního tibiofibulárního ligamenta (LTFP) popsal Morris ve 3 případech jako kompletní, v jednom případě jako parciální a v jednom případě bylo ligamentum intaktní (Morris JR., 1996). V artroskopické studii Yoshimura a kol. hodnotili všechna LTFP jako intaktní (Yoshimura I., 2008).

Posuzovat korektně pozici distální fibuly v tibiální incisurě je obtížné. Nám se osvědčily CT axiální řezy 4-5 mm nad úrovní kloubní štěrbiny hlezna. V této úrovni je incisura fibularis nejhlubší a tibia s fibulou jsou v těsném kontaktu a přední a zadní kontury obou kostí na sebe plynule navazují (Bartoníček J., 2019). Dislokace distální fibuly je na CT velmi variabilní, od minimálního rozšíření nebo zevní rotace fibuly až po dorzální dislokaci fibuly z incisury – typický znak Bosworthovy zlomeniny.

Přidružené osteochondrální léze kladky talu byly popsány na základě artroskopického vyšetření Yoshimurou, a ve všech čtyřech případech lokalizovány posteromediálně (Yoshimura I., 2008). V naší studii byla posteromediální osteochondrální zlomenina talu viditelná pouze na MR a ne na CT. Náš případ osteochondrální zlomeniny laterální části kladky talu a kompresivní zlomenina laterální části kloubní plochy tibie v oblasti incisura fibularis tibiae nebyly dříve dle našich znalostí popsány. Oba případy ukazují na pronační mechanismus.

Pathomechanismus MZ byl diskutován několika autory (Weber BG., 1966). Podle Lauge-Hansena a dalších autorů se MZ vytvoří ve III. stadiu pronačně-everzní zlomeniny, to však nevysvětluje případy s intaktními mediálními strukturami. Proto musí být část případů vytvořena ve II. stadiu supinačně-everzní zlomeniny, což koresponduje i se sekvencemi popsanými Pankovichem (Lauge-Hansen N., 1950; Pankovich AM., 1976). Supinačně-everzní mechanismus také vysvětluje poranění předního fibulotalárního

a kalkaneofibulárního vazů, které bylo popsáno Morrisem et al. (Morris JR., 1996). Tito autoři zjistili poranění předního fibulotalárního vazů u všech 5 pacientů, poranění kalkaneofibulárního vazů u 3 pacientů a poranění zadního fibulotalárního vazů u 1 pacienta.

Naše studie prokázala důležitost CT vyšetření pro kompletní diagnostiku rozsahu poranění v rámci MZ. Zlomeniny Tillaux-Chaputova hrbolku není možné na Rtg snímcích spolehlivě detekovat, také zlomeniny zadní hrany tibiae nelze podle Rtg snímků dostatečně posoudit. Důležité je CT i pro odhalení přidružených poranění.

Vážnost vazivových poranění by bylo nejlepší hodnotit na základě zátěžových snímků hlezna a MR vyšetření, ale obtížné je obě vyšetření správně a časně provést. Měly by být však provedeny v případech které nejsou zřejmé dle CT vyšetření.

Studie „dvojité“ Maisonneuveovy zlomeniny

Zpracovali jsme soubor 11 pacientů s etážovou zlomeninou fibuly („dvojité“ Maisonneuveovy zlomeniny). Tato forma MZ byla do té doby zpracována pouze ve 4 kazuistikách.

Slawski a West v r. 1995 jako první popsali dvojitou zlomeninu fibuly u 46leté ženy. Obě zlomeniny fibuly byly diagnostikovány již při prvním vyšetření. Distální zlomenina byla klasifikována jako typ Weber B. Dále bylo zjištěno poranění deltového vazů, zlomenina zadního malleolu a nestabilita tibiofibulární syndesmózy (Slawski DP., 1995).

Hensel a Hapstrite zaznamenali luxační zlomeninu levého hlezna u 29letého muže, kterou si způsobil při ultimate frisbee. Na Rtg byly patrné jednoduché transverzální zlomeniny mediálního a laterálního malleolu a kominutivní zlomenina proximální části diafýzy fibuly, cca 8 cm pod hlavičkou fibuly (Hensel KS., 2002).

Colenbrander et al. diagnostikovali dvojitou zlomeninu fibuly u 56leté ženy po uklouznutí na schodech. Primárně byla na Rtg hlezna nalezena zlomenina distální fibuly typ Weber C s rozšířením „medial clear space“ svědčícím pro lézi deltového vazů. Po provedení

osteosyntézy distální fibuly však přetrvávaly bolesti v oblasti horního konce fibuly. Kontrolní Rtg snímek bérce týden po operaci odhalil subkapitální zlomeninu fibuly. Následné CT hlezna prokázalo téměř anatomické postavení v hlezenním kloubu (Colenbrander RJ., 2005).

Wolfram et al. popsali trimalleolární zlomeninu u 63leté pacientky kterou si způsobila při pádu na schodech. Diagnostikována byla zlomenina fibuly typu Weber B, zlomenina mediálního malleolu a zlomenina zadního malleolu. Pro přetrvávající dyskomfort po provedené osteosyntéze bylo třetí den po operaci doplněno Rtg kolena a zjištěna subkapitální zlomenina fibuly (Wolfram D., 2007).

Z těchto kazuistik je patrné, že v polovině případů byla subkapitální zlomenina fibuly přehlédnuta. To je častý problém i u „jednoduché“ MZ (Bartoníček J., 2019). V našich 11 případech byly obě zlomeniny fibuly diagnostikovány již při prvním ošetření, neboť vždy bylo kromě vyšetření hlezna provedeno i palpační vyšetření celé fibuly a na jeho základě doplněno Rtg vyšetření bérce. Klinické vyšetření bérce by mělo být standardní součástí vyšetření u všech zlomenin hlezna. Bohužel je však na řadě pracovišť opomíjeno.

Přínos CT vyšetření u zlomenin hlezna, zejména u trimalleolárních zlomenin a u zlomenin fibuly typu Weber C s instabilitou syndesmózy, je v posledních letech opakovaně zdůrazňován (Rammelt S., 2018). U našich 11 pacientů s dvojitou MZ nám CT umožnilo jednoznačně klasifikovat zlomeniny zadní hrany tibie, identifikovat avulze Tillaux-Chaputova hrbolu, které nebyly patrné na Rtg snímcích a verifikovat postavení fibuly v incisurě.

Zlomenina typu Weber C byla nalezena v 12 z 15 publikovaných případů, tedy v 80 %. V našich i literárních případech byly bikolikulární zlomeniny a ruptury lig. deltoideum zastoupeny vždy shodně v 50 %. V našem souboru ani v literatuře nebyla zaznamenána kombinovaná osteoligamentózní léze. Zlomeninu zadního malleolu jsme v našem souboru zaznamenali u všech pacientů, v literatuře byla popsána jen ve 2 ze 4 případů na bočním

Rtg snímku hlezna (Slawski DP., 1995; Wolfram D., 2007). Zlomenina Tillaux-Chaputova hrbolku u dvojité MZ nebyla v literatuře popsána.

Náš soubor „dvojité“ MZ je příliš malý na srovnání se souborem „jednoduché“ MZ publikovaný Bartoníčkem a spol. (Bartoníček J., 2019). Nicméně nápadná je skutečnost, že jsme nezaznamenali žádnou zlomeninu zadní hrany typu 3 nebo 4 podle klasifikace Bartoníčka a Rammelta (Bartoníček J., 2015). V našem souboru „dvojité“ MZ však dominovaly zlomeniny zadního malleolu typu 1. Naopak v souboru „klasické“ MZ převažovaly zlomeniny typu 2 a 3.

Přesný mechanismus vzniku dvouúrovňové zlomeniny fibuly nelze z 15 případů spolehlivě objasnit. Nicméně je z následujících důvodů pravděpodobné zevně-rotáčnící násilí: zlomeniny typu Weber C, které jsou pro tento mechanismus typické, tvořily 80 % případů a zlomenina zadní hrany tibie typu 1 nebo 2, která odpovídá avulzi zadní syndesmózy, byla v našem souboru zaznamenána u 100 % pacientů. Zůstává nejasné, zda fibula praskne nejprve v proximální nebo distální části. Podle Hensela et al. je dvojitá MZ způsobena vysokoenergetickým traumatem (Hensel KS., 2002). Nicméně všechny případy dosud uváděné byly způsobeny nízkoenergetickým traumatem.

Lze jen spekulovat, jak je možné, že jsme sestavili soubor 11 pacientů s tímto typem zlomeniny, když byly v dostupné literatuře prezentovány jen 4 kazuistiky. Pravděpodobně bude část proximálních lézí přehlédnuta, protože není proximální část fibuly vyšetřována v případech zjištěné zlomeniny v její distální části.

7. Publikace se vztahem k tématu práce

ORIGINAL ARTICLE



Lateral malleolar crest and its clinical importance

Petr Fojtík^{1,2} · Štěpán Kašper² · Jan Bartoníček^{1,2} · Michal Tuček² · Ondřej Naňka¹

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 ± 26 mm (95% confidence interval [CI] 344–349), (LMC) was 85.4 ± 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 ± 6.5 mm (95% CI 24.8–26.8) in the whole group, (B) was 34.9 ± 4.7 mm (95% CI 34.3–35.5) in the whole group, 36 ± 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

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

² 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

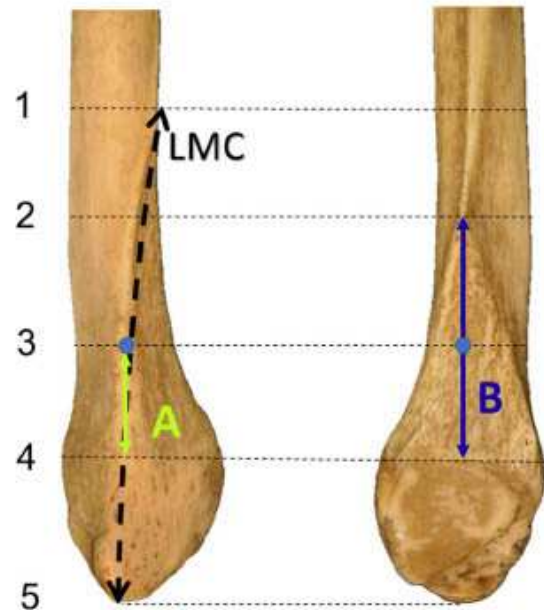


Fig. 1 Measured parameters. *LMC* lateral malleolar crest, **A** length of the part of LMC from the superior border of the articular facet of the lateral malleolus to its most proximal intersection with the midline of the fibula (3–4), **B** height of the medial triangular surface (2–4), total length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

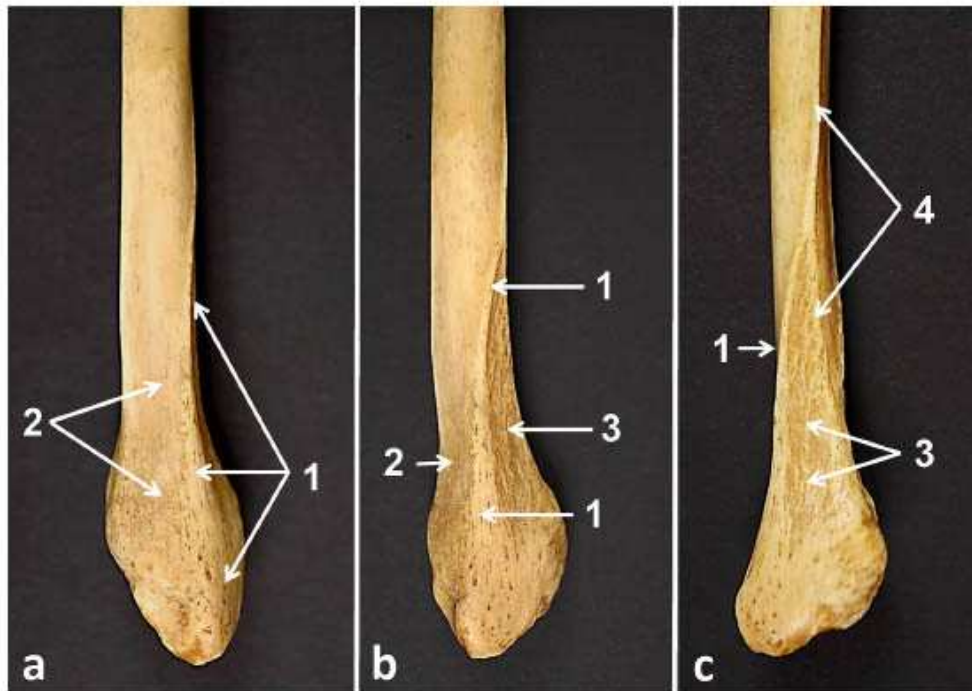


Fig. 2 Anatomy of the lateral surface of the right distal fibula. **a** Posterolateral view; **b** lateral view; **c** anterolateral view. 1—anterolateral (triangular subcutaneous) area, 2—lateral malleolar crest, 3—posterolateral (peroneal) area, 4—anterior border of the fibula



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 ± 26 mm (95% confidence interval [CI] 344–349) in the whole group, 362.6 ± 21.4 mm (95% CI 360–366) in men and 327.1 ± 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 ± 11.6 mm (95% CI 84.2–86.6) in the whole group, 89.1 ± 10.6 mm (95% CI 87.6–90.6) in men and 81.1 ± 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 ± 6.5 mm (95% CI 24.8–26.8) in the whole group, 25.6 ± 5.4 mm (95% CI 24.2–27) in men and 26.1 ± 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 ± 4.7 mm (95% CI 34.3–35.5) in the whole group, 36 ± 6.1 mm (95% CI 35.1–36.9) in men and 33.6 ± 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: anteroinferior and posterosuperior... 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 anteroinferior 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 cavity 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

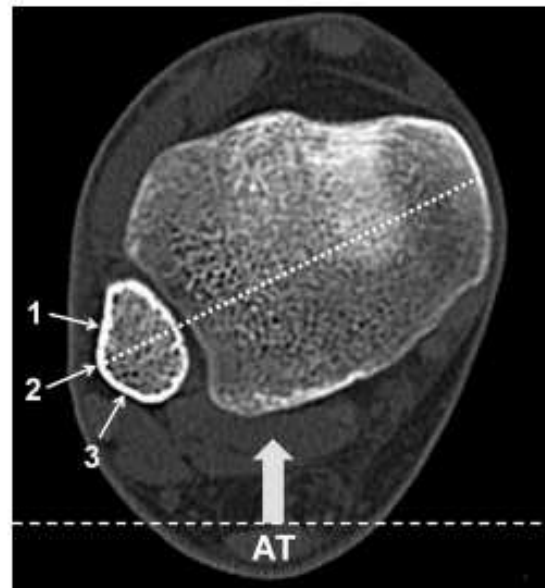


Fig. 4 Lateral malleolar crest on axial CT scan 5 mm proximal to the ankle joint line. 1—anterolateral (triangular subcutaneous) area, 2—lateral malleolar crest, 3—posterolateral (peroneal) area, AT Achilles tendon

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).

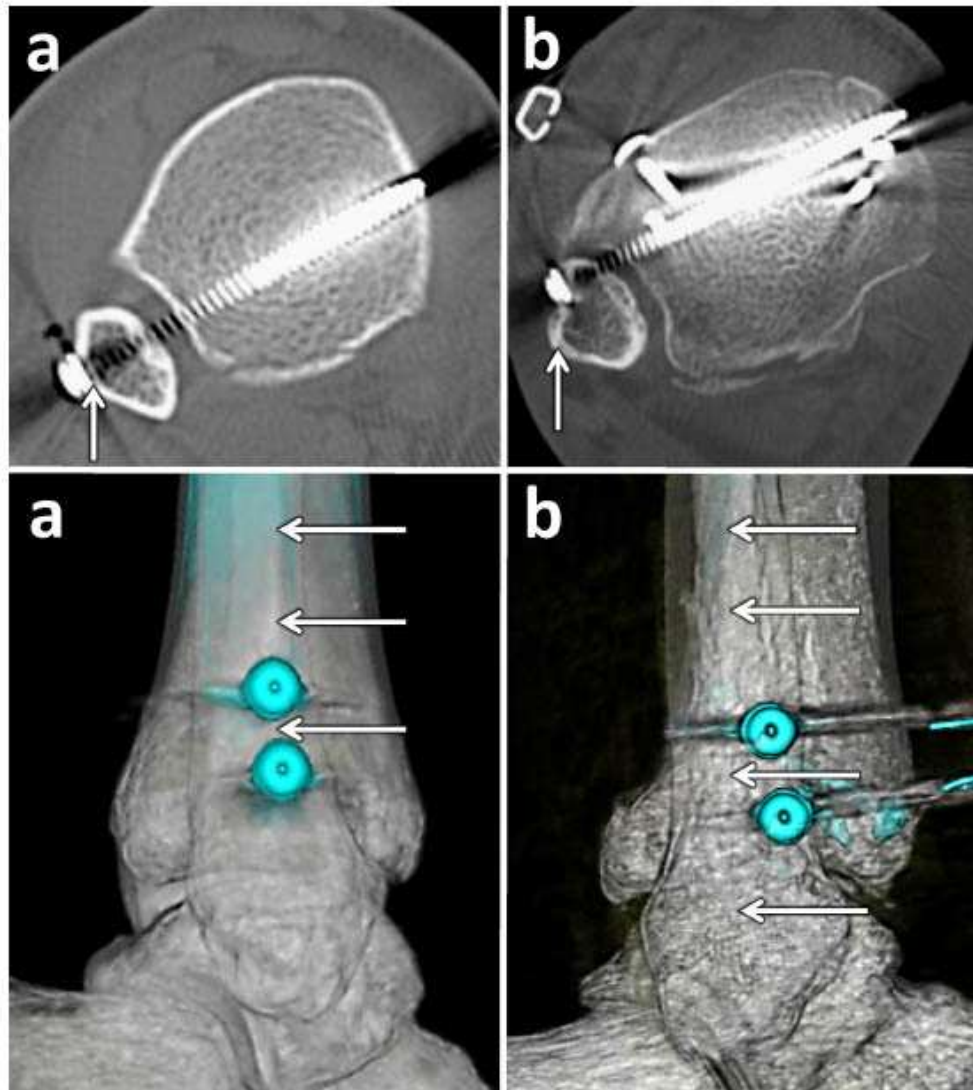


Fig. 5 Placement of syndesmotic screws on CT axial scan and 3D CT reconstruction. **a** Proper entry points on the lateral malleolar crest (LMC); **b** incorrect entry points on the anterolateral surface. White arrows—LMC

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.

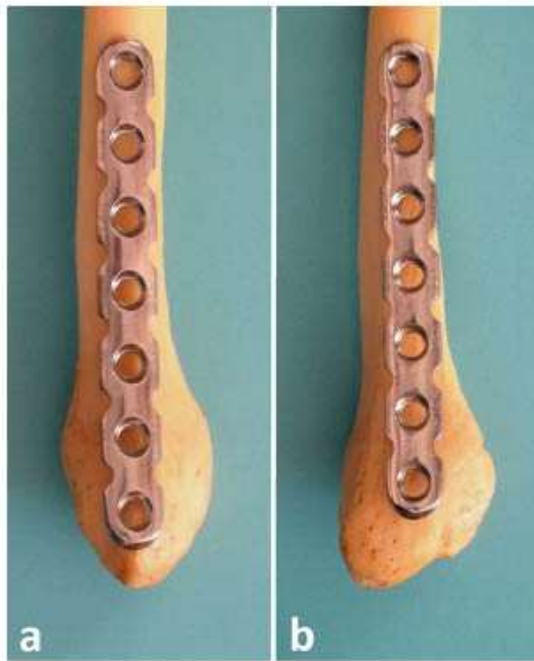


Fig. 6 Placement of a fibular plate. **a** In the midline of the lateral surface; **b** on the anterolateral area

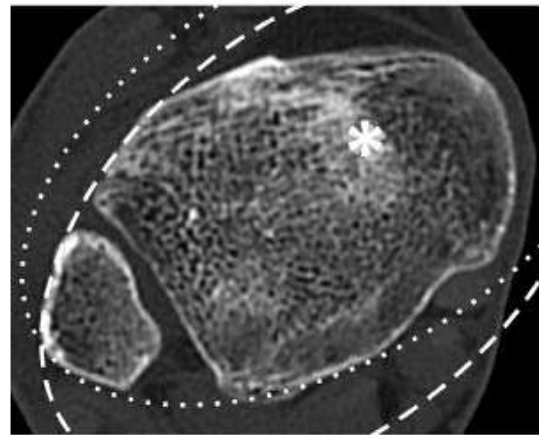


Fig. 8 Assessment of the position of the distal fibula in the fibular notch on axial CT scan 5 mm proximal to the ankle joint line. Normally, the anterolateral surface of the distal fibula corresponds with the anterior aspect of the distal tibia (dotted line), and the posterolateral surface of the distal 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

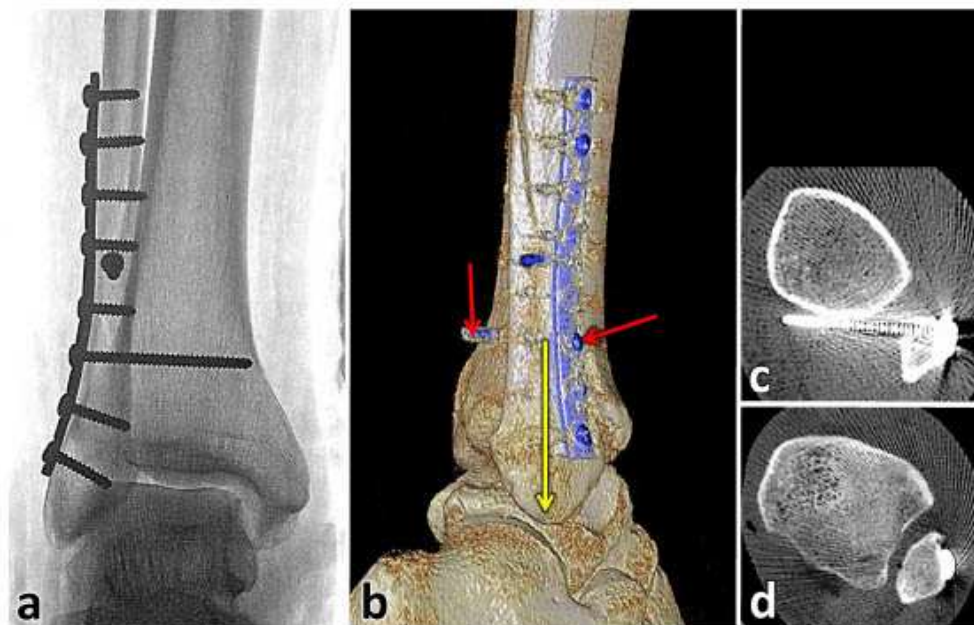


Fig. 7 Effect of anterolateral placement of a fibular plate on the trajectory of the syndesmosis screw. **a** ap radiograph; **b** 3D CT reconstruction; **c** axial CT scan at the level of the syndesmosis screw; **d**

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
- Bartončěk J (2003) Anatomy of the tibiofibular syndesmosis and its clinical relevance. *Surg Radiol Anat* 25:379–386
- Bartončěk 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, Bartončěk 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) *Sarrafián'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 pánvi [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, Bartončěk 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, Kleinertz 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, Folkeas 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.



Pathoanatomy of Maisonneuve fracture based on radiologic and CT examination

Jan Bartoníček¹ · Stefan Rammelt² · Štěpán Kašper¹ · Jozef Malík³ · Michal Tuček¹

Received: 15 August 2018
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2018

Abstract

Introduction Although Maisonneuve fracture (MF) is a well-known type of ankle fracture–dislocation, there is still a lack of information about the epidemiology and the extent of all associated injuries. The aim of study is to describe MF pathoanatomy on the basis of radiographs, CT scans and intraoperative findings.

Materials and methods The study comprised 54 adult patients. MF was defined as an ankle fracture–dislocation with a fracture of the fibula in its proximal quarter. Ankle radiographs and lower leg radiographs were obtained in all patients. Computed tomography (CT) examination was performed in 43 patients, of these in 34 patients in combination with 3D CT reconstructions. A total of 51 patients were treated operatively, and in 38 of these an open procedure was performed.

Results The fibular fracture—fibular head was involved in four cases, and the subcapital region of the proximal quarter of the fibula was affected in 50 cases. Fractures of the posterior malleolus were identified in 43 of 54 patients (80%). Injury to the deltoid ligament was recorded in 27 cases (50%), a fracture of the medial malleolus in 20 cases (37%) and medial structures were intact in 7 cases (13%). Position fibula in fibular notch—in 9 cases the position changed only minimally, in 11 cases the space between the tibia and the fibula was larger than 2 mm, in 20 cases widening of the tibiofibular space was associated with external rotation of the fibula, in 2 cases fibula was trapped behind the posterior tibial tubercle and in 1 case it was associated with a complete tibiofibular diastasis.

Conclusion MF is a variable injury, always associated with rupture of the anterior and interosseous tibiofibular ligaments. CT examination should be employed widely in MF, and MRI should be considered under special circumstances.

Keywords Ankle fracture · Maisonneuve fracture · Posterior malleolar fracture · Deltoid ligament injury

Introduction

A subcapital fracture of the fibula caused by external rotation mechanism and associated with an injury to the tibiofibular syndesmosis was described for the first time in

1840 on the basis of experiments by the French surgeon Maisonneuve [1]. The term Maisonneuve fracture (MF) was spread gradually, namely thanks to his fellow countrymen Quenu [2], Chaput [3], and Destot [4]. The first to publish a detailed description of this fracture, including radiographs, was Tanton [5], in 1916. Ashhurst [6] introduced the term Maisonneuve fracture into the English literature in 1923.

Bonin, in his study published in 1950 [7], dealt in detail with MF and considered it to be a stable injury as, in his view, it was associated only with the injury to the anterior tibiofibular ligament and the medial structures of the ankle remained intact. In the German literature this eponym appeared as late as in the 1960s [8]. Unlike Bonin [7], Weber [8] in 1966 defined MF as an unstable injury, with the interosseous membrane torn up to the fracture level. In 1976, Pankovich [9] published a study considered as a fundamental work in this field until today, although it was based on only 12 cases.

✉ Michal Tuček
tucekmic@gmail.com

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

² University Center of Orthopedics and Traumatology, University Hospital Carl Gustav Carus Dresden, Fetscherstrasse 74, 01307 Dresden, Germany

³ Department of Radiology, Military University Hospital Prague, U Vojenské Nemocnice 1200, 169 02 Prague 6, Czech Republic

Although MF is a well-known type of ankle fracture–dislocation, there is still a lack of information about the epidemiology and the extent of all associated injuries. It is surprising that only a few studies have dealt with MF in detail (Table 1), mostly in the form of case series [9–43]. The aim of this study is to describe MF pathoanatomy on the basis of radiographs, CT scans and intraoperative findings in a sizeable number of patients.

Materials and methods

Patients treated for a Maisonneuve fracture (MF) in the period from January 2012 until March 2018 were included in the study cohort. The study comprised 54 adult patients (33 men, 21 women). MF was defined as an ankle fracture–dislocation with a fracture of the fibula in its proximal quarter. Exclusion criteria were ankle osteoarthritis, previous injuries or interventions at the ankle, and skeletal immaturity. Three cases of a double fibular fracture were also excluded.

Ankle radiographs in three projections (anteroposterior, mortise and lateral views) and lower leg radiographs in two projections (anteroposterior and lateral) were obtained in all patients. Computed tomography (CT) examination was performed in 43 patients, of these in 34 patients in combination with 3D CT reconstructions. Preoperative MRI was performed in four patients to assess the syndesmotic ligaments. A total of 51 patients were treated operatively, in 38 of these an open procedure was performed.

The following parameters were evaluated on the basis of radiographic, CT and intraoperative findings:

- age of the patients and their distribution over the age decades,

- anatomy of the fibular fracture and its visibility on radiographs,
- injuries to the medial structures (deltoid ligament, medial malleolus),
- presence and morphology of any posterior malleolar fracture,
- injury to the syndesmotic ligaments, including fracture of the tubercle of Tillaux–Chaput,
- position of the fibula in the tibial incisura at the time of injury,
- associated injuries to the ankle.

In a first review, radiographs and CT scans were assessed separately by each of the authors. In cases of disagreement the images in question were discussed jointly in a second review.

Results

Epidemiology

The study cohort included 33 men with a mean age of 46.5 years (range 19–78) and 21 women with a mean age of 50.9 years (range 26–75). The mean age of the whole cohort was 48.2 years. A majority of patients were in their fifth and sixth decades (Fig. 1). The age category up to 50 years was dominated by men (21:8). In patients older than 50 years, the male–female ratio was almost equal (12:13). The right side was affected in 36 and the left side in 18 cases.

Fibular fracture

Fibular fracture anatomy was assessed in 52 cases on the basis of radiographs, and in 4 cases in combination with

Table 1 Literature overview of the pathoanatomy of Maisonneuve fractures

Author	Year	<i>N</i>	<i>OP</i>	<i>M/F</i>	Age	<i>PM</i>	<i>MS</i>
Pankovich	1976	17	7	?	17–42	15	MM 3, DL 1, IN 13
Ammann	1981	37	37	23/14	36	13	MM 13, DL 20, IN 4
Sousa	1985	12	11	?	?	?	?
Merril	1993	9	1	?	?	4	MM 1, DL 8
Kolman	1999	19		11/8	37	?	MM 9, DL 10
Kirschner	1999	32	32	25/7	?	9	MM?, D6
Manyi	2000	12	12	9/3	38	?	MM 7, D 5
Babis	2000	26	26	16/10	25	20	MM 20, D 6
Sproule	2004	14	14	12/2	36	5	MM 1, D 13
Pelton	2010	12	4	12/2	28	9	MM 9, D 3
Authors	2018	54	51	33/21	48	41	MM 20, D 27, IN 7

N number of patients, *OP* number of operated patients, *M/F* male/female, *PM* fractures of the posterior malleolus, *MS* injuries to medial structures, *MM* medial malleolus, *DL* deltoid ligament, *IN* intact, ? not mentioned

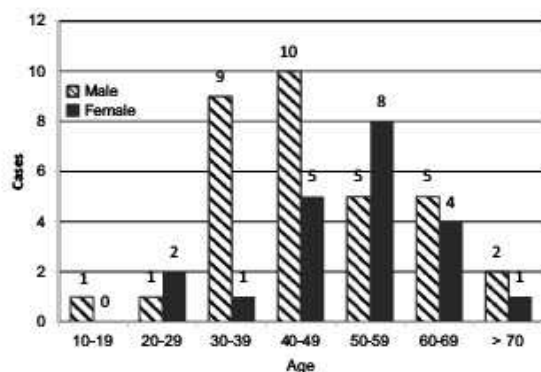


Fig. 1 Patient age distribution

3D CT reconstructions. The fibular head was involved in four cases, including two fractures and two fissures. The subcapital region of the proximal quarter of the fibula was affected in 50 cases, including 42 cases of a simple spiral fracture with varying displacement, 3 cases of a comminuted displaced fracture and 5 cases of a fissure without displacement (Fig. 2). In 14 cases (25%), the fibular fracture was not visible in the anteroposterior projection and was detected only in the lateral view.

Injuries to the medial structures

Injuries to the medial side of the ankle were assessed on the basis of radiographs in all 54 patients, CT scans in 43 patients, MRI scans in 4 patients and intraoperative findings in 51 patients. A lesion of the deltoid ligament was assumed with a medial clear space (MCS) of more than 4 mm shown on a radiograph or a CT scan. In case of an intact medial

malleolus and an MCS of less than 4 mm, a manual external rotation test was performed at the beginning of surgery. Injury to the deltoid ligament (DL) was recorded in 27 cases (50%). A fracture of the medial malleolus (MM) was present in 20 cases (37%); medial structures were intact in 7 cases (13%). Medial malleolar fractures were further classified with the use of CT scans and intraoperative findings. In only 2 cases was the anterior colliculus separated (Type I), in 5 cases the separated fragment carried the anterior colliculus and the intercollicular groove (Type II) and in 13 cases both colliculi were fractured (Type III) (Fig. 3).

Posterior malleolar fractures

Fractures of the posterior malleolus were identified with the use of radiographs in 43 of 54 patients (80%). The fragment shape was classified in 37 cases based on CT scans, according to the classification scheme developed by Bartoníček and Rammelt [44]. Type 1 (extrainscissural fracture) was recorded in 5, type 2 (posterolateral) in 18, type 3 (two-part involving the medial malleolus) in 11 and type 4 (large triangular) in 3 cases.

Position of the fibula in the fibular notch

The position of the fibula in the fibular notch of the tibia was assessed in all 43 patients who underwent CT examination with the use of axial (transverse) sections 3–4 mm above the ankle joint space. A constant finding in this area was a higher density of the subchondral cancellous bone at the distal tibia close to the medial malleolus, due to the physiological undulation of the articular surface of the distal tibia (Fig. 4).

In 9 cases the position of the fibula changed only minimally, with the tibiofibular space measured at the center



Fig. 2 Type of proximal fibular fractures. a Fracture of fibular head, b upper level of subcapital fracture, c lower level of subcapital fracture, d comminuted subcapital fracture



Fig. 3 Types of medial malleolar fractures. **a** Fracture of anterior colliculus (Type I), **b** fractures of anterior colliculus and intercollicular groove (Type II), **c** small bicollicular fragment, **d** large bicollicular fragment, **e** extra large bicollicular fragment. **c-e** Present Type III

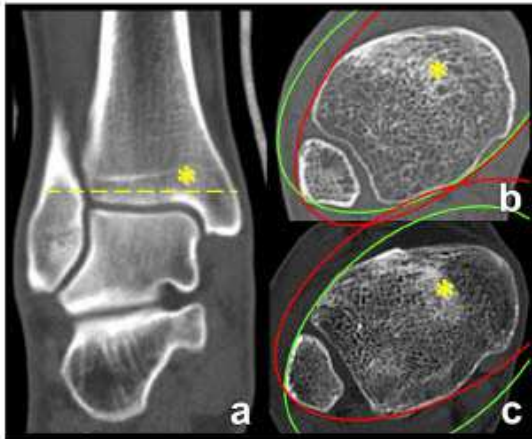


Fig. 4 Authors' method of evaluation of the position of the distal fibula within the tibial incisura (fibular notch). **a** Level of measurement, **b** concave incisura, **c** flat incisura, *area of higher density of the subchondral cancellous bone. The anterior aspect of the distal fibula must be in continuation with the anterior aspect of the distal tibia and the posterior aspect of the distal fibula must be in continuation with the posterior aspect of the distal tibia

of the incisura widened by less than 2 mm (Fig. 5a), in 11 cases the space between the tibia and the fibula was larger than 2 mm (Fig. 5b, c) and in 20 cases widening of the tibiofibular space was associated with external rotation of the fibula (Fig. 5d, e). In two cases of a Bosworth fracture–dislocation, the distal fibula was trapped behind the posterior tibial tubercle (Fig. 5f). One case was associated with a complete tibiofibular diastasis due to wedging of the talus between the distal tibia and fibula.

Syndesmotic injury

Injury to the syndesmotic ligaments was assessed in all 54 patients, based on radiographs, CT scans and intraoperative findings (visualization and hook test). On anteroposterior radiographs, rupture of the syndesmotic ligaments was indicated by a tibiofibular clear space of more than 4 mm in 30 cases (Fig. 6). On CT imaging, syndesmotic injury was documented by avulsion of the tubercle of Tillaux–Chaput in 9 cases, widening of the tibiofibular distance and external rotation of the distal fibula in 33 cases, dislocation of the distal fibula behind the posterior tubercle of distal tibia in 2 cases, and fractures of the posterior malleolus in 43 cases. Intraoperatively, rupture of the anterior tibiofibular ligament was found on direct inspection in all 38 cases of open reduction of the distal fibula.

Associated injuries

Associated injuries to the ankle joint were recorded in three cases, including one case of osteochondral fracture of the lateral part of the talar dome (Fig. 7), one case of osteochondral fracture of the posteromedial part of the talar dome and one case of compression of the lateral tibial plafond with involvement of the fibular notch of the tibia (Fig. 8).

Discussion

Maisonneuve fractures (MF) are a common variant of ankle fractures. Despite that fact, only few studies have provided a detailed analysis of the pathoanatomical features (Table 1) and, except for three [10, 19, 21], the cohorts under study were small with less than 20 cases. CT examination to identify individual lesions was used in none of them and MRI was used only in two studies, comprising 5 [17] and 12

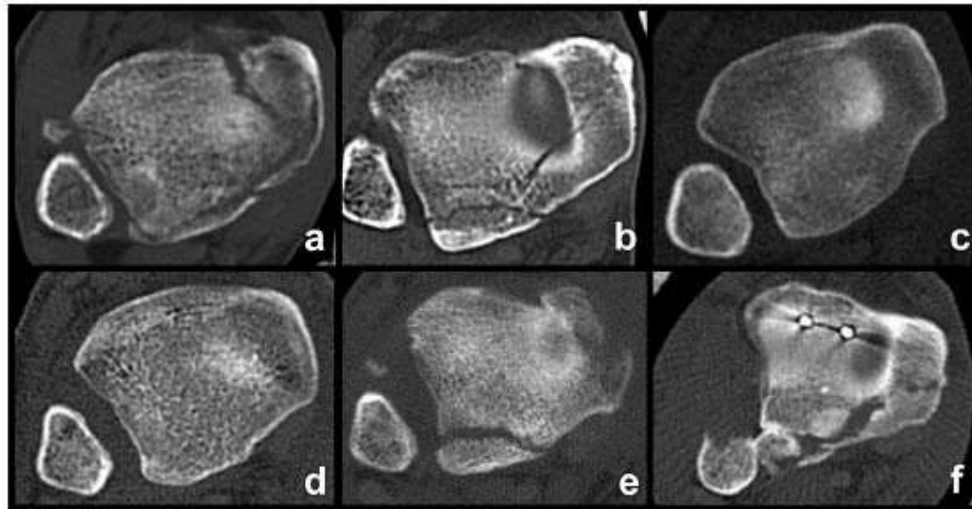


Fig. 5 Position of distal fibula within the incisura. **a, b** Minimal widening of the tibiofibular space, **c** widening of more than 2 mm, **d** widening and external rotation of the distal fibula, **e** marked external

rotation of the distal fibula, displacement of the distal fibula behind the posterior malleolus (Bosworth lesion)

Fig. 6 Relationship of the distal tibia and fibula. **a** “Normal” position, **b** widening of the tibiofibular clear space, **c** complete rupture of tibiofibular syndesmosis, **d** displacement of distal fibulae behind posterior malleolus (Bosworth lesion), **e** total tibiofibular diastasis



patients [22], respectively. We therefore analysed the pathoanatomy of Maisonneuve injuries with radiographs, CT, and intraoperative findings in 54 patients. To our knowledge, this represents the largest cohort of MF investigated so far and the first to systematically analyse the position of the distal fibula in the fibular notch, the proximal fibular fracture, and posterior and medial malleolar fracture, if present.

Some authors found a lower mean age of patients with MF, as compared to cohorts including all types of ankle fracture–dislocations (Table 1). By contrast, the mean age of 48 years of our 54 patients with MF equalled that of the group of 1325 patients with ankle fractures [45]. In a previous study, MF accounted for 3.5% (8 of 232) of all ankle fractures [46].

Fig. 7 Associated osteochondral fracture of the lateral talar dome. **a** Anteroposterior radiograph, **b** lateral radiograph, **c** axial CT scan, **d** sagittal CT scan



The basic feature of MF is a torsional subcapital fracture of the fibula, or a fracture of the fibular head, resulting from a rotational injury to the ankle. Some authors define MF as a fracture of the fibula in its middle third [33–35, 42], which is in our view a different fracture type. We did not encounter anterior dislocation of the fibular head, as has been described as an MF equivalent [24, 30, 31]. The issue of the so-called “distortion” of the tibiofibular joint has not yet been fully clarified. Pankovich [9] recorded 5 such cases without a fibular fracture in a group of 17 patients.

Very infrequently, subcapital fracture of the fibula may be associated with a fracture of the distal fibula (Weber B type or low Weber C type) [13, 23, 27, 29]. In terms of radiographic diagnosis, it should be noted that the fibular fracture was not visible in the anteroposterior view in 25% of our cases, but in lateral view, and in three cases it showed as a barely visible fissure that could easily be overlooked. Due to a combination of fractures in the distal and proximal parts of the fibula, the subcapital fracture is initially overlooked in most such cases [23, 27]. For this reason, it is always necessary to palpate the entire fibula, preferably prior to radiographic examination, and to check it for such a double lesion.

The presentation of injuries to the medial structures varies in the literature, as shown in Table 1. In our series, the medial structures were intact in seven cases, which is similar to the observations in other studies [31, 36]. This suggests that MF may be caused not only by a pronation-external rotation, but also by supination-external rotation mechanism, as discussed in detail below. Fractures of the anterior colliculus (Type I), or the anterior colliculus and intercollicular groove (Type II) of the medial malleolus (MM), may occur in the form of a combined osseoligamentous injury, associated with a partial, or complete, lesion of the deep (tibiotalar) portion of the deltoid ligament (DL). In a study employing MRI on acute MF, Morris et al. [17] detected rupture of the superficial part of the DL in all five analysed cases, complete rupture of the deep portion in three cases and partial deep rupture in one case. In one case, the deep portion of the DL remained intact. In summary, injuries to the medial structures may be complete, as in a bicollicular MM fracture, complete rupture of DL, fracture of the anterior colliculus with complete rupture of the deep portion of the DL; or partial, as in rupture of superficial part of DL, or fracture of the anterior colliculus of the MM.

Fractures of the posterior malleolus (PM) were present in 80% of the cases. CT classification was performed in 37

fibula. By contrast, complete dislocation of the distal fibula posteriorly is a typical feature of a Bosworth fracture–dislocation [16, 50, 51].

Associated osteochondral lesions of the talar dome have been described, based on arthroscopic examination by Yoshimura [30], located posteromedially in all four cases. In our study, posteromedial osteochondral fracture of the talus was visible only on MRI and not on CT scans. Both the osteochondral fracture of the lateral part of the talar dome and compression of the subchondral bone in the lateral tibial plafond are novel findings that to the best of our knowledge have not been reported before in association with MF. Both findings point to a pronation mechanism. Arthroscopy is a valuable diagnostic tool for any syndesmotic injury including MF with associated chondral or osteochondral lesions. The amount of syndesmotic stability can be visualized with high sensitivity and specificity [30, 52, 53].

The pathomechanism of MF has been discussed by several authors [1–3, 8]. According to Lauge Hansen [50] and other authors, MF occurs in stage III of pronation-external rotation injuries. Stage I represents injury to the medial structures (medial malleolus or DL), stage II rupture of the ATFL and interosseous membrane, and stage III rupture of the PTFL or fracture of the posterior malleolus. This mechanism, however, does not explain cases with the medial structures left intact.

In contrast, Pankovich [9] describes the following five stages:

1. Rupture of the anterior tibiofibular ligament or avulsion fracture of one of its bone insertions, either one being associated with rupture of the interosseous ligament.
2. Fracture of the posterior tubercle or rupture of the posterior tibiofibular ligament.
3. Rupture of the anteromedial joint capsule or avulsion fracture of one of its bone insertions.
4. Fracture of the proximal part of the fibulae.
5. Rupture of the deltoid ligament or fracture of the medial malleolus.

This sequence corresponds to the supination-external rotation mechanism as proposed by Lauge–Hansen [50] and would explain cases of MF with the medial structures intact because they occur last in the sequence of injuries. The importance of the anteromedial part of the joint capsule remains unclear, both in terms of the sequence of injuries and its importance for stabilization, as it has no mechanical strength. It has probably been confused with the anterior portion of the DL which spreads from the anterior colliculus into the spring ligament and the navicular bone (tibionavicular part of DL).

A supination-external rotation mechanism would also explain injury to the anterior talofibular and calcaneofibular

ligaments as described by Morris et al. [17]. These authors found, in all five patients with MF whom they examined, injury to the anterior talofibular ligament, injury to the calcaneofibular ligament in three patients and injury to the posterior talofibular ligament in one patient.

Our study has shown the importance of CT examination for diagnosing the full extent of bony injuries in MF, particularly fractures of the Tillaux–Chaput tubercle, as none of those could be delineated clearly on plain radiographs. The same applies for fractures of the posterior malleolus that cannot be assessed reliably with plain radiographs with respect to size, fibular notch involvement and intercalary fragments [44, 54]. The ligamentous injury pattern is best assessed with the help of stress examination and MRI [52]. These allow assessment of the DL, the syndesmotic ligaments, including the interosseous membrane, and the fibular ligaments. MRI may also reveal occult lesions such as compression of the distal tibia in the fibular notch and osteochondral fracture of talus, as in this present series. With the present knowledge, we advocate the use of MRI in cases with an unclear mechanism of injury or when the latter does not match observed fracture pattern. It is further useful when accompanying injuries to the cartilage or tendons are suspected [52, 53].

Summary

The present study and literature review confirm that MF is a variable and often-complicated injury. It is always associated with rupture of the anterior and interosseous tibiofibular ligaments. The interosseous membrane is also almost always torn, but only in its distal third and not necessarily up to the level of the fibular fracture. The posterior tibiofibular ligament is not necessarily injured, but a fracture of the posterior malleolus occurs in 80% of cases. The incidence and extent of injury to the medial structures is highly variable. It may be absent, partial or complete, and display combinations of bony and ligamentous injuries. MF may be associated with injury to the lateral collateral ankle ligaments, osteochondral fracture of the talus or partial impression of the lateral tibial pilon. Because the amount of anterior and posterior bony avulsions cannot be determined reliably on plain radiographs, CT examination should be employed widely in MF, and MRI should be considered under special circumstances. The pattern of injury found in a substantial number of patients suggests that MF may be caused and not only by pronation-external rotation mechanism, but also by a supination-external rotation mechanism.

Acknowledgements This study was approved by the Institutional Ethics Committee. The authors wish to thank Prof. Chris Colton, MD,

FRCS and Ludmila Bébarová for their assistance in the preparation of the manuscript.

Funding This study was funded by grant of AZV-CR (Czech Agency for the Medical Research) Agentura pro zdravotnický výzkum České republiky 16-28458A: Trimalleolar ankle fractures - CT diagnostics of fractures of posterior tibial rim, their CT classification and operative treatment.

Compliance with ethical standards

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

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

References

- Maisonneuve JG (1840) Recherches sur la fracture du peroné. *Arch Gen Med* 7:165–187, 433–473
- Quenu E (1906) Fracture de Maisonneuve (fracture dite par diastase). *Bull Soc Chir (Paris)* 32:943–945
- Chaput VAH (1907) Les fractures malléolaires du cou-de-pied et les accidents du travail. Masson, Paris
- Destot E (1911) Traumatisme du Pied et Rayons X. Masson, Paris
- Tanton J (1916) Fractures en Général: Fractures des Membres Inférieurs. JB Bailliere, Paris
- Ashhurst APC, Bromer RS (1922) Classification and mechanism of fractures of the leg bones involving the ankle. *Arch Surg* 4:51–129
- Bonnia JG (1950) Injuries to the ankle. Heinemann, London
- Weber BG (1966) Die Verletzungen des oberen Sprunggelenkes. Huber, Bern
- Pankovich AM (1976) Maisonneuve fracture of the fibula. *J Bone Joint Surg* 58-A:337–342
- Amman E (1981) Die Maisonneuve-Fraktur Resultate von 37 behandelten Fällen in der Jahren 1971–1981. Inauguraldissertation. Universität Basel
- Heim U (1983) Malleolarfrakturen Unfallheilkunde 86:248–258
- de Souza LJ, Gustilo RB, Meyer TJ (1985) Results of operative treatment of displaced external rotation-abduction fractures of the ankle. *J Bone Joint Surg* 67-A:1066–1074
- Merrill KD (1993) The Maisonneuve fracture of the fibula. *Clin Orthop Rel Res* 287:218–223
- Slawski DP, West C (1995) Maisonneuve fracture with an associated distal fibular fracture. *Clin Orthop Rel Res* 317:193–198
- Duchesneau S, Fallat LM (1995) The Maisonneuve fracture. *J Foot Ankle Surg* 34:422–428
- Chan D, Jones D (1995) Irreducible syndesmosis due to an entrapped posterior fragment. *Injury* 26:569–572
- Morris JR, Lee J, Thordarson D, Terk M, Brustein M (1996) Magnetic resonance imaging of acute Maisonneuve fractures. *Foot Ankle Int* 17:259–263
- Obeid EMH, Amr M, Hirst P, Paul AS (1998) Percutaneous fixation of Maisonneuve and Maisonneuve-type fractures: a minimally invasive approach. *Injury* 29:619–622
- Kirschner P, Brünner M (1999) Die operation der Maisonneuve-Fraktur. *Oper Orthop Traumatol* 11:11–18
- Kolman J (1999) Maisonneuve fracture. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* 66:41–45
- Babis GC, Papagelopoulos PJ, Tsarouchas J, Zoubos AB, Korres DS, Nikiforidis P (2000) Operative treatment for Maisonneuve fracture of the proximal fibula. *Orthopedics* 23:687–690
- Manyi W, Guowei R, Shengsong Y, Chunyan J (2000) A sample of Chinese literature MRI diagnosis of interosseous membrane injury in Maisonneuve fractures of the fibula. *Injury* 31(Suppl 3):C107–C110
- Hensel KS, Harpstrite JK (2002) Maisonneuve fracture associated with a bimalleolar ankle fracture-dislocation: a case report. *J Orthop Trauma* 16:525–528
- Sproule JA, Khalid M, O'Sullivan M, McCabe JP (2004) Outcome after surgery for Maisonneuve fracture of the fibula. *Injury* 35:791–798
- Kumar G, Sankar B, Anand S, Murali SR (2004) Superior tibiofibular joint disruption-as a variant of Maisonneuve injury. *Foot Ankle Surg* 10:41–43
- Smith MG, Ferguson E, Kurdy NM (2005) Persistent diastasis in a Maisonneuve fracture -interposition of a tibial osteochondral fragment: a case report. *J Foot Ankle Surg* 44:225–227
- Colenbrander RJ, Struijs PAA, Ultee JM (2005) Bimalleolar ankle fracture with proximal fibular fracture. *Arch Orthop Trauma Surg* 125:571–574
- Levy BA, Vogt KJ, Herrera DA, Cole PA (2006) Maisonneuve fracture equivalent with proximal tibiofibular dislocation. *J Bone Joint Surg* 86-A:1111–1116
- Wolfram D, Lottersberger C, Blauth M, Piza-Katzer H (2007) Mögliche Nervenverletzungen bei Sprunggelenkluxationsverletzungen trimalleoläre Fraktur mit Beteiligung der proximalen Fibula. *Unfallchirurg* 110:70–74
- Yoshimura I, Naito M, Kanazawa K, Takeyama A, Ida T (2008) Arthroscopic findings in Maisonneuve fractures. *J Orthop Sci* 13:3–6
- Hirschmann M, Mauch Ch, Mueller C, Mueller W, Friederich NF (2008) Lateral ankle fracture with missed proximal tibiofibular joint instability (Maisonneuve injury). *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 16:952–956
- Madhusudhan TR, Dhana SRM, Smith IC (2008) Report of the case of a rare pattern of Maisonneuve fracture. *J Foot Ankle Surgery* 47:160–162
- Imade SI, Takao M, Miyamoto W, Hishi H, Uchio Y (2009) Leg anterior compartment syndrome following ankle arthroscopy after Maisonneuve fracture. *Arthroscopy* 25:215–218
- Pérez RL, Costa IG (2009) Atypical pattern of Maisonneuve's fracture-dislocation. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 19:291–295
- Pelton K, Thordarson DB, Barnwell J (2010) Open versus closed treatment of the fibulae in Maisonneuve injuries. *Foot Ankle Int* 31:604–608
- Charopoulos I, Kokoroghiannis C, Kragiannis S, Lyritis GP, Papaioannou N (2010) Maisonneuve fracture without deltoid ligament disruption: A rare pattern of injury. *J Foot Ankle Surg* 49:86e11–86e17
- Kalyani BS, Roberts CS, Giannoudis PV (2010) The Maisonneuve injury: a comprehensive review. *Orthopedics* 33:190–197
- Stufkens SA, van den Bekèrom MPJ, Doornberg JN, van Dijk CN, Kloen P (2011) Evidence-based treatment of Maisonneuve fractures. *J Foot Ankle Surg* 50:62–67
- Dienstknecht T, Horst K, Pape H-Ch (2012) A 72-year-old patient with bilateral Maisonneuve fractures. *Clin Pract* 2:e72 (180–181)
- Hings R, Tran WH, Lorch DG (2014) Maisonneuve-Hyperplantarflexion variant ankle fracture. *Orthopedics* 37:E140–E144
- Downey MW, Fleming JJ, Elgamil B, Quinn C (2015) Syndesmosis injury with concomitant deltoid disruption in trimalleolar equivalent ankle fracture: a case. *Ann Sports Med Res* 2:1049 (1–7)

42. van Wessem KJP, Leenen LPH (2016) A rare type of ankle fracture: syndesmotic rupture combined with a high fibular fracture without medical injury. *Injury* 47:755–766
43. Bissuel T, Gaillard F, Dagneaux L, Canovas F (2017) Maisonneuve equivalent injury with proximal tibiofibular joint dislocation: case report and literature review. *J Foot Ankle Surg* 56:404–407
44. Bartončěk J, Rammelt S, Kostlivý K, Vanžček V, Klika D, Trešl I (2015) Anatomy and classification of the posterior tibial fragment in ankle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 135:506–516
45. Bartončěk J, Džupa V, Frič V, Pacovský V, Skála-Rosenbaum J, Svatoš F (2008) Epidemiology and economic implications of fractures of proximal femur, proximal humerus, distal radius and fracture-dislocation of ankle. *Rozhl Chir* 87:213–219
46. Jehlička D, Bartončěk J, Svatoš F, Dobiáš J (2002) Fracture-dislocations of the ankle in adults. Part I: Epidemiological evaluation of one-year group of patients. *Acta Chir Orthop Traumatol Čech* 69:243–247
47. Lauge-Hansen N (1950) Fractures of the ankle II. Combined experimental-surgical and experimental-roentgenologic investigations. *Arch Surg* 60:957–985
48. Bartončěk J (2003) Anatomy of the tibiofibular syndesmosis and its clinical relevance. *Surg Radiol Anat* 25:379–386
49. Müller ME, Nazarian S, Koch P et al (1987) The comprehensive classification of long bones. Springer, Berlin
50. Bartončěk J, Frič V, Svatoš F, Luňáček L (2007) Bosworth-type fibular entrapment injuries of the ankle—the Bosworth lesion: a report of six cases and literature review. *J Orthop Trauma* 21:710–717
51. Bartončěk J, Rammelt S, Kostlivý K (2017) Bosworth fracture: a report of two atypical cases and literature review of 108 cases. *FussSprungg* 15:126–137
52. Rammelt S, Zwipp H, Grass R (2008) Injuries to the distal tibiofibular syndesmosis. An evidence-based approach to acute and chronic lesions. *Foot Ankle Clin* 13:611–633
53. Takao M, Ochi M, Oae K, Naito K, Uchio Y (2003) Diagnosis of a tear of the tibiofibular syndesmosis. The role of arthroscopy of the ankle. *J Bone Joint Surg Br* 85-B:324–329
54. Rammelt S, Boszczyk A (2018) Computed tomography in the diagnosis and treatment of ankle fractures. *J Bone Joint Surg Rev* 6(12):e1



“Double Maisonneuve fracture”: an unknown fracture pattern

Štěpán Kašper¹ · Jan Bartoníček¹ · Stefan Rammelt² · Konrad Kamin² · Michal Tuček¹

Received: 29 June 2021 / Accepted: 30 August 2021 / Published online: 14 September 2021
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2021

Abstract

Purpose The aim of this study was to describe pathoanatomy and to raise awareness of a fracture of the lateral malleolus combined with a high subcapital fracture of the fibula caused by a dislocation mechanism.

Methods The study comprised 11 patients, 5 men and 6 women, with the mean age of 57 years (range, 21–87), with a “Double Maisonneuve fracture”. Individual lesions of ankle structures were described on the basis of radiographs, CT, and intraoperative findings.

Results The distal fibular fracture was classified as Weber type B in 1 case and Weber type C in 10 cases. The proximal fibular fracture was described as a subcapital oblique spiral fracture with metadiaphyseal involvement in nine cases and a high short oblique fracture with fibular head involvement in two cases. Injury to the deltoid ligament was revealed in six cases; a bicollicular fracture of the medial malleolus was found in five patients. Posterior malleolar fractures were classified as type 1 in eight cases and type 2 in three cases. Avulsion of the Chaput tubercle was detected in four cases. Injury to the interosseous tibiofibular ligament was assessed in nine patients.

Conclusion Double Maisonneuve fracture is a rare but probably underreported injury that must be taken into consideration during examination, as it may be easily overlooked. The essential part of diagnosis is a careful clinical examination and radiological assessment of the lower leg with additional CT examination of the ankle.

Keywords Maisonneuve fracture · Ankle fractures · Posterior malleolus · Anterior malleolus · Trimalleolar fractures · Tibiofibular syndesmosis

Introduction

Maisonneuve fracture (MF) was for the first time described in 1840 as a subcapital fracture of the fibula caused by external rotational mechanism and associated with an injury to the tibiofibular syndesmosis [1]. This rather infrequent injury to the ankle was later reported also by other authors, primarily in the form of case reports or small series and, but for a few exceptions, on the basis of radiographs alone [2–12]. However, their opinions on the pathoanatomy and particularly stability of MF varied. The first detailed report

on the pathoanatomy of these fractures, based on computed tomography and intraoperative findings in a series of 54 patients, was published by Bartoníček et al. [13] as late as in 2018. MF was defined as an ankle fracture–dislocation with a fracture of the fibula in its proximal quarter associated at least with rupture of the anterior tibiofibular ligament and the interosseous tibiofibular ligament. The authors documented that MF pathoanatomy is highly variable with respect to injuries to the syndesmotic ligaments, medial structures of the ankle (medial malleolus, deltoid ligament), posterior malleolus fractures and the fibula itself. Their findings were confirmed by Kašper et al. study [14] of a cohort of 70 patients. Neither study, however, included cases of MF with a double fibular fracture involving both the proximal and distal parts of the fibula (“Double Maisonneuve fracture”).

Double MF is a very rare injury, with only four cases reported in the literature to date since 1995 [15–18]. The pitfall in the diagnosis of this injury is the fact that after identification of a distal fracture of the fibula, a potential fracture

✉ Michal Tuček
tucekmic@gmail.com

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

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

in its proximal part is usually not considered because a double MF is a widely unknown fracture pattern.

The aim of this study was to raise awareness of this injury and describe its basic pathoanatomy in a first series of 11 patients.

Materials and methods

Materials

Between October 2012 and November 2020, the authors treated 1267 ankle fracture-dislocations of Weber types B and C in skeletally matured patients. A total of 57 patients with previous injuries, surgery, stress fractures, and degenerative or other pathological changes to the ankle were not included in the study. Patients with internal and neurological diseases, or mental disorders (e.g., diabetes mellitus or dementia) were not excluded.

In 519 (41%) patients, a fracture of the posterior malleolus was detected. Fractures of Weber type B were identified in 906 patients. Fractures of Weber type C were found in 361 patients, of which 86 cases were classified as MF. Based on these cases a consecutive series of 11 patients was formed, with a combined fracture of the lateral malleolus and a high subcapital fracture of the fibula (Double MF), caused by a dislocation mechanism.

The identified patient cohort comprised five men with the mean age of 49 years (21–81) and six women with the mean age of 64 years (43–87). The mean age of the whole cohort was 57 years (21–87). The right side was involved in seven and the left in four cases. The basic characteristics of the study group are summarized in Table 1.

Methods

Ankle radiographs in three projections (anteroposterior, lateral, and mortise views) and lower leg radiographs in two projections (anteroposterior and lateral) were obtained in all patients. Post-injury CT examination, including 3D CT reconstructions of the ankle was also performed in all the 11 patients, of these in 5 patients in combination with lower leg CT scans. Three patients underwent CT examination only after stabilization of the ankle by external fixation or transfixation with K-wires (Pts no. 6, 10, 11).

All patients were treated operatively. Open reduction and internal fixation was performed in 10 of 11 cases, i.e., a standard internal fixation of the fibula, the medial or posterior malleolus, and stabilization of the syndesmosis with a transsyndesmotic screw according to the AO/ASIF guidelines [19]. External fixation with transfixation of the ankle with K-wires in one female patient (Pt no. 4) due to her critical local soft tissue status and poor general condition.

Table 1 Basic data of the study group

Pt	Sex	Age	Side	Injury mechanism	Fibula proximal Fx in AP view	Type of fibula proximal Fx	Type of fibula distal Fx	MS injury	PM Fx type	AM Fx type	Distal fibula position in FN	OT
1	M	21	R	Fall on skateboard	Yes	Oblique	Weber C	DL	BR 1	-	minimal DS, ER	ORIF
2	M	44	L	Fall down the stairs	Yes	Oblique	Weber C	DL	BR 1	-	W, ER	ORIF
3	F	56	R	Slipping on ice	No	Oblique	Weber C	DL	BR 1	-	W, ER	ORIF
4	F	70	R	Fall from chair	Yes	High	Weber C	MM-BC	BR 1	-	W, ER	EF + KW
5	F	43	L	Slipping in bathroom	No	Oblique	Weber C	MM-BC	BR 2	-	W, ER	ORIF
6*	F	76	R	Stumbling	Yes	Oblique	Weber C	MM-BC	BR 1	R 1	AT*	KW/ORIF
7	F	53	R	Knocked down by dog	Yes	Oblique	Weber C	MM-BC	BR 2	R 1	W, ER	ORIF
8	M	61	R	Slipping on ice	Yes	High	Weber C	DL	BR 1	R 2	W, ER	ORIF
9	M	81	L	Fall at home	Yes	Oblique	Weber B	MM-BC	BR 1	R 1	W, ER	ORIF
10*	M	39	R	Fall from bicycle	Yes	Oblique	Weber C	DL	BR 1	-	AT*	EF/ORIF
11*	F	87	L	Slipping on balcony	Yes	Oblique	Weber C	DL	BR 2	-	W, ER*	EF/ORIF

AM anterior malleolus (Chaput tubercle) fracture type according Rammelt classification [20], AT anterior translation, DL deltoid ligament rupture, ER external rotation, MM-BC bicollicular fracture of medial malleolus, MS medial structures lesion, ORIF open reduction and internal fixation, OT operative therapy, PM posterior malleolus fracture type according to Bartomek-Rammelt classification [19], Pt patient, W widening, Fx fracture

*CT examination was performed after temporary stabilization of the ankle by external fixation (EF) or transfixation with Kirschner wires (KW)

Evaluation

The following parameters were evaluated with the use of radiographs, CT and intraoperative findings [19–21]:

- Pathoanatomy of fractures involving both the proximal and distal fibula,
- Extent of injuries to the medial structures (deltoid ligament, medial malleolus),
- The presence and pathoanatomy of a posterior malleolus (PM) fracture,
- Injury to the tibiofibular syndesmosis, including fractures or avulsions of the Chaput tubercle.

Results

Fibular fractures

Fracture anatomy was assessed both proximally and distally. In two cases, the subcapital fracture of the fibula was visible in the lateral view only (Fig. 1a).

Proximally, a subcapital oblique spiral fracture with meta-diaphyseal involvement (Figs. 1b, 2a–c) was noted in nine cases and a high short oblique fracture with fibular head involvement (Figs. 1c, 2d–e) in two cases. In nine cases, the fracture was more markedly displaced and in two cases the displacement was minimal (< 1 mm).

Fig. 1 Atypical form of a Maisonneuve fracture with an associated fracture of the distal fibula: **a + b** lower leg radiographs; **c** 3D CT reconstruction. A fracture line is not visible in the AP view **a**

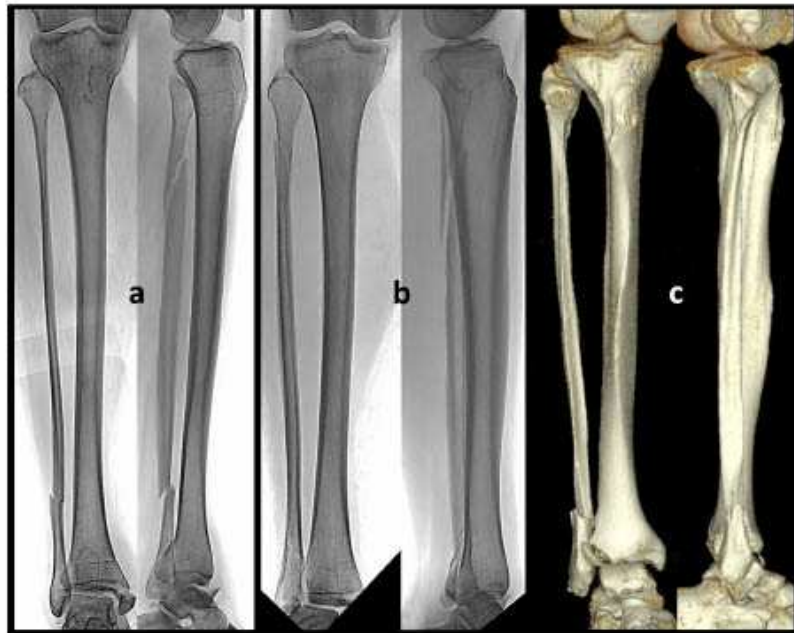


Fig. 2 Proximal fibular fracture patterns in 3D CT reconstructions: **a–c** oblique fracture with metadiaphyseal involvement; **d–e** high short oblique fracture with fibular head involvement



found in two cases, when CT examination was performed after stabilization of the ankle by external fixation (Pt no. 10) or K-wires (Pt no. 6). In one case the displacement was minimal (Pt no. 1). In five patients, intraoperative exploration confirmed rupture in the middle part of the anterior tibiofibular ligament.

Injury to the interosseous tibiofibular ligament was assessed in nine patients with the hook test following ORIF. The ligament was intact in two patients, with a Weber type B fibular fracture (Pt no. 9) and with a Weber type C low fibular fracture (Pt no. 1), respectively. In the remaining seven

patients, the hook test was positive, indicating rupture of the ligament.

Discussion

We report a first series of 11 cases of a two-level fracture of the fibula ("Double Maisonneuve fracture"). To our best knowledge, this particular form of the Maisonneuve fracture (MF) was described previously in four case reports only (Table 2) [15–18].

Fig. 5 CT scan of ankle lesions in patient no.8 (Table 1). Yellow arrow—fracture of the anterior malleolus (Chaput tubercle) of Rammelt type 2, red arrow—PM fracture of Bartoněček-Rammelt type 1



Fig. 6 CT scan of ankle lesions in patient no.6 (Table 1). Yellow arrow—fracture of the anterior malleolus (Chaput tubercle) of Rammelt type 1, red arrow—PM fracture of Bartoněček-Rammelt type 1



Table 2 Basic data of the published case reports

Author	Year	Sex	Age	Site	Injury mechanism	CT	Fibula proximal Fx	Fibula distal Fx	MS injury	PM Fx	Correct diagnosis
Slawski	1995	F	46	L	Fall on pavement	–	Oblique	Weber B	DL	+	Immediately
Heasel	2002	M	29	L	Jump while playing Frisbee	–	Comminuted	Weber C	MM	–	Immediately
Colenbrander	2005	F	56	R	Fall down the stairs	+	Oblique	Weber C	DL	–	Late–7 days
Wolfram	2006	F	63	R	Fall down the stairs	–	NM	Weber B	MM	+	Late–3 days

DL deltoid ligament rupture, MM medial malleolus fracture, MS medial structures, NM not mentioned, PM posterior malleolus, Fx fracture

Slawski and West [17], in 1995, were the first to describe a double MF in a 46-year-old woman. Both fibular fractures were diagnosed already during the initial examination. The distal fracture was classified as Weber type B. Associated injuries included deltoid ligament rupture, posterior malleolus fracture, as well as instability of the tibiofibular syndesmosis.

Hensel and Hapstrite [16] recorded an ankle fracture-dislocation in a 29-year-old man, which he sustained while playing ultimate Frisbee. Radiographs revealed simple transverse fractures of both the medial and lateral malleoli and a comminuted fracture of the proximal fibular diaphysis approximately 8 cm distal to the fibular head.

Colenbrander et al. [15] diagnosed a double MF in a 56-year-old woman after a slip on the stairs. The post-injury radiograph of the ankle showed a fracture of the distal fibula of Weber type C and widening of the medial clear space indicating rupture of the deltoid ligament. After ORIF of the distal fibula, the patient had persisting pain in the region of the proximal fibula. A follow-up radiograph of the lower leg performed 1 week postoperatively revealed an additional subcapital fracture of the fibula. Subsequent CT examination proved an almost anatomical position in the ankle joint.

Wolfram et al. [18] described a trimalleolar fracture in a 63-year-old female patient, caused by falling down a flight of stairs. The diagnosis included a fibular fracture of Weber type B, and fractures of the medial and posterior malleoli. Due to persisting discomfort, a radiograph of the knee was additionally performed on the third postoperative day that revealed an additional subcapital fracture of the fibula.

In summary, the subcapital fibular fracture was missed in half of the hitherto reported cases. This is a frequent problem also in "simple" MFs [13]. In all 11 cases of our series, both fibular fractures were diagnosed during the initial examination that included palpation of the whole lower leg and, when painful, its radiological examination. Clinical examination of the lower leg should be a standard part of assessment of all ankle fractures which is not always the case in daily practice.

The importance of CT imaging in ankle fractures, particularly trimalleolar fractures and Weber type C fibular fractures with syndesmotic instability, has been increasingly emphasized in recent studies [19–21]. In all our 11 cases with a double MF, CT scanning allowed an exact classification of PM fractures, identification of avulsion fractures of the Chaput tubercle ("anterior malleolus" [20]) not visible on plain radiographs, and verification of the position of the distal fibula in the fibular notch.

A Weber type C fracture was present in 12 of the 15 cases reported so far which corresponds to 80%. Both in our series and the previous case reports, a bicollicular medial malleolar fracture and rupture of the deltoid ligament were present in about half of the cases. No combined osteoligamentous

lesion, i.e., fracture of anterior colliculus and rupture of the tibiotalar part of the deltoid ligament, was recorded on the medial side. A fracture of the posterior malleolus (PM) was found in all patients in our cohort. Previously, it was described in only two of the four cases based on a lateral radiograph of the ankle [17, 18]. It can be concluded from the present data, that a PM fracture is highly likely in the presence of a double MF. A fracture of the Chaput tubercle has not been reported in the previous literature, probably due to a lack of CT imaging.

In contrast to the series of "simple" MF by Bartoníček et al. [13] no fracture of PM types 3 and 4 of the Bartoníček-Rammelt classification was encountered [19]. Fractures of PM type 1 dominated in the present study group, while in the "classical" MF studies the majority of PM fractures were types 2 and 3.

The exact mechanism of a two-level fibular fracture cannot be deduced from 15 cases reported so far. However, it is likely caused by external rotational mechanism, for the following reasons. Weber type C, which represents a pronation-external rotation injury fracture, was present in 80% of all 15 analysed cases. A type 1 or 2 PM fracture, which corresponds to an avulsion of the posterior syndesmosis, was recorded in 100% (11 patients) in our series. It remains unclear, whether the fibula fractures first at its the proximal or distal part. According to Hensel et al. [16], a double MF results from a high-energy trauma. However, all cases reported so far were caused by low energy trauma [15–18].

It can only be speculated why we encountered a series of 11 cases of an injury that has been described in just four single case reports previously. This particular lesion is likely underreported because the proximal fibula will frequently not be examined thoroughly in case of a confirmed distal fibular fracture.

Conclusion

Double MF is a rare but likely underreported injury that must be taken into consideration during examination, as it may be easily overlooked. The essential part of diagnosis is a careful clinical examination, including palpation of the entire fibula. Radiological examination of the lower leg, if necessary, should be performed in two planes. In case of detection of double MF, CT examination of the ankle should be performed because there is a high likelihood of a PM and anterior tibial tubercle fracture. With the low number of cases, definite conclusions on the mechanism of injury and possible consequences cannot be drawn. The results of treatment are currently being evaluated in a follow-up study.

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

Funding Supported by IP DZRVO MO1012.

Declarations

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

Ethical approval All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and national research committee and with the 1964 Helsinki Declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

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

References

- Maisonneuve JG. Recherches sur la fracture du peroné. *Arch Gen Med.* 1840;7(165–87):433–73.
- Amman E. Die Maisonneuve-Fraktur Resultate von 37 behandelten Fällen in der Jahren 1971–1981. Inauguraldissertation. Universität Basel 1981
- 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.
- de Souza LJ, Gustilo RB, Meyer TJ. Results of operative treatment of displaced external rotation-abduction fractures of the ankle. *J Bone Joint Surg.* 1985;67-A:1066–74.
- 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. <https://doi.org/10.1111/os.12733>.
- Kirschner P, Brünner M. Die operation der maisonneuve-fraktur. *Oper Orthop Traumatol.* 1999;11:11–8.
- Kolman J. Maisonneuve fracture. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 1999;66:41–5.
- 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(Suppl3):C107–10.
- Merrill KD. The Maisonneuve fracture of the fibula. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;287:218–23.
- Pankovich AM. Maisonneuve fracture of the fibula. *J Bone Joint Surg.* 1976;58-A:337–42.
- Pelton K, Thordarson DB, Bamwell J. Open versus closed treatment of the fibulae in Maisonneuve injuries. *Foot Ankle Int.* 2010;31:604–8.
- Sproule JA, Khalid M, O'Sullivan M, McCabe JP. Outcome after surgery for Maisonneuve fracture of the fibula. *Injury.* 2004;35:791–8.
- Bartončiek 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.
- Kašper Š, Bartončiek J, Kostlivý K, Malík J, Tuček M. Maisonneuve fracture. *Rozhl Chir.* 2020;99:77–85. <https://doi.org/10.33699/PIS.2020.99.2.77-85>.
- Coleman RJ, Struijs PAA, Ultee JM. Bimalleolar ankle fracture with proximal fibular fracture. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005;125:571–4.
- Hensel KS, Harpright JK. Maisonneuve fracture associated with a bimalleolar ankle fracture-dislocation: a case report. *J Orthop Trauma.* 2002;16:525–8.
- Slawski DP, West C. Maisonneuve fracture with an associated distal fibular fracture. *Clin Orthop Relat Res.* 1995;317:193–8.
- Wolfram D, Lottersberger C, Blauth M, Piza-Katzer H. Possible nerve injuries in ankle dislocations. Trimalleolar fracture including the proximal fibula. *Unfallchirurg.* 2007;110:70–4. <https://doi.org/10.1007/s00113-006-1183-5>.
- Bartončiek J, Rammelt S, Tuček M, Nařka O. Posterior malleolar fractures of the ankle. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2015;41:587–600. <https://doi.org/10.1007/s00068-015-0560-6>.
- Rammelt S, Bartončiek J, Kroker L, Neumann AP. Surgical fixation of quadrimalleolar fractures of the ankle. *J Orthop Trauma.* 2021;35:e216–22. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001915>.
- Tuček M, Rammelt S, Kostlivý K, Bartončiek J. CT controlled results of direct reduction and fixation of posterior malleolus in ankle fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2021. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01309-0>.

Maisonneuveova zlomenina

Š. Kašper¹, J. Bartoníček¹, K. Kostlivý², J. Malik³, M. Tuček¹

¹Klinika ortopedie, 1. lékařská fakulta Univerzita Karlova a Ústřední vojenská nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice Praha

²Chirurgická klinika, 1. lékařská fakulta Univerzita Karlova a Thomayerova nemocnice

³Radiodiagnostické oddělení, Ústřední vojenská nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice Praha

Souhrn

Úvod: Maisonneuveova zlomenina (MZ) je v traumatologii hlezna všeobecně známá entita. Detailních informací o tomto typu poranění je však v literatuře minimum. Z těchto důvodů jsme se rozhodli provést epidemiologickou a patoanatomickou studii MZ.

Metody: Soubor tvořilo 70 pacientů (47 mužů, 23 žen) průměrného věku 48 roků s luxační zlomeninou hlezna, u kterých byla fibula poraněna ve své proximální čtvrtině. U všech pacientů bylo provedeno rtg hlezna ve třech projekcích a bérce ve dvou projekcích. U 59 pacientů bylo provedeno CT vyšetření ve třech rovinách, u 49 z nich i 3D CT rekonstrukce. MR byli vyšetřeni 4 pacienti. Operováno bylo 67 pacientů, z toho u 54 z nich byla provedena otevřená repozice distální fibuly do incisura fibularis tibiae.

Výsledky: Nejvyšší výskyt MZ jsme zaznamenali v 5. dekádě, a to v celém souboru i u mužů. U žen byl maximální výskyt v 6. dekádě. Po 50. roku věku se zastoupení žen výrazně zvýšilo. Zlomenina fibuly byla v 64 případech lokalizována subkapitálně, v 6 případech byla postižena hlavice fibuly. Ve 24 % případů byla zlomenina fibuly viditelná pouze na bočné projekci bérce. Ve 40 případech bylo na rtg nalezeno rozšíření tibiofibulárního prostoru. Zadní luxaci fibuly (Bosworthova zlomenina) jsme zaznamenali ve 2 případech, tibiofibulární diastázu rovněž ve 2 případech. Poranění lig. tibiofibulare anterius et posterius jsme našli u všech 54 pacientů, kde byla provedena otevřená repozice distální fibuly. Zlomenina mediálního malleolu byla zjištěna v 27 případech (39 %), kompletní léze lig. deltoideum ve 36 případech (51 %) a v 7 případech (10 %) byly mediální struktury intaktní. Zlomenina malleolus posterior se vyskytla u 54 (77 %) pacientů. U 2 pacientů jsme diagnostikovali osteochondrální zlomeninu kladky talu a u 1 pacienta kompresi kloubní plochy distální tibie v oblasti incisury.

Závěr: Maisonneuveova zlomenina zahrnuje široké spektrum poranění kostních i vazivových struktur hlezna. CT vyšetření je proto nezbytnou součástí vyšetření této zlomeniny.

KLÍČOVÁ SLOVA: Maisonneuveova zlomenina – zlomeniny hlezna – tibiofibulární syndesmóza – zlomenina malleolus posterior

Summary

Maisonneuve fracture

S. Kasper¹, J. Bartonicek¹, K. Kostlivy², J. Malik³, M. Tucek¹

¹Department of Orthopaedics, 1st Faculty of Medicine, Charles University in Prague and the Military University Hospital Prague

²Department of Surgery, 1st Faculty of Medicine, Charles University in Prague and Thomayer Hospital, Prague

³Department of Radiodiagnosics, Charles University in Prague and the Military University Hospital Prague

Introduction: Maisonneuve fracture (MF) is a generally known entity in ankle trauma. However, details about this type of injury can be found only rarely in the literature. For these reasons we have decided to perform a study on MF epidemiology and pathoanatomy.

Methods: The group comprised 70 patients (47 men, 23 women), with the mean age of 48 years, who sustained an ankle fracture-dislocation involving the proximal quarter of the fibula. Ankle radiographs in three views and lower leg radiographs in two views were performed in all patients. A total of 59 patients underwent CT examination in three views, including 3D CT reconstruction in 49 of these patients. MRI was performed in 4 patients. Operative treatment was used in 67 patients; open reduction of the distal fibula into the fibular notch was opted for in 54 of them.

Results: The highest MF incidence rate was recorded in the 5th decade in the whole group and in men, while in women the peak incidence was in the 6th decade. After the age of 50, the share of women significantly increased. In 64 cases, the fibular fracture was subcapital, and in 6 cases it involved the fibular head. In 24% of the patients, the fibular fracture was seen only in the lateral radiograph of the lower leg. Widening of the tibiofibular clear space was shown by radiographs in 40 cases. Posterior dislocation of the fibula (Bosworth fracture) and tibiofibular diastasis were recorded in 2 cases each. An injury to the anterior and posterior tibiofibular ligaments was found in all 54 patients with open reduction of the distal fibula. A fracture of the medial malleolus was identified in 27 cases (39%) and a complete lesion of the deltoid ligament in 36 cases (51%); in 7 cases (10%) the medial structures were intact. A fracture of the posterior malleolus occurred in 54 (77%) patients. Osteochondral fracture of the talar dome was diagnosed in 2 patients and compression of the articular surface of the distal tibia in the region of the fibular notch in 1 patient.

Conclusion: Maisonneuve fracture includes a wide range of injuries both to bone and ligamentous structures of the ankle. Therefore, CT examination is an indispensable part of assessment of this type of fracture.

Key words: Maisonneuve fracture – ankle fractures – tibiofibular syndesmosis – posterior malleolus fracture

Rozhl Chir 2020;99:77–85

doi:10.33699/PIS.2020.99.2.77–85

ÚVOD

Subkapitální zlomenina fibuly způsobená zevně rotačním mechanismem a spojená s poraněním tibiofibulární syndesmózy byla poprvé popsána v r. 1840 francouzským chirurgem Julesem Germainem Françoisem Maisonneuvem (1809–1897) [1]. S klinickým případem se však autor nikdy nesetkal. Eponym Maisonneuveova zlomenina se postupně rozšířil díky jeho krajanům, kterými byli především Quenu [2], Chaput [3] a Destot [4].

První podrobný popis Maisonneuveovy zlomeniny (MZ) doprovázený rtg snímky publikoval Tanton [5] v r. 1916. Ashhurst [6] zavedl eponym MZ do anglické literatury v r. 1923. Bonin [7] se v učebnici vydané v r. 1950 zabýval MZ velmi podrobně a hodnotil ji jako stabilní poranění, u kterého dochází k ruptuře lig. tibiofibulare anterius, ale mediální struktury zůstávají intaktní. V německé literatuře se pojem MZ objevil v průběhu 60. let 20. století, a to především díky B. G. Weberovi [8]. Ten na rozdíl od Bonina považoval MZ za poranění nestabilní a uváděl, že membrána interossea je roztržena až do výše zlomeniny na fibule a vždy jsou poraněny i mediální struktury (Obr. 1). Pankovich [9] v r. 1976 publikoval detailní studii MZ založenou na souboru pouhých 12 pacientů, která je ale dodnes považována v literatuře za základní.

Ačkolí pojem Maisonneuveova zlomenina je všeobecně znám, studií, které se jí zabývaly, není mnoho. Malé jsou i soubory analyzovaných pacientů (Tab. 1), většinou se jedná o kazuistiky [9–43]. V české literatuře se problematikou MZ podrobněji zabývali pouze Kolman et al. [20] v r. 1999.

Z uvedených důvodů jsme v r. 2019 publikovali epidemiologickou a patoanatomickou studii založenou na souboru 54 pacientů [44]. Tento soubor jsme následně rozšířili o dalších 16 případů. Jeho analýza je předmětem tohoto článku.



Obr. 1. Maisonneuveova zlomenina na 3D CT rekonstrukci – je dobře patrná typická subkapitální zlomenina fibuly, rozšíření mediální kloubní štěrbin a tibiofibulární vidlice
Fig. 1. 3D CT reconstruction of the Maisonneuve fracture, showing a typical subcapital fracture of the fibula and widening of the medial joint space and tibiofibular mortise

Tab. 1. Přehled studií Maisonneuveovy zlomeniny
Tab. 1. Overview of Maisonneuve fracture studies

Autor	Rok	N	OP	M/Z	Věk	PM	MS
Pankovich	1976	17	7	?	17-42	15	MM 3, DL 1, IN 13
Armann	1981	37	37	23/14	36	13	MM 13, DL 20, IN 4
Sousa	1985	12	11	?	?	?	?
Merril	1993	9	1	?	?	4	MM 1, DL 8
Kolman	1999	19	19	11/8	37	?	MM 9, DL 10
Kirschner	1999	32	32	25/7	?	9	MM ?, D6
Manyl	2000	12	12	9/3	38	?	MM 7, DL 5
Babls	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, DL 3
BartonKek	2019	54	51	33/21	48	41	MM 20, D 27, IN 7
Autoři	2020	70	67	47/23	48	54	MM 27, DL 36, IN 7

Vysvětlivky: N – počet pacientů, OP – operováno, M – muži, Z – ženy, PM – zlomenina malleolus posterior, MS – poranění mediálních struktur hlezna, MM – zlomenina malleolus medialis, DL – ruptura lig. deltoideum, IN – intaktní struktury, ? – údaj neuveden.

Notes: N – number of patients, OP – operative treatment, M – men, Z – women, PM – posterior malleolus fracture, MS – injury to the medial structures of the ankle, MM – medial malleolus fracture, DL – rupture of the deltoid ligament, IN – intact structures, ? – not specified.

METODY

Soubor

Do souboru vzniklého v období leden 2012 až září 2019 byli zařazeni pouze dospělí pacienti s luxační zlomeninou hlezna, kde fibula byla zlomena pouze ve své proximální čtvrtině. Vyloučeni byli všichni pacienti s předchozími poraněními či operacemi hlezna a degenerativními nebo jinými patologickými změnami. Vyřazeno bylo i 6 pacientů s dvojitou zlomeninou fibuly. Celý soubor tak tvořilo 70 pacientů, 47 mužů a 23 žen.

Metoda

U všech pacientů byl zhotoven rtg hlezna ve 3 projekcích (předozadní, bočná a projekce na vidlici) a rtg celého bérce ve 2 projekcích (předozadní a bočná). CT vyšetření hlezna bylo zhotoveno u 59 pacientů, u 49 z nich byly zhotoveny také 3D rekonstrukce. Předoperační MR vyšetření bylo provedeno u 4 pacientů (všichni 4 měli již CT) ke zhodnocení vazivových poranění. Operováno bylo 67 pacientů, z toho otevřeně byla distální fibula reponována u 54 z nich, u 13 pacientů byla repozice distální fibuly provedena zavřeně.

Hodnocení

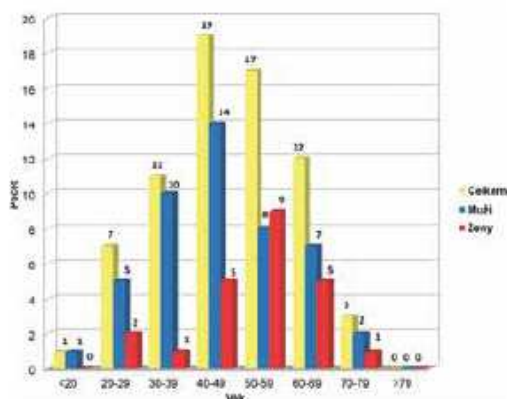
Na základě rtg snímků, CT, MR a peroperačních nálezů jsme hodnotili následující parametry:

- věk pacientů a jejich distribuce v dekadách,
- anatomie zlomeniny fibuly,
- poranění mediálních struktur (lig. deltoideum, malleolus medialis),
- zlomeninu zadní hrany tibiae a její typ (klasifikace podle Bartoníčka-Rammelta [45,46]),
- rozsah vazivových poranění (lig. tibiofibulare anterius a lig. tibiofibulare interosseum),
- vztah distální fibuly k incisurě tibiae,
- přítomnost dalších poranění v oblasti hlezna.

VÝSLEDKY

Věk a pohlaví pacientů: Ve studii bylo 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 Maisonneuveovy zlomeniny v celém souboru a u mužů bylo v 5. dekadě (Tab. 2). U žen to bylo 6. dekadě. Ve skupině do 50 let převládali muži (30:8). Ve skupině nad 50 let byl poměr vyrovnaný (17:15). Pravá strana byla postižena v 44 případech a levá v 26 případech (Graf 1).

Zlomenina proximální fibuly: V 70 případech byla hodnocena anatomie zlomeniny proximální fibuly na



Graf 1. Zastoupení pacientů v jednotlivých věkových dekadách

Graph 1. Patient proportions in individual age decades

základě rentgenových snímků a v 7 případech bylo doplněno i CT vyšetření (Obr. 2). Zlomenina hlavice fibuly byla nalezena v 6 případech. V ostatních 64 případech se jednalo o zlomeniny v subkapitální oblasti či v proximální čtvrtině fibuly, z toho 5 zlomenin bylo tříštivých, ostatní byly jednoduché šikmé či spirální. V 17 případech (24 %) nebyla zlomenina zřetelná na předozadním rtg snímku bérce, ale pouze v bočné projekci (Obr. 3).

Poranění mediálních struktur: Poranění mediálních struktur bylo hodnoceno na rtg u všech 70 pacientů, na CT u 59 pacientů, na MR u 4 pacientů. Peroperační nález byl k dispozici u 67 pacientů.

Poranění deltového vazy bylo na rtg a CT hodnoceno na základě rozšíření prostoru mezi mediálním malleolem a talem (tzv. medial clear space – MCS). Za kritickou hodnotu jsme považovali rozšíření ≥ 4 mm. Pokud byla na rtg naměřena hodnota do 4 mm, byl před každou operací zhotoven za kontroly rtg zesilovače zevně-rotací test. Poranění deltového vazy jsme našli v 36 případech (51 %). K poranění mediálního malleolu došlo v 27 případech (39 %). V 7 případech (10 %) zůstaly mediální struktury intaktní.

Zlomenina mediálního malleolu byla hodnocena na základě CT a peroperačního nálezu. Zlomeninu předního kolikulu (typ 1) jsme zaznamenali v 5 případech, v 7 případech nesl fragment přední kolikulu a interkolikulární žlábků (typ 2) a v 15 případech se jednalo o bikolikulární fragment (typ 3) (Obr. 4).

Tab. 2: Zastoupení pacientů v jednotlivých věkových dekadách

Tab. 2: Patient proportions in individual age decades

Věk	<20	20–29	30–39	40–49	50–59	60–69	70–79	>79	Celkem
Soubor	1	7	11	19	17	12	3	0	70
M	1	5	10	14	8	7	2	0	47
Ž	0	2	1	5	9	5	1	0	23

Vysvětlivky: M – muži, Ž – ženy, Věk – age, Soubor – file, M – male, F – female, Celkem – total

Zlomeniny zadní hrany tibiae: Zlomeninu zadní hrany tibiae jsme našli u 54 pacientů (77 %). Zhodnocení typu zlomeniny bylo provedeno u 48 pacientů na základě CT klasifikace Bartoníčka-Rammelta [45,46]. Typ 1 (extrainsurální) jsme našli u 7 pacientů, typ 2 (posterolaterální) u 24 pacientů, typ 3 (dvoufragmentový s postižením mediálního kotníku) u 14 pacientů a typ 4 (velký triangulární fragment) u 3 pacientů (Obr. 5).

Postavení distální fibuly v incisura fibularis tibiae: Postavení distální fibuly v incisura fibularis tibiae jsme hodnotili na základě CT vyšetření u 59 pacientů. Analýza byla provedena v axiálních (transverzálních) řezech cca 3–4 mm nad kloubní plochou distální tibiae, kde je incisura fibularis tibiae nejhlubší. 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 a ve 25 případech bylo rozšíření spojeno se zevní rotací fibuly (Obr. 6). Ve 2 případech Bosworthovy zlomeniny došlo k dorzální luxaci distální fibuly z incisura fibularis tibiae (Obr. 7). Ve 2 případech vznikla kompletní diastáza tibiofibulární vidlice s vklíněním talu mezi obě kosti (Obr. 8).

Poranění tibiofibulární syndesmózy: Poranění vazivových struktur syndesmózy bylo hodnoceno u všech 70 pacientů, a to na podkladě rtg, CT a MR vyšetření i perioperačně (vizualizace vazivových struktur a hákový test) (Obr. 8, 9). Při zhotovení přesné rtg projekce na tibiofibulární vidlici jsme našli rozšíření „tibiofibular clear space“ (TFCS) nad 4 mm ve 40 případech. Na CT vyšetření jsme za příznak poranění vazů syndesmózy považovali avulzi Chaputova hrbolu – 9 pacientů, zlomeninu zadního malleolu 2, 3 a 4 typu – 47 pacientů, rozšíření prostoru mezi distální fibulou a incisura fibularis tibiae a zevní rotaci distální fibuly – 40 pacientů, dorzální luxaci fibuly – 2 pacienti a diastázu tibiofibulární vidlice – 2 pacienti. Perioperačně bylo poranění lig. tibiofibulare anterius a lig. tibiofibulare interosseum nalezeno u všech 54 pacientů, u nichž jsme provedli otevřenou repozici distální fibuly.

Přidružená poranění: Byla identifikována ve 3 případech. Ve 2 z nich se jednalo o osteochondrální frakturu kladky talu lokalizovanou 1× laterálně a 1× posteromedálně (Obr. 10). V 1 případě jsme na CT identifikovali kompresi laterální části kloubní plochy tibiae v oblasti incisura fibularis tibiae (Obr. 11).



Obr. 3. Malsonneuveova zlomenina na snímku bérce

V předozadní projekci není viditelná. Patrné je však rozšíření mediální kloubní štěrbině a tibiofibulární vidlice.

Fig. 3. Malsonneuve fracture in a radiograph of the lower leg

The anteroposterior view does not show the fracture; however, it does reveal widening of the medial clear space and of the tibiofibular clear space.



Obr. 2. Typická zlomenina fibuly u Malsonneuveovy zlomeniny na 3D CT rekonstrukcích

a – přední pohled, b – laterální pohled, c – zadní pohled, d – mediální pohled.
Fig. 2. 3D CT reconstructions of a typical fibular fracture associated with Malsonneuve fracture:

a – anterior view; b – lateral view; c – posterior view; d – medial view.



Obr. 4. Klasifikace zlomenin mediálního kotníku na 3D CT rekonstrukcích

a – typ 1, zlomenina colliculus anterior, b – typ 2, zlomenina colliculus anterior a sulcus intercollicularis, c – typ 3, zlomenina obou kolíků.

Fig. 4. Classification of medial malleolus fractures based on 3D CT reconstructions:

a – type 1, fracture of the anterior colliculus; b – type 2, fracture of the anterior colliculus and intercollicular groove; c – type 3, fracture of both colliculi.

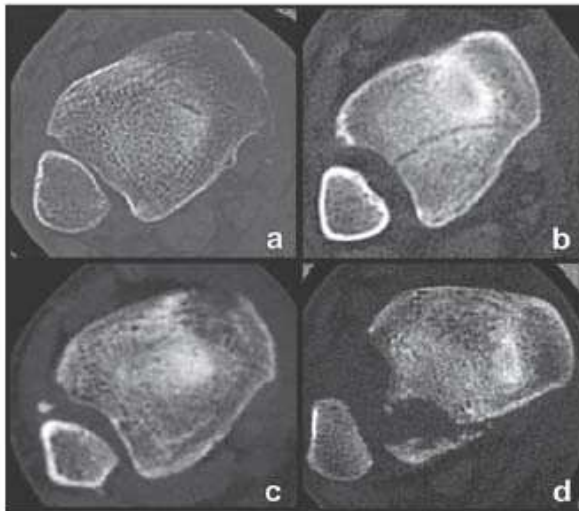


Obr. 5. Klasifikace zlomenin malleolus posterior podle Bartončka-Rammelta

Horní řádek – pohled do incisura fibularis tibiae po subtrakci distální fibuly, střední řádek – pohled z dorzální strany, dolní řádek – pohled do tibiofibulární vidlice po subtrakci talu. Typ 1 – extraincisurální, Typ 2 – posterolaterální, Typ 3 – dvoufragmentový, zasahující do mediálního kotníku; Typ 4 – velký trojúhelní, nesoucí dorzální polovinu incisura fibularis tibiae.

Fig. 5. Classification of posterior malleolus fractures according to Bartonček and Rammelt

Top line – view of the fibular notch after subtraction of the distal fibula; middle line – posterior view; bottom line – view into the tibiofibular mortise after subtraction of the talus. Type 1 – extraincisural; Type 2 – posterolateral; Type 3 – a two-part fragment involving the medial malleolus; Type 4 – a large triangular fragment bearing the posterior half of the fibular notch.



Obr. 6. Postavení fibuly v incisura fibularis tibiae na transverzálních CT řezech provedených 5 mm nad kloubní štěrbinou hlezna

a – normální postavení, b – rozšíření tibio-fibulární štěrbiny, c – zevní rotace fibuly a rozšíření štěrbiny, d – výrazná dislokace fibuly z incisury.

Fig. 6. Position of the fibula in the fibular notch in transverse CT scans 5 mm above the joint line of the ankle

a – normal position; b – widening of the fibular notch; c – external rotation of the fibula and widening of the tibiofibular space; d – marked displacement of the fibula from the fibular notch.

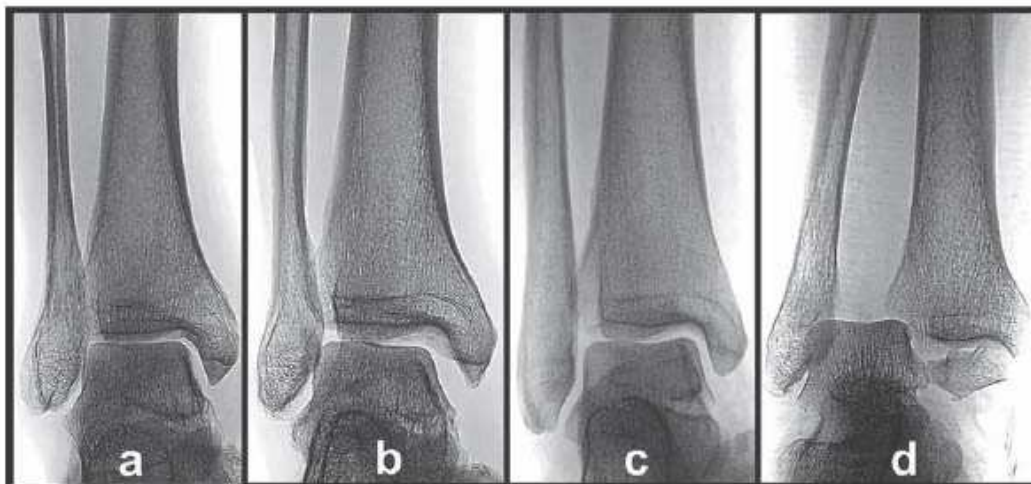


Obr. 7. Dislokace distální fibuly na zadní plochu distální tibiae u Bosworthovy zlomeniny

Typický příznak Bosworthovy zlomeniny na dlouhém rtg snímku, kdy koleno je v předozadní projekci a noha v bočné projekci.

Fig. 7. Displacement of the distal fibula behind the posterior aspect of the distal tibia in the Bosworth fracture

A typical sign of the Bosworth fracture in a lower leg radiograph, with the knee in the anteroposterior view and the foot in the lateral view.

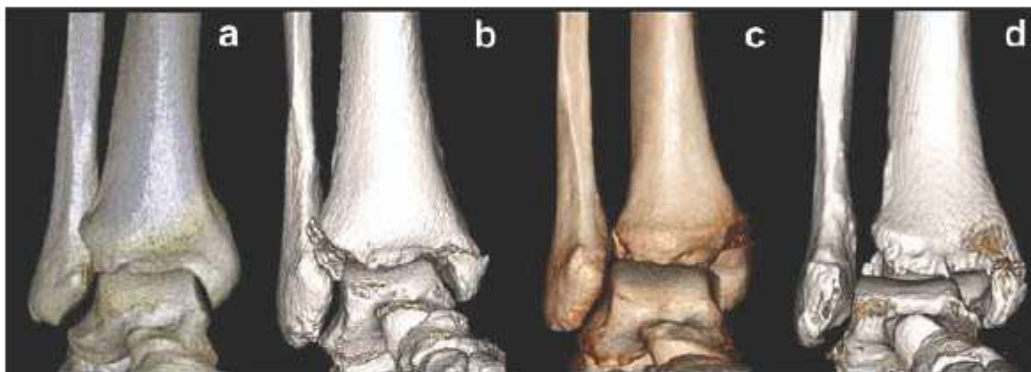


Obr. 8. Rozšíření tibiofibulární vidlice

a+b+c – narůstající hodnota „tibiofibular clear space“; d – diastáza tibiofibulární vidlice a vklínění kladky talu mezi obě kosti.

Fig. 8. Widening of the tibiofibular mortise

a+b+c – increasing tibiofibular clear space; d – diastasis of the tibiofibular mortise and wedging of the talus between tibia and fibula.



Obr. 9. Poranění tibiofibulární syndesmózy na 3D CT rekonstrukcích

a+b+c+d - postupné rozšíření tibiofibulární vidlice.

Fig. 9. 3D CT reconstructions of an injury to the tibiofibular syndesmosis

a+b+c+d – gradual widening of the tibiofibular mortise.

DISKUZE

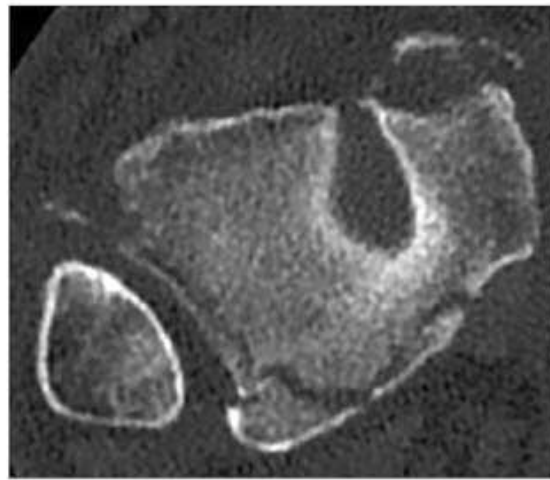
Maisonneuveova zlomenina je jednou z variant luxačních zlomenin hlezna, kterých se tvoří 3,5 až 5 % [20,47]. Navzdory tomu jen velmi málo studií přináší detailní informace o patoanatomii MZ a navíc jsou získané na malých souborech pacientů [9–43]. V žádné studii s výjimkou naší předchozí studie nebylo ke zhodnocení jednotlivých poranění použito CT vyšetření. Pouze ve 2 studiích bylo použito MR k vyšetření 5 [17], resp. 12 [22] pacientů. V této studii jsme rozšířili náš původní soubor o dalších 16 pacientů. Představujeme tak zatím největší publikovaný soubor pacientů s MZ. Na rozdíl od jiných studií [9–43] systematicky analyzu-

je jednotlivě léze (zlomeninu proximální fibuly, pozici distální fibuly v tibiální incisurě, zlomeniny mediálního malleolu a zadní hrany tibiae).

Základním atributem MZ je subkapitální zlomenina fibuly nebo zlomenina hlavice fibuly, obojí vzniklé rotačním poraněním hlezna. Někteří autoři hodnotí jako MZ i zlomeninu fibuly v její střední třetině [33–35,42]. Podle našeho názoru se však jedná o jiný typ zlomeniny. S luxací hlavice fibuly, která je považována za ekvivalent MZ, jsme se nesetkali [24,30,31]. Za další diskutovanou variantu MZ je považováno poranění tibiofibulární syndesmózy bez zlomeniny proximální fibuly, tzv. distorze tibiofibulárního kloubu. Detailnější informace k tomuto poranění však stále nejsou k dispozici. Pankovich [9] ve



Obr. 10. Osteochondrální zlomenina laterální části kladky tahu na 3D CT rekonstrukci po subtrakci distální fibuly
Fig. 10. 3D CT reconstruction of an osteochondral fracture of the lateral part of the talar dome after subtraction of the distal fibula



Obr. 11. Komprese subchondrální kosti v oblasti Incisura fibularis tibiae doprovázená zlomeninou Chaputova hrboku a zadního malleolu typu 2
Fig. 11. Compression of the subchondral bone in the region of the fibular notch, associated with a fracture of the Chaput tubercle and of the posterior malleolus, type 2

svém souboru prezentoval 5 případů MZ bez zlomeniny fibuly v souboru 17 pacientů s MZ. Velice zřídka se objevuje dvojitá zlomenina fibuly, kdy současně se zlomeninou distální fibuly (typ Weber B či Weber C) dochází i ke zlomenině v její subkapitální části [13,23,27,29]. Našich 6 případů jsme z tohoto souboru vyřadili.

Pro rtg diagnostiku je důležité zjištění, že ve 24 % našich případů nebyla zlomenina proximální fibuly patrná v předozadní projekci rtg snímku bérce, ale pouze v projekci bočné. Tento fakt podtrhuje nutnost obou rtg projekcí celého bérce. U dvojitých zlomenin je pak riziko přehlédnutí proximální fraktury ještě větší. Palpační vyšetření celé fibuly u každé zlomeniny hlezna a při nejasnostech zhotovení rtg celého bérce ve dvou projekcích by proto mělo být standardem.

Poranění vazivového aparátu u MZ je třeba hodnotit komplexně. Ve všech našich případech jsme našli rupturu lig. tibiofibulare anterius nebo avulzi jeho tibiálního úponu (Chaputův hrbol) a rupturu lig. tibiofibulare interosseum. Z těchto důvodů považujeme poranění lig. tibiofibulare anterius et interosseum za jednu ze základních charakteristik MZ. To je v souladu i se závěry ostatních studií [17,22].

Ruptura interoseální membrány je rovněž konstantní součástí MZ. Ve starších studiích se uvádí, že poškození membrány dosahuje až ke zlomenině proximální fibuly [8]. Tato představa přetrvává pod vlivem Weberovy monografie [8] i u nás [20]. Manly et al. [22] v MR studii u 12 pacientů s MZ našli roztržení membrana interossea vždy, ale pouze v její distální třetině, přesněji maximálně do výše 112 mm nad kloubní plochou hlezna. Morris et al. [17] zaznamenali na MR poranění membrana interossea u 4 z 5 pacientů.

Poranění zadních struktur hlezna je u Maisonneuveovy zlomeniny velice časté. Zlomeninu zadní hrany tibiae jsme našli v 77 % případů. To je mnohem více než 46 %, která zjistili Jehlička et al. [47] u zlomenin typu Weber B a C. Pro hodnocení typu zlomeniny zadního malleolu jsme použili CT klasifikaci Bartoníčka a Rammelta [45,46]. Distribuce jednotlivých typů zadní hrany tibiae u MZ svou variabilitou odpovídala jejich distribuci u trimalleolárních zlomenin [45]. Dominovaly především typy 2 a 3. Poranění lig. tibiofibulare posterius nebylo v artroskopické studii Yoshimury et al. [30] zaznamenáno. Naopak Morris et al. [17] prezentovali 3 případy s kompletní rupturou a 1 případ s parciální rupturou vazy.

Přesný vztah fibuly a tibiae je velmi obtížné hodnotit. Polohu fibuly v incisurě tibiae jsme hodnotili na transversálních CT řezech cca 3–4 mm nad kloubní plochou. V těchto místech je incisura nejhlubší a fibula s tibií za normálních okolností v nejbližším postavení. U anatomicky normálního hlezna koresponduje anterolaterální plocha distální fibuly s předním okrajem distální tibiae a posterolaterální plocha distální fibuly se zadní plochou distální tibiae [45]. Námí zjištěná dislokace distální fibuly v incisura fibularis tibiae byla značně variabilní, od mírného rozšíření tibiofibulárního prostoru po kompletní dislokaci fibuly z incisury. Zadní luxace fibuly za tuberculum posterius tibiae je známa jako Bosworthova zlomenina [48].

Velmi variabilní u MZ je poranění mediálních struktur. Může být kompletní, nebo částečné. Kompletní poranění představuje bikolikulární zlomenina vnitřního kotníku (kostní léze), kompletní ruptura deltového vazy (vazivová léze) nebo zlomenina předního kolikulu spojená

s kompletní rupturou hluboké porce deltového vazu (kombinovaná osteoligamentózní léze). Parciální léze zahrnují izolovanou zlomeninu předního kolikulu nebo poranění povrchové části deltového vazu. V 7 případech jsme nezaznamenali žádné mediální poranění, což je v souladu s jinými studiemi [31,36]. To svědčí o tom, že někdy dochází ke vzniku MZ supinačně everzním mechanismem, nikoli pouze pronačně everzním, jak se běžně uvádí. Zlomeniny předního kolikulu a interkolikulárního žlábků mediálního malleolu bývají většinou spojeny s parciální či kompletní rupturou hluboké (tibiotalární) porce deltového vazu. Ve studii Morrise et al. [17] bylo MR diagnostikováno poranění povrchové části deltového vazu ve všech 5 případech, kompletní ruptura hluboké porce ve 3 případech a parciální ruptura hluboké porce v 1 případě. U 1 pacienta zůstala hluboká porce deltového vazu nepoškozena. Přidružené osteochondrální defekty kladky talu popsali ve své artroskopické studii Yoshimura et al. [30], všechny 4 defekty se nacházely posteromedálně. V našem souboru jsme identifikovali osteochondrální defekt kladky talu pouze na CT a MR. Rtg vyšetření defekty nezobrazilo. Kompresní zlomenina subchondrální kosti tibie patří mezi nově zjištěné léze, které mohou doprovázet MZ.

Průměrný věk pacientů s MZ zjištěný v předchozích studiích byl nižší než námi zjištěných 48 roků. Tento věk však je stejný jako v námi provedených předchozích epidemiologických studiích zlomenin hlezna [47,49].

Mechanismus vzniku MZ je diskutován řadou autorů [9,12,21]. Podle Lauga-Hansenovy klasifikace dochází ke vzniku zlomeniny proximální fibuly ve III. stadiu pronačně everzního způsobu poranění [50]. V I. stadiu dochází k poškození mediálních struktur (mediální malleolus, deltový vaz), ve II. stadiu dochází k ruptuře lig. tibiofibulare anterius a interoseální membrány a ve III. stadiu se objevuje ruptura lig. tibiofibulare posterius či zlomenina zadní hrany tibie.

- Naproti tomu Pankovich [9] popisuje těchto 5 stadií:
- 1) Ruptura lig. tibiofibulare anterius nebo avulzní zlomenina jeho úponu s poraněním lig. tibiofibulare interosseum.
 - 2) Zlomenina zadní hrany tibie nebo ruptura lig. tibiofibulare posterius.
 - 3) Ruptura anteromedální části kloubního pouzdra nebo avulzní zlomenina jeho úponu.
 - 4) Zlomenina proximální třetiny fibuly.
 - 5) Ruptura deltového vazu nebo zlomenina vnitřního malleolu.

Tato sekvence odpovídá supinačně everznímu vzniku poranění, což vysvětluje, proč v některých případech MZ zůstávají mediální struktury intaktní. Pankovichem [9] uváděný význam antero-mediální části kloubního

pouzdra pro stabilitu zůstává nejasný. Autor ho mohl zaměnit s přední, tibiosubtalární porcí deltového vazu. Supinačně everzní mechanismus úrazu by také vysvětloval poranění lig. fibulotalare anterius a lig. fibulocalcaneare, která popsal Morris et al. [17].

Naše studie podtrhuje důležitost CT vyšetření u MZ. Kostní léze typu abruptce Chaputova hrbolu či zlomenina zadní hrany tibie nejsou na standardních rtg. snímcích často patrné, a pokud jsou, tak bez CT nelze zhodnotit jejich rozsah. Transverzální CT řezy jsou klučiční ke zhodnocení postavení distální fibuly v incisura fibularis tibiae. MR zůstává jedinou možností, jak určit rozsah poranění interoseální membrány a velmi důležitá je i pro diagnostiku osteochondrálních lézí talu, subchondrálních zlomenin tibie a rozsahu poranění deltového vazů.

ZÁVĚR

Naše studie i literární údaje potvrzují, že Maisonneuveova zlomenina je co do rozsahu a závažnosti variabilní poranění. Jeho spektrum se pohybuje od zlomenin stabilních až po zlomeniny vysoce nestabilní. Součástí MZ je vždy ruptura lig. tibiofibulare anterius a lig. tibiofibulare interosseum. Membrana interossea bývá roztržena ve většině případů, ale pouze ve své distální třetině, nikoli až do výše zlomeniny na fibule, jak se běžně uvádí. Lig. tibiofibulare posterius nemusí být poraněno vždy. Za ekvivalent jeho léze lze považovat odlomení malleolus posterior, které jsme našli ve třech čtvrtinách našich případů. Výskyt a rozsah poranění mediálních struktur hlezna (malleolus medialis, lig. deltoideum) je značně variabilní. Mohou chybět, mohou být parciální a mohou být kompletní. Pomyslet je nutno i na osteochondrální zlomeniny kladky talu či kompresi laterální části kloubní plochy tibie. V literatuře ojediněle uváděné poranění fibulárních vazů (zevní kotník) jsme nezaznamenali. Zde je třeba dalších studií. Vzhledem k tomu, že řada poranění doprovázejících MZ není patrná na prostých rtg. snímcích, je nutné vždy doplnit CT.

Článek vznikl v rámci řešení projektu AZV ČR 16-28458A: Trimaleolární zlomeniny hlezna – CT diagnostika zlomenin zadní hrany tibie, jejich CT klasifikace, operační léčba a IP ZRO MO 1012.

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

1. Maisonneuve JG. Recherches sur la fracture du peroné. Arch Gen Med. 1840;7:165-87,433-473.
2. Quenu E. Fracture de Maisonneuve (fracture dite par diastase). Bull Soc Chir. (Paris) 1906;32:943-45.
3. Chaput VAH. Les fractures malléolaires du cou-de-pied et les accidents du travail. Masson, Paris 1907.
4. Destot E. Traumatisme du pied et rayons X. Masson, Paris 1911.
5. Tanton J. Fractures en général: Fractures

- des membres inférieurs. JB Bailliere, Paris 1916.
6. Ashhurst APC, Bromer RS. Classification and mechanism of fractures of the leg bones involving the ankle. *Arch Surg.* 1922;45:1-129.
 7. Bonnin JG. Injuries to the ankle. Heine- mann, London 1950.
 8. Weber BG. Die Verletzungen des oberen Sprunggelenkes. Huber, Bern 1966.
 9. Pankovich AM. Maisonneuve fracture of the fibula. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58-A:337-342.
 10. Amman E. Die Maisonneuve-Fraktur Resultate von 37 behandelten Fällen in der Jahren 1971-1981. Inauguraldissertation, Universität Basel 1981.
 11. Heim U. Malleolarfrakturen. *Unfallheilkunde* 1983;86:248-258.
 12. 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.
 13. Merrill KD. The Maisonneuve fracture of the fibula. *Clin Orthop Rel Res.* 1993;287:218-23.
 14. Slawski DP, West C. Maisonneuve fracture with an associated distal fibular fracture. *Clin Orthop Rel Res.* 1995;317:193-198.
 15. Duchesneau S, Fallat LM. The Maisonneuve fracture. *J Foot Ankle Surg.* 1995;34:422-428.
 16. 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.
 17. 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.
 18. Obeid EMH, Amr M, Hirst P, et al. Percutaneous fixation of Maisonneuve and Maisonneuve-type fractures: a minimally invasive approach. *Injury* 1998;29(8):619-622. doi:10.1016/s0020-1383(98)00149-1.
 19. Kirschner P, Brünner M. Die Operation der Maisonneuve-Fraktur. *Oper Orthop Traumatol.* 1999;11:11-18.
 20. Kolman J. Maisonneuveova zlomenina. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 1999;66:41-45.
 21. Babis GC, Papagelopoulos PJ, Tsarouchas J, et al. Operative treatment for Maisonneuve fracture of the proximal fibula. *Orthopedics* 2000;23(7):687-690.
 22. 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;31:5-C107-110. doi:10.1016/s0020-1383(00)80038-8.
 23. Hensel KS, Harpstrite JK. Maisonneuve fracture associated with a bimalleolar ankle fracture-dislocation: A case report. *J Orthop Trauma* 2002;16:525-528. doi:10.1097/00005131-200208000-00014.
 24. 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.
 25. 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:10.1016/s1268-7731(03)00104-8.
 26. 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.
 27. Colenbrander RJ, Struijs PAA, Ultee JM. Bimalleolar ankle fracture with proximal fibular fracture. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005;125:571-574. doi:10.1007/s00402-005-0035-z.
 28. Levy BA, Vogt KJ, Herrera DA, et al. Maisonneuve fracture equivalent with proximal tibiofibular dislocation. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88-A:1111-6. doi:10.2106/JBJS.E.00954.
 29. Wolfram D, Lottersberger C, Blauth M, et al. Mögliche Nervenverletzungen bei Sprunggelenk luxationsverletzungen trimalleoläre Fraktur mit Beteiligung der proximalen Fibula. *Unfallchirurg* 2007;110:70-44. doi:10.1007/s00113-006-1183-5.
 30. 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.
 31. 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.
 32. 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.
 33. Imade SI, Takao M, Miyamoto W, et al. Leg anterior compartment syndrome following ankle arthroscopy after Maisonneuve fracture. *Arthroscopy* 2009;25:215-8. doi:10.1016/j.arthro.2007.08.027.
 34. 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.
 35. Pelton K, Thordarson DB, Barmwell J. Open versus closed treatment of the fibula in Maisonneuve injuries. *Foot Ankle Int.* 2010;31:604-608. doi:10.3113/FAI.2010.0604.
 36. Charopoulos I, Kokoroghiannis C, Kragiannis S, et al. Maisonneuve fracture without deltoid ligament disruption: A rare pattern of injury. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49:8611-17. doi:10.1053/j.jfas.2009.10.001.
 37. Kalyani BS, Roberts CS, Giannoudis PV. The Maisonneuve injury: a comprehensive review. *Orthopedics* 2010;33:190-197. doi:10.3928/01477447-20100301-04.
 38. 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.
 39. Dienstlmecht T, Horst K, Pape H-Ch. A 72-year-old patient with bilateral Maisonneuve fractures. *Clinics and Practice* 2012;2:e72 (180-181). doi:10.4081/cp.2012.e72.
 40. Hinds RM, Tran WH, Lorch DG. Maisonneuve-hyperplantarflexion variant ankle fracture. *Orthopedics* 2014;37:E140-144. doi:10.3928/01477447-20141023-92.
 41. 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;2:1049(1-7).
 42. van Wessem KJP, Leenen LPH. A rare type of ankle fracture: Syndesmosis rupture combined with a high fibular fracture without medial injury. *Injury* 2016;47:766-755. doi:10.1016/j.injury.2016.01.003.
 43. 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.
 44. Bartoniček J, Rammelt S, Kašper S, 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.
 45. Bartoniček J, Rammelt S, Kostlivý K, et al. Anatomy and classification of the posterior tibial fragment in ankle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135:506-516. doi:10.1007/s00402-015-2171-4.
 46. Bartoniček J, Rammelt S, Klíka D, et al. Klasifikace zlomenin zadní hrany tibie u zlomenin u zlomenin hlezna. *Rozhl Chir.* 2018;97:52-59.
 47. Jehlička D, Bartoniček J, Svatoš F, et al. Luxační zlomeniny hlezna u dospělých. I. část: Epidemiologické zhodnocení ročního souboru. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2002;69:243-247.
 48. Bartoniček J, Rammelt S, Kostlivý K. Bosworth fracture: A report of two atypical cases and literature review of 108 cases. *Fuss Sprung.* 2017;15:126-137. doi:10.1016/j.fuspru.2017.02.002.
 49. Bartoniček J, Džupa V, Frič V, et al. Epidemiologie a ekonomie zlomenin proximálního femuru, proximálního humeru, distálního radia a luxačních zlomenin hlezna. *Rozhl Chir.* 2008;87:213-219.
 50. Lauge-Hansen N. Fractures of the ankle II. Combined experimental-surgical and experimental-roentgenologic investigations. *Arch Surg.* 1950;60:957-985.

doc. MUDr. Michal Tuček
 Klinika ortopedie
 I. LFUK a ÚVN – Vojenská fakultní nemocnice
 Praha
 U Vojenské nemocnice 1200
 169 02 Praha 6
 e-mail: tucekmic@gmail.com

8. Závěry

Popsali jsme výskyt a tvar *crista malleoli lateralis*, struktury, která byla v dřívějších anatomických i klinických pracích opomíjena. Za základě CT vyšetření i klinických zkušeností jsme prokázali význam této struktury jako základního orientačního bodu při zavádění syndesmálních šroubů.

Na velkém souboru pacientů s kompletní radiodiagnostikou a operačními nálezy jsme ukázali *velkou variabilitu pathoanatomie Maisonneuveovy zlomeniny*. A to jak z hlediska kombinace jednotlivých poranění, tak stability zlomeniny.

Dokázali jsme *nutnost CT vyšetření* u každého pacienta s Maisonneuveovou zlomeninou. Pouze na základě CT zobrazení je možná přesná detekce všech poranění a správný plán léčby. U operačně léčených pacientů byla rovněž prokázána nutnost časného kontrolního CT vyšetření.

Publikovali jsme studii „*dvojitě*“ *Maisonneuveovy zlomeniny*, ve které jsme upozornili především na její možný výskyt a diagnostickou opatrnost při vyšetřování zlomenin Weber B a C. Zhodnoceny byly i radiologické a klinické výsledky našich 11 pacientů. Tato studie je ve světové literatuře prioritní.

9. Literatura

1. **Ammann E.** *Die Maisonneuve-Fraktur Resultate von 37 behandelten Fällen in der Jahren 1971–1981.* Inauguraldissertation. Basel, Universität Basel, 1981; 12-50.
2. **Ashhurst APC, Bromer RS.** *Classification and mechanism of fractures of the leg bones involving the ankle.* Arch Surg. 1922;4:51-129.
3. **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.
4. **Bartoniček J.** *Anatomy of the tibiofibular syndesmosis and its clinical relevance.* Surg Radiol Anat. 2003;25:379-386.
5. **Bartoniček J, Džupa V, Frič V, Pacovský V, Skála-Rosenbaum J, Svatoš F.** *Epidemiology and economic implications of fractures of proximal femur, proximal humerus, distal radius and fracture-dislocation of ankle.* Rozhl Chir. 2008;87:213-219.
6. **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.
7. **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.
8. **Bartoniček J, Rammelt S, Tuček M.** *Maisonneuve fractures of the ankle: A critical analysis review.* JBJS Rev. 2022;21:10:1-12.
9. **Bartoniček J, Fojtík P, Bunganičová E, Tuček M.** *Maisonneuveova zlomenina hlezna [Maisonneuve fracture].* Rozhl Chir. 2023;102:48-59.
10. **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;50:564-570.
11. **Bissuel T, Gaillard F, Dagneaux L, Canovas F.** *Maisonneuve equivalent injury with proximal tibiofibular joint dislocation: Case report and literature review.* J Foot Ankle Surg. 2017;56:404-407.

12. **Bonnin JG.** *Injuries to the Ankle.* London, Heinemann 1950, 17-25.
13. **Boszczyk A, Kordasiewicz B, Kicinski M, Fudalej M, Rammelt S.** *Operative setup to improve sagittal syndesmotoc reduction: technical tip.* J Orthop Trauma. 2019;33: e27-e30.
14. **Browner BD.** *Skeletal Trauma: Fractures, Dislocations, Ligamentous Injuries 2nd ed.* Philadelphia, WB Saunders 1998.
15. **Colenbrander RJ, Struijs PAA, Ultee JM.** *Bimalleolar ankle fracture with proximal fibular fracture.* Arch Orthop Trauma Surg. 2005;125:571-574.
16. **Destot E.** *Traumatisme du pied et rayons X.* Paris, Masson 1911.
17. **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.
18. **Fojtík P, Kostlivý K, Bartoníček J, Naňka O.** *The fibular notch: an anatomical study.* Surg Radiol Anat. 2020;42:1161-1166.
19. **Frazer JES.** *The anatomy of the human skeleton.* London, Churchill 1946, 131-137.
20. **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.
21. **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.
22. **Heim U, Pfeifer KM.** *Periphere Osteosynthesen.* Berlin, Springer 1972, 216-220.
23. **Heim U.** *Malleolarfrakturen.* Unfallheilkunde. 1983;86:248-258.
24. **Hensel KS, Harpstrite JK.** *Maisonneuve fracture associated with a bimalleolar ankle fracture-dislocation: a case report.* J Orthop Trauma. 2002;16:525-528.
25. **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:e1071-e1075.

26. **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.
27. **Hovelacque A.** Osteologie. Fascicule 1. Paris, Doin & Cie 1933, 180-186.
28. **Chaput VAH.** *Les fractures malléolaires du cou-de-pied et les accidents du travail.* Paris, Masson 1907, 39-45.
29. **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.
30. **Johnston TB, Davis DV, Davis F.** *Gray's anatomy, 32nd edition.* London, Longmans 1958, 423-430.
31. **Kašper Š, Bartoníček J, Kostlivý K, Malík J, Tuček M.** *Maisonneuveho zlomenina.* Rozhl Chir. 2020;99:77-85.
32. **Kelikian AS.** *Sarrafian's anatomy of the foot and ankle descriptive topographic functional.* Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins 2011, 40-45.
33. **Kirschner P, Brünner M.** *Die Operation der Maisonneuve-Fraktur.* Oper Orthop Traumatol. 1999;11:11-18.
34. **Kolman J.** *Maisonneuveova zlomenina.* Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 1999;66:41-45.
35. **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.
36. **von Lanz T, Wachsmuth W.** *Praktische Anatomie - Bein und Statik.* Berlin, Springer 1938, 33-35.
37. **Lauge-Hansen N.** *Fractures of the ankle. II. Combined experimental-surgical and experimental-roentgenologic investigations.* Arch Surg. 1950;60:957-985.
38. **Levy BA, Vogt KJ, Herrera DA, Cole PA.** *Maisonneuve fracture equivalent with proximal tibiofibular dislocation.* J Bone Joint Surg. 2006;86-A:1111-1116.
39. **Liu GP, Li JG, Gong X, Li JM.** *Maisonneuve injury with no fibula fracture: A case report.* World J Clin Cases. 2021;9:3733-3740.

40. **Maisonneuve JG.** *Recherches sur la fracture du peroné.* Arch Gen Med. 1840;7:165-187,433-473.
41. **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.
42. **McGoldrick NP, Murphy EP, Kearns SR.** *Single oblique incision for simultaneous open reduction and internal fixation of the posterior malleolus and anterior syndesmosis.* J Foot Ankle Surg. 2016;55:664-667.
43. **Merrill KD.** *The Maisonneuve fracture of the fibula.* Clin Orthop Relat Res. 1993;287:218-223.
44. **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.
45. **Morris JR, Lee J, Thordarson D, Terk M, Brustein M.** *Magnetic resonance imaging of acute Maisonneuve fractures.* Foot Ankle Int. 1996;17:259-263.
46. **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.
47. **Pang EQ, Coughlan M, Bonaretti S, Finlay A, Bellino M, Bishop JA, Gardner MJ.** *Assessment of open syndesmosis reduction techniques in an unbroken fibula model: visualization versus palpation.* J Orthop Trauma. 2019;33:e14-e18.
48. **Pachner P.** *Pohlavní rozdíly na lidské pánvi.* Praha, Česká akademie věd a umění 1938, 21-26.
49. **Pankovich AM.** *Maisonneuve fracture of the fibula.* J Bone Joint Surg. 1976;58-A:337-342.
50. **Pelton K, Thordarson DB, Barnwell J.** *Open versus closed treatment of the fibulae in Maisonneuve injuries.* Foot Ankle Int. 2010;31:604-608.
51. **Pérez RL, Costa IG.** *Atypical pattern of Maisonneuve's fracture-dislocation.* Eur J Orthop Surg Traumatol. 2009;19:291-295.

52. **Rammelt S, Boszczyk A.** *Computed tomography in the diagnosis and treatment of ankle fractures: A critical analysis review.* JBJS Rev. 2018;6:e7.
53. **Rammelt S, Swords M, Dhillon MS, Sands AK (editors).** *Manual of fracture management. Foot and Ankle.* Stuttgart, New York and Davos, Thieme, AO Foundation 2020.
54. **Rammelt S, Bartoníček J.** *Posterior malleolar fractures: a critical analysis review.* JBJS Rev. 2020;8:e19.00207.
55. **Rammelt S, Bartoníček J, Kroker L, Neumann AP.** *Surgical fixation of quadrimalleolar fractures of the ankle.* J Orthop Trauma. 2021;35:e216-e222.
56. **Rammelt S, Bartoníček J, Kroker L.** *Pathoanatomy of the anterolateral tibial fragment in ankle fractures.* J Bone Joint Surg. 2022;104-A:353-363.
57. **Rouviere H.** *Anatomie humaine descriptive et topographique.* Tome II. Paris, Masson et Cie 1943, 275-277.
58. **Slawski DP, West C.** *Maisonnette fracture with an associated distal fibular fracture.* Clin Orthop Relat Res. 1995;317:193-198.
59. **Stullitel G, Calvi JP.** *Current concepts in treatment of acute deltoid instability.* Foot Ankle Clin. 2021;26:315-327.
60. **Sproule JA, Khalid M, O'Sullivan M, McCabe JP.** *Outcome after surgery for Maisonnette fracture of the fibula.* Injury. 2004;35:791-798.
61. **Standring S (editor).** *Gray's anatomy - the anatomical basis of clinical practice.* London, Elsevier 2021, 1401-1402.
62. **Tanton J.** *Fractures en général: Fractures des membres inférieurs.* Paris, JB Bailliere 1916.
63. **Testut L.** *Traite d'anatomie humaine.* Paris, Octave Doin 1889, 295-296.
64. **Toldt K, Hochstetter F.** *Anatomischer Atlas. Erster Band. 14. Auflage.* Berlin, Urban und Schwarzenberg 1928, 140-144.
65. **Tornetta P 3rd, Yakavonis M, Veltre D, Shah A.** *Reducing the syndesmosis under direct vision: where should I look?* J Orthop Trauma. 2019;33:450-454.

66. **Weber BG.** *Die Verletzungen des oberen Sprunggelenkes.* Bern, Huber 1966, 78-95.
67. **White TD, Black MT, Folkens PA.** *Human osteology.* Burlington, Elsevier 2012, 263-270.
68. **Wiegerinck JJI, Stufkens SA.** *Deltoid Rupture in Ankle Fractures: To Repair or Not to Repair?* Foot Ankle Clin. 2021;26:361-371.
69. **Wolfram D, Lottersberger C, Blauth M, Piza-Katzer H.** *Possible nerve injuries in ankle dislocations. Trimalleolar fracture including the proximal fibula.* Unfallchirurg. 2007;110:70-74.
70. **Wu K, Lin J, Huang J, Wang Q.** *Evaluation of Transsyndesmotoc fixation and primary deltoid ligament repair in ankle fractures with suspected combined deltoid ligament injury.* J Foot Ankle Surg. 2018;57:694-700.
71. **Yoshimura I, Naito M, Kanazawa K, Takeyama A, Ida T.** *Arthroscopic findings in Maisonneuve fractures.* J Orthop Sci. 2008;13:3-6.

10. Publikační činnost, přednášky

10.1. Seznam publikací v souvislosti se studiem

1. **Bartoníček 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. **IF-2,021 Q2, WOS-30**
2. **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. **IF-2,100 Q3, WOS-1**
3. **Fojtík P, Kašper Š, Bartoníček J, Tuček M, Naňka O.** *Lateral malleolar crest and its clinical importance.* Surg Radiol Anat. 2023;45:255-262. **IF-1,400 Q3**
4. **Kašper Š, Bartoníček J, Kostlivý K, Malík J, Tuček M.** *Maisonneuveova zlomenina [Maisonneuve fracture].* Rozhl Chir. 2020;99:77-85.

10.2. Přednášková činnost v souvislosti se studiem

1. **Kašper Š.** *Vzácný typ Maisonneuveho zlomeniny.*
XXII. Národní kongres ČSOT Olomouc 16.-18.5.2018
2. **Kašper Š.** *Atypické formy Maisonneuveho zlomeniny.*
XXVI. Frejkovy dny – Brno 20.6.2019.
3. **Kašper Š.** *Dvojitá Maisonneuveova zlomenina - neznámý typ poranění hlezna.*
42. Sympozium ortopedické kliniky 1. LF UK A IPVZ a FN Bulovka – Praha 4.-5.11.2021
4. **Kašper Š.** *Crista malleolli lateralis.*
XXVII. Frejkovy dny - Brno 2. - 3. 9.2021
5. **Kašper Š.** *(A)typické formy Maisonneuvovy zlomeniny.*
XXVII. Frejkovy dny - Brno 2. - 3.9.2021
6. **Kašper Š.** *Komplikace zlomenin hlezna - kazuistiky ÚVN.*
13. klinicko-anatomické symposium - Praha 5.2.2022

11. Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému školiteli doc. MUDr. Michalovi Tučkovi, Ph.D. za odborné vedení a velkou trpělivost v rámci celého postgraduálního vzdělávání.

Dále děkuji svému spoluškoliteli prof. MUDr. Janu Bartoníčkoví, DrSc. za cenné rady a připomínky při zpracování veškerých publikací a umožnění vědeckého i profesního růstu na Klinice ortopedie 1. LF UK a ÚVN Praha.

Také děkuji svému spoluškoliteli doc. MUDr. Ondřejovi Naňkovi, Ph.D. za umožnění přístupu k Pachnerově osteologické sbírce a pomoc při řešení anatomicko-experimentální části studie.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za tolerantní a vstřícný přístup během celého mého studia.