

Univerzita Karlova
3. lékařská fakulta



Autoreferát dizertační práce

**Zobrazování měkkých tkání
pomocí mikro-CT**

Praha, 2020

MUDr. Matěj Patzelt

Doktorské studijní programy v biomedicině

Univerzita Karlova a Akademie věd České republiky

Obor: Lékařská biofyzika

Předseda oborové rady: Prof. MUDr. RNDr. Jiří Beneš, CSc.

Školící pracoviště: Ústav lékařské biofyziky a lékařské informatiky 3. LF UK

Autor: MUDr. Matěj Patzelt

Školitel: Prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA

Školitel konsultant: MUDr. Jiří Kubeš, Ph.D.

Oponenti:

Autoreferát byl rozeslán dne....

Obhajoba se koná dne.....v.....hod. v.....

S disertací je možno se seznámit na děkanátě 3. lékařské fakulty
Univerzity Karlovy

Obsah:

Souhrn.....	3
Summary.....	4
1. Úvod.....	5
2. Cíle dizertační práce.....	8
3. Materiál a metodika.....	9
4. Výsledky.....	12
5. Diskuze.....	16
6. Závěry.....	18
Seznam použité literatury.....	21
Seznam publikací doktoranda in extenso s impakt faktorem ve vztahu k dizertační práci.....	38
Seznam publikací doktoranda s impakt faktorem bez vztahu k dizertační práci.....	40
Seznam publikací doktoranda bez impakt faktoru bez vztahu k dizertační práci.....	42

Souhrn

Zobrazování měkkých tkání v mikro-CT je obtížné z důvodu jejich nízkého vnitřního kontrastu, proto je nutné použít kontrastní látku. Cílem této práce bylo upravit komerční mikro-CT MARS a vytvořit protokol jednoduché a levné fixace ex-vivo měkkých tkání pro zobrazování v mikro-CT.

V práci bylo použito upravené mikro-CT MARS. Pro snímání měkkých tkání byla vyvinuta etanolová metoda. Srdce a plíce laboratorních myší byly fixovány buď v 97%, 50% etanolu nebo ve vzestupné etanolové řadě. Vzorky byly snímány buď po 72, 168, nebo po 336 hodinách. Výsledné snímky byly porovnány navzájem a se snímky nativních vzorků. Dále byla tato metoda fixace vyzkoušena na zdravých mozcích laboratorních myší.

Nejllepších výsledků bylo dosaženo u fixace ve vzestupné řadě koncentrací etanolu, u srdce po 168 hodinách fixace, u plic po 336 hodinách. Při snímání mozku se podařilo zobrazit klinicky významných 42 struktur bílé hmoty a 53 struktur šedé hmoty.

Modifikované mikro-CT MARS je vhodné pro kvalitní zobrazování měkkých tkání. Etanolová metoda fixace měkkých tkání je levná a jednoduchá metoda zvýšení vnitřního kontrastu měkkých tkání.

Summary

The imaging of soft tissues in micro-CT is problematic due to their low intrinsic contrast and it is necessary to use a contrast agent. The aim of the study was to modify a conventional micro-CT MARS and to create a protocol for a simple and cheap fixation of ex-vivo soft tissues for micro-CT scanning.

A modified micro-CT MARS was used for scanning soft tissues fixated in ethanol. Hearts and lungs from laboratory mice were either fixated in 97%, 50% ethanol solution or in a series of ascending ethanol concentrations. Images were acquired after 72, 168 and 336 hours and compared to themselves and to the native specimens. This method was also used in healthy mice brains.

The best results were obtained in a series of ascending ethanol concentrations, in case of a heart after 168 hours of fixation and in case of lungs after 336 hours. In scans of the brain, it was possible to visualize 42 clinically important structures of white matter and 53 structures of grey matter.

The modified micro-CT MARS is suitable for a high-quality scanning of soft tissues. Ethanol fixation of soft tissues is a cheap and simple method for increasing contrast in soft tissues.

1. Úvod

Výpočetní tomografie (Computed Tomography, CT) je zobrazovací metoda, která využívá rentgenové záření k neinvazivnímu zobrazení vnitřní struktury zkoumaného objektu. Rozlišení výpočetní tomografie se pohybuje v řádech stovek mikrometrů. Největší využití CT našlo v humánní medicíně, kde v dnešní době patří mezi standardní zobrazovací vyšetření.

Mikrovýpočetní tomografie (Micro-Computed Tomography, Micro-CT, mikro-CT) pracuje na stejném principu jako klasická výpočetní tomografie. Rozdíl je v rozlišení, které je výrazně větší (v řádech jednotek mikrometru), a také ve velikosti zkoumaného objektu, která je naopak výrazně menší (v řádech jednotek centimetrů).

Mikro-CT je široce užíváno v průmyslu ke zkoumání kvality materiálů, dále také v archeologii ke studiu materiálů historických předmětů. V posledních letech si však našlo cestu i do biomedicínského výzkumu.

Mikro-CT umožňuje studium biologických vzorků s rozlišením srovnatelným s rozlišením světelného mikroskopu a to bez nutnosti prokrajování vzorků a tudíž jejich zničení. Díky této výhodě mohou být vzorky zkoumány opakovaně, v kombinaci několika různých

metod. Ideálním postupem je studium makrostruktury vzorku, následně vyšetření v mikro-CT a dále např. vyšetření pomocí imunohistochemie, nebo klasické histologie pod světelným mikroskopem.

Při zobrazování předmětu v mikro-CT prochází rentgenové paprsky zkoumaným objektem a foton-senzitivní detektory následně detekují záření, které objektem prošlo. Během snímání jsou pořízeny stovky dvojrozměrných řezů z mnoha úhlů kolem objektu. Výsledkem snímání je dataset 2D řezů v jasně definovaných paralelních rovinách. Získaná data jsou uložena v počítači, kde je možné jednotlivé snímky prohlížet, dále je možné z nich vytvořit 3D rekonstrukci a provést post-produkci.

Vzhledem k principu fungování mikro-CT se nejlépe zobrazují struktury s vysokým protonovým číslem (kosti, zuby, apod.). Právě tato vlastnost je největší limitací mikro-CT při zobrazování měkkých tkání jako jsou svaly nebo nervy. Různé měkké tkáně se v absorpci rentgenového záření příliš neliší, mají nízký vnitřní kontrast a tudíž je ve výsledném snímku nelze příliš rozlišit. Proto je nutné při zobrazování měkkých tkání v mikro-CT kontrast zvýšit. Nejjednodušší metodou je využití přirozeného kontrastu v rámci zkoumaného orgánu, například v plicích mezi dýchacími cestami a plicním parenchymem. Další možností jsou fixační

činnidla, jako je například jodid draselný nebo fosfowolframová kyselina. Pro zobrazení cévního řečiště je poté nutná aplikace intravaskulární kontrastní látky, nejčastěji jodu či nanočástic zlata. Žádná metoda však není dokonalá. Některé metody jsou příliš složité, jiné jsou extrémně drahé, nebo jsou pro živé tkáně naprosto nevhodné pro svoji toxicitu.

Dizertační práce se zabývá problematikou zobrazení měkkých tkání v mikro-CT a klade si za cíl představit metodu zlepšení kontrastu měkkých tkání při zobrazování v mikro-CT.

2. Cíle dizertační práce

Cílem dizertační práce je vytvořit levnou a jednoduchou metodu ex-vivo fixace měkkých tkání pro zobrazení v modifikovaném mikro-CT MARS (Medipix All Resolution System).

Jednotlivé dílčí cíle byly následující:

1. modifikovat přístroj mikro-CT MARS
2. porovnat různé typy fixace srdce a plic animálního modelu v etanolu jako kontrastního činidla pro zobrazení v mikro-CT
3. zobrazit vnitřní strukturu zdravého mozku animálního modelu fixovaného ex-vivo v etanolu v mikro-CT a popsat zobrazené struktury

3. Materiál a metodika

Výzkum byl prováděn na přístroji mikro-CT Medipix All Resolution System (MARS), který byl vyvinut Univerzitou v Canterbury na Novém Zélandu. Pro potřeby výzkumu byl však přístroj výrazně modifikován.

Konstrukce přístroje zůstala stejná, jedná se o typ, kde jsou detektor a rentgenka umístěny v jedné gantry, která rotuje kolem stacionárního vzorku.

Původní rentgenka byla nahrazena rentgenovou lampou KEVEX™ PXS-11 s provozním napětím 40-70 kV a s 30 μ m ohniskem.

Mikro-CT bylo osazeno novým foton-počítajícím detektorem Timepix Quad s rozměry 2,8 x 2,8cm, který je složen ze čtyř čipů o celkové ploše 512 x 512 pixelů. Takto modifikované mikro-CT dosahuje prostorového rozlišení 30 μ m.

Konstrukce gantry umožňuje snímat objekty, které jsou v dlouhé ose delší než 2,8 cm a to tím, že se vzorek snímá např. ve třech sub-akvizicích, kdy se vzorek posune o délku detektoru a výsledné sub-akvizice se poté spojí do jednoho snímku.

Zvětšení je realizováno změnou vzdálenosti rentgenky od vzorku a dosahuje od 1,25x k 2x zvětšení.

Přístroj je schopný pořizovat jednak tomografie s následnou 3D rekonstrukcí, ale také takzvané mikroradiografie. Jedná se o 2D sumační projekci, jejíž pořízení trvá v řádech sekund. Mikroradiografie je vhodná jako prvotní sken zkoumaného objektu k určení například oblasti zájmu (Region of Interest, ROI).

Pro snímání měkkých tkání v mikro-CT byla vyvinuta etanolová metoda fixace. Srdce a plíce 30 geneticky modifikovaných laboratorních myší C57BL/6 byly fixovány buď v 97% etanolu, 50% etanolu, nebo ve vzestupné řadě koncentrací etanolu. Vzorky byly snímány buď po 72 hodinách, 168 hodinách, nebo po 336 hodinách. Výsledné snímky byly porovnány navzájem a se snímky nativních vzorků. Dále byla tato metoda fixace vyzkoušena na pěti zdravých mozcích laboratorních myší C57BL/6 fixovaných ve vzestupné řadě koncentrací etanolu za účelem zhodnocení přínosu zobrazování mozku v mikro-CT ve výzkumu centrálního nervového systému.

Dizertační práce vychází z pěti publikovaných impaktovaných monotematicky založených publikací. První tři publikace jsou technického rázu a vznikly pod „takovkou“ inženýrů z Ústavu technické a experimentální fyziky, České vysoké učení technické

(ÚTEF ČVUT) v Praze a Fakulty biomedicínského inženýrství, České vysoké učení technické (FBMI ČVUT).

Další dvě publikace se zabývají zkoumáním biologických vzorků a vznikly primárně pod vedením pracovníků 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy (3. LF UK).

Výsledkem úzké spolupráce lékařů a inženýrů je soubor vědeckých prací, které zahrnují modifikaci původního mikro-CT přístroje, vývoj držáků pro vzorky a následně výzkum a vývoj nových protokolů pro zobrazování měkkých tkání v mikro-CT.

4. Výsledky

Úspěšně se podařilo přebudovat mikro-CT MARS a osadit ho novými komponenty, zejména foton-počítajícím detektorem Timepix. Takto sestavené mikro-CT disponuje rozlišením cca 30 μm . Přístroj byl následně úspěšně otestován pro zobrazování měkkých tkání, nejdříve na fantomu a poté na reálných měkkých tkáních. Nevýhodou modifikovaného mikro-CT MARS jsou malé rozměry Timepix Quad detektoru. Pro velké vzorky, které svými rozměry přesahují rozměry detektoru, byl proto vytvořen systém, kdy gantry umožňuje posunutí vzorku o rozměr detektoru. Vzorek je tak snímán postupně v několika subakvizicích, které jsou následně spojeny v jeden objekt. Tento přístup lze aplikovat při vytváření 2D snímků (mikroradiografií), tak i u klasických tomografií.

Při snímání vzorků měkkých tkání v otevřeném držáku vzorků v mikro-CT MARS docházelo k jejich rychlému zahřívání a následnému vypařování vody a tím k jejich zmenšování. Výsledkem byly nekvalitní tomografie s řadou artefaktů. Proto byl vytvořen dvojkomorový držák vzorků pro mikro-CT, který v jedné komoře obsahoval vzorek a v druhé rezervoár s etanolem. Komoře byly od sebe neúplně rozdělené. Etanol se během snímání vypařoval a zajistil tak vhodnou atmosféru kolem zkoumaného

vzorku, zredukoval vypařování tekutiny ze vzorku a tím výrazně snížil změnu jeho objemu a tvaru. Výsledkem byly tomografie s minimem artefaktů v porovnání s původním otevřeným držákem.

Etanol byl také použit jako fixační činidlo srdcí a plic laboratorních myší. V případě srdce všechny 2D snímky (mikroradiografie) srdcí fixovaných v etanolu zobrazily více detailů vnitřní struktury než snímky nativních srdcí, konkrétně se jednalo o svalová vlákna, levou a pravou komoru, levé a pravé ouško a jejich trámčitá svalovina či papilární svaly. Topografie a následná 3D rekonstrukce dále zobrazila srdeční chlopně, šlašinky, svalové trámce a jimi vytvořený srdeční vír. U fixace srdce v 97% etanolu bylo pozorováno výrazné ztvrdnutí vzorků, u dvou vzorků se dokonce objevily ruptury. Nejlepšího zobrazení detailů vnitřní struktury srdce bylo dosaženo po fixaci po dobu 168 hodin. U fixace srdce v 50% etanolu byly vzorky výrazně měkčí než při fixaci v 97%, také nebyly pozorovány žádné ruptury. Nicméně zobrazení detailů vnitřní struktury nedosahovalo kvalit 97% fixace a to ani po dvoutýdenní fixaci. V případě fixace srdce ve vzestupné řadě koncentrací etanolu bylo pozorováno ztvrdnutí vzorků podobné jako u 97% etanolu, nicméně nebyly pozorovány žádné ruptury. Zvýšení kontrastu se již po 72hodinách vyrovnala nejlepším výsledkům 97% etanolu, po 168 hodinové fixaci bylo zvýšení kontrastu nejlepší v rámci všech sledovaných koncentrací.

Při srovnání tomografie s histologickým řezem, bylo na tomografii dokonce patrné více struktur než na histologickém preparátu.

V případě plic snímky nativních vzorků zobrazily, díky přirozenému kontrastu vzduch-tkáň, část vnitřní struktury – tracheu, primární bronchus a jeho první dělení. Mikroradiografie vzorků fixované v etanolu však zobrazily vnitřní struktury plic podstatně lépe. Zobrazeny byly navíc lobární bronchy a alveoly. Tomografie a následná 3D rekonstrukce dále zobrazila karinu průdušnice, okraje jednotlivých laloků a lalůčků a periferní větvení bronchů. Při fixaci v 97% byly účinky etanolu na vzorek téměř identické jako na vzorek srdce, nejlepších výsledků bylo dosaženo po 168 hodinové fixaci. U fixace plic v 50% etanolu došlo k výraznému zvýšení kontrastu až po 168, respektive po 336 hodinové fixaci, nicméně ani dvoutýdenní fixace dosáhla zvýšení kontrastu lepšího než u 97% etanolu. Výhodou fixace v 50% etanolu bylo, stejně jako u srdce, menší ztvrdnutí vzorků a nepřítomnost ruptur. V případě fixace plic ve vzestupné řadě koncentrací etanolu bylo pozorováno ztvrdnutí vzorků podobné jako u 97% etanolu, nicméně nebyly pozorovány žádné ruptury. Nejlepší zvýšení kontrastu bylo dosaženo po 336 hodinové fixaci. Při srovnání tomografie s histologickým řezem, bylo na tomografii patrné více struktur než na histologickém preparátu.

Další výzkum proběhl na pěti zdravých mozcích laboratorních myší fixovaných ve vzestupné řadě koncentrací etanolu. V pěti koronárních, čtyřech sagitálních a třech horizontálních řezech bylo identifikováno celkově 42 struktur bílé hmoty a 53 struktur šedé hmoty. Koronární řezy byly vedeny v úrovni přední komisury, ventrální části dorzálního gyrus dentatus, dorzální části dorzálního gyrus dentatus a mozkového kmene. Sagitální řezy byly vedeny v úrovni pallidum internum, kaudoputamen, laterálního septa a medálního septa. Horizontální řezy byly vedeny v horní části paraventriculárních jader thalamu, v úrovni přední hypotalamické oblasti a v dolní části paraventriculárních jader thalamu. Podařilo se identifikovat i velmi malé struktury bílé hmoty – medální lemniscus, stria terminalis nebo cingulum.

5. Diskuze

Úspěšně se podařilo přebudovat mikro-CT MARS a osadit ho novými komponenty tak, aby bylo schopné kvalitně snímat vzorky měkkých tkání. Díky těmto úpravám nebylo nutné pro zvýšení kontrastu použít například metodu fázového kontrastu, kterou použil Takeda (Takeda et al. 2013). Pro kvalitní snímání je také nezbytné, aby byl vzorek naprosto stabilní a neměnil objem ani tvar. Proto byl vytvořen a úspěšně otestován dvojkomorový držák, který je vhodný pro udržení stability vzorku měkkých tkání během snímání v mikro-CT po dobu desítek minut.

Byla vytvořená etanolová metoda fixace ex-vivo měkkých tkání, která je levná, jednoduchá, a která může být použita jednak jako fixační činidlo měkkých tkání, tak i jako kontrastní látka. Velkou výhodou této metody je, že neničí vzorky a ty jsou tudíž dále k dispozici k dalším vyšetřením, jako je klasická histologie či imunohistochemie. V porovnání s fosfowolframovou kyselinou nebo fosfomolybdenovou kyselinou dokáže etanolová metoda lépe zobrazovat vnitřní strukturu zkoumaného vzorku (Descamps et al. 2014). Další nespornou výhodou je její jednoduchost, není k ní potřeba speciálně proškolený personál a navíc lze použít i v případě

klinického výzkumu. Nevýhodou je nevyhnutelné scvrkávání vzorku v etanolu.

Dále bylo dokázáno, že mikro-CT je vhodným nástrojem pro zobrazování centrálního nervového systému animálního modelu, v tomto případě laboratorní myši. Kovacevic například ve svém výzkumu myšího mozku v mikro-MRI dokázal zobrazit „pouze“ 62 struktur, kdy nejmenší strukturou byl habenulární komplex jader (Kovacevic et al. 2005). Náš výzkum jen části myšího mozku dokázal zobrazit 95 struktur a s výrazně větším rozlišením a nejmenšími strukturami jako je lemniscus medialis nebo stria terminalis. V porovnání s mikro-MRI je mikro-CT levnější a dostupnější zařízení s jednodušším protokolem použití kontrastních látek a vyšším rozlišením.

Díky výzkumu zdravého mozku mohou na tuto práci navázat další práce zaměřené na patologie mozku, například studie na animálních modelech tumorů mozku, ischemických příhod či traumatech. Tato studie jasně prokázala, že mikro-CT v kombinaci s etanolovou metodou fixace je vhodné pro ex-vivo studium animálního mozku.

6. Závěry

Zobrazování měkkých tkání v mikro-CT je problematické z důvodu jejich minimálního vnitřního kontrastu, pro kvalitní zobrazení jejich vnitřní struktury je nutné použít kontrastní látky. Ty jsou však velmi často příliš drahé, komplikované, toxické a velmi často znehodnotí vzorek pro další diagnostické metody. Celosvětový výzkum v oblasti zobrazování měkkých tkání in-vivo a ex-vivo v mikro-CT se zaměřuje na hledání ideální kontrastní látky. Taková látka by měla být snadno použitelná, dostupná a měla by rovnoměrně pronikat i tlustými vrstvami tkáně (Pauwels et al. 2013).

Pro získání kvalitních tomografií je nezbytný kvalitní mikro-CT přístroj. V rámci spolupráce ve Specializované laboratoři experimentálního zobrazování 3. LF UK, ÚTEF ČVUT a FBMI ČVUT byl přepracován původní mikrotomograf MARS na zařízení schopné kvalitního zobrazení měkkých tkání. Srdcem modifikovaného přístroje se stal photon-counting detektor Timepix Quad s rozměry 2,8x2,8 cm, který je schopný plně potlačit šum.

V práci byl vytvořen protokol pro fixaci měkkých tkání pro ex-vivo snímání v mikro-CT. Konkrétně se jednalo o myší srdce a plíce,

kteře byly po explantaci okamžitě fixovány v etanolu. Jako nejlepší protokol vyšla fixace ve vzestupné etanolové řadě - 25%, 50%, 75% a 97%, kdy v každé lázni byl vzorek uchován po dobu 12 hodin. Vzorky srdce byly poté snímány za 168 hodin, v případě plic po 336 hodinách. Klíčovým krokem je nutnost nechat vzorky před snímáním vyschnout po dobu 40 minut při pokojové teplotě. Díky tomuto jednoduchému kroku dochází k vypaření etanolu ze všech dutin zkoumaného orgánu, které nekolabují a jsou následně vyplněné vzduchem. Při snímání je ve vnitřních strukturách orgánu primárně detekovaný kontrast vzduch-tkáň.

Pro další klinický výzkum v oblasti neurověď byla etanolová metoda aplikována na zobrazení zdravého myšního mozku v mikro-CT. V klinicky zajímavých oblastech mozku se provedly koronární, sagitální a horizontální řezy, na kterých bylo celkově identifikováno a popsáno 42 struktur bílé hmoty a 53 šedé hmoty mozkové. Detailní zobrazení struktur zdravého mozku animálního modelu pomocí mikro-CT je klíčová pro další studium CNS na animálním modelu v preklinickém výzkumu.

Výstupy této dizertační práce prokázaly, že etanolová fixační metoda ex-vivo měkkých tkání je levná, jednoduchá a efektivní kontrastní látka pro zobrazování těchto tkání v mikro-CT. Díky své jednoduchosti není potřeba k fixaci vzorků speciálně vyškolený

personál, a tak může být etanolová metoda aplikována ve spolupráci s kliniky v klinickém výzkumu. Zkoumané tkáně je následně možné podrobit dalšímu zkoumání, například klasické histologii.

Seznam použité literatury

ALBERS, Jonas, M. Andrea MARKUS, Frauke ALVES a Christian DULLIN, 2018. X-ray based virtual histology allows guided sectioning of heavy ion stained murine lungs for histological analysis. *Scientific Reports* [online]. B.m.: Springer US, **8**(1), 1–10. ISSN 20452322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-018-26086-0

BADEA, C. T., M. DRANGOVA, D. W. HOLDSWORTH a G. A. JOHNSON, 2008a. In vivo small-animal imaging using micro-CT and digital subtraction angiography. *Physics in Medicine and Biology* [online]. **53**(19). ISSN 00319155. Dostupné z: doi:10.1088/0031-9155/53/19/R01

BADEA, Cristian T, Boma FUBARA, Laurence W HEDLUND a G Allan JOHNSON, 2005. 4-D micro-CT of the mouse heart. *Molecular imaging*. **4**(2), 110–116. ISSN 1535-3508 (Print).

BADEA, Cristian T, Eduard SCHREIBMANN a Tim FOX, 2008b. A registration based approach for 4D cardiac micro-CT using combined prospective and retrospective gating. *Medical physics* [online]. **35**(4), 1170–1179. ISSN 0094-2405 (Print). Dostupné z: doi:10.1118/1.2868778

BALINT, Richard, Tristan LOWE a Tom SHEARER, 2016. Optimal contrast agent staining of ligaments and tendons for X-ray computed tomography. *PLoS ONE* [online]. **11**(4). ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0153552

BENTLEY, Michael D, Maria C ORTIZ, Erik L RITMAN a J Carlos ROMERO, 2002. The use of microcomputed tomography to study microvasculature in small rodents. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*

[online]. **282**(5), R1267-79. ISSN 0363-6119 (Print). Dostupné z: doi:10.1152/ajpregu.00560.2001

BORAH, Babul, Gary J GROSS, Thomas E DUFRESNE, Tim S SMITH, Michael D COCKMAN, Paula A CHMIELEWSKI, Mark W LUNDY, James R HARTKE a Earl W SOD, 2001. Three-dimensional microimaging (MR μ I and μ CT), finite element modeling, and rapid prototyping provide unique insights into bone architecture in osteoporosis. *The Anatomical Record* [online]. B.m.: John Wiley & Sons, Ltd, **265**(2), 101–110. ISSN 0003-276X. Dostupné z: doi:10.1002/ar.1060

CHAFFEY, Nigel, 2001. Hayat MA. 2000. Principles and techniques of electron microscopy: biological applications. 4th edn. 543pp. Cambridge: Cambridge University Press. {pound}65 (hardback). *Annals of Botany* [online]. Dostupné z: doi:10.1006/anbo.2001.1367

CHOI, Jaesung P, Xi YANG, Matthew FOLEY, Xian WANG a Xiangjian ZHENG, 2017. Induction and Micro-CT Imaging of Cerebral Cavernous Malformations in Mouse Model. *Journal of visualized experiments : JoVE* [online]. (127). ISSN 1940-087X (Electronic). Dostupné z: doi:10.3791/56476

CHOU, Yu-fen, D PH, Benjamin WALDER, Xinli ZHANG, D PH, Chia SOO, Kang TING, D M SC, Benjamin WU a D PH, 2007. MicroCT Evaluation of Three-Dimensional Mineralization in Response to BMP-2 Doses In Vitro and in Critical Sized Rat Calvarial Defects [online]. **13**(3). Dostupné z: doi:10.1089/ten.2006.0141

CLARK, D P a C T BADEA, 2014. Micro-CT of rodents: state-of-the-art and future perspectives. *Physica medica : PM : an international journal devoted to the applications of physics to medicine and biology : official journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB)* [online]. **30**(6), 619–634. ISSN 1724-

191X (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.ejmp.2014.05.011

CLAUSS, Sarah B, Diana L WALKER, Margaret L KIRBY, Dan SCHIMEL a Cecilia W LO, 2006. Patterning of coronary arteries in wildtype and connexin43 knockout mice. *Developmental dynamics : an official publication of the American Association of Anatomists* [online]. **235**(10), 2786–2794. ISSN 1058-8388 (Print). Dostupné z: doi:10.1002/dvdy.20887

DE CRESPIGNY, Alex, Hani BOU-RESLAN, Merry C. NISHIMURA, Heidi PHILLIPS, R. A D CARANO a Helen E. D'ARCEUIL, 2008. 3D micro-CT imaging of the postmortem brain. *Journal of Neuroscience Methods* [online]. **171**(2), 207–213. ISSN 01650270. Dostupné z: doi:10.1016/j.jneumeth.2008.03.006

DEGENHARDT, Karl, Alexander C. WRIGHT, Debra HORNG, Arun PADMANABHAN a Jonathan A. EPSTEIN, 2010. Rapid 3D phenotyping of cardiovascular development in mouse embryos by micro-CT with iodine staining. *Circulation: Cardiovascular Imaging* [online]. **3**(3), 314–322. ISSN 19419651. Dostupné z: doi:10.1161/CIRCIMAGING.109.918482

DESCAMPS, Emilie, Alicja SOCHACKA, Barbara DE KEGEL, Denis Van LOO, Lucvan HOOREBEKE a Dominique ADRIAENS, 2014. Soft tissue discrimination with contrast agents using micro-ct scanning. *Belgian Journal of Zoology*. **144**(1), 20–40. ISSN 07776276.

DETOMBE, Sarah A, Nancy L FORD, Fuli XIANG, Xiangru LU, Qingping FENG a Maria DRANGOVA, 2008. Longitudinal follow-up of cardiac structure and functional changes in an infarct mouse model using retrospectively gated micro-computed tomography. *Investigative radiology* [online]. **43**(7), 520–529. ISSN 1536-0210 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1097/RLI.0b013e3181727519

DING, Ming, Anders ODGAARD a Ivan HVID, 1999. Accuracy of

cancellous bone volume fraction measured by micro-CT scanning. *Journal of Biomechanics* [online]. **32**(3), 323–326. ISSN 0021-9290. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(98\)00176-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(98)00176-6)

DOI, A, T KATO a H TAKAHASHI, 2013. Measurement of density and granularity of archeological artifacts using industrial computed tomography. In: *2013 International Joint Conference on Awareness Science and Technology & Ubi-Media Computing (iCAST 2013 & UMEDIA 2013)* [online]. s. 334–338. ISBN null VO -. Dostupné z: doi:[10.1109/ICAwST.2013.6765461](https://doi.org/10.1109/ICAwST.2013.6765461)

DRANGOVA, Maria, Nancy L FORD, Sarah A DETOMBE, Andrew R WHEATLEY a David W HOLDSWORTH, 2007. Fast retrospectively gated quantitative four-dimensional (4D) cardiac micro computed tomography imaging of free-breathing mice. *Investigative radiology* [online]. **42**(2), 85–94. ISSN 0020-9996 (Print). Dostupné z: doi:[10.1097/01.rli.0000251572.56139.a3](https://doi.org/10.1097/01.rli.0000251572.56139.a3)

DU PLESSIS, Anton, Stephan G LE ROUX, Johan ELS, Gerrie BOOYSEN a Deborah C BLAINE, 2015. Application of microCT to the non-destructive testing of an additive manufactured titanium component. *Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation* [online]. **4**, 1–7. ISSN 2214-6571. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.csndt.2015.09.001>

DU PLESSIS, Anton, Babatunde James OLAWUYI, William Peter BOSHOF a Stephan Gerhard LE ROUX, 2016. Simple and fast porosity analysis of concrete using X-ray computed tomography. *Materials and Structures* [online]. **49**(1), 553–562. ISSN 1871-6873. Dostupné z: doi:[10.1617/s11527-014-0519-9](https://doi.org/10.1617/s11527-014-0519-9)

DUDAK, Jan, Jan ZEMLICKA, Frantisek KREJCI, Stepan POLANSKY, Jan JAKUBEK, Jana MRZILKOVA, Matej PATZELT a Jan TRNKA, 2015. X-ray micro-CT scanner for small animal imaging based on Timepix detector technology. *Nuclear*

Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment [online]. B.m.: Elsevier, **773**, 81–86. ISSN 01689002. Dostupné z: doi:10.1016/j.nima.2014.10.076

ENGELHORN, Tobias, Ilker Y EYUPOGLU, Marc A SCHWARZ, Marek KAROLCZAK, Holger BRUENNER, Tobias STRUFFERT, Willi KALENDER a Arnd DOERFLER, 2009. In vivo micro-CT imaging of rat brain glioma: a comparison with 3T MRI and histology. *Neuroscience letters* [online]. **458**(1), 28–31. ISSN 1872-7972 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.neulet.2009.04.033

ERJAVEC, Igor, 2013. Computed microtomography visualization and quantification of mouse ischemic brain lesion by nonionic radio contrast agents [online]. 3–11. Dostupné z: doi:10.3325/cmj.2013.54.3

FAIS, Paolo, Chiara GIRAUDO, Alessia VIERO, Alessandro AMAGLIANI, Guido VIEL, Massimo MONTISCI, Diego MIOTTO a Giovanni CECCHETTO, 2015. Identification of bullet entrance in different type of intermediate firearm wounds through micro-computed tomography analysis. *Journal of Forensic Radiology and Imaging* [online]. **3**(3), 147–152. ISSN 2212-4780. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.jofri.2015.07.004

FELDKAMP, L A, L C DAVIS a J W KRESS, 1984. Practical cone-beam algorithm. *J. Opt. Soc. Am. A* [online]. B.m.: OSA, **1**(6), 612–619. Dostupné z: doi:10.1364/JOSAA.1.000612

FORD, Nancy L, Ian LEE, Anthony TAM a Don D SIN, 2020. Micro-computed tomography imaging of a rodent model of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD). In: Andrzej KROL a Barjor S GIMI, ed. *Medical Imaging 2020: Biomedical Applications in Molecular, Structural, and Functional Imaging* [online]. B.m.: SPIE, s. 612–619. Dostupné

z: doi:10.1117/12.2549805

GAMMON, Seth T, Nathan FOJE, Elizabeth M BREWER, Elizabeth OWERS, Charles A DOWNS, Matthew D BUDDE, W Matthew LEEVY a My N HELMS, 2014. Preclinical anatomical, molecular, and functional imaging of the lung with multiple modalities. *American journal of physiology. Lung cellular and molecular physiology* [online]. **306**(10), L897-914. ISSN 1522-1504 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1152/ajplung.00007.2014

GHANAVATI, Sahar, Lisa X YU, Jason P LERCH a John G SLED, 2014. A perfusion procedure for imaging of the mouse cerebral vasculature by X-ray micro-CT. *Journal of Neuroscience Methods* [online]. **221**, 70–77. ISSN 0165-0270. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2013.09.002>

GIGNAC, Paul M. a Nathan J. KLEY, 2014. Iodine-enhanced micro-CT imaging: Methodological refinements for the study of the soft-tissue anatomy of post-embryonic vertebrates. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution* [online]. **322**(3), 166–176. ISSN 15525015. Dostupné z: doi:10.1002/jez.b.22561

GIRARD, Romuald, Hussein A ZEINEDDINE, Courtney ORSBON, Huan TAN, Thomas MOORE, Nick HOBSON, Robert SHENKAR, Rhonda LIGHTLE, Changbin SHI, Maged D FAM, Ying CAO, Le SHEN, April I NEANDER, Autumn RORRER, Carol GALLIONE, Alan T TANG, Mark L KAHN, Douglas A MARCHUK, Zhe-Xi LUO a Issam A AWAD, 2016. Micro-computed tomography in murine models of cerebral cavernous malformations as a paradigm for brain disease. *Journal of neuroscience methods* [online]. **271**, 14–24. ISSN 1872-678X (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.jneumeth.2016.06.021

GREGOR, Tom, Petra KOCHOV, Lada EBERLOV, Luk NEDOROST, Eva PROSECK, Vclav LIKA, Hynek MRKA, David

KACHLK, Ivan PIRNER, Petr ZIMMERMANN, Anna KRLKOV, Milena KRLKOV a Zbynk TONAR, 2012. Correlating Micro-CT Imaging with Quantitative Histology. *Injury and Skeletal Biomechanics* [online]. Dostupné z: doi:10.5772/48680

HAYASAKA, Naoto, Nobuo NAGAI, Naoyuki KAWAO, Atsuko NIWA, Yoshichika YOSHIOKA, Yuki MORI, Hiroshi SHIGETA, Nobuo KASHIWAGI, Masaaki MIYAZAWA, Takao SATOU, Hideaki HIGASHINO, Osamu MATSUO a Takamichi MURAKAMI, 2012. In Vivo Diagnostic Imaging Using Micro-CT: Sequential and Comparative Evaluation of Rodent Models for Hepatic/Brain Ischemia and Stroke. *PLOS ONE* [online]. B.m.: Public Library of Science, 7(2), e32342. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032342>

HOPKINS, Tracy M, Alexander M HEILMAN, James A LIGGETT, Kathleen LASANCE, Kevin J LITTLE, David B HOM, Danielle M MINTTEER, Kacey G MARRA a Sarah K PIXLEY, 2015. Combining micro-computed tomography with histology to analyze biomedical implants for peripheral nerve repair. *Journal of neuroscience methods* [online]. 255, 122–130. ISSN 1872-678X (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.jneumeth.2015.08.016

HOUNSFIELD, G N, 1973. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *The British journal of radiology* [online]. 46(552), 1016–1022. ISSN 0007-1285 (Print). Dostupné z: doi:10.1259/0007-1285-46-552-1016

HOUNSFIELD, G N, 1976. Picture quality of computed tomography. *AJR. American journal of roentgenology* [online]. 127(1), 3–9. ISSN 0361-803X (Print). Dostupné z: doi:10.2214/ajr.127.1.3

HOUNSFIELD, G N, 1978. Potential uses of more accurate CT absorption values by filtering. *AJR. American journal of roentgenology* [online]. 131(1), 103–106. ISSN 0361-803X (Print).

Dostupné z: doi:10.2214/ajr.131.1.103

HUTCHINSON, E. F., G. FLORENTINO, J. HOFFMAN a B. KRAMER, 2017a. Micro-CT assessment of changes in the morphology and position of the immature mandibular canal during early growth. *Surgical and Radiologic Anatomy* [online]. B.m.: Springer Paris, **39**(2), 185–194. ISSN 12798517. Dostupné z: doi:10.1007/s00276-016-1694-x

HUTCHINSON, J Ciaran, Susan C SHELMERDINE, Ian C SIMCOCK, Neil J SEBIRE a Owen J ARTHURS, 2017b. Early clinical applications for imaging at microscopic detail: microfocus computed tomography (micro-CT). *The British journal of radiology* [online]. 2017/05/04. B.m.: The British Institute of Radiology., **90**(1075), 20170113. ISSN 1748-880X. Dostupné z: doi:10.1259/bjr.20170113

JEFFERY, Nathan S, Robert S STEPHENSON, James A GALLAGHER, Jonathan C JARVIS a Philip G COX, 2011. Micro-computed tomography with iodine staining resolves the arrangement of muscle fibres. *Journal of biomechanics* [online]. **44**(1), 189–192. ISSN 1873-2380 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.jbiomech.2010.08.027

JIRIK, Miroslav, Zbynek TONAR, Anna KRALICKOVA, Lada EBERLOVA, Hynek MIRKA, Petra KOCHOVA, Tomas GREGOR, Petr HOSEK, Miroslava SVOBODOVA, Eduard ROHAN, Milena KRALICKOVA a Vaclav LISKA, 2016. Stereological quantification of microvessels using semiautomated evaluation of X-ray microtomography of hepatic vascular corrosion casts. *International journal of computer assisted radiology and surgery* [online]. **11**(10), 1803–1819. ISSN 1861-6429 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1007/s11548-016-1378-3

JOHNSON, John T., Mark S. HANSEN, Isabel WU, Lindsey J. HEALY, Christopher R. JOHNSON, Greg M. JONES, Mario R.

CAPECCHI a Charles KELLER, 2006. Virtual histology of transgenic mouse embryos for high-throughput phenotyping. *PLoS Genetics* [online]. **2**(4), 471–477. ISSN 15537390. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pgen.0020061

KAPADIA, Rasesh D, George B STROUP, Alison M BADGER, Bruno KOLLER, Joshua M LEVIN, Robert W COATNEY, Robert A DODDS, Xiaguong LIANG, Michael W LARK a Maxine GOWEN, 1998. Applications of micro-CT and MR microscopy to study pre-clinical models of osteoporosis and osteoarthritis. **6**, 361–372.

KIM, J., S. PARK, M. HEGAZY a S. LEE, 2013. Comparison of a photon-counting-detector and a CMOS flat-panel-detector for a micro-CT. *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record* [online]. ISSN 10957863. Dostupné z: doi:10.1109/NSSMIC.2013.6829119

KOVACEVIC, N, J T HENDERSON, E CHAN, N LIFSHITZ, J BISHOP, A C EVANS, R M HENKELMAN a X J CHEN, 2005. A three-dimensional MRI atlas of the mouse brain with estimates of the average and variability. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)* [online]. **15**(5), 639–645. ISSN 1047-3211 (Print). Dostupné z: doi:10.1093/cercor/bhh165

KURDZIEL, Michael D, Michael D NEWTON, Samantha HARTNER, Kevin C BAKER a Jerome Michael WIATER, 2018. Quantitative evaluation of retrieved reverse total shoulder arthroplasty liner surface deviation and volumetric wear. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* [online]. **36**(7), 2007–2014. ISSN 1554-527X (Electronic). Dostupné z: doi:10.1002/jor.23849

KWON, H M, G SANGIORGI, E L RITMAN, A LERMAN, C MCKENNA, R VIRMANI, W D EDWARDS, D R HOLMES a R S SCHWARTZ, 1998a. Adventitial vasa vasorum in balloon-

injured coronary arteries: visualization and quantitation by a microscopic three-dimensional computed tomography technique. *Journal of the American College of Cardiology* [online]. **32**(7), 2072–2079. ISSN 0735-1097 (Print). Dostupné z: doi:10.1016/s0735-1097(98)00482-3

KWON, H M, G SANGIORGI, E L RITMAN, C MCKENNA, D R Jr HOLMES, R S SCHWARTZ a A LERMAN, 1998b. Enhanced coronary vasa vasorum neovascularization in experimental hypercholesterolemia. *The Journal of clinical investigation* [online]. **101**(8), 1551–1556. ISSN 0021-9738 (Print). Dostupné z: doi:10.1172/JCI1568

LAM, Wilfred W, David W HOLDSWORTH, Louise Y DU, Maria DRANGOVA, David G MCCORMACK a Giles E SANTYR, 2007. Micro-CT imaging of rat lung ventilation using continuous image acquisition during xenon gas contrast enhancement. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)* [online]. **103**(5), 1848–1856. ISSN 8750-7587 (Print). Dostupné z: doi:10.1152/jappphysiol.00009.2007

LIN, Ming De, Lutao NING, Cristian T BADEA, Nilesh N MISTRY, Student MEMBER, Yi QI, G Allan JOHNSON a Associate MEMBER, 2008. A High-Precision Contrast Injector for Small Animal X-Ray Digital Subtraction Angiography. **55**(3), 1082–1091.

MAIRE, E a P J WITHERS, 2014. Quantitative X-ray tomography. *International Materials Reviews* [online]. B.m.: Taylor & Francis, **59**(1), 1–43. ISSN 0950-6608. Dostupné z: doi:10.1179/1743280413Y.0000000023

METSCHER, Brian D., 2009a. Micro CT for comparative morphology: Simple staining methods allow high-contrast 3D imaging of diverse non-mineralized animal tissues. *BMC Physiology* [online]. **9**(1). ISSN 14726793. Dostupné

z: doi:10.1186/1472-6793-9-11

METSCHER, Brian D., 2009b. MicroCT for developmental biology: A versatile tool for high-contrast 3D imaging at histological resolutions. *Developmental Dynamics* [online]. **238**(3), 632–640. ISSN 10588388. Dostupné z: doi:10.1002/dvdy.21857

MISSBACH-GUENTNER, Jeannine, Diana PINKERT-LEETSCH, Christian DULLIN, Roser UFARTES, Daniel HORNING, Bjoern TAMPE, Michael ZEISBERG a Frauke ALVES, 2018. 3D virtual histology of murine kidneys -high resolution visualization of pathological alterations by micro computed tomography. *Scientific reports* [online]. **8**(1), 1407. ISSN 2045-2322 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1038/s41598-018-19773-5

MIZUTANI, Ryuta, D PH, Akihisa TAKEUCHI, D PH, Kentaro UESUGI, M SC, Susumu TAKEKOSHI a D PH, 2008. X-Ray Microtomographic Imaging. **14**(4).

MIZUTANI, Ryuta a Yoshio SUZUKI, 2012. X-ray microtomography in biology. *Micron* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, **43**(2–3), 104–115. ISSN 09684328. Dostupné z: doi:10.1016/j.micron.2011.10.002

NAHRENDORF, Matthias, Cristian BADEA, Laurence W HEDLUND, Jose-Luiz FIGUEIREDO, David E SOSNOVIK, G Allan JOHNSON a Ralph WEISSLEDER, 2007. High-resolution imaging of murine myocardial infarction with delayed-enhancement cine micro-CT. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology* [online]. 2007/02/23. **292**(6), H3172–H3178. ISSN 0363-6135. Dostupné z: doi:10.1152/ajpheart.01307.2006

NAKASHIMA, Daisuke, Ken ISHII, Morio MATSUMOTO, Masaya NAKAMURA a Takeo NAGURA, 2018. A study on the use of the Osstell apparatus to evaluate pedicle screw stability: An in-vitro study using micro-CT. *PLOS ONE* [online]. B.m.: Public

Library of Science, **13**(6), e0199362. Dostupné
z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199362>

NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, 2019. *Medicínská biofyzika: 2., zcela přepracované a doplněné vydání*. 2. Praha: Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-271-0209-9.

O'NEILL, Kevin R, Christopher M STUTZ, Nicholas A MIGNEMI, Michael C BURNS, Matthew R MURRY, Jeffrey S NYMAN a Jonathan G SCHOENECKER, 2012. Micro-computed tomography assessment of the progression of fracture healing in mice. *Bone* [online]. **50**(6), 1357–1367. ISSN 8756-3282. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.bone.2012.03.008](https://doi.org/10.1016/j.bone.2012.03.008)

OSES, Pierre, Marie-Ange RENAULT, Remi CHAUVEL, Lionel LEROUX, Cecile ALLIERES, Benjamin SEGUY, Jean-Marie Daniel LAMAZIERE, Pascale DUFOURCQ, Thierry COUFFINHAL a Cecile DUPLAA, 2009. Mapping 3-dimensional neovessel organization steps using micro-computed tomography in a murine model of hindlimb ischemia-brief report. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology* [online]. **29**(12), 2090–2092. ISSN 1524-4636 (Electronic). Dostupné z: [doi:10.1161/ATVBAHA.109.192732](https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.109.192732)

PARAMESWARAN, Harikrishnan, Erzsebet BARTOLAK-SUKI, Hiroshi HAMAKAWA, Arnab MAJUMDAR, Philip G ALLEN a Bela SUKI, 2009. Three-dimensional measurement of alveolar airspace volumes in normal and emphysematous lungs using micro-CT. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)* [online]. **107**(2), 583–592. ISSN 8750-7587 (Print). Dostupné z: [doi:10.1152/jappphysiol.91227.2008](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91227.2008)

PAUWELS, E., D. VAN LOO, P. CORNILLIE, L. BRABANT a L. VAN HOOREBEKE, 2013. An exploratory study of contrast agents for soft tissue visualization by means of high resolution X-ray computed tomography imaging. *Journal of Microscopy*

[online]. **250**(1), 21–31. ISSN 00222720. Dostupné z: doi:10.1111/jmi.12013

PERRIEN, Daniel S, Mohamed A SALEH, Keiko TAKAHASHI, Meena S MADHUR, David G HARRISON, Raymond C HARRIS a Takamune TAKAHASHI, 2016. Novel methods for microCT-based analyses of vasculature in the renal cortex reveal a loss of perfusable arterioles and glomeruli in eNOS-/- mice. *BMC nephrology* [online]. B.m.: BioMed Central, **17**, 24. ISSN 1471-2369. Dostupné z: doi:10.1186/s12882-016-0235-5

RANI, Laís, Sales OLIVEIRA, Stella SUELI, Lourenço BRAGA, Aline ARÊDES, Maria TEREZA, Hordones RIBEIRO, Richard BENGTT a Carlos JOSÉ, 2018. Molar cusp deformation evaluated by micro-CT and enamel crack formation to compare incremental and bulk-filling techniques. *Journal of Dentistry* [online]. B.m.: Elsevier, (April), 0–1. ISSN 0300-5712. Dostupné z: doi:10.1016/j.jdent.2018.04.015

REN, Liqiang, Bin ZHENG a Hong LIU, 2018. Tutorial on X-ray photon counting detector characterization. *Journal of X-ray science and technology* [online]. **26**(1), 1–28. ISSN 1095-9114 (Electronic). Dostupné z: doi:10.3233/XST-16210

RITMAN, Erik L., 2004. Micro-Computed Tomography—Current Status and Developments. *Annual Review of Biomedical Engineering* [online]. **6**(1), 185–208. ISSN 1523-9829. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.bioeng.6.040803.140130

RUTTY, G N, A BROUGH, M J P BIGGS, C ROBINSON, S D A LAWES a S V HAINSWORTH, 2013. The role of micro-computed tomography in forensic investigations. *Forensic Science International* [online]. **225**(1), 60–66. ISSN 0379-0738. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.10.030

SAITO, S a K MURASE, 2012. Ex vivo imaging of mouse brain using micro-CT with non-ionic iodinated contrast agent: a

comparison with myelin staining. *The British journal of radiology* [online]. **85**(1019), e973-8. ISSN 1748-880X (Electronic).
Dostupné z: doi:10.1259/bjr/13040401

SALVO, L, P CLOETENS, E MAIRE, S ZABLER, J J BLANDIN, J Y BUFFIÈRE, W LUDWIG, E BOLLER, D BELLET a C JOSSEROND, 2003. X-ray micro-tomography an attractive characterisation technique in materials science. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* [online]. **200**, 273–286. ISSN 0168-583X. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/S0168-583X(02)01689-0

SARRAJ, Wafa M, Rong TANG, Anas L NAJJAR, Molly GRIFFIN, Anthony H BUI, Alan ZAMBELI-LJEPOVIC, Mike SENTER-ZAPATA, Maya LEWIN-BERLIN, Leopoldo FERNANDEZ, Juliette BUCKLEY, Amy LY, Elena BRACHTEL, Owen AFTRETH, John GILBERTSON, Yukako YAGI, Michele GADD, Kevin S HUGHES, Barbara L SMITH a James S MICHAELSON, 2015. Prediction of primary breast cancer size and T-stage using micro-computed tomography in lumpectomy specimens. *Journal of pathology informatics* [online]. **6**, 60. ISSN 2229-5089 (Print). Dostupné z: doi:10.4103/2153-3539.170647

SCHAMBACH, Sebastian J., Simona BAG, Lothar SCHILLING, Christoph GRODEN a Marc A. BROCKMANN, 2010. Application of micro-CT in small animal imaging. *Methods* [online]. B.m.: Elsevier Inc., **50**(1), 2–13. ISSN 10462023. Dostupné z: doi:10.1016/j.ymeth.2009.08.007

SÉGUIN, Fredrick H, 1990. High-Resolution Computed Tomography and Digital Radiography of Archaeological and Art-Historical Objects. *MRS Proceedings* [online]. 2011/02/28. B.m.: Cambridge University Press, **185**, 65. ISSN 0272-9172. Dostupné z: doi:DOI: 10.1557/PROC-185-65

SHIRAI, Ryota, Takuya KUNII, Akio YONEYAMA, Takahito OOIZUMI, Hiroko MARUYAMA, Thet Thet LWIN, Kazuyuki HYODO a Tohoru TAKEDA, 2014. Enhanced renal image contrast by ethanol fixation in phase-contrast X-ray computed tomography. *Journal of Synchrotron Radiation* [online]. B.m.: International Union of Crystallography, **21**(4), 795–800. ISSN 16005775. Dostupné z: doi:10.1107/S1600577514010558

SHOFER, Scott, Cristian BADEA, Scott AUERBACH, David A SCHWARTZ a G Allan JOHNSON, 2007. A micro-computed tomography-based method for the measurement of pulmonary compliance in healthy and bleomycin-exposed mice. *Experimental lung research* [online]. **33**(3–4), 169–183. ISSN 0190-2148 (Print). Dostupné z: doi:10.1080/01902140701364458

SWAIN, Michael a Jing XUE, 2009. State of the Art of Micro-CT Applications in Dental Research. *International journal of oral science* [online]. **1**, 177–188. Dostupné z: doi:10.4248/IJOS09031

TAKEDA, T, A MOMOSE, Y ITAI, J WU a K HIRANO, 1995. Phase-contrast imaging with synchrotron X-rays for detecting cancer lesions. *Academic radiology* [online]. **2**(9), 799–803. ISSN 1076-6332 (Print). Dostupné z: doi:10.1016/s1076-6332(05)80490-8

TAKEDA, T, A MOMOSE, Q YU, J WU, K HIRANO a Y ITAI, 2000. Phase-contrast X-ray imaging with a large monolithic X-ray interferometer. *Journal of synchrotron radiation* [online]. **7**(Pt 4), 280–282. ISSN 0909-0495 (Print). Dostupné z: doi:10.1107/S0909049500004295

TAKEDA, Tohoru, THET-THET-LWIN, Takuya KUNII, Ryota SIRAI, Takahito OHIZUMI, Hiroko MARUYAMA, Kazuyuki HYODO, Akio YONEYAMA a Kazuhiro UEDA, 2013. Ethanol fixed brain imaging by phase-contrast X-ray technique. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. **425**(PART 2).

ISSN 17426596. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/425/2/022004

TANG, Rong, Julliette M BUCKLEY, Leopoldo FERNANDEZ, Suzanne COOPEY, Owen AFTRETH, James MICHAELSON, Mansi SAKSENA, Lan LEI, Michelle SPECHT, Michele GADD, Yukako YAGI, Elizabeth RAFFERTY, Elena BRACHTEL a Barbara L SMITH, 2013. Micro-computed tomography (Micro-CT): a novel approach for intraoperative breast cancer specimen imaging. *Breast cancer research and treatment* [online]. **139**(2), 311–316. ISSN 1573-7217 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1007/s10549-013-2554-6

TANG, Rong, Mansi SAKSENA, Suzanne B COOPEY, Leopoldo FERNANDEZ, Julliette M BUCKLEY, Lan LEI, Owen AFTRETH, Frederick KOERNER, James MICHAELSON, Elizabeth RAFFERTY, Elena BRACHTEL a Barbara L SMITH, 2016. Intraoperative micro-computed tomography (micro-CT): a novel method for determination of primary tumour dimensions in breast cancer specimens. *The British journal of radiology* [online]. **89**(1058), 20150581. ISSN 1748-880X (Electronic). Dostupné z: doi:10.1259/bjr.20150581

VANDE VELDE, Greetje, Jennifer POELMANS, Ellen DE LANGHE, Amy HILLEN, Jeroen VANOIRBEEK, Uwe HIMMELREICH a Rik J LORIES, 2016. Longitudinal micro-CT provides biomarkers of lung disease that can be used to assess the effect of therapy in preclinical mouse models, and reveal compensatory changes in lung volume. *Disease models & mechanisms* [online]. **9**(1), 91–98. ISSN 1754-8411 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1242/dmm.020321

VASCONCELOS, Karla De Faria, Bernardo MATTOS, Luis Eduardo PADOVAN a Paulo Henrique Luiz DE, 2016. with autogenous and xenogenous grafts : A pilot study via dos Santos Corpas MicroCT assessment of bone microarchitecture in implant

sites reconstructed with autogenous and xenogenous grafts : a pilot study [online]. (March). Dostupné z: doi:10.1111/clr.12799

WILLEKENS, Inneke, Tony LAHOUTTE, Phil SALMON, Nico BULS, Vicky CAVELIERS, Rudi DEKLERCK, Axel BOSSUYT a Johan DE MEY, 2009. Aurovist contrast enhancement in healthy mice.

WILLEMINK, Martin, Mats PERSSON, Amir POURMORTEZA, Norbert PELC a Dominik FLEISCHMANN, 2018. Photon-counting CT: Technical Principles and Clinical Prospects. *Radiology* [online]. **289**, 172656. Dostupné z: doi:10.1148/radiol.2018172656

WONG, Michael D., Shoshana SPRING a R. Mark HENKELMAN, 2013. Structural stabilization of tissue for embryo phenotyping using micro-CT with iodine staining. *PLoS ONE* [online]. **8**(12), 1–7. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0084321

ZAGORCHEV, Lyubomir, Pierre OSES, Zhen W. ZHUANG, Karen MOODIE, Mary Jo MULLIGAN-KEHOE, Michael SIMONS a Thierry COUFFINHAL, 2010. Micro computed tomography for vascular exploration. *Journal of Angiogenesis Research* [online]. **2**(1), 1–11. ISSN 20402384. Dostupné z: doi:10.1186/2040-2384-2-7

ZIKMUND, T, M NOVOTNÁ, M KAVKOVÁ, M TESAŘOVÁ, M KAUCKÁ, B SZAROWSKÁ, I ADAMEYKO, E HRUBÁ, M BUCHTOVÁ, E DRAŽANOVÁ, Z STARČUK a J KAISER, 2018. High-contrast differentiation resolution 3D imaging of rodent brain by X-ray computed microtomography. *Journal of Instrumentation* [online]. B.m.: IOP Publishing, **13**(02), C02039–C02039. ISSN 1748-0221. Dostupné z: doi:10.1088/1748-0221/13/02/c02039

Seznam publikací doktoranda in extenso s impakt faktorem ve vztahu k dizertační práci

DUDÁK, Jan; ŽEMLIČKA, Jan; KREJČÍ, František; KARCH, Jakub; **PATZELT, Matěj**; ZACH, PETR; SÝKORA, VIKTOR, MRZÍLKOVÁ, Jana. Evaluation of sample holders designed for long-lasting X-ray micro-tomographic scans of ex-vivo soft tissue samples. *Journal of Instrumentation* 2016, **11**(03), C03005-C03005. ISSN 1748-0221. DOI: 10.1088/1748-0221/11/03/C03005. **IF: 1.399/2015.**

DUDÁK, Jan; ŽEMLIČKA, Jan; KREJČÍ, František; POLANSKÝ, Štěpán; JAKUBEK, Jan; MRZÍLKOVÁ, Jana; **PATZELT, Matěj**; TRNKA, Jan. X-ray micro-CT scanner for small animal imaging based on Timepix detector technology. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A - Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment*. 2015, **774**(11), 81-86. ISSN 0168-9002. DOI: 10.1016/j.nima.2014.10.076. **IF: 1.316/2013.**

DUDÁK, Jan; ŽEMLIČKA, Jan; KARCH, Jakub; **PATZELT, Matěj**; MRZÍLKOVÁ, Jana; ZACH, Petr; HERMANOVÁ,

Zuzana; KVACEK, Jiří; KREJČÍ, František. High-contrast X-ray microradiography and micro-CT of ex-vivo soft tissue murine organs utilizing ethanol fixation and large area photon-counting detector. *Scientific Reports*. 2016, **6**, e30385;1-9. ISSN 2045-2322. DOI: 10.1038/srep30385 **IF: 5.228/2015**.

PATZELT, Matěj; MRZÍLKOVÁ, Jana; DUDÁK, Jan; KREJČÍ, František; ŽEMLIČKA, Jan; KARCH, Jakub; MUSIL, Vladimír; ROSINA, Jozef; SÝKORA, Viktor; HOREHLEDOVÁ, Barbora; ZACH, Petr. Ethanol fixation method for heart and lung imaging in micro-CT. *Japanese Journal of Radiology*. 2019, **37**(6), 500-510. ISSN 1867-1071. DOI: 10.1007/s11604-019-00830-6. **IF: 1.5/2018**.

MRZÍLKOVÁ, Jana; **PATZELT, Matěj**; GALLINA, Pasquale; WURST, Zdeněk; ŠEREMETA, Martin; DUDÁK, Jan; KREJČÍ, František; ŽEMLIČKA, Jan; MUSIL, Vladimír; KARCH, Jakub; ROSINA, Jozef; ZACH, Petr. Imaging of Mouse Brain Fixated in Ethanol in Micro-CT. *BioMed Research International*. 2019, **2019**, 1-7. ISSN 2314-6133. DOI: 10.1155/2019/2054262. **IF: 2.197/2018**.

Seznam publikací doktoranda s impakt faktorem bez vztahu k dizertační práci

MRZÍLKOVÁ, Jana; KOUTELA, Antonella; KUTOVÁ, Martina; **PATZELT, Matěj**; IBRAHIM, Ibrahim; AL-KAYSSI, Dina; BARTOŠ, Aleš; ŘÍPOVÁ, Daniela; ČERMÁKOVÁ, Pavla a ZACH, Petr. Hippocampal spatial position evaluation on MRI for research and clinical practice. *PLoS One*. 2014, **9**(12), e115174; 1-15. ISSN 1932-6203. DOI: 10.1371/journal.pone.0115174. **IF: 3.534/2013.**

PATZELT, Matěj; ZÁRUBOVÁ, Lucie; KLENER, Pavel; BÁRTA Josef; BENKOVÁ Kamila; BRANDEJSOVÁ, Adrianna; TRNĚNÝ, Marek; GÜRLICH, Robert; SUKOP, Andrej. Anaplastic Large-Cell Lymphoma Associated with Breast Implants: A Case Report of a Transgender Female. *Aesthetic Plastic Surgery*. 2018, **42**(2), 451-455. ISSN: 0364-216X. DOI: 10.1007/s00266-017-1012-y **IF: 1.484/2017.**

STINGL, Josef; MUSIL, Vladimír; PIRK, Jan; STRAKA, Zdeněk; ŠETINA, Marek; ŠACH, Josef; KACHLÍK, David; **PATZELT, Matěj**. Vasa vasorum of the failed aorto-coronary venous grafts. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2018, **40**(7): 769–778. ISSN 0930-1038. DOI: 10.1007/s00276-018-2036-y **IF: 1.003/2017.**

MUSIL, Vladimír; ŠACH, Josef; KACHLÍK, David; **PATZELT, Matěj**; STINGL, Josef. Vasa vasorum: an old term with new problems. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2018, **40**(10), 1159-1164. ISSN 0930-1038 DOI: 10.1007/s00276-018-2068-3. **IF: 1.003/2017**.

SUKOP, Andrej; **PATZELT, Matěj**; KOZÁK, Jiří; LEŠKO, Robert. A Case Report: Reconstruction of the anterior skull base with free muscle flap after iatrogenic injury. *Cesk Slov Neurol N* 2018; **81**(6), 707-708. ISSN: 1210-7859. DOI: 10.14735/amcsnn2018707 **IF: 0.508/2017**.

MUSIL, Vladimír; ŠACH, Josef; **PATZELT, Matěj**; KACHLÍK, David; STINGL, Josef. Valves of the small coronary veins in porcine hearts. *Journal of Morphology*. 2019, **280**(5), 681-686. ISSN 0362-2525. DOI: 10.1002/jmor.20974. IF: **1.711/2018**.

PATZELT, Matěj; KACHLÍK, David; STINGL, Josef; ŠACH, Josef; STIBOR, Radek; BENADA, Oldrich; KOFRONOVA, Olga; MUSIL, Vladimír. Morphology of the vasa vasorum in coronary arteries of the porcine heart: a new insight. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*. 2019, **223**, 119-126. ISSN 09409602. DOI: 10.1016/j.aanat.2019.02.006. **IF: 1.852/2018**.

Seznam publikací doktoranda bez impakt faktoru bez vztahu k dizertační práci

STINGL, Josef; RATAJOVÁ, Jana; SUCHOMEL, Zdeněk;
MALINOVÁ, Petra; **PATZELT, Matěj**; MUSIL, Vladimír. Rok
1848 - významný mezník v historii české chirurgie. *Rozhledy v
chirurgii*. 2019, **98**(11), 462-468. ISSN 0035-9351. DOI: 10.33699/
PIS.2019.98.11.462–468