

Záznam a analýza digitálných dat v antropológii

Objemový záznam a prenikajúce žiarenie

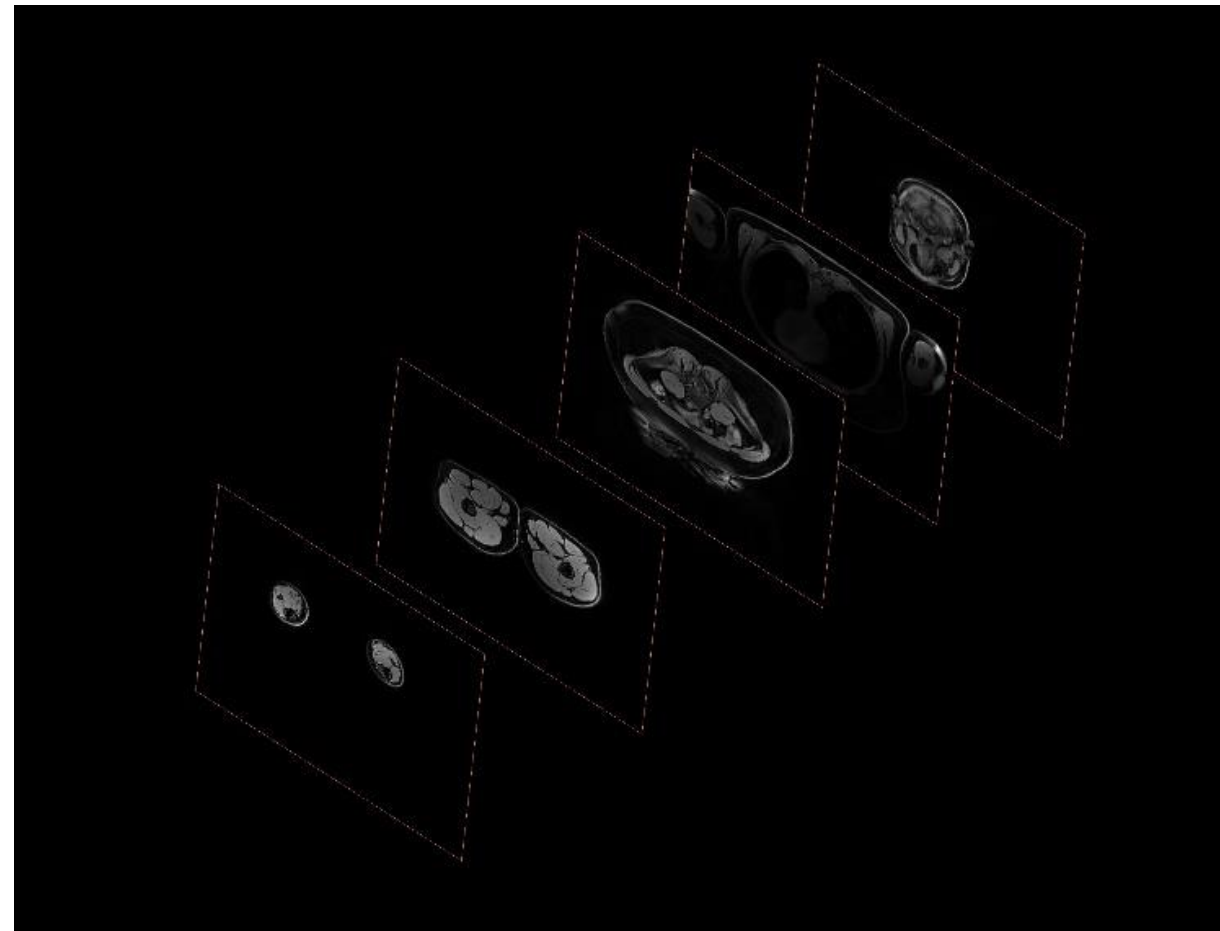
Mgr. Mikoláš Jurda, Ph.D.

Mgr. Veronika Kováčová

Objemová data

Trojrozměrný (objemový) datový záznam
objektu → i záznam vnitřních struktur

Výstup: série digitálních 2D snímků

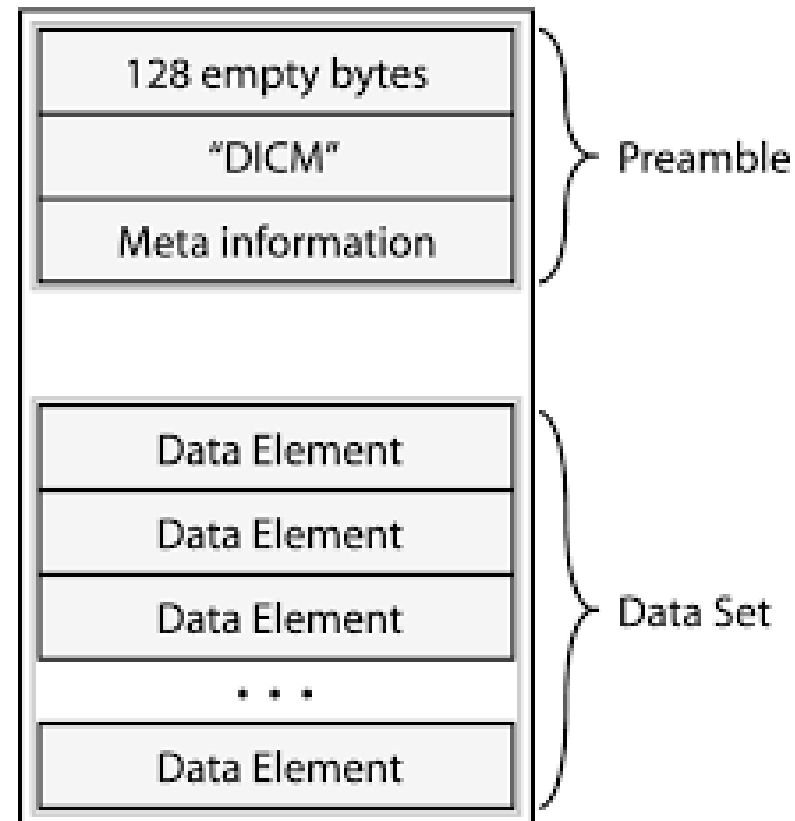


DICOM

- obrazová informace
- údaje o pacientovi
- údaje o technických parametrech vyšetření

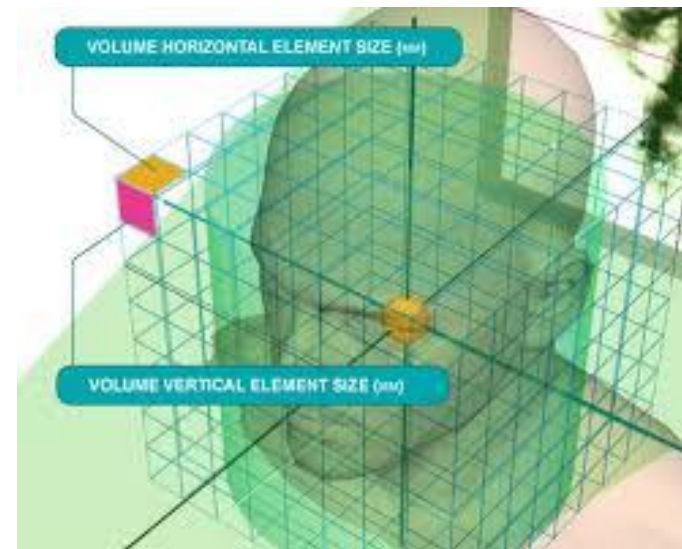
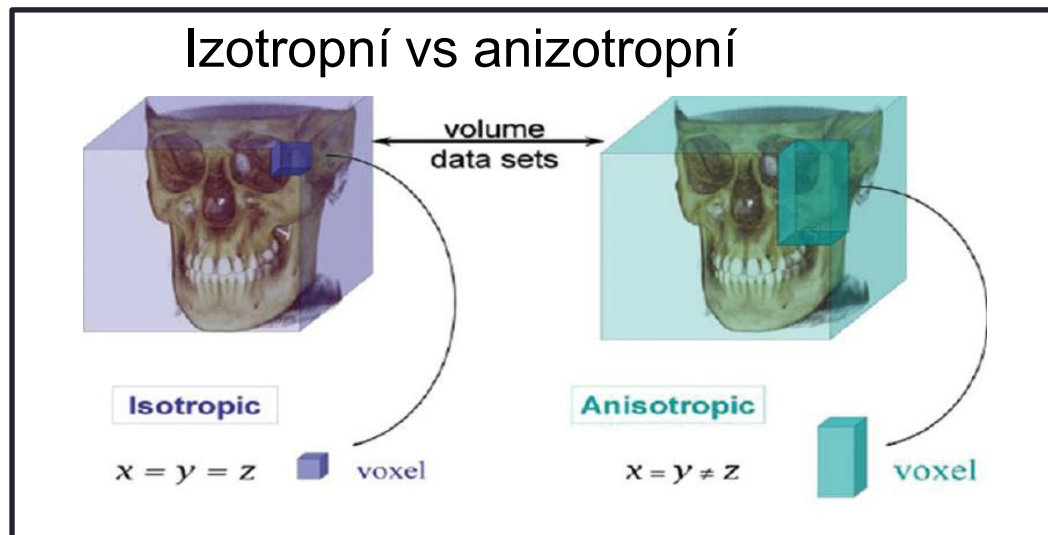
TIFF

BMP, JPEG,...



Základní stavební jednotka – voxel

- nejmenší objemová jednotka
- určená x,y,z souřadnicemi a hodnotou šedi (obvykle škála 256 nebo 4096 stupňů šedi)/Hounsfieldovými jednotkami, charakterizující materiál v tomto objemu



celý datový objem
charakterizovaný maticí

x, y, z

počet
pixlů

počet
snímků

Záznamové technologie

Fotografování sériových řezů/výbrusů objektem

napr. ***Visible Human Project***

- 90. roky
- 1 mužské (1 mm) a 1 ženské (0,33 mm) tělo
- kryosekcie
- doplněné o CT aj MRI

- zachycuje barevnou informaci
- ale je destruktivní

The National Library of Medicine's
Visible Human Project (TM)

Human-Computer Interaction Lab
Univ. of Maryland at College Park

Cena

Dostupnost

Diskomfort, klaustrofobické pocity

Potřeba vyškoleného personálu

Bez barevné informace

magnetická
rezonance



MRI vs CT

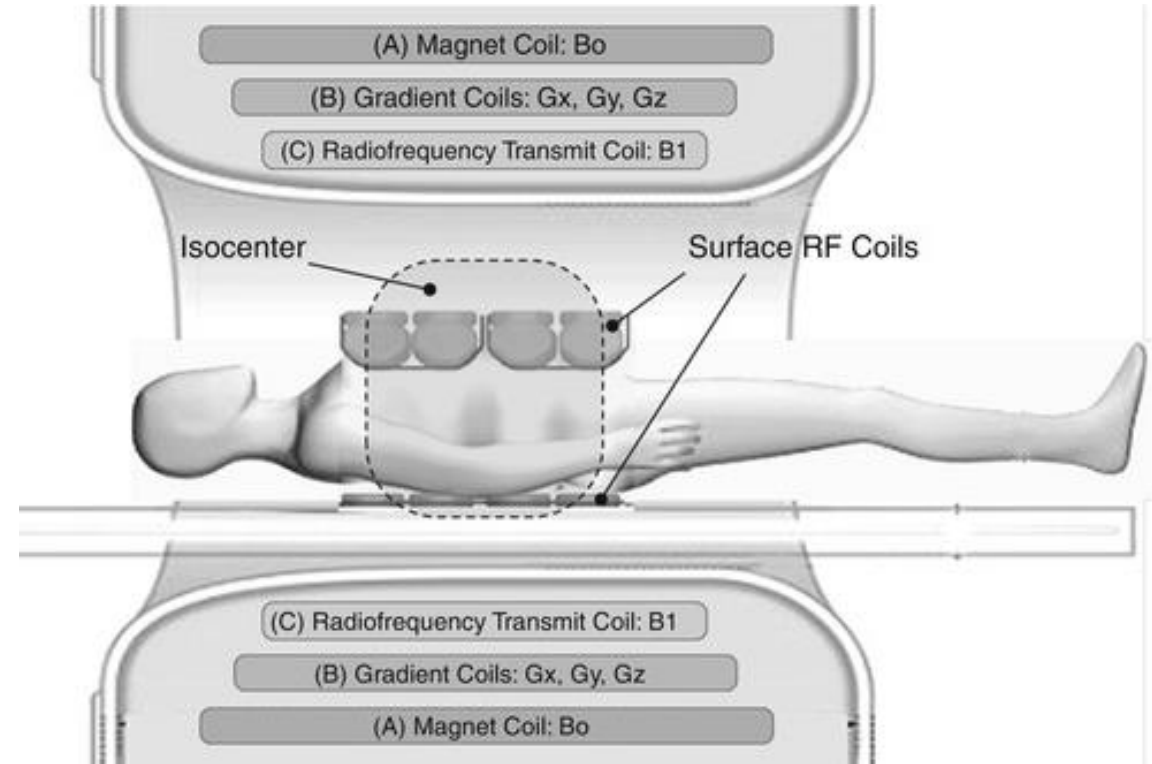


výpočetní
tomografie



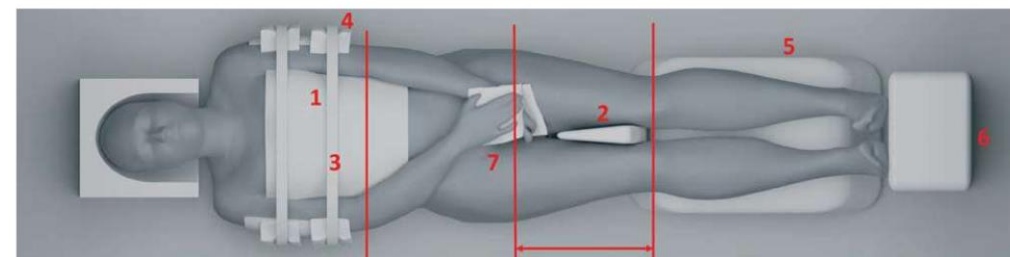
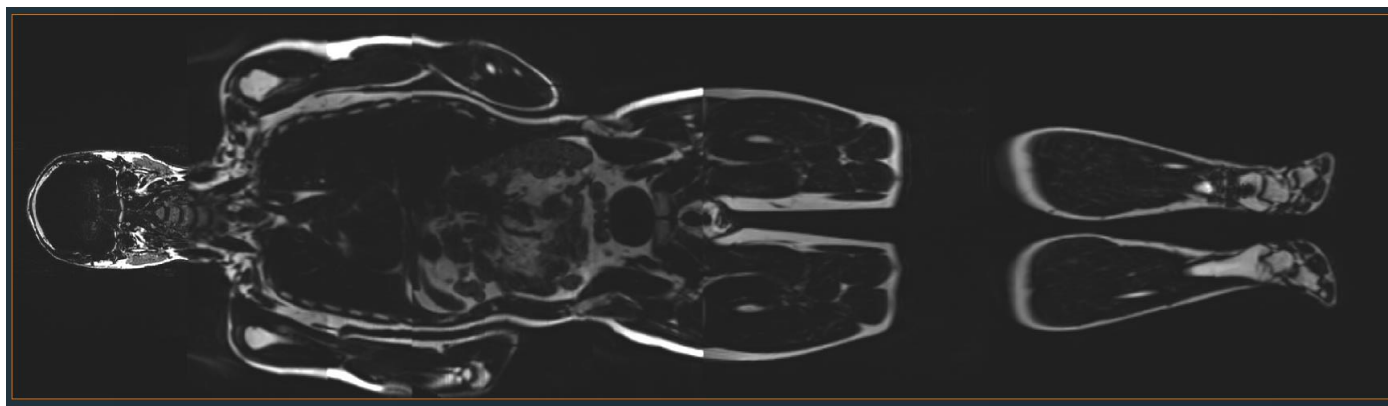
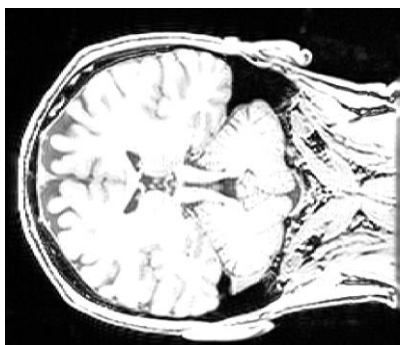
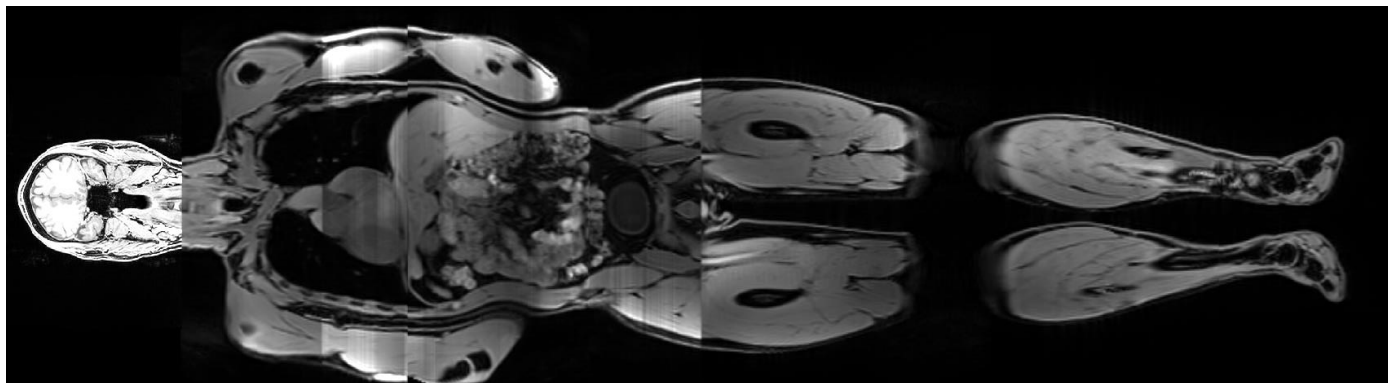
Magnetická rezonance

- neinvazivní a nedestruktivní
- využívá magnetické pole + radiofrekvenční záření
- běžné rozlišení okolo 1 mm
- poměrně dlouhý čas vyšetření -> potřeba zadržet dech
- dobrý kontrast pro tkáně s obsahem vody anebo tuku
- špatný pro dehydratované a suché tkáně



<https://radiologykey.com>

Magnetická rezonance - ADAPT



Výpočetní tomografie

neinvazivní, ale využívá ionizující záření

- 1979 – A. M. Cormack a G. N. Hounsfield –

(NC za vývoj počítačovéj tomografie)

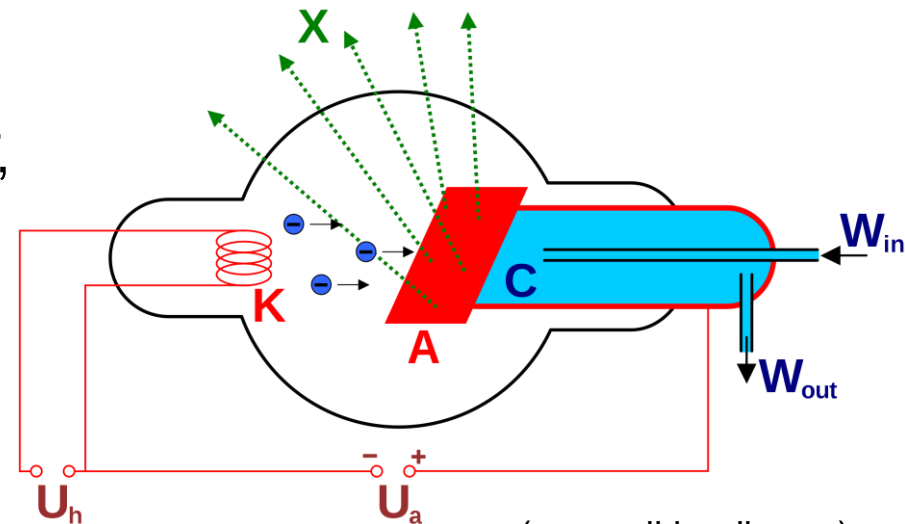
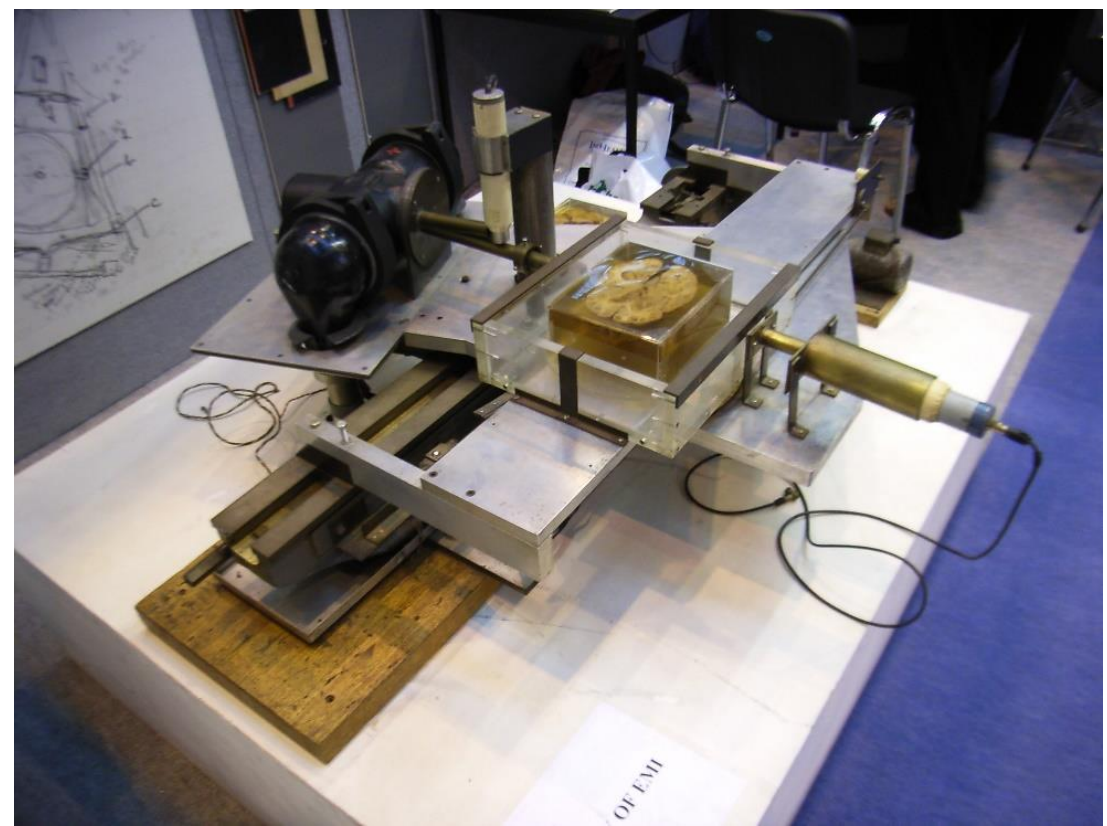
- zdroj – rentgenka + detektor

- dobrý kontrast pro tvrdé tkáně

- špatný kontrast pro měkké tkáně

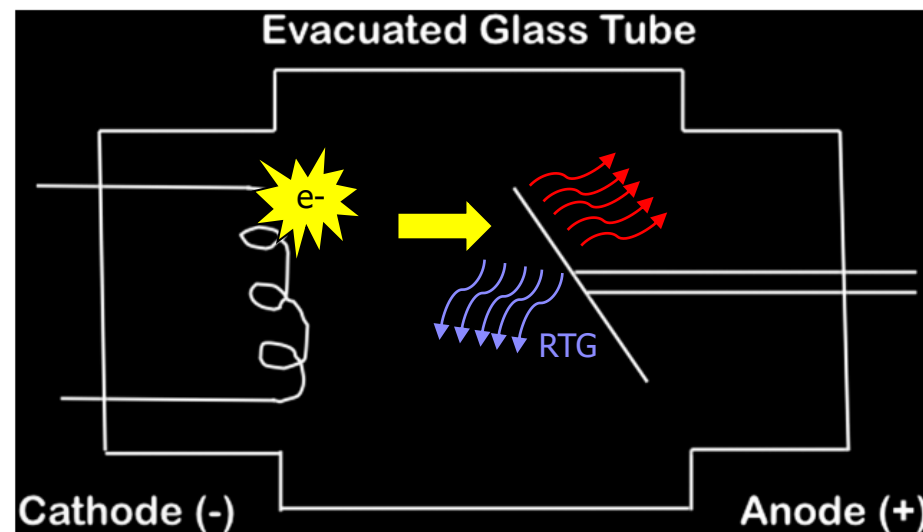
+ krátký čas vyšetření

- různé typy– celotělové, iCAT, mikro- a nano-CT,
synchrotronová mikrotomografie



Zdroj záření – rentgenka

katoda žhavená stejnosměrným proudem (mA) vysílá elektrony



elektromagnetické pole (úměrné kVp) urychluje elektrony k anodě

elektrony na anodě brzdí, 99 % energie se mění na **teplo**, ale 1 % vyvolává proud RTG paprsků – **charakteristické a brzdné záření**



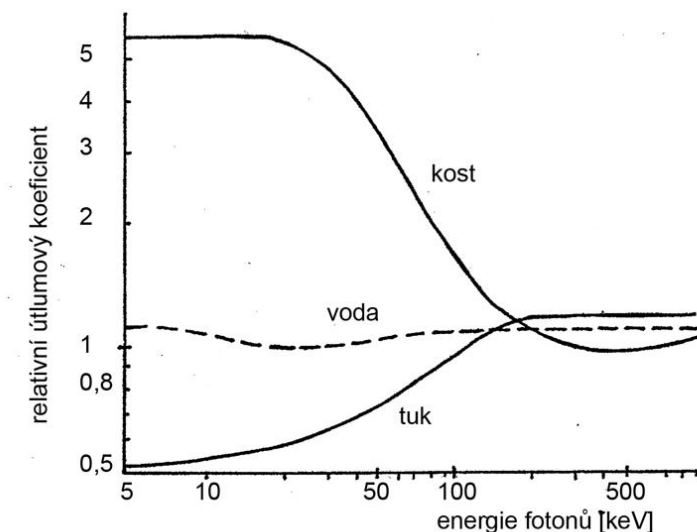
Vznik záření – kontrola

↑ mA ↑ počet elektronů → ↑ počet emitovaných fotonů záření

↑ kVp ↑ energie elektronů ↗ ↑ energie záření úměrná míře, se kterou pronikají

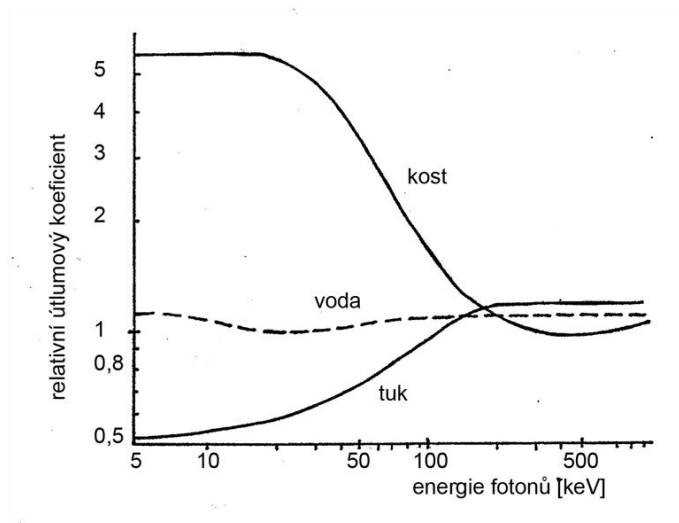
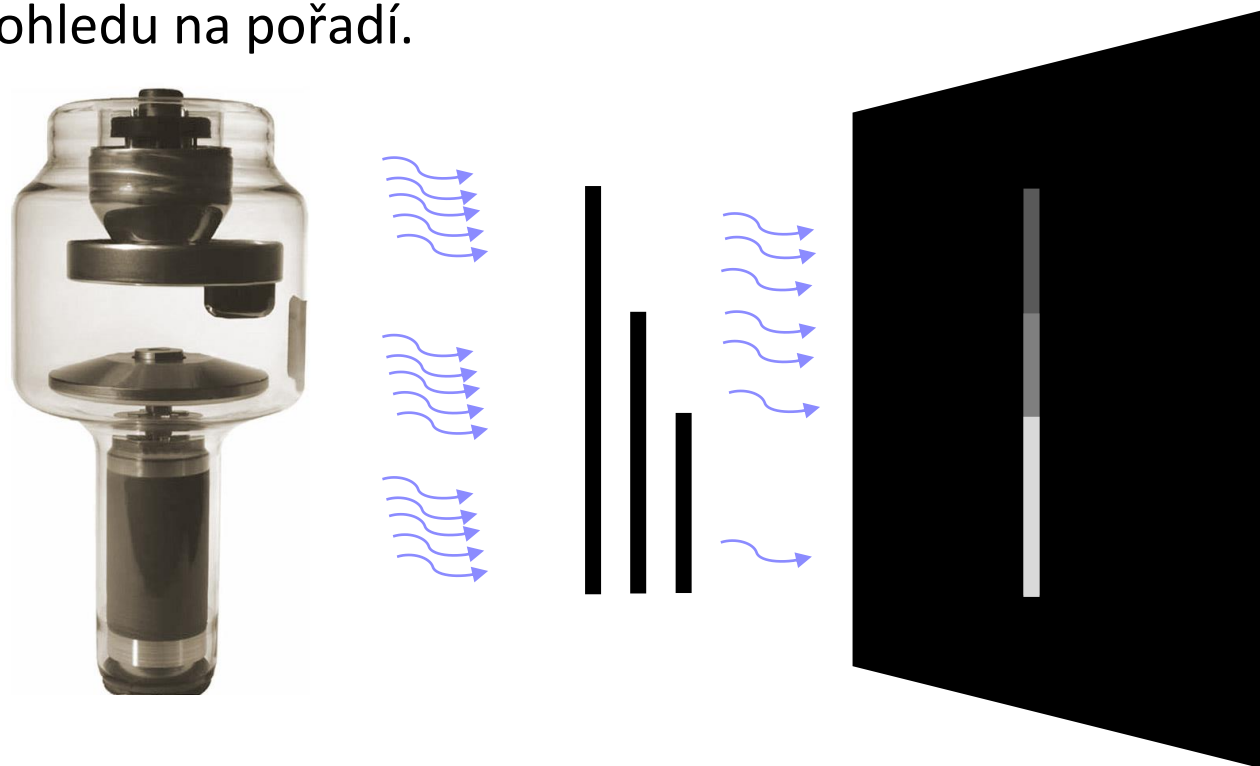
100 kVp = 100 keV

X čas = množství fotonů



Vznik RTG snímku

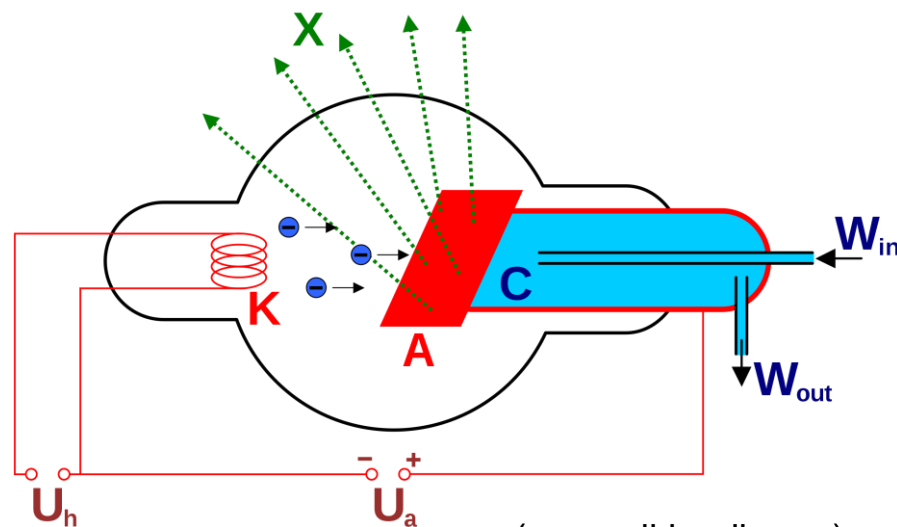
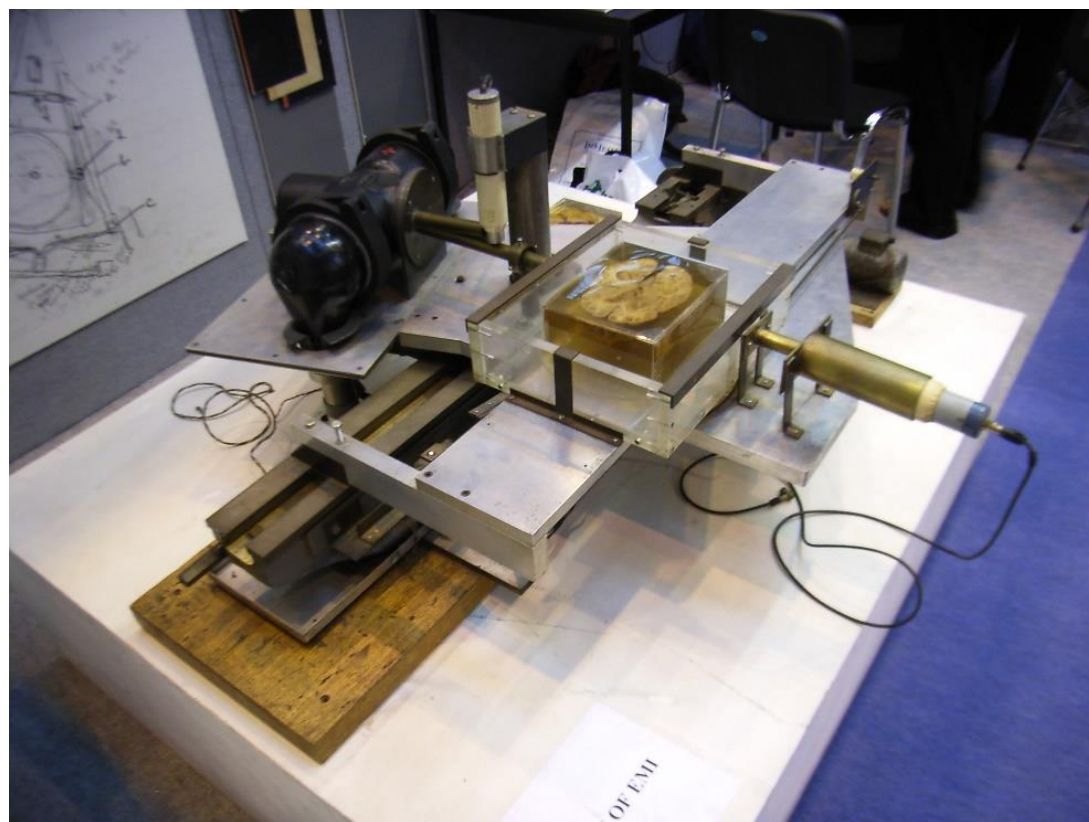
Paprsek vychází z rentgenové lampy, prochází vyšetřovaným objektem – jehož složky záření v různé míře pohlcují (v míře přímo úměrné protonovému číslu) – a dopadá na kazetu s filmem, plošný snímač nebo zesilovač. Vzniká sumační obraz, na jeho podobu mají vliv všechny tkáně, kterými prošel, bez ohledu na pořadí.



Výpočetní tomografie

Hounsfieldovy jednotky (denzní jednotky)

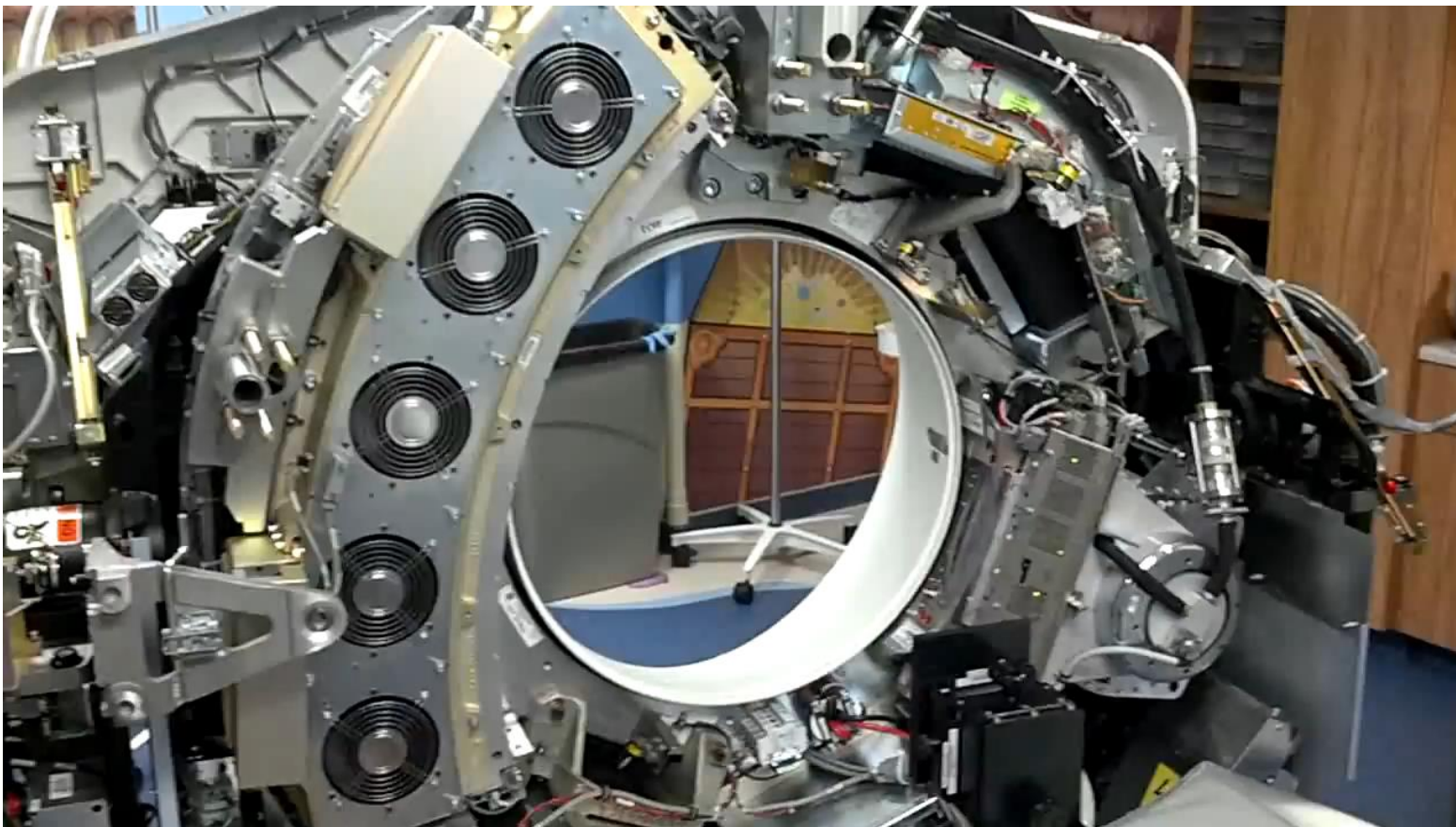
- vyjadřují míru absorpce rtg pro jeden voxel
- reference, 0 je absorpce vody
- v praxi od -1000 do 1000



(www.wikipedia.org)

Výpočetní tomografie

Medicínské výpočetní tomografy
rozlišení v řádu mm
diagnostické
poměrně krátký čas vyšetření



Výpočetní tomografie

Různé generace CT

- jeden zdroj a jeden snímač

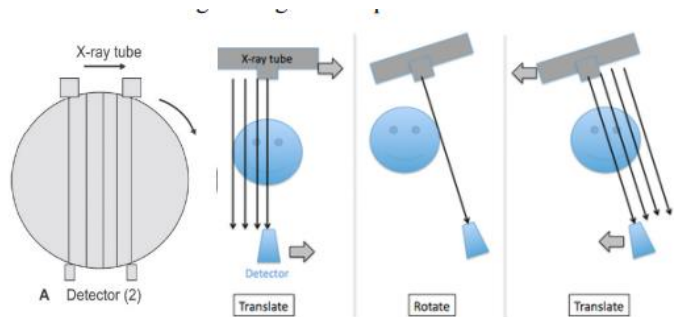


Figure1: first generation of CT scan

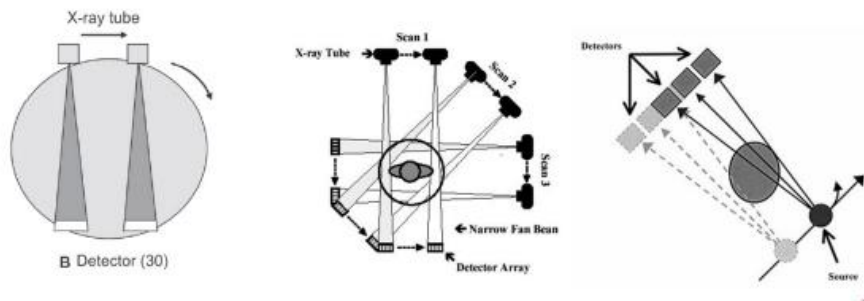
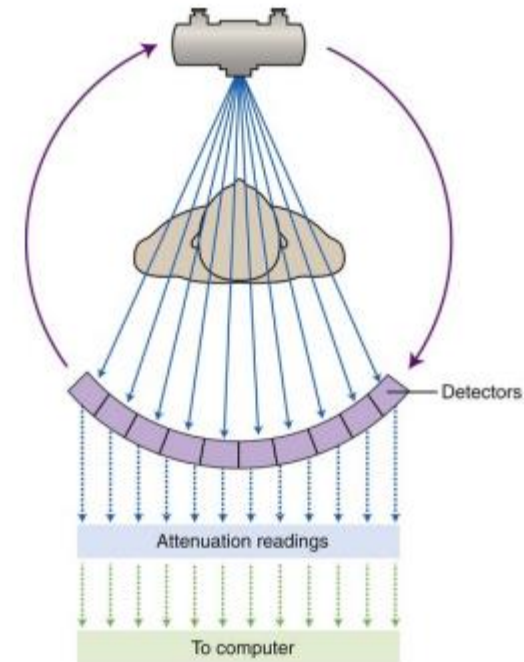
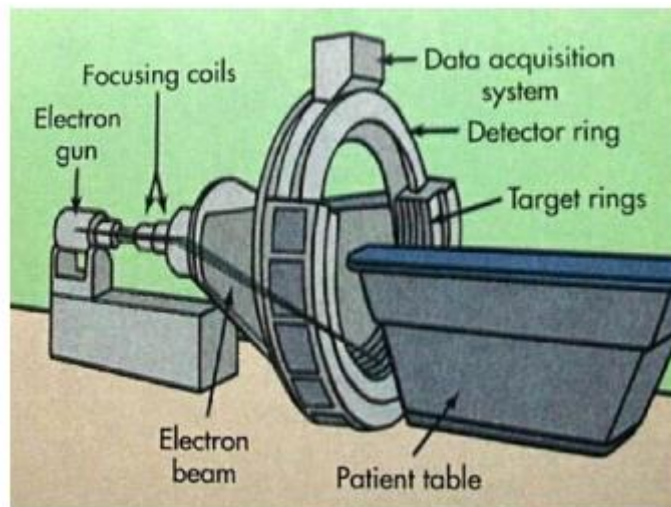
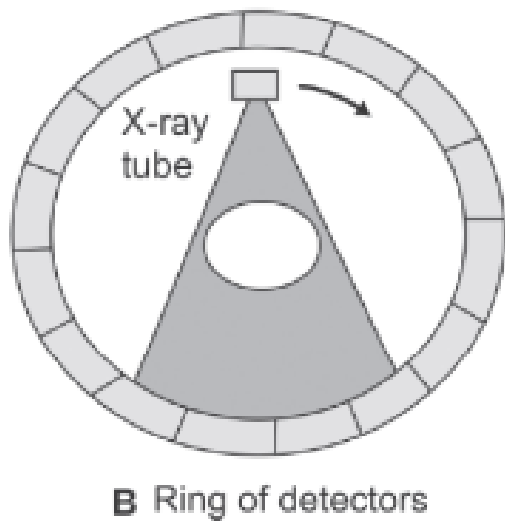


Figure2: Second generation of CT scan.



3rd generation of CT scan.



<https://www.lecturio.com/concepts/computed-tomography-ct/>

Různé generace CT

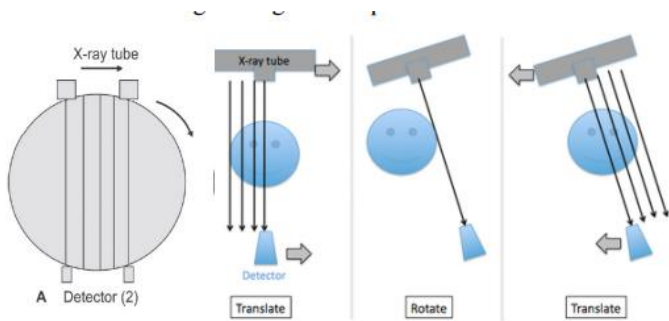
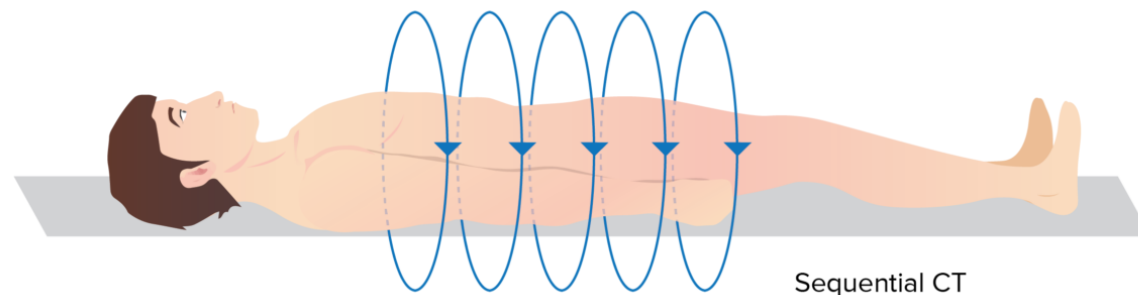
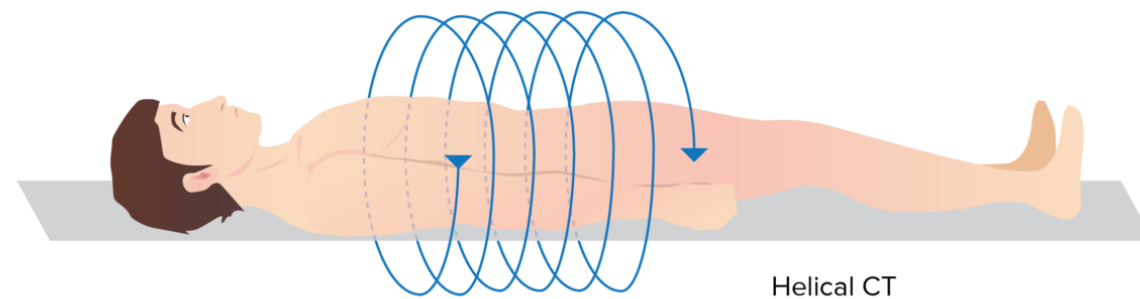


Figure1: first generation of CT scan

Helikální vs sekvenční (krokový, inkrementový)



Direction of patient movement



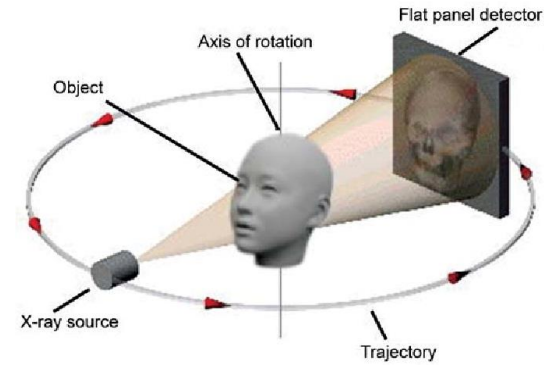
<https://www.lecturio.com/concepts/computed-tomography-ct/>

CBCT – Cone beam CT

- dentální CT, primárně vyšetření orofaciální oblasti
- rozlišení v desetinách mm (mezi celotělovým a uCT)
- krátký čas vyšetření a menší dávky záření

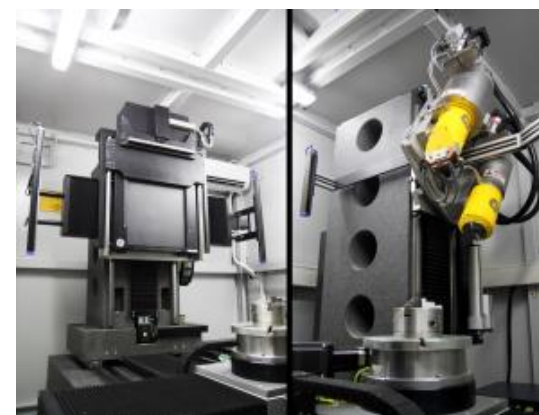
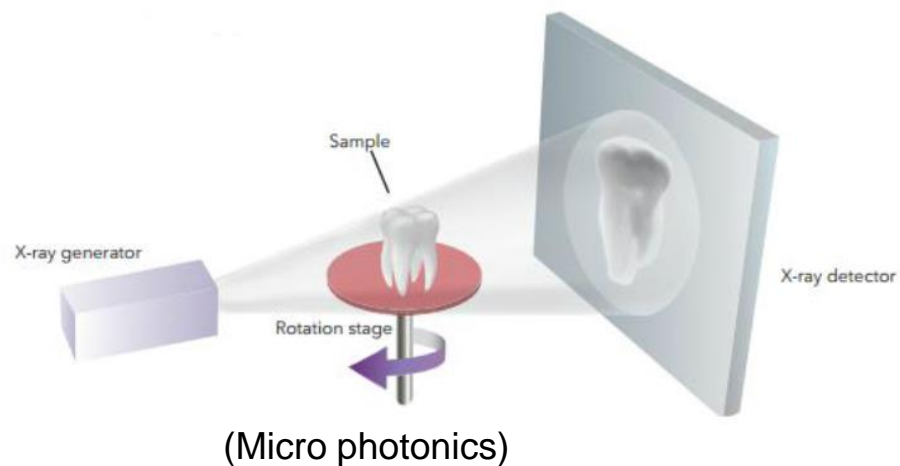
Využití v antropologii:

výzkum zubů, čelistí, vnitroušního labyrintu
atp.



mikroCT, nanoCT

- podobný princip jako klinická tomografie
- rozlišení v řádu mikrometrů nebo nanometrů ale při omezené velikosti vzorků
- vzorek ozařuje jako celek

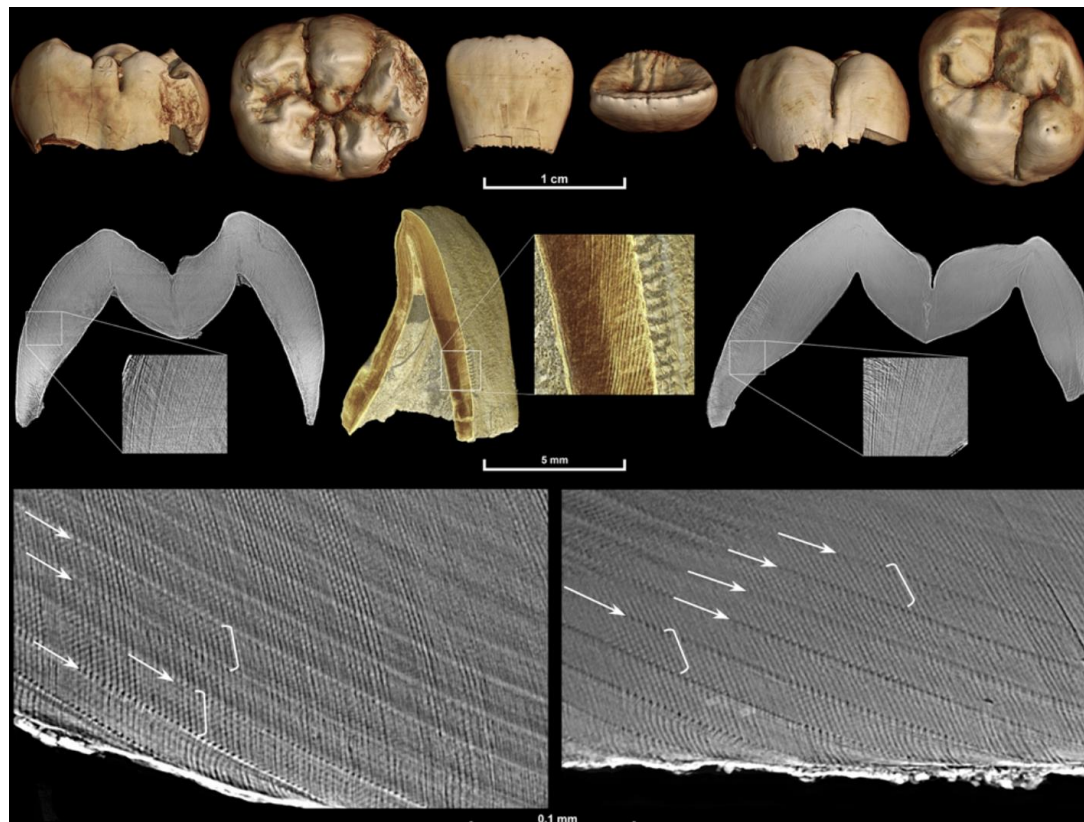
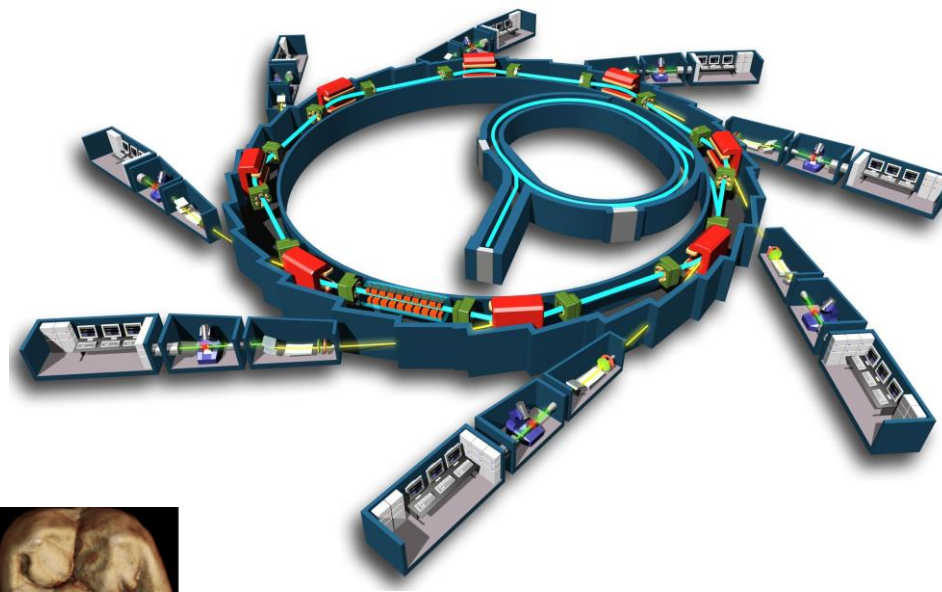


Laboratoř počítačové tomografie |
CEITEC VUT

MUNI
SCI

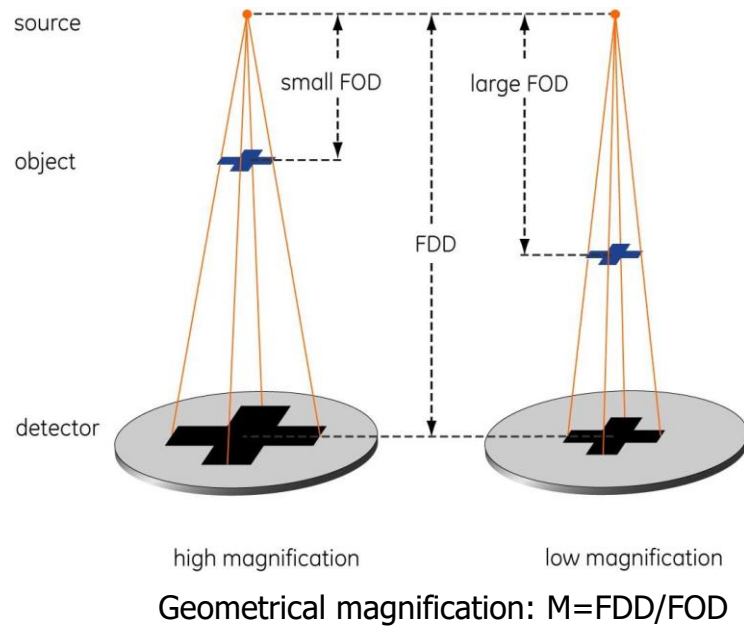
Synchrotron

- pro zobrazení mikrostruktury
- dovoluje zobrazit mikrostrukturu na úrovni histologického řezu (voxel pod 1 μm)

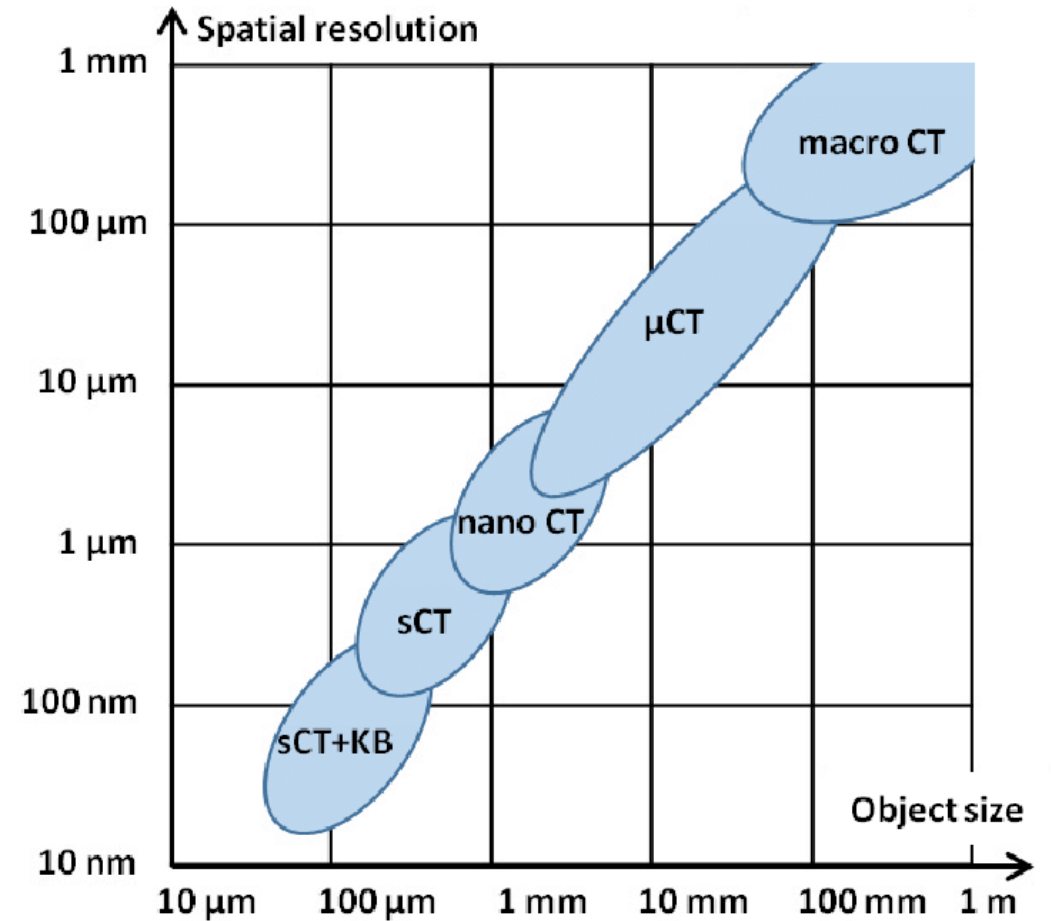


(Smith et al. 2015)

mikroCT, nanoCT



- na snímáči je konečný počet pixelů (čidel). Rozlišení je tedy víceméně stejné a záleží na tom, jak velikost strukturu na něj promítneme.



(Berglund et al. 2018)

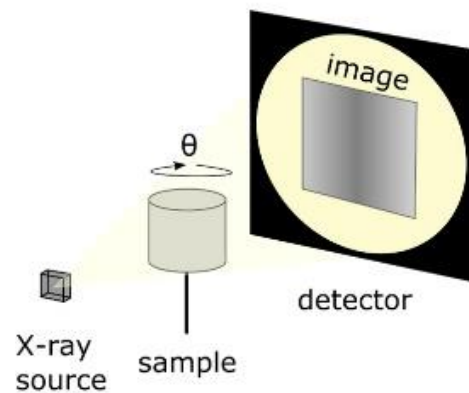
Heliscan uCT



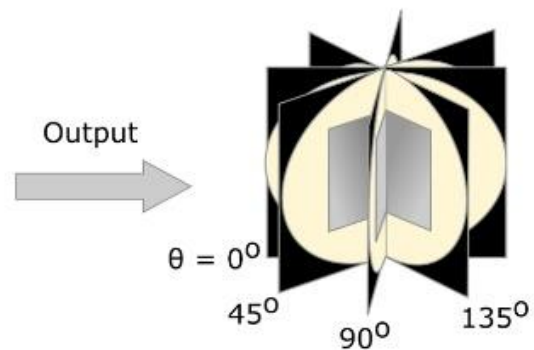
(Thermo Fisher Scientific)

Základní fungování

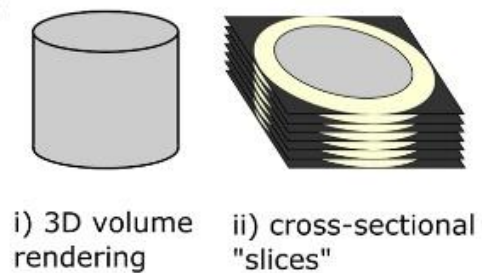
A Image acquisition



B 2D projections of sample



D

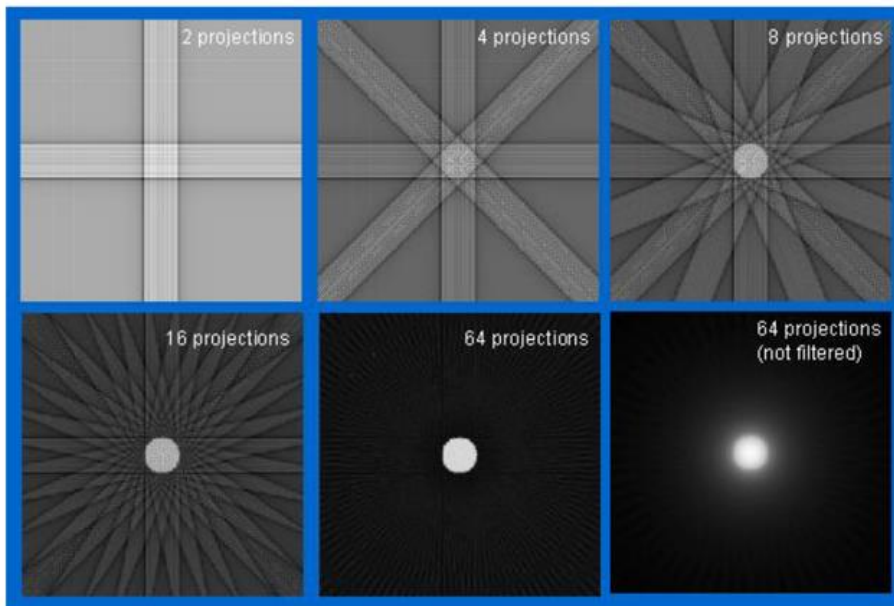


C Reconstruction

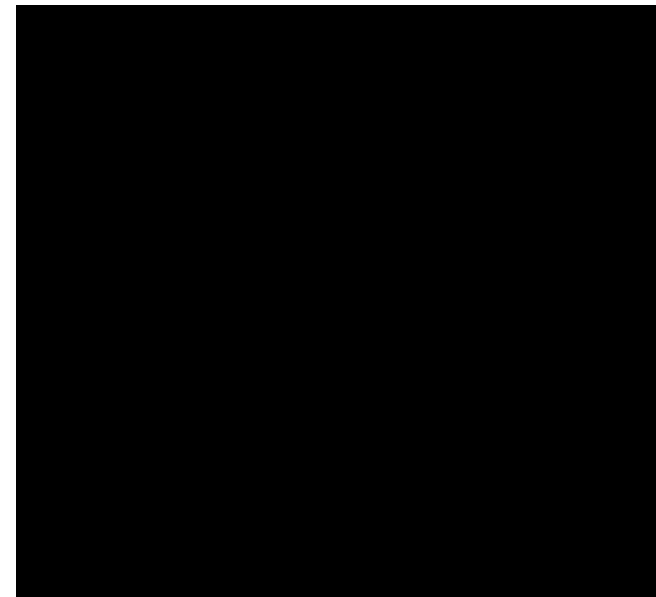
- 1) Filtered backprojection
or
- 2) Iterative reconstruction

Základní fungování

- výsledek měření - sada 2D projekcí z různých pozic (úhlů natočení)
- rekonstruované pomocí různých algoritů (např. Filtered Backprojection Algorithm, iterativní algoritmy) do 3D objemu

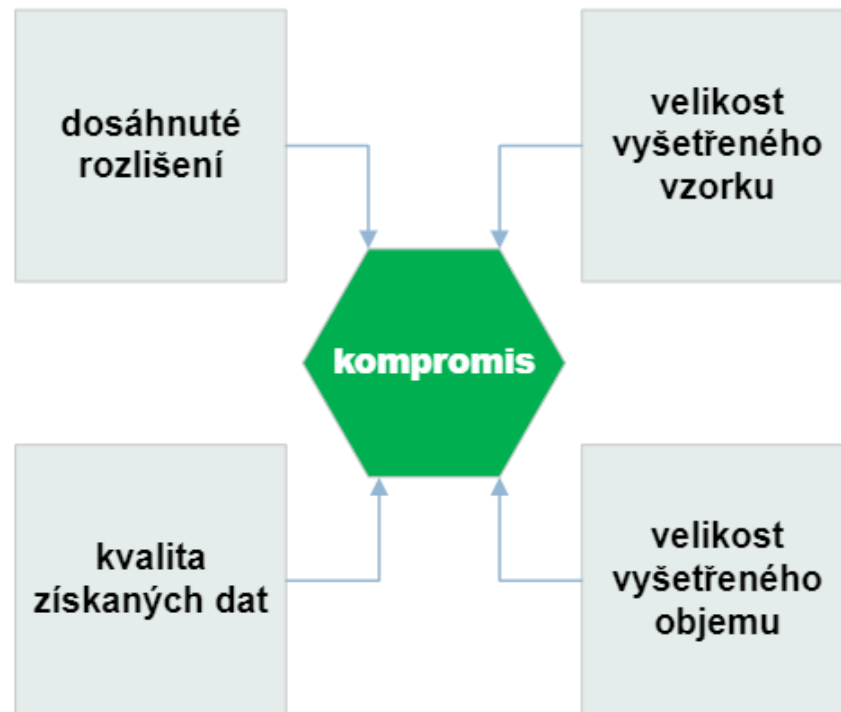


www.tvc.utah.edu



Zdroj: Thermo Fisher Scientific

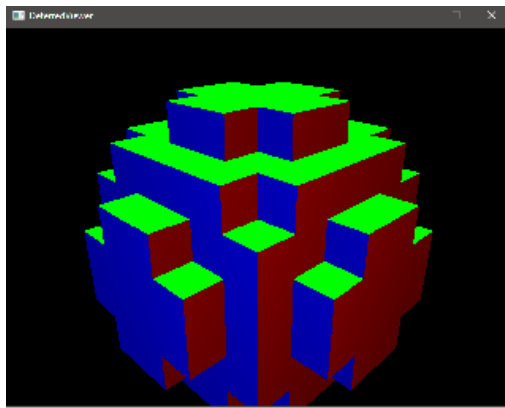
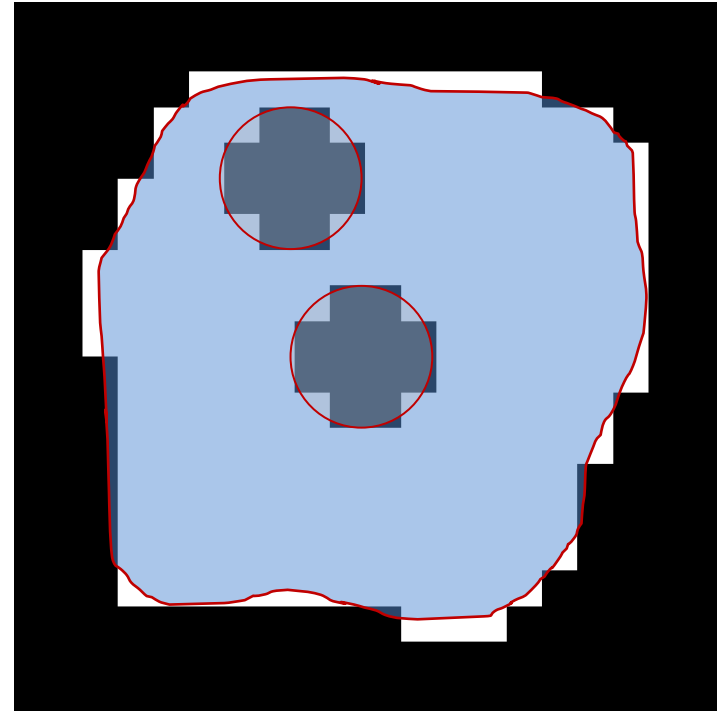
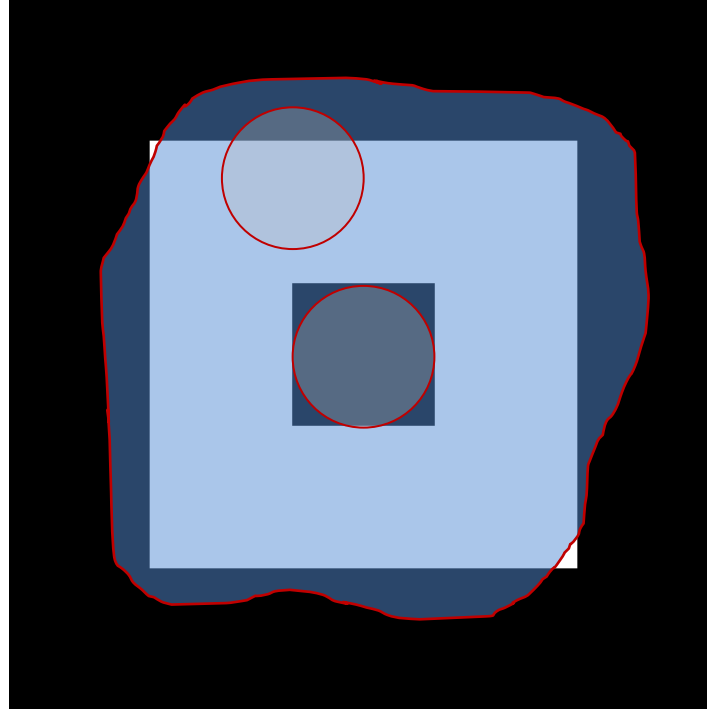
Základní fungování



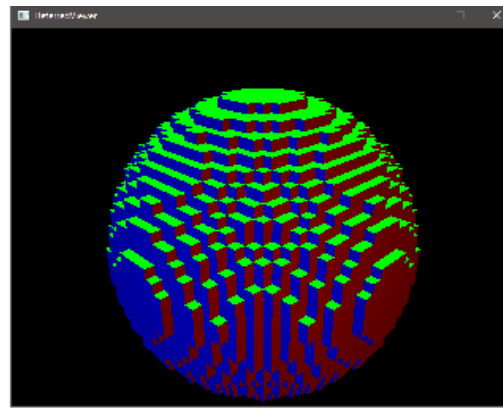
- velikost a geometrie vzorku požadované rozlišení
- velikost struktury, která nás zajímá
- stavba, složení a homogenita vzorku
- přítomnost problematických částic

- „skenovací“ mód
- umístění a fixace vzorku
- typ použitého vlákna
- použití fyzických filtrů
- typ a parametry rekonstrukčního algoritmu
- použití korekcí (SW)

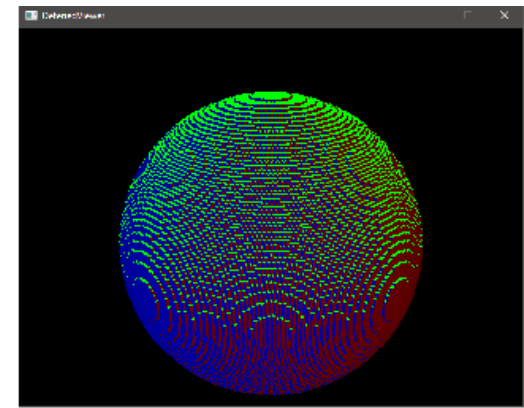
Rozlišení dat



8^3



32^3



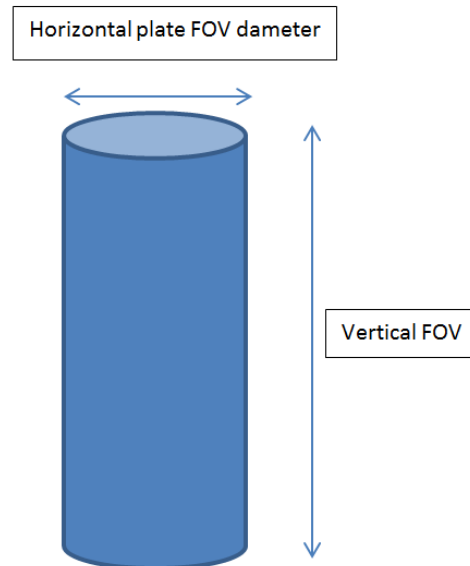
128^3

Nousiainen 2019

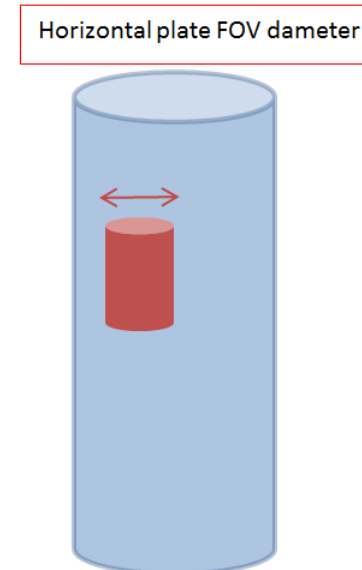
ROI skenování

- lokální tomografie, tomografie výřezů
- skenování vybrané části objemu bez nutnosti jejího vyříznutí
- nejprve vytvořený tzv. „overview scan“ při nižším rozlišení – následné doskenování

„Full sample scan“

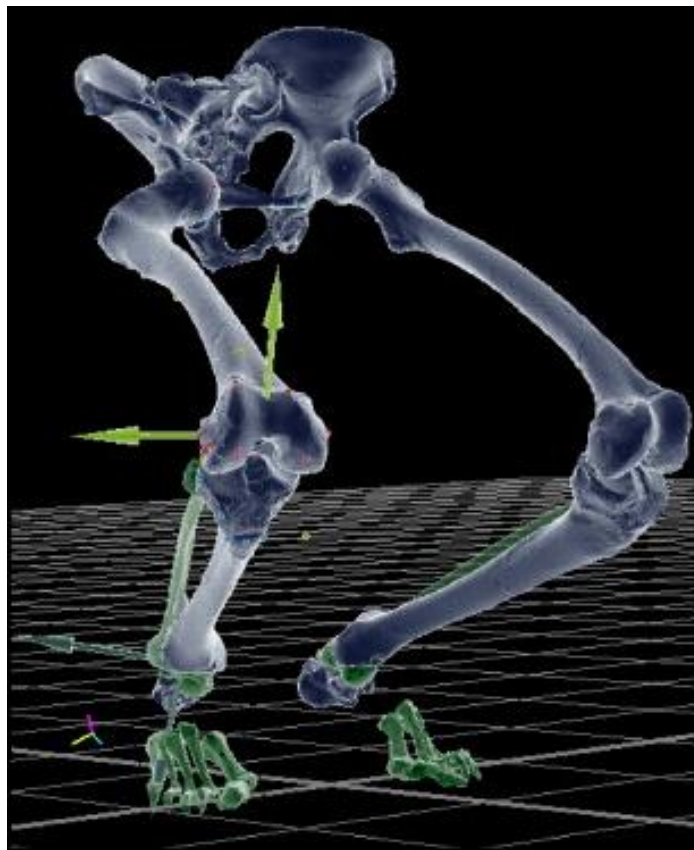


„Region of interest (ROI) scan“

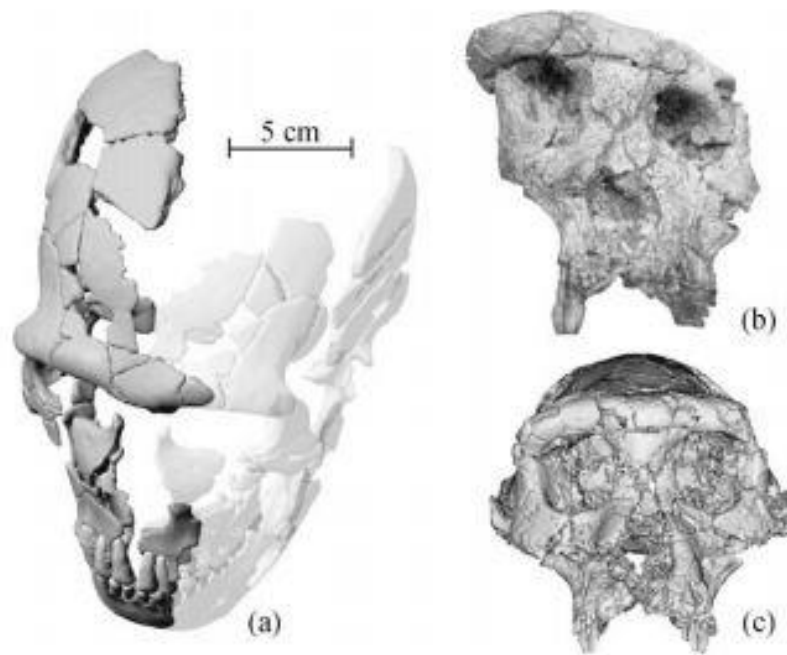


Aplikace CT vyšetření

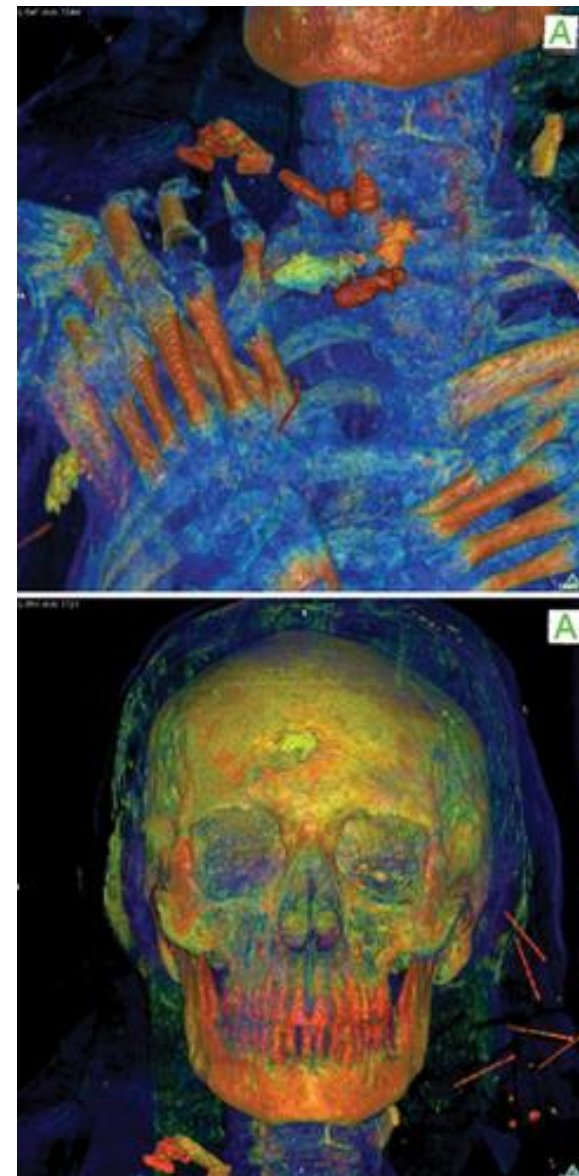
- neinvazivní vyšetření cenných nálezů



Balzeau et al 2010



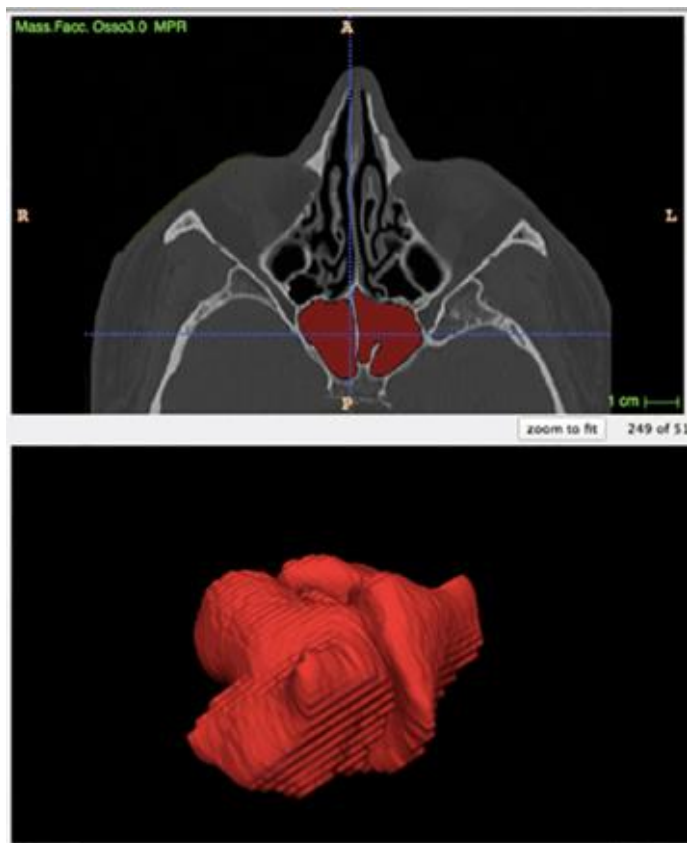
Wu, Shepards 2009



Cox 2015

Aplikace CT vyšetření

- identifikace a určování skupinových charakteristik



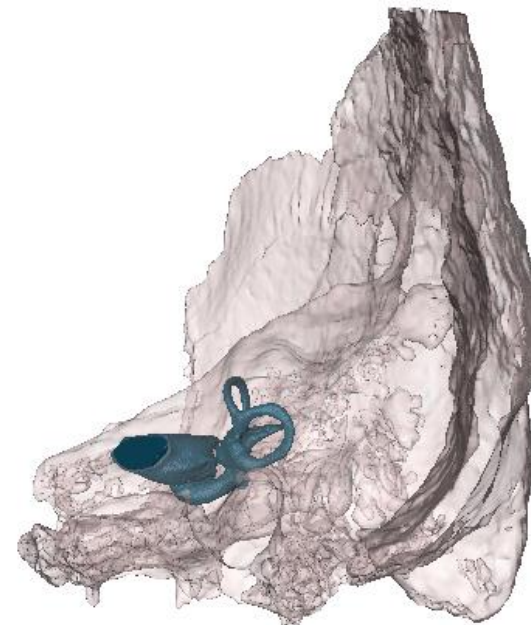
(Cappella et al. 2019)



Dedouit et al. 2015



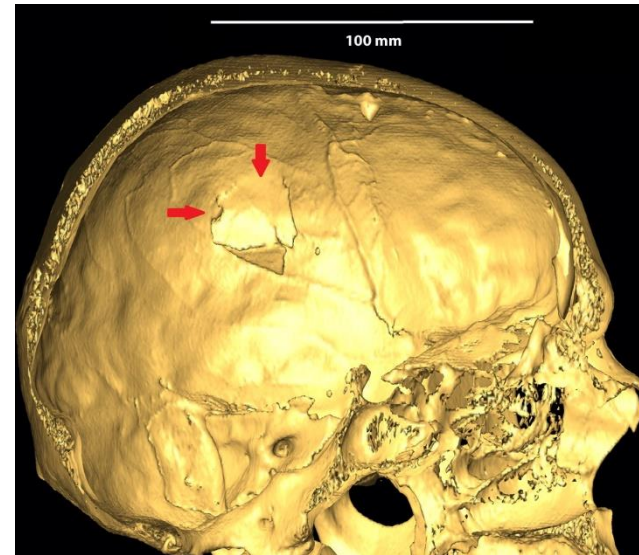
Dedouit et al. 2014



Veronika Kováčová

Aplikace CT vyšetření

- vyšetření traumat

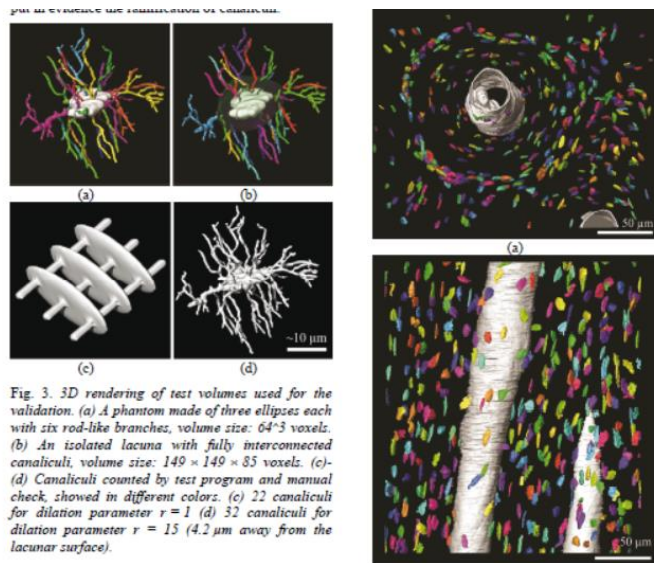


Flaming-Farrlel
et al. 2013

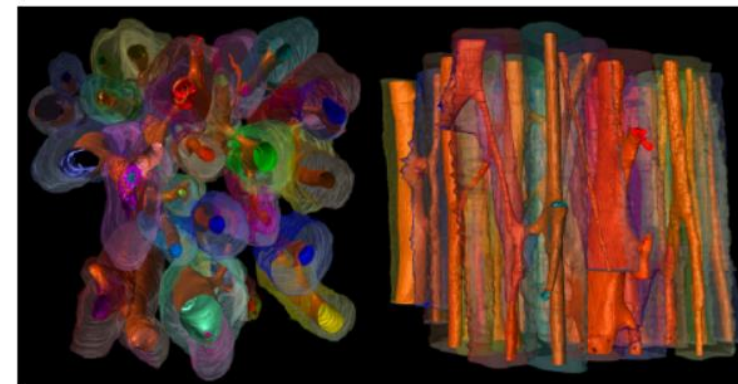


Trojanowska
et al. 2012

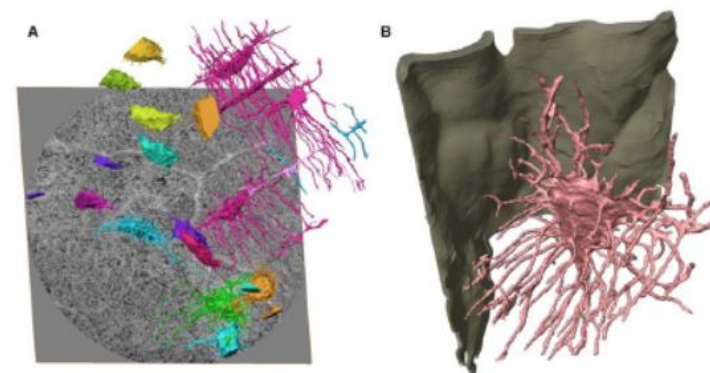
- výzkum mikrostruktury kostí



Dong et al. 2014



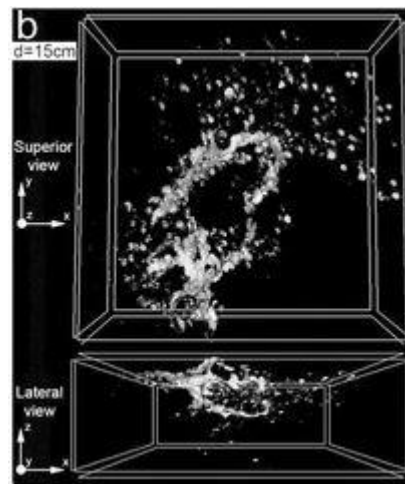
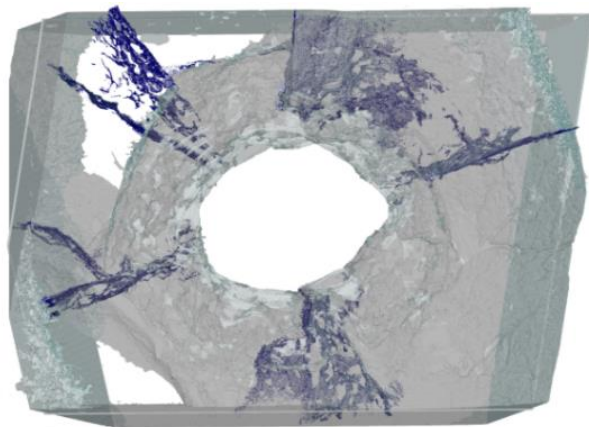
Maggiano et al. 2016



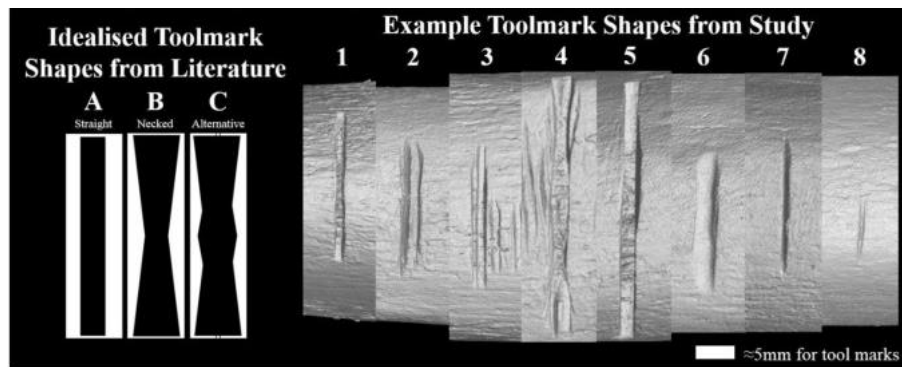
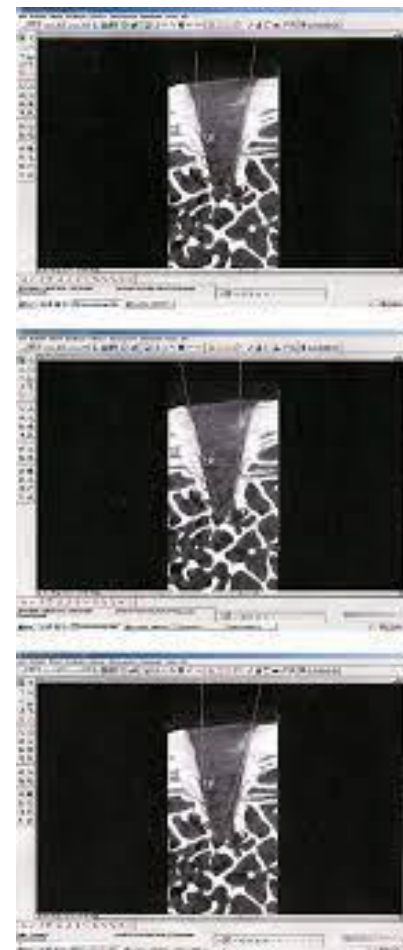
Langer et al. 2012

Aplikace CT vyšetření

- mikrotraumata



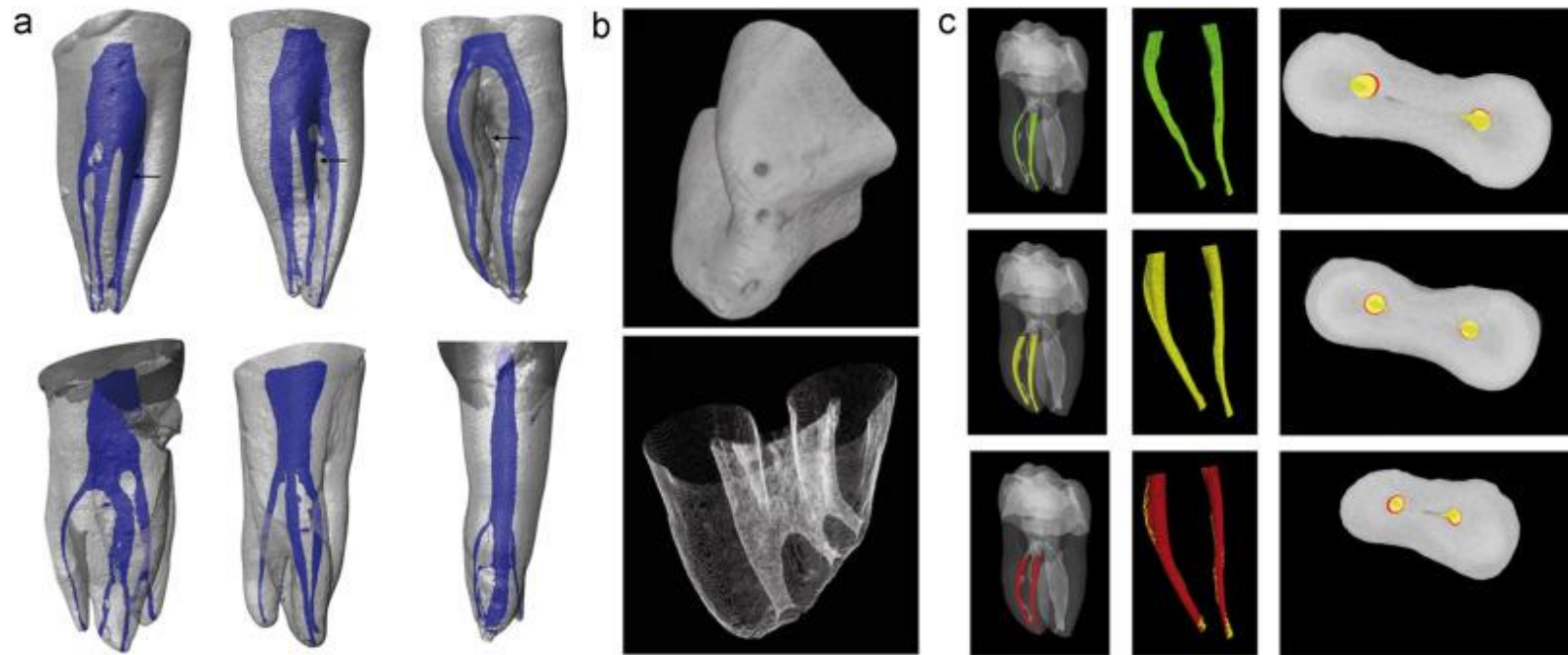
Cecchetto et al. 2012



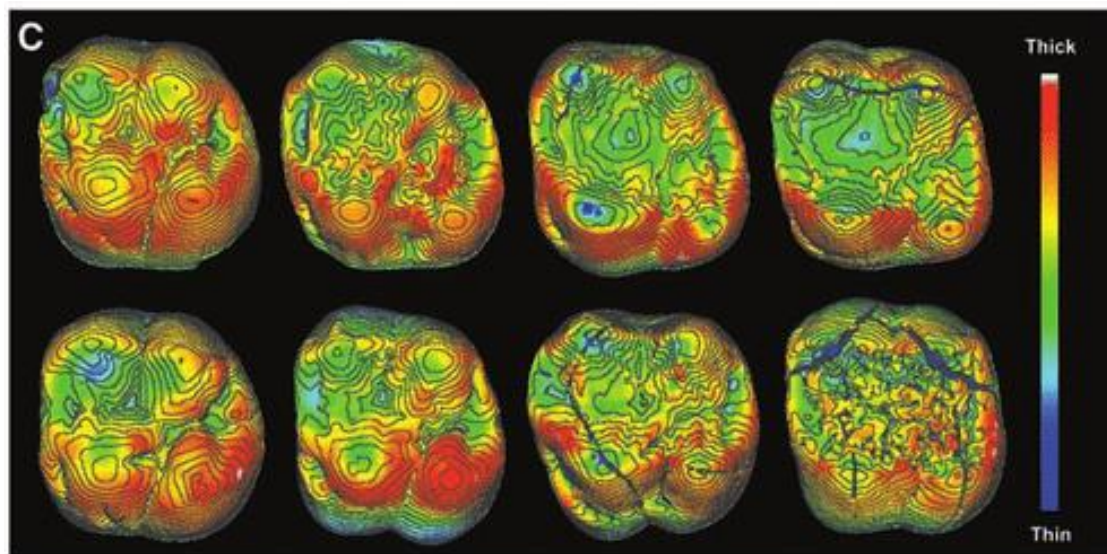
Norman et al. 2018

Aplikace CT vyšetření

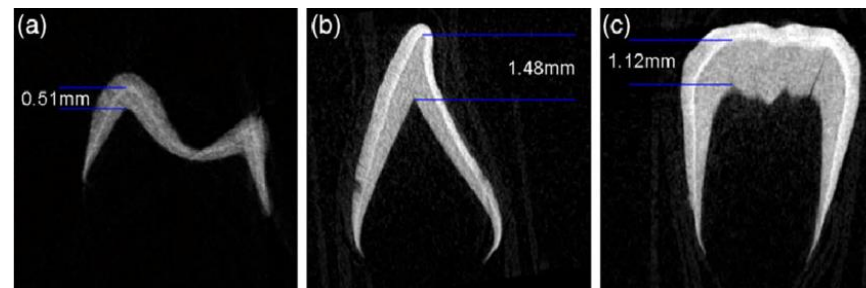
- dentální antropologie



(Kato et al. 2016)



(Suwa et al. 2009)



(Beaumont et al. 2018)

- vizualizace a segmentace datasetů, tvorba a úprava 3D modelů, analýza původních (raw) dat a vygenerovaných modelů

Komerční software:

Amira/Avizo, Mimics, VGStudio, Dragonfly

- **Vysoká cena, vysoké nároky na výkonnost PC**
- **Obrovské možnosti spracovávania a analýzy dát**

Voľne dostupný:

3D Slicer

InVesalius – redukce dat při importu (v závislosti na výkonnosti PC), málo editačních nástrojů

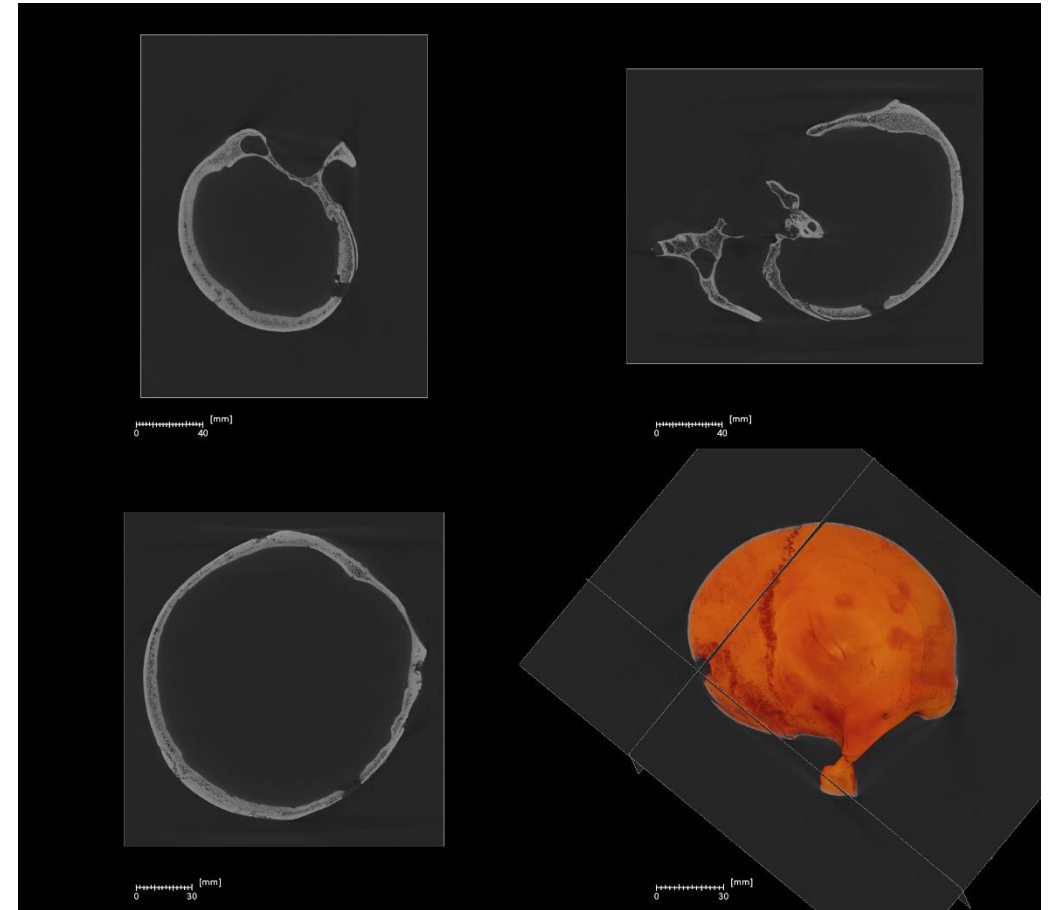
Vizualizace objemových dat

Multiplanar reconstruction

- nejjednodušší forma zobrazení
- možnost zobrazení 3 na sebe kolmých snímků
- možnost vytvořit řezy i v nových rovinách

Volume rendering

- trojrozmerné zobrazení dat
- pouze vizualizační



Editace objemových dat

- konvertování dat, ořezání datasetu, přepočítání do jiných rovi, zarovnání a spojení více datasetů do jednoho objemu

Předzpracování

různé typy filtrů na zvýšení kontrastu, eliminace artefaktů v datech

Segmentace

Generování 3D modelů

Hodnocení a analýzy

Manuální

- manuální segmentační nástroje – uživatel specifikuje, které části snímků mají vytvořit model

Poloautomatická

- segmentační nástroje s prahováním (napr. watershed segmentation) + manuální úprava dat, využitání morfologických operací

Automatická

- binarizace pomocí algoritmů (Otsu a jiné), pokročilé způsoby zpracování – atlas-based, contour-based metody

Vizuálně

- na 2D snímcích (původních, případně po přepočtu do jiných rovin)
- s pomocí volume renderingu
- na vygenerovaných modelech

2D (rozměry, obsahy a obvody)

- na 2D snímcích (původních, případně po přepočtu do jiných rovin)
- na vygenerovaných modelech

3D (objem, hrubost, tvar, početnost, kategorizace)

- na zpracovaných (segmentovaných snímcích)
- analýza 3D tvaru a rozložení hodnocených znaků (především vnitřních)