

SEGMENTACE JATER U PACIENTŮ S JATERNÍMI NÁDORY, VYUŽITÍ CT VOLUMOMETRIE PŘED RESEKČNÍ LÉČBOU

CT VOLUMETRY AND METASTATIC LIVER SEGMENTATION BEFORE HEPATIC SURGERY

původní práce

Jaroslav Ludvík¹
Jan Baxa¹
Jiří Ferda¹
Hynek Mírka¹
Vladislav Třeška²

¹Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

²Chirurgická klinika LF UK a FN, Plzeň

Přijato: 15. 8. 2018.

Korespondenční adresa:

MUDr. Jaroslav Ludvík
Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN
Alej Svobody 80, 304 60 Plzeň
e-mail: ludvikj@fnplzen.cz

Konflikt zájmů: žádný.

Podpořeno projektem MZ ČR Koncepční rozvoj výzkumné instituce 00669806 – FN Plzeň a projektem Univerzity Karlovy v Praze Progress Q39.

Hlavní stanovisko práce

Předoperační předpokládaný zbytkový objem jater je důležitý prediktivní faktor přežití pacientů s jaterními tumory po resekci. Pomocí CT volumetrie je možné zjistit objem celých jater i velikost jednotlivých jaterních laloků a segmentů. Automatická volumetrie je rychlejší a srovnatelně přesná v porovnání se starší manuální metodou.

SOUHRN

Ludvík J, Baxa J, Ferda J, Mírka H, Třeška V. Segmentace jater u pacientů s jaterními nádory, využití CT volumetrie před resekční léčbou

Cíl: Srovnat rychlost a přesnost měření automatické a manuální CT volumetrie jater, zároveň porovnat výsledky dvou různě zkušených radiologů.

Metodika: Do retrospektivní studie bylo zahrnuto celkem 66 pacientů s jaterními metastázami kolorektálního karcinomu, kteří byli kandidáti chirurgické resekce části jater, ve všech případech pravostranné hepatektomie. Byla provedena analýza objemu celých jater a FLRV (předpokládaný zbytkový objem jater po resekci) pomocí automatické a manuální CT volumetrie. Měření prováděli dva lékaři radiologové, jeden atestovaný s dlouholetou zkušeností v oboru a druhý v předatestační přípravě. Srovnány byly výsledky objemů a časů měření mezi automatickou a manuální metodou a také mezi oběma uživateli.

Výsledky: Bylo zjištěno statisticky významně rychlejší měření automatickou CT volumetrií oproti ruční metodě ($p < 0,0001$). Bez statistické významnosti bylo srovnání naměřených objemů celých

Major statement

Future liver remnant volume is important predictive factor of the outcomes of the patients with liver tumours after the surgery. CT volumetry enables to find both the volume of the liver and the volumes of the single lobe or segments. The automatic CT volumetry is faster with similar accuracy in comparison to the older manual method.

SUMMARY

Ludvík J, Baxa J, Ferda J, Mírka H, Třeška V. CT volumetry and metastatic liver segmentation before hepatic surgery

Objectives: To compare speed and accuracy between both the automatic and manual CT liver volumetry and between two radiologist with different long of their medical practice.

Methods: 66 patients with liver metastases of colorectal cancer were included to the study. The analysis of total liver volume and FLRV (future liver remnant volume) was performed using automatic and manual CT volumetry by two different experienced radiologist.

Results: Statistically significantly faster procedure was observed by the automatic CT volumetry in comparison to the manual method ($p < 0,0001$). No statistically significantly different value of detected liver volumes were found by manual and automatic method ($p = 0,552$) neither the two performing radiologist ($p = 0,612$ from time and $p = 0,909$ from volumes).

Conclusion: The automatic CT volumetry is optimal method for the measurement of the liver. The results are accurate and the speed of analysis is significantly higher in comparison to the manual CT volumetry.

jater a FLRV oběma způsoby volumetrie ($p = 0,552$). Nebyla pozorována závislost výsledků manuální i automatické analýzy na zkušenosti uživatele. Hodnoty časů i naměřených objemů od obou vyšetřujících se významně nelišily ($p = 0,612$, resp. $p = 0,909$).

Závěr: Automatická CT volumetrie je optimální metodou pro měření jaterních objemů. Získané hodnoty jsou dostatečně přesné a rychlost měření je významně vyšší oproti manuální CT volumetrii.

Klíčová slova: CT volumetrie, játra, metastázy, budoucí předpokládaný zbytkový objem jater.

Key words: CT volumetry, liver, metastases, future liver remnant volume.

ÚVOD

Játra jsou hlavním orgánem v procesu energetické a látkové výměny a také v příjmu a zpracování živin. Hrají proto důležitou roli v metabolismu lidského těla a poškození jejich funkce nebo výrazná redukce jejich objemu má významný vliv na schopnost udržení katabolických a syntetických reakcí nezbytných pro zachování vnitřního prostředí, tzv. homeostázy. Snížená funkce jater po jejich zmenšení při resekčních chirurgických výkonech může vést k jaterní insuficienci s vysokým rizikem fatálních důsledků pro organismus, a je tak nezbytné snažit se minimalizovat komplikace již před chirurgickou léčbou. Z těchto důvodů je důležité u pacientů s primární či sekundární malignitou jater, kteří jsou kandidáti k jaterní resekci, před operací zjistit hodnotu předpokládaného zbytkového objemu jater po výkonu (dále FLRV – future liver remnant volume). Funkci jater je možné také nepřímo posoudit podle základních laboratorních parametrů, jaterní biopsie či nejlépe pomocí specializovaných jaterních testů, z nichž stále nejvíce využívaným je v současnosti test indocyaninové zeleně (1, 2).

Jako hlavní prediktivní faktor mortality a morbidit po jaterní resekci se kromě funkční kapacity jednoznačně ukázal právě FLRV (3). Zde se významně uplatňují zobrazovací metody. Kardinální úlohu v hodnocení FLRV má jeho měření pomocí CT eventuálně MR volumetrie (4). V současnosti nejdostupnější a nejpoužívanější je analýza objemu jater pomocí CT volumetrie, při které je možné posuzovat nejen FLRV, objem celého orgánu a resekované části jater, ale také počet a celkový objem metastáz, objem a uspořádání jednotlivých jaterních segmentů a umístění virtuální resekční jaterní linie s možností vytvoření prostorového modelu cévního řečiště jater (5).

Cílem tohoto sdělení je představení základních možností segmentace a měření objemu jater pomocí současně dostupných zobrazovacích metod, porovnat výhody manuální a automatické CT volumetrie a diskutovat dnes již značně širokou problematiku zobrazení jater u pacientů před jaterní resekci.

METODIKA

Soubor v naší studii tvořilo celkem 66 náhodně vybraných onkologických pacientů (51 mužů, 15 žen, průměrný věk 62 let, rozptyl 33–79 let) s vícečetnými metastázami v játrech. Ve všech případech šlo o sekundární postižení jater kolorektálním karcinomem. Tito pacienti v letech 2006–2015 podstoupili embolizaci pravé větve portální žíly směsí tkáňového lepidla (Histoakryl, Braun, Melsungen AG, Německo) a olejové kontrastní látky Lipiodolu (Cedex, Liege, Francie) v poměru 1 : 10. Dvaceti pacientům z celkového počtu osob v souboru byly kromě embolizace pravé větve portální žíly také aplikovány kmenové hematopoetické buňky původem z kostní dřeně či periferní krve do kontralaterálního laloku jater přes levou větev portální žíly. Retrospektivně jsme provedli analýzu objemu celých jater a FLRV. Pro zjištění sledovaných objemů jater byly využity speciální softwarové aplikace umožňující buď manuální, nebo automatické měření objemů jater. V obou případech (manuálním i automatickým) byla použita data za vstupního CT vyšetření (tzv. baseline CT), které bylo provedeno před portální embolizací a sloužilo zároveň jako bazální hodnota pro srovnávání růstu jaterních objemů během následujících kontrolních CT vyšetření před jaterní resekci a po ní. Měření jater prováděli nezávisle na sobě a naslepo dva lékaři – radiologové, jeden v předatestační přípravě s dosud neukončenou specializací v oboru radiologie a zobrazovací metody a druhý atestovaný s téměř 15letou zkušeností v oboru. Výsledky manuální CT volumetrie (Syngo Volume, Siemens Healthineers, Forchheim, Německo) od obou vyšetřujících byly u každého pacienta zprůměrovány a použity jako referenční hodnoty ke srovnání s výsledky z automatické analýzy (Syngo.via, Liver Analysis, Siemens Healthineers, Forchheim, Německo). Případné chyby v obkreslení jater při použití programu pro automatickou analýzu s přetažením kontury jater extrahepatálně nebo naopak vynecháním části jaterního objemu nebyly upravovány a bez korekce byla data zahrnuta do celkové statistiky. Tímto způsobem bylo zjištěno, jak aplikace pracuje bez sekundárního ovlivnění uživatelem, které je samozřejmě možné v dalších krocích. Význam chyb-

ného výpočtu jater byl posouzen pomocí srovnání s manuální metodou, která byla v tomto případě považována za „zlatý“ standard. Ve většině případů byla uplatněna 5mm i submilimetrová izotropní data z akvizice multidetektorovým CT přístrojem (Siemens Healthineers, Forchheim, Německo, N = 66). U několika pacientů (N = 4) bylo nutné použít externí data z periferních pracovišť, kde podstoupili první (bazální) CT vyšetření. Dva pacienti byli vyšetřeni nativně z důvodu alergie na jodovou kontrastní látku. Všechna ostatní vyšetření byla provedena po intravenózní aplikaci kontrastní látky v žilní, případně i v arteriální fázi. Při manuálním měření byly použity pouze 5mm vrstvy s obkreslením okrajů jater v každém řezu. Patologické léze byly započteny do celkového objemu jater, stejně jako hlavní větve jaterních a segmentárních portálních žil. Vynechány byly struktury jaterního hilu, kmen, hlavní větve portální žíly a hepatální segment dolní duté žíly.

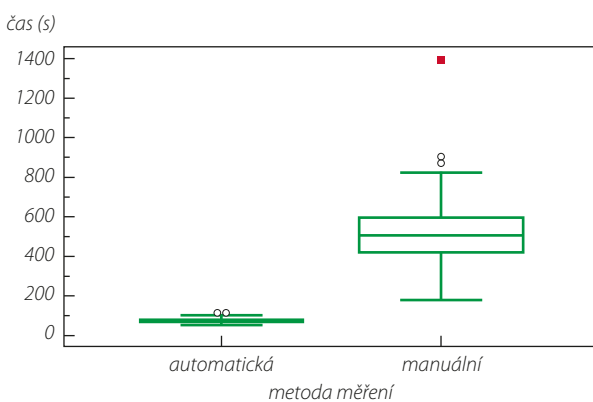
Byly porovnány výsledky měření objemu celých jater a zejména FLRV z manuální a automatické volumetrie a také rozdíly získaných hodnot mezi oběma lékaři. Dále byl zaznamenán a poté porovnán čas měření mezi oběma metodami a oběma vyšetřujícími. Při analýze automatickou metodou byly měřeny a porovnávány výsledné objemy jak ze silnějších 5mm řezů, tak ze submilimetrových izotropních dat.

Statistická data

Získané výsledky byly analyzovány a statisticky zpracovány pomocí prediktivního analytického systému IBM SPSS (verze 22.0). Metodami deskriptivní statistiky s použitím neparametrického Mannova-Whitneyova testu byla vypočtena statistická data. Úroveň statistické významnosti byla zvolena na standardní hladině s p hodnotou 0,05.

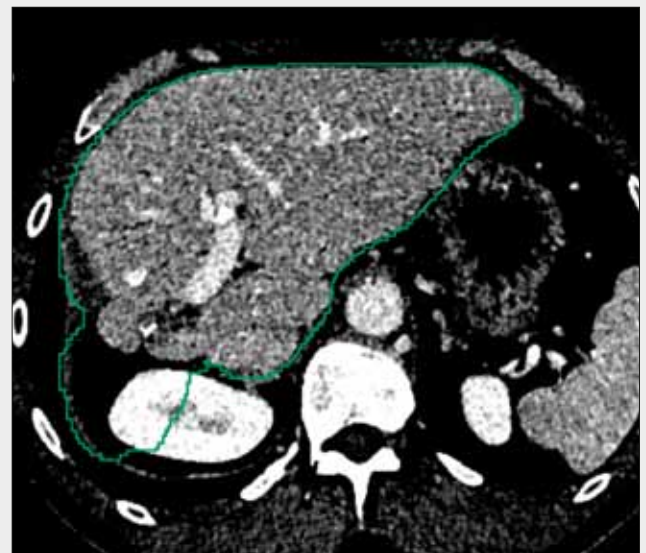
VÝSLEDKY

Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi průměrně delší dobou potřebnou k měření objemu jater manuálně (průměr: 563 sekund, rozptyl: 146–1058, SD = 136) a kratším časem



Graf 1. Krabicový graf srovnávající rychlost měření při automatické a manuální CT volumetrii. Graf ukazuje statisticky významně rychlejší měření automatickou metodou, při které je také výrazně menší rozptyl naměřených hodnot.

Graph 1. A box plot comparing the speed of the automatic and manual CT volumetry. It shows statistically significantly faster procedure by the automatic measurement with more uniform results comparison to the manual method.

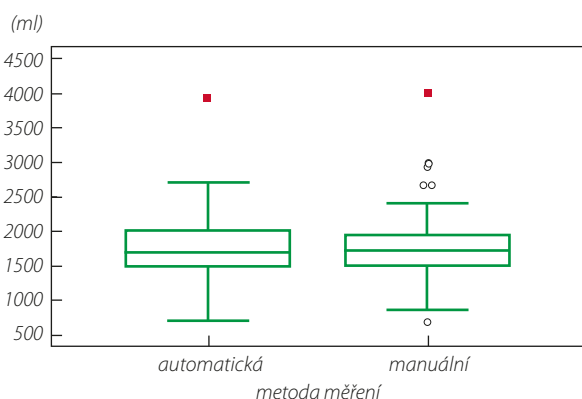


▲ Obr. 1

Obr. 1. Příklad chybného výpočtu okraje jater při automatické CT volumetrii zahrnující do objemu jater část pravé ledviny a perirenálního tuku

Fig. 1. An example of an error by automatic CT liver segmentation including a part of perirenal fat and right kidney

analýzy automatickou metodou (průměr: 75 sekund, rozptyl: 54–114, SD = 13, $p < 0,0001$) bez prokázání významné závislosti na zkušenosti uživatele ($p = 0,612$) (graf 1). U většiny pacientů (N = 57; 86,4 %) z celkového počtu sledovaných osob byly při automatické volumetrii numericky i vizuálně zjištěny chybně nakreslené okraje jater, které navýšily nebo snížily celkový virtuální objem jater o více než 10 ml oproti výsledkům z manuálního měření. Celkově u 24 pacientů byly hodnoty objemu jater při automatické volumetrii vyšší oproti manuálnímu měření. U 42 případů byly hodnoty nižší. Nejčastější, zároveň ale nejméně významnou chybou, mírně nadhodnocující celkový objem jater (N = 12), bylo zahrnutí části nebo celého hepatálního úseku vena cava inferior do celkového objemu jater. Z toho dva případy byly pozorovány u analýzy nativního CT vyšetření, při kterém podobné denzity žíly a jaterního parenchymu prakticky znemožňují softwaru spolehlivě odlišit různé tkáně na základně rozdílného intervalu denzit. Dále bylo zaznamenáno chybné virtuální překročení skutečného povrchu jater (N = 7) do objemu části srdce. Nejvýraznější „přetažení“ jater pak bylo zjištěno kaudálně pod pravým jaterním lalokem s prominencí chybně naměřeného objemu do horní poloviny pravé ledviny (N = 5) (obr. 1). U chybných automatických analýz, které způsobily naopak redukci objemu jater oproti manuální segmentaci, došlo k různě velkému nesprávnému zmenšení celkového objemu jater (N = 42). Průměrná záporná i pozitivní odchylka všech automatických analýz celých jater od manuálních výsledků byla 57,5 ml (rozptyl: 0–423 ml, $p = 0,909$) (graf 2). Opět nebyly pozorovány významné rozdíly ve výsledcích obou lékařů při automatickém i manuálním měření jater ($p = 0,911$, resp. 0,906). Dále nebyla při automatické volumetrii zjištěna statisticky významná diference mezi výsledky z 5mm silných řezů a izotropních submilimetrových vrstev ($p = 0,564$).



Graf 2. Krabicový graf srovnávající objemy celých jater naměřené automatickou a manuální CT volumetrií. Získané hodnoty se statisticky neliší.

Graph 2. A box plot comparing the volumes of the liver from automatic and manual CT volumetry. The results do not differ statistically significantly.

DISKUSE

Jaterní nádory

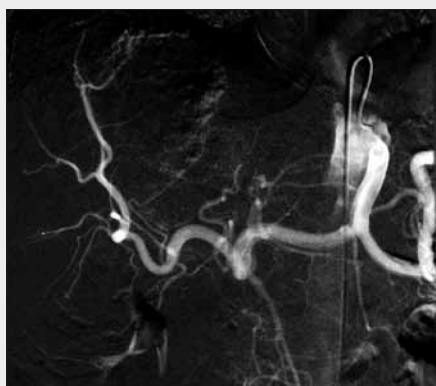
Nejdůležitější moment v hodnocení typu jaterní léze spočívá v odlišení maligní a benigní etiologie. Podle tkáňového charakteru lze nádory jater rozdělit do dvou základních histologických skupin, tumory epitelového či mezenchymálního původu. Nutné je zmínit také pseudotumory, do kterých se řadí zánětlivá ložiska (např. abscesy, granulomatózní rozsev) a ischemické léze. V diferenciální diagnostice zpravidla nečiní obtíže odlišení tzv. jaterních pseudolézí, zejména pokud jsou uloženy v typické lokalizaci. Nejedná se o patologicko-anatomický, nýbrž radiologický termín a jsou způsobeny aberantním žilním zásobením, fokusy steatózy či non-steatózy a někdy také tlakem žeber. Při atypickém umístění či bizarním vzhle-

du však tyto pseudoléze mohou vyvolat diagnostické rozpaky a jejich správná diagnostika je stále výzvou. Maligní tumory jater jsou buď primární nebo v našich zeměpisných šířkách častější sekundární při metastatickém postižení. Ze sekundárních nádorů jsou obvyklé synchronní či metachronní metastázy kolorektálního karcinomu, který je v České republice nejčastějším nádorem postihující obě pohlaví (6). Játra jsou v případě kolorektálního karcinomu vlastně sentinelovým orgánem, který tvoří vstupní bránu a zároveň biologický filtr portální krve proudící z břišní části trávicí trubice do systémového řečiště. Proto je možné jaterní generalizaci kolorektálního karcinomu klasifikovat jako dosud regionální postižení na rozdíl od jaterních metastáz z ostatních orgánů (např. z prsní žlázy), které lze již hodnotit jako systémové onemocnění s významnými dopady na možnosti terapie a celkovou prognózu pacienta.

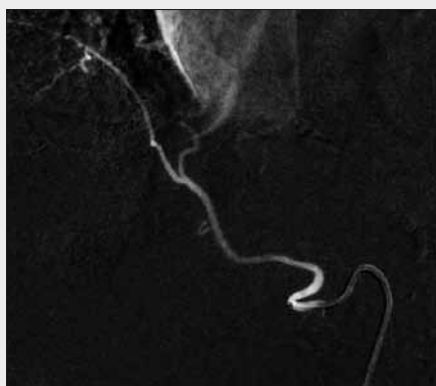
Chirurgická léčba a předoperační management jaterních nádorů

Benigní tumory jater, pokud nedosahují extrémní velikosti či vysokého počtu ložisek, většinou nevyžadují chirurgickou léčbu a je možný konzervativní postup s případným pravidelným sledováním (7). Výjimku z tohoto pravidla představují adenomy, u kterých existuje určité riziko maligního zvratu a zejména nebezpečí masivního krvácení a výjimečně až fatální exsanguinace (8). Poměrně komplikovaná diferenciální diagnostika adenomů a ostatních zejména hypervaskularizovaných jaterních lézí, především fokální nodulární hyperplazie, však není předmětem tohoto článku.

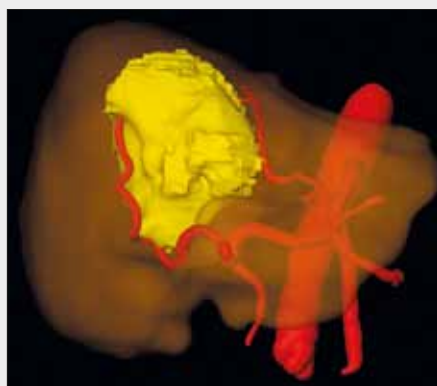
Naopak u maligních jaterních tumorů představuje chirurgická léčba jedinou šanci na úplné vyléčení. U některých pacientů mohou být ale potenciálně kurabilní také lokálně destrukční metody, např. radiofrekvenční či mikrovlnná ablace. Od začátku nového milénia a zejména v posledních 5–10 letech došlo k výraznému pokroku v operabilitě maligních jaterních nádorů hlavně díky inovacím v chirurgické technice a vývoji nových technologií. Na pozitivním trendu



▲ Obr. 2A



▲ Obr. 2B



▲ Obr. 2C

Obr. 2. A, B – objemný hepatocelulární karcinom s angiografií tumor zásobující jaterní a frenické tepny před TACE; C – srovnání s 3D modelem jater zobrazující obě cévy s tumorem

Fig. 2. A, B – the angiography of the hepatic and phrenic artery feeding large hepatocellular carcinoma before TACE; C – 3D model shows both the liver with tumour and the feeding vessels



▲ Obr. 3A



▲ Obr. 3B



▲ Obr. 3C

Obr. 3. Příklady artefciálně vytvořené hranice mezi jaterními laloky či segmenty. A – stav po pravostranné embolizaci portální žíly (PVE) s hyperdenzním pravým lalokem jater; B – ohraničený, relativně hyperdenzní 8. segment jater při segmentární trombóze portální žíly; C – stejný pacient jako na obrázku B při CT o 2 měsíce dříve. Rekonstrukce 8. segmentu ukazuje na odpovídající rozsah jako při následující trombóze, což potvrzuje správnost segmentace.

Fig. 3. Several examples of arteficial demarcation of the liver lobes and segments. A – the right liver lobe is hyperdense after right portal vein embolization (PVE); B – hyperdense the 8th segment of the liver after segmental portal vein thrombosis; C – The reconstruction of the 8th segment on CT MPR in the same patient two months before. It shows the same size of the segment like “segmental demarcation” after thrombosis on image B.

v operabilitě se dále podílí také pokračující evoluce výkonů intervenční radiologie, které na pole jaterní chirurgie přinesly zejména možnosti augmentace zbylého objemu jater před resekcí. Jedná se především o embolizaci kontralaterální strany portálního řečiště, nově s možností akcelerace růstu FLRV podáním kmenových buněk do portální větve (9). Nejnovější augmentační metodou je pak tzv. ALPPS (associating liver partition with portal vein ligation for staged hepatectomy) dovolující rychlejší a větší nárůst zbytku jater. Jde o v současnosti velmi diskutovaný postup, který však někteří autoři považují za značně kontroverzní a poukazují na jeho zvýšenou mortalitu a morbiditu (10). Význam radiointervenčních metod dále narůstá také v možnostech lokoregionální terapie, jako je transarteriální chemoembolizace (TACE), radioembolizace (TARE) nebo již zmíněných lokálně destruktivních postupů, z nichž nejpoužívanější je dosud radiofrekvenční ablace (RFA) (11). V posledních letech je především za hranicemi České republiky často prováděna mikrovlnná ablace, která oproti dosud používanější RFA umožňuje efektivnější a rychlejší zákrok se schopností ošetření i nádorů větších rozměrů (12, 13). Nutné je zmínit také přínos intervenční radiologie v čistě paliativní či symptomatické onkologické léčbě, například při obstrukci žlučových cest, při těžké portální hypertenzi a jiných komplikacích nádorového onemocnění (obr. 2, 3).

Zobrazovací metody tvoří důležitou součást managementu plánování léčby kandidátů resekce u maligních nádorů jater. Uplatňuje se především CT a MR, při primárním stagingu onemocnění také hybridní metody, tj. celotělové PET/CT či PET/MR. Ultrasonografie se využívá při jaterní resekci jako peroperační vyšetření k definitivnímu určení rozsahu jaterního postižení a dále k vyloučení periprocedurálních komplikací po výkonu. V preklinickém výzkumu se sonografie, jako dostupnější metoda než finančně náročné mikroCT, užívá předoperačně k jednoduchému měření růstu jaterních obje-

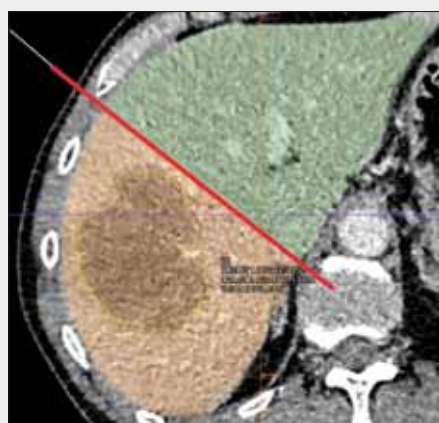
mů u zvířat, nejčastěji u domácích prasat, jejichž játra se ze savčích živočichů podobají lidským játrům funkčně i morfologicky nejvíce a dnes jsou častým předmětem výzkumu (14).

Volumetrie jater

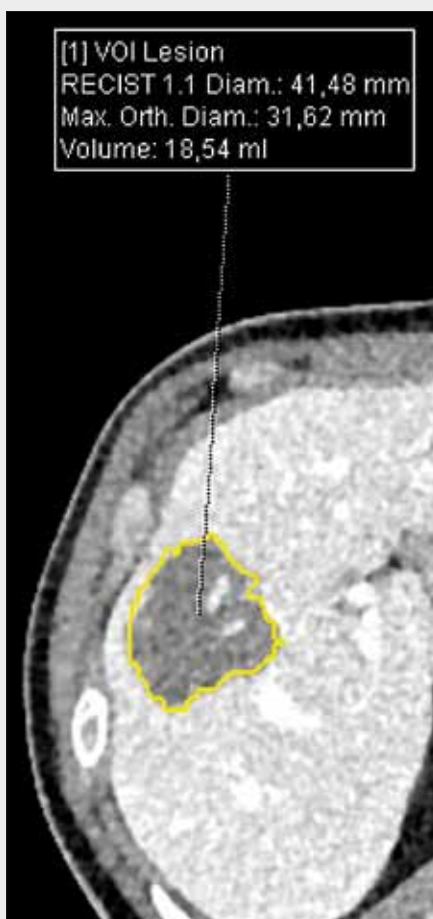
V současnosti se ke zhodnocení FLRV i objemu celých jater před resekcí nejvíce uplatňuje CT volumetrie (15). Magnetická rezonance se pro analýzu jaterního objemu využívá méně. Výsledky MR jsou však srovnatelné s CT vyšetřením (16). Vzhledem k odlišné denzitě jater oproti okolní převážně tukové tkáni lze volumetrii provést nejen z postkontrastních, ale i z nativně provedených CT vyšetření. V současné době existuje několik způsobů analýzy získaných dat s odlišnými možnostmi vstupu uživatele do procesu segmentace jaterní tkáně. Existují 100% manuální aplikace, které často obsahují různé pomůcky pro usnadnění a akceleraci měření. K dispozici jsou také programy semiautomatické analýzy umožňující počáteční označení jater a demarkaci jaterních prostorů. Konečně poslední možností je automatická analýza dat s omezenou nebo nulovou možností ovlivnění finálního výsledku uživatelem.

Manuální technika

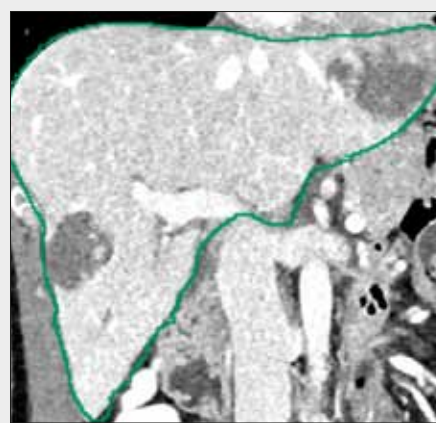
Manuální volumetrie je nejstarším způsobem měření objemu jaterního parenchymu. Ruční měření je sice zatíženo poměrně dlouhým časem vyšetřování a značnou závislostí výsledků na vyšetřující osobě, ale pokud je provedena s dostatečnou kvalitou, lze ji považovat za zlatý standard, se kterým lze spolehlivě srovnávat výsledky z pokročilých automatizovaných softwarových technik. Při manuální technice musí vyšetřující obkreslit povrch jater v každém řezu zvlášť. V praxi je reálně možné použít pouze silnější (většinou 5mm) vrstvy. Všechny manuální aplikace obsahují různý široký výběr jednoduchých



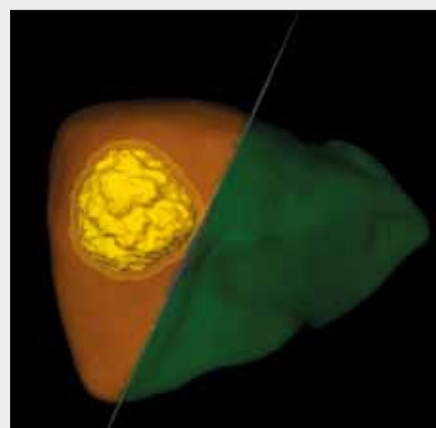
▲ Obr. 4A



▲ Obr. 4B



▲ Obr. 4C



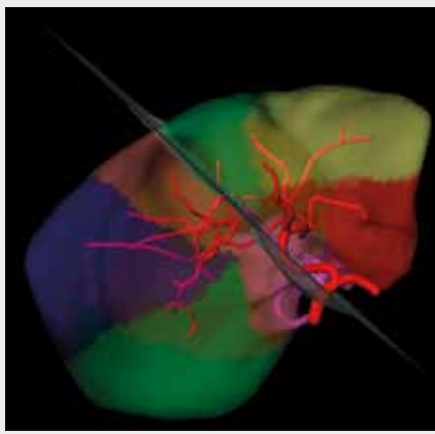
▲ Obr. 4D

Obr. 4. Virtuální resekční linie mezi levým a pravým lalokem s CT volumetrií celých jater, obou jaterních laloků a objemné metastázy vpravo. A–C – MPR; D – 3D

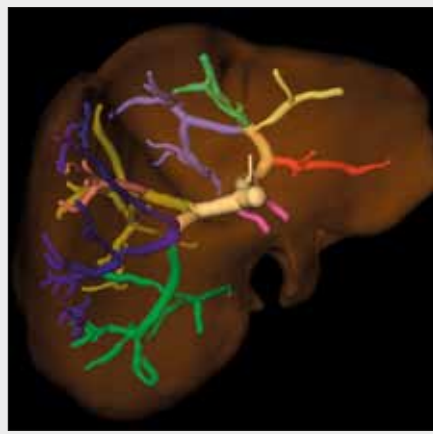
Fig. 4. The virtual resection line between the right and left lobe of the liver with CT volumetry of the whole liver, both liver lobes and a large metastases in the right liver lobe. A–C – MPR; D – 3D

virtuálních pomůcek, které ulehčují ruční měření s možným výběrem jejich šíře či velikosti. Jedná se např. o tužku, křivku, štětec či virtuální kolečko pro optimalizaci tvaru již vytvořené křivky na povrchu jater. Novější aplikace řadící se ještě k manuálním metodám dovolují úpravy pomocí tzv. pomocného tvarování. Při něm uživatel nakreslí v každém řezu parenchymu jater většinou ovoidní útvar, který hrubě odpovídá tvaru jater s následným již automatickým určením okrajů jater počítačem. Další metoda, v anglickém jazyce nazývaná tzv. LiveWire (do češtiny volně přeloženo jako živý drátek či štenice) usnadňuje obkreslení jater počátečním vložení kolečka ROI (region of interest) uživatelem na okraj jater a tažením kurzoru myši podél jaterního povrchu. Následně je vložen další ROI (tzv. volný bod) do vzdálené oblasti povrchu jater s finální tvorbou kontinuální křivky kolem jater softwarem. Již pokročilejší způsob na pomezí manuální a semiautomatické techniky spočívá v ručním obkreslení povrchu jater v několika nesousedících řezech v horní i dolní polovině jater s následnou interpolací a výpočtu jaterního objemu počítačem. Pro obdržení hodnot FLRV je poté nutné provést buď nové měření, či jednoduše zmenšit rozměr celých jater na předpokládaný zbytkový objem pomocí redukčních pomůcek (virtuální guma atd.). Jak již bylo řečeno, je manuální způsob analýzy objemu jater časově nejnáročnější a v závislosti na celkové velikosti jater může čas měření dosahovat i desítky minut. Obtížnější je při tomto způsobu měření také zachování adekvátní roviny virtuální resekční linie. Častou

chybou je především u méně zkušených uživatelů představa téměř sagitálního průběhu Cantlieho linie, pomyslné čáry rozdělující játra pro potřeby chirurgů na pravý a levý lalok, do kterého patří (na rozdíl od přísně anatomického členění) i 4. segment. Tato linie spojující střední jaterní žílu s lůžkem žlučnicku má u většiny lidí ve skutečnosti někdy až překvapivě šikmý průběh, který prochází z přední pravé strany jater směrem sinistrodorzálním. Její osa tak odpovídá jak průběhu střední jaterní žíly, tak za normálních okolností i dlouhé ose žlučnicku. Omyl v nesprávném umístění Cantlieho linie může někdy vést k virtuálnímu zvětšení naměřeného 8. segmentu a pravého laloku jater na úkor 4. segmentu a levého laloku. Vzhledem k tomu, že levý lalok se 4. segmentem odpovídá v mnoha případech také FLRV, může zejména u menších jater dojít k již významnému podhodnocení FLRV. Nově se oproti minulosti také změnil pohled na kurativní, tzv. R0 resekci. Dříve byla uváděna minimální vzdálenost resekční linie od tumoru 10 mm. V průběhu času se požadavek na tento rozměr snížil na 1–2 mm a dnes, při vývoji dalších moderních protinádorových preparátů a také nových chirurgických technik, se za dostačující považuje jednoduše jakýkoliv volný okraj resekátu, bez závislosti na vzdálenosti od nádorové tkáně (17–20).



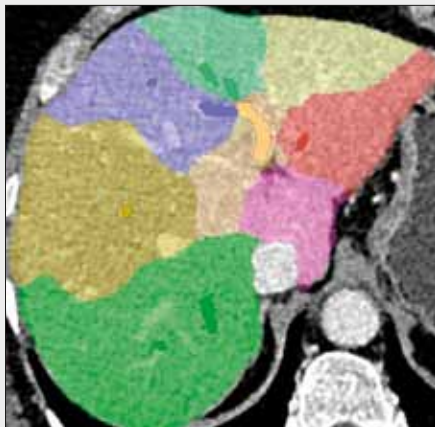
▲ Obr. 5A



▲ Obr. 5B



▲ Obr. 5C



▲ Obr. 5D

Obr. 5. A – 3D rekonstrukce jater se segmenty a větvením jaterní tepny (pohled zdola); B – 3D model jater se segmentací portální žily (pohled zdola); C – 3D model jater se společným zobrazením tepen, systémového žilního i portálního řečiště (pohled zepředu); D – jaterní segmenty v MPR, axiální rovina

Fig. 5. A – the 3D model of the liver segments with arterial tree (the view from the below); B – the 3D model of the liver with segmental portal veins (the view from the below); C – the 3D model of the liver with the imaging of arteries, hepatic and portal veins together (the view from the front); D – liver segments in MPR

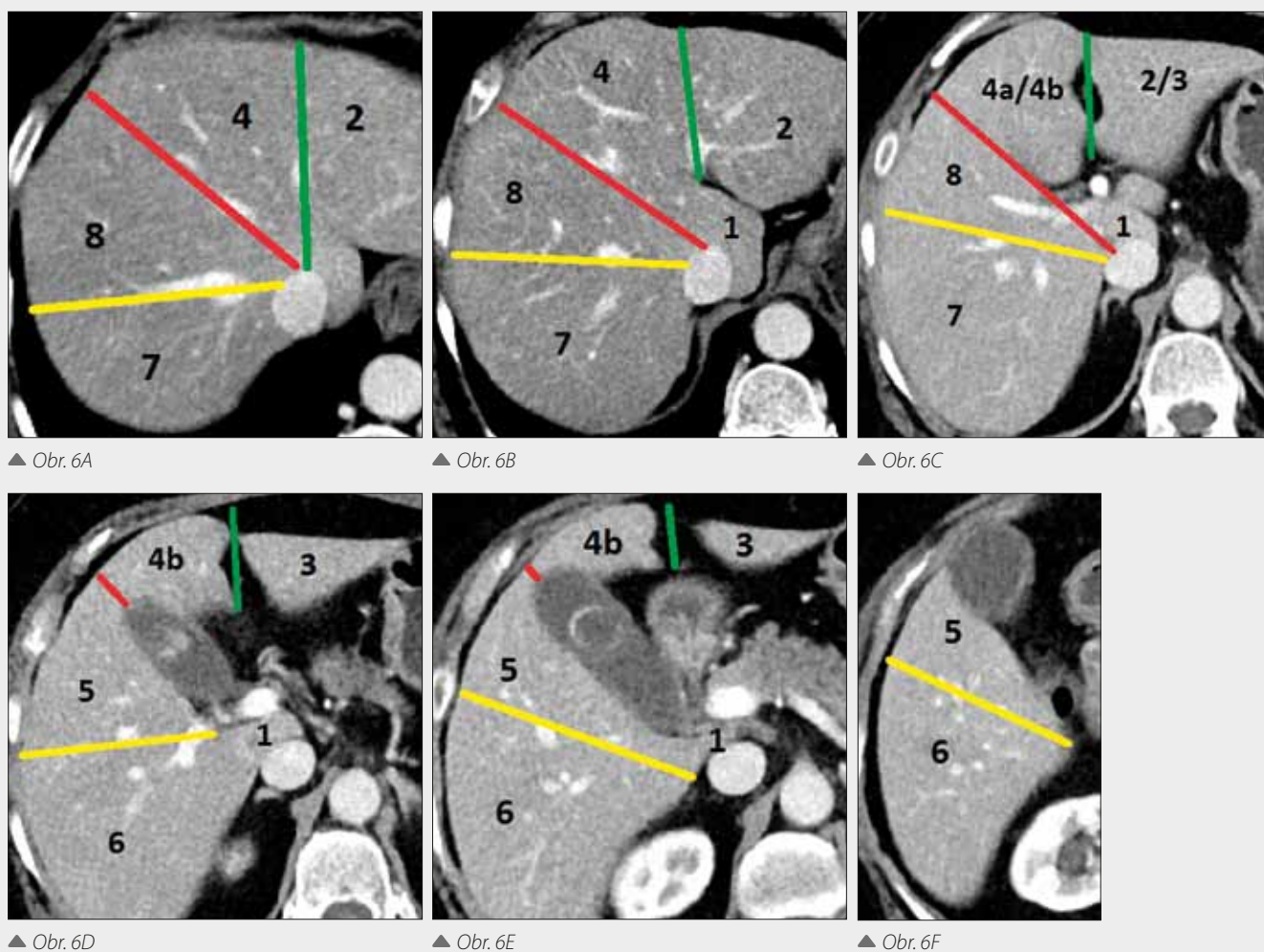
Semiautomatická volumetrie jater

U semiautomatické volumetrické analýzy odpadá nutnost měření jater zvlášť v každém řezu. Na začátku procesu, v závislosti na typu aplikace, je nutná iničiální intervence uživatele, která umožní výpočetní technice odlišit jaterní a okolní tkáň. Principem je označení jater a extrahepatálních tkání buď vložením křivky, nebo různě širokých jednotlivých „bodů“ či tvarů. Nejčastěji je využívána metoda graph-cut nebo technika založená na intenzitě, která však vykazuje časté chyby u nehomogenní struktury jater, kdy může dojít k „leaku“ virtuálních jater do okolních tkání. V těchto případech je někdy u semiautomatických i automatických programů k dispozici takzvaná maska, užitečný nástroj, který umožňuje odstranění libovolné oválné nebo nepravidelné plochy či objemu z obrazových dat buď před provedením analýzy, nebo „ex post“. Je vhodná zejména k odstranění části žaludku či srdce, které často splývají s jaterním parenchymem. Semiautomatické, ale i automatické metody často alespoň částečně využívají algoritmy fungující na principu deeper (hierarchal) learning, díky kterým má specifický software napodobující do jisté míry neuronální síť lidského mozku možnost zdokonalovat své chování v určitých situacích za podmínky postupně se rozšiřujících datových souborů. V tom se liší od klasických počítačových programů, které na různé podněty reagují často uniformě (21–24).

Automatická volumetrie jater

Aplikace pro automatické měření objemu a segmentaci jater umožňují efektivní a rychlou analýzu jaterních objemů. U většiny současně dostupných automatických aplikací jsou k dispozici užitečné nástroje občas kombinující prvky manuální i semiautomatické analýzy pro úpravu naměřených dat. Automatické aplikace v dnešní době většinou pracují se statistickými či prostorovými deformačními modely, případně sdružují tyto modely s algoritmy využívající principy hlubokého učení (25, 26).

Během naší retrospektivní studie byla používána aplikace Liver Analysis v portálu Syngo.via (Siemens Healthineers, Forchheim, Německo). Jedná se dedikovaný software s bohatou nabídkou segmentačních pomůcek v připojené nástrojové liště, který je kromě analýzy objemů jater schopný ve spolupráci s uživatelem rozdělit játra na jednotlivé segmenty a určit jejich reálnou velikost a vztah k jaterním ložiskům. Po předchozím označení cévních struktur je možné zjistit přesnou polohu jaterních teritorií podle jaterních tepen, žil a zejména provést nejdůležitější členění podle větvení portálního řečiště. Výsledné obrazy s barevně označenými segmenty či cévními strukturami jsou poté k dispozici v multiplánární podobě i v prostorových 3D modelech, které ulehčují operátorovi vytvoření jasné představy o tvaru jater, cévním zásobení a poloze jaterních nádorů již před operačním záklukem (obr. 4, 5).



Obr. 6A–F. Schematické rozdělení jater na segmenty dle Couinauda v CT obraze
 Fig. 6A–F. Schematic Couinaud classification of hepatic segments in CT imaging

Skutečný rozsah jaterních segmentů se může značně lišit od velikosti, tvaru a někdy i počtu segmentů vytvořených podle uniformního schématu dělení jater podle Couinauda, který se řídí polohou hlavních jaterních žil a úrovní větvení kmene vena portae (obr. 6, 7). Couinaudovo členění je populární zejména v Evropě, ale často používané je i jinde ve světě. Většina dalších systémů členění jater se mu podobá a zpravidla se liší pouze v detailech. Některé pracují s rozdílným počtem segmentů a často se také odlišují alternativním umístěním linie oddělující laterální segmenty levého jaterního laloku. Kromě Couinaudovo, tedy modifikované původní Bismuthovo klasifikace, existují ve světě ještě dva regionálně významné systémy členění jater: Takasakiho ve východní Asii a Godsmith-Woodbornovo v Severní Americe (27–29). Pro detailní studium těchto klasifikací je třeba odkázat na příslušnou literaturu.

Atypické tvary jater

Kvalita výsledné manuální, semiautomatické, ale především automatické CT volumetrie může být kromě jiných faktorů významně ovlivněna také různými atypickými tvary jater, které mohou vést k nesprávně naměřenému objemu. Mezi obvyklou variantou v pravé části jater patří více či méně vyjá-

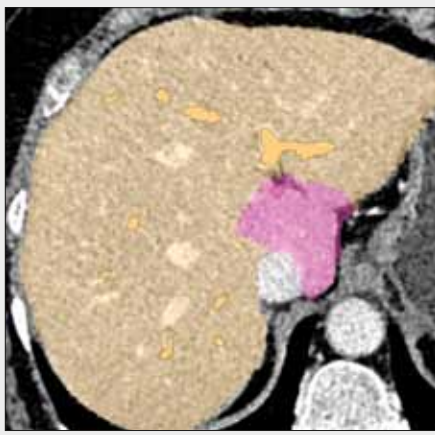
dřený Riedlův lalok, což je výrazně kaudálně protažený pravý lalok jater, který někdy zasahuje až do pánve a v ojedinělých případech může být od jater zcela oddělen s aberantním cévním zásobením sekvestrovaného parenchymu. V levém laloku patří mezi obvyklou vrozenou atypii, tzv. beaver tail liver s doleva protaženými laterálními segmenty, které naléhají na horní pól sleziny a tvarem připomínají bobří oháňku (obr. 8). K podobnému stavu s názvem tzv. kissing liver dochází při hepatosplenomegalii u hematologických onemocnění.

Limitace

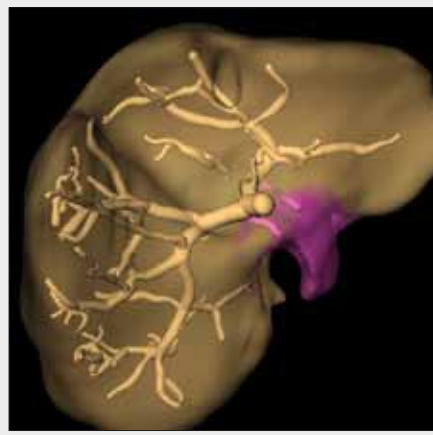
Tak jako u každé studie i v naší práci lze shledat limitující faktory. Jednou z limitací se jeví nemožnost zjistit u živých pacientů objektivně skutečný rozměr jater a zejména FLRV. Jako zlatý a klinicky pravděpodobně dostačující standard je tedy považována manuální CT volumetrie.

ZÁVĚR

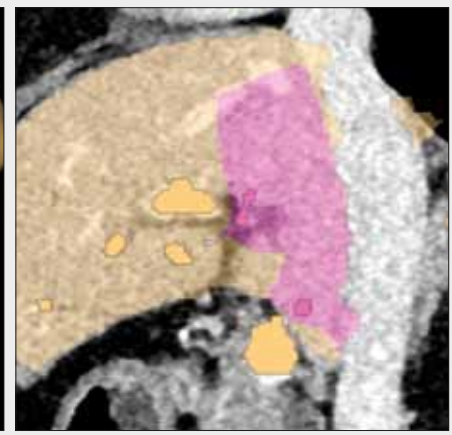
Resekční výkony na játrech hrají v současnosti stále důležitější úlohu v léčbě jaterních tumorů, především metastáz



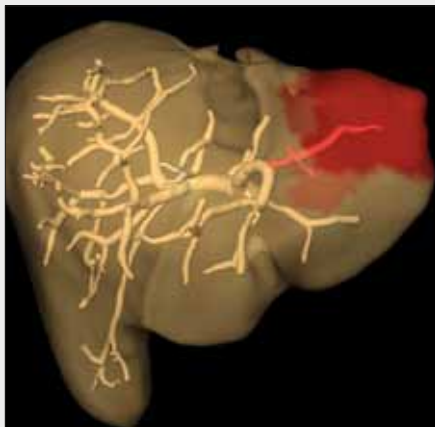
▲ Obr. 7A



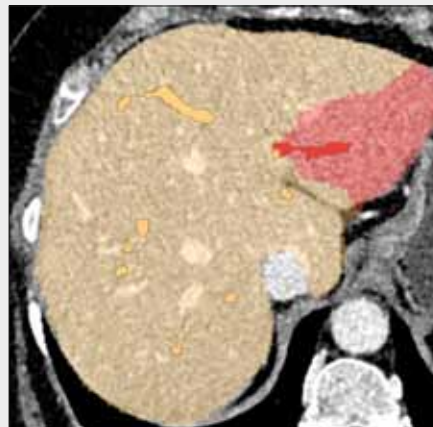
▲ Obr. 7B



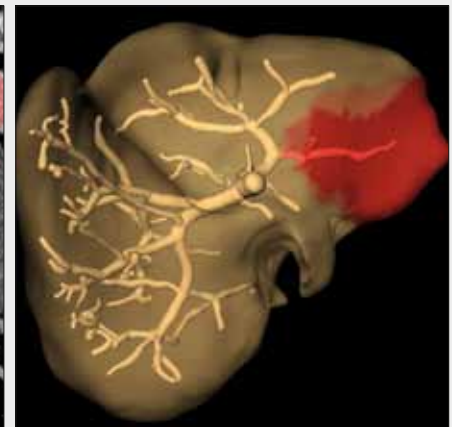
▲ Obr. 7C



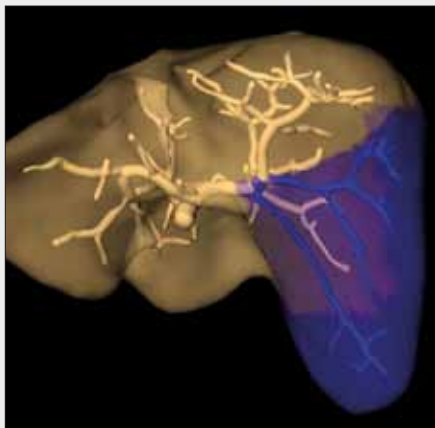
▲ Obr. 7D



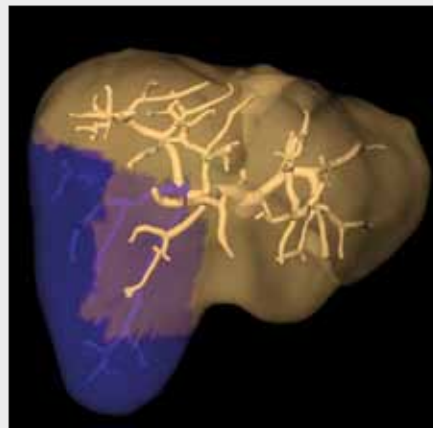
▲ Obr. 7E



▲ Obr. 7F



▲ Obr. 7G



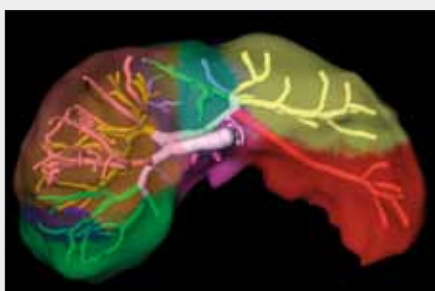
▲ Obr. 7H



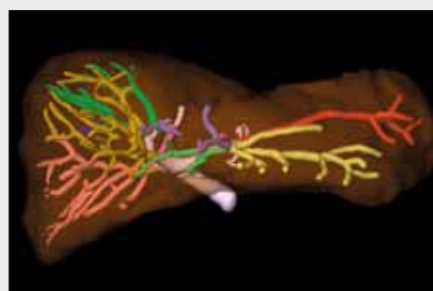
▲ Obr. 7I

Obr. 7. Příklady některých segmentů jater v 3D a MPR CT obraze jater podle průběhu segmentárních větví portálních žil. A–C – segment 1; D–F – segment 2; G–I – segment 6

Fig. 7. Several examples of some segments in 3D model and MPR CT imaging reconstructed according to portal veins. A–C – segment 1; D–F – segment 2; G–I – segment 6



▲ Obr. 8A



▲ Obr. 8B

Obr. 8. Játra tvaru bobří oháňky s nápadně protaženými portálními žilami pro 2. a 3. segment, 3D model. A – pohled zdola; B – pohled zepředu

Fig. 8. Beaver tail liver with gangly portal veins of 2. and 3. segment, 3D model. A – The view from the below; B – The view from the front

kolorektálního karcinomu. Po operaci dochází ke zmenšení objemu jater s rizikem vzniku jaterní insuficience. Zobrazovací metody umožňují již před operací přesné zhodnocení předpokládaného zbytkového objemu jater a předejít tak rozvoji fatálního jaterního selhání po resekci. Automatická CT volumetrie s možností dodatečných úprav uživatelem je adekvátní metodou pro analýzu jaterních objemů s možným využitím segmentace jater a vytvořením 3D modelu cévního jaterního řečiště zobrazující vztah tepen a žil k jednotlivým ja-

terním segmentům a případným nádorům. Ve srovnání s manuální metodou je automatická volumetrická analýza jater rychlejší a naměřené objemy se statisticky významně neliší. Zvláště v dnešní době rostoucích požadavků na obor zobrazovacích metod s narůstajícím počtem a rychlostí provedených vyšetření je automatická CT volumetrie optimální metodou pro měření jaterních objemů s výrazným ušetřením času vyšetřujícího bez významného či žádného snížení přesnosti získaných výsledků.

LITERATURA

1. **Kim HJ, Kim CY, Park EK, et al.** Volumetric analysis and indocyanine green retention rate at 15 min as predictors of post-hepatectomy liver failure. *HPB: The Official Journal of the International Hepato Pancreato Biliary Association* 2015; 17(2): 159–167.
2. **Ibis C, Albayrak D, Sahiner T, et al.** Value of preoperative indocyanine green clearance test for predicting post-hepatectomy liver failure in noncirrhotic patients. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research* 2017; 23: 4973–4980.
3. **Pagano D, Gruttadauria S.** Impact of future remnant liver volume on post-hepatectomy regeneration in non-cirrhotic livers. *Frontiers in Surgery* 2014; 1: 10.
4. **D'Onofrio M, De Robertis R, Demozzi E, et al.** Liver volumetry: Is imaging reliable? Personal experience and review of the literature. *World Journal of Radiology* 2014; 6(4): 62–71.
5. **Lodewick TM, Arnoldussen CWKP, Lahaye MJ, et al.** Fast and accurate liver volumetry prior to hepatectomy. *HPB: The Official Journal of the International Hepato Pancreato Biliary Association* 2016; 18(9): 764–772.
6. **Dušek L, Mužík J, Malúšková D, et al.** Cancer incidence and mortality in the Czech Republic. *Klin Onkol* 2014; 27(6): 406–423.
7. **Mezhir JJ, Fourman LT, Do RK, et al.** Changes in the management of benign liver tumours: an analysis of 285 patients. *HPB: The Official Journal of the International Hepato Pancreato Biliary Association* 2013; 15(2): 156–163.
8. **Thomeer MG, Broker M, Verheij J, et al.** Hepatocellular adenoma: when and how to treat? Update of current evidence. *Theapeutic Advances in Gastroenterology* 2016; 9(6): 898–912.
9. **Ludvík J, Duras P, Třeška V, Matoušková T, Brůha J, Fichtl J, et al.** Portal vein embolization with contralateral application of stem cells facilitates increase of future liver remnant volume in patients with liver metastases. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2017; 40: 690–696.
10. **Vivarelli M, Vincenzi P, Montalti R, et al.** ALPPS Procedure for extended liver resections: a single centre experience and a systematic review. *Bruns H (ed.) PLoS ONE* 2015; 10(12): e0144019.
11. **Dierckx R, Maes A, Peeters M, van de Wiele C.** FDG PET for monitoring response to local and locoregional therapy in HCC and liver metastases. *Q J Nucl Med Mol Imaging* 2009; 53(3): 336–342.
12. **Meloni M, Chiang J, Laeseke P, et al.** Microwave ablation in primary and secondary liver tumors: technical and clinical approaches. *International journal of hyperthermia: the official journal of European Society for Hyperthermic Oncology. North American Hyperthermia Group* 2017; 33(1): 15–24.
13. **Lubner MG, Brace CL, Hinshaw JL, Lee FT.** Microwave tumor ablation: mechanism of action, clinical results and devices. *JVIR* 2010; 21(8 Suppl): S192–S203.
14. **Liska V, Slowik P, Eggenhofer E, et al.** Intraportal injection of porcine multipotent mesenchymal stromal cells augments liver regeneration after portal vein embolization. *In Vivo* 2010; 23: 229–236.
15. **Gotra A, Sivakumaran L, Chartrand G, et al.** Liver segmentation: indications, techniques and future directions. *Insights into Imaging* 2017; 8(4): 377–392.
16. **Chartrand G, Cresson T, Chav R, et al.** Liver segmentation on CT and MR using laplacian mesh optimization. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* [online] 2017; 64(9): 2110–2121.
17. **Huynh HT, Karademir I, Oto A, Suzuki K.** Computerized liver volumetry on MRI by using 3D geodesic active contour segmentation. *AJR* 2014; 202(1): 152–159.
18. **Suzuki K, Epstein ML, Kohlbrenner R, et al.** Quantitative radiology: automated CT liver volumetry compared with interactive volumetry and manual volumetry. *AJR* 2011; 197(4): W706–W712.
19. **Perandini S, Faccioli N, Inama M, et al.** Freehand liver volumetry by using an electromagnetic pen tablet: accuracy, precision, and rapidity. *Journal of Digital Imaging* 2011; 24(2): 360–365.
20. **Pupulim LF, Ronot M, Paradis V, et al.** Volumetric measurement of hepatic tumors: Accuracy of manual contouring using CT with volumetric pathology as the reference method. *Diagn Interv Imaging* 2018; 99(2): 83–89.
21. **Cai W, He B, Fan Y, et al.** Comparison of liver volumetry on contrast-enhanced CT images: one semiautomatic and two automatic approaches. *J Appl Clin Med Phys* 2016; 17(6): 118–127.
22. **Gotra A, Chartrand G, Vu KN, et al.** Comparison of MRI- and CT-based semiautomated liver segmentation: a validation study. *Abdom Radiol (NY)* 2017; 42(2): 478–489.
23. **Zhou JY, Wong DW, Ding F, et al.** Liver tumour segmentation using contrast-enhanced multi-detector CT data: performance benchmarking of three semiautomated methods. *Eur Radiol* 2010; 20(7): 1738–1748.
24. **Noschinski LE, Maiwald B, Voigt P, et al.** Validating new software for semiautomated liver volumetry – better than manual measurement? *Rofo* 2015; 187(9): 788–794.
25. **Hu P, Wu F, Peng J, et al.** Automatic 3D liver segmentation based on deep learning and globally optimized surface evolution. *Phys Med Biol* 2016; 61(24): 8676–8698.
26. **Wang J, Cheng Y, Guo C, et al.** Shape-intensity prior level set combining probabilistic atlas and probability map constrains for automatic liver segmentation from abdominal CT images. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2016; 11(5): 817–826.
27. **Bismuth H.** Revisiting liver anatomy and terminology of hepatectomies. *Ann Surg* 2013; 257: 383–386.
28. **Iqbal S, Iqbal R, Iqbal F.** Surgical implications of portal vein variations and liver segmentations: a recent update. *JCDR* 2017; 11(2): AE01–AE05.
29. **Soler L, Mutter D, Pessaux P, Marescaux J.** Patient specific anatomy: the new area of anatomy based on computer science illustrated on liver. *Journal of Visualized Surgery* 2015; 1: 21.