

Přesnost a efektivita poloautomatických segmentačních programů pro stanovení objemu jater z MR snímků

Accuracy and efficiency of semi-automatic segmentation programs for liver volume determination from MR images

Petr Kordač¹, Bára Šetinová¹, Dita Pajuelo¹, Monika Dezortová¹, Jan Kovář², Lenka Rossmeislová³, Michaela Šíková³, Milan Hájek¹, Petr Šedivý¹

¹Oddělení výpočetní tomografie, magnetické rezonance a klinické a experimentální spektroskopie, Pracoviště zobrazovacích metod (PZM), Institut klinické a experimentální medicíny, Praha

²Centrum experimentální medicíny, Institut klinické a experimentální medicíny, Praha

³Ústav patofyziologie 3. LF UK, Praha

Hlavní stanovisko práce

Zhodnotit různé segmentační programy pro stanovení objemu jater z MR snímků z hlediska jejich dostupnosti, přesnosti a rychlosti. Ověřit jejich použitelnost pro monitorování změn objemu jater během dietní intervence.

SOUHRN

Kordač P, Šetinová B, Pajuelo D, Dezortová M, Kovář J, Rossmeislová L, Šíková M, Hájek M, Šedivý P. Přesnost a efektivita poloautomatických segmentačních programů pro stanovení objemu jater z MR snímků

Cíl: Zhodnotit různé segmentační programy pro segmentování jater z MR snímků.

Metodika: U sedmi zdravých dobrovolnic (průměrný věk 38,2 ± 5,5 let, BMI = 28,6 ± 8,3 kg/m²) bez známého jaterního či cholestatického onemocnění byla provedena tři MR vyšetření – před zahájením hladovění, po 48 hodinách hladovění a po následné dvoudenní sacharidové realimentaci. Játra byla segmentována sedmi (polo)automatickými metodami v programech 3D Slicer, LiverLab, ITK-SNAP, Myrian a MedSeg a porovnána vůči referenční manuální segmentaci.

Výsledky: Všechny použité metody pro stanovení objemu jater prokázaly dobrou přesnost. Vnitrotřídní koeficienty konzistence i shody byly nad 0,95. Nejlepšího variačního koeficientu (CV) dosáhla segmentace modulem TotalSegmentator z nabídky programu 3D Slicer. Modul TotalSegmentator dosáhl i nejlepší přesnosti v rámci individuálního hodnocení efektu dietní intervence, kde byl průměrný CV pod 10% (ostatní metody měly CV mezi 10–20%).

Major statement

To evaluate various software for liver segmentation from MR images in terms of program availability, accuracy, and speed, and verify their usability for monitoring liver volume changes during dietary intervention.

SUMMARY

Kordač P, Šetinová B, Pajuelo D, Dezortová M, Kovář J, Rossmeislová L, Šíková M, Hájek M, Šedivý P. Accuracy and efficiency of semi-automatic segmentation programs for liver volume determination from MR images

Aim: To evaluate various segmentation software for liver segmentation from MR images.

Method: Three MR examinations were performed on seven healthy volunteers (average age 38.2 ± 5.5 years, BMI = 28.6 ± 8.3 kg/m²) without known liver or cholestatic diseases – before initiating fasting, after 48 hours of fasting, and after subsequent two-day carbohydrate realimentation. The livers were segmented using seven (semi)automatic methods of software 3D Slicer, LiverLab, ITK-SNAP, Myrian and MedSeg and compared to the reference manual segmentation.

Results: All methods used for liver volume determination showed good accuracy. Intra-class coefficients of consistency and agreement were above 0.95. The TotalSegmentator module in the 3D Slicer program achieved the best coefficient of variation (CV), and also demonstrated the highest accuracy in the individual assessment of the dietary intervention effect, with an average CV below 10% (other methods ranged from 10–20%).

Přijato: 28. 9. 2023

Korespondenční adresa:

Mgr. Petr Šedivý, Ph.D.
Oddělení výpočetní tomografie, magnetické rezonance a klinické a experimentální spektroskopie
Pracoviště zobrazovacích metod IKEM
Václavská 1958/9, 140 21 Praha 4
e-mail: seip@ikem.cz

Podpořeno z programového projektu Ministerstva zdravotnictví ČR s reg. č. NU20J-01-00005 a RVO (Institut klinické a experimentální medicíny – IKEM, IČ 00023001).
Veškerá práva podle předpisů na ochranu duševního vlastnictví jsou vyhrazena.

This work was supported by Ministry of Health of the Czech Republic, grant numbers: NU20J-01-00005 and DRO (Institute for Clinical and Experimental Medicine – IKEM, IN 00023001).

Závěr: Program 3D Slicer lze považovat za nejlepší ze všech testovaných programů pro segmentace jater z MR snímků z hlediska dostupnosti, přesnosti a rychlosti. V základních úkonech, jako je segmentace orgánů, dokáže konkurovat i komerčnímu programu. Lze s ním s dobrou přesností sledovat i změny objemu jater při krátkodobých dietních intervencích.

Klíčová slova: 3D Slicer, MR, segmentace obrazu, segmentace jater.

Conclusion: 3D Slicer can be considered the best among all the tested segmentation software for liver segmentation from MR images in terms of program availability, accuracy, and speed. In basic tasks such as organ segmentation, it can compete with commercial software. It can accurately track liver volume changes during short-term dietary interventions.

Key words: 3D Slicer, MRI, image segmentation, liver segmentation.

ÚVOD

Segmentace jaterního parenchymu slouží k odhadu objemu jaterní tkáně, která zůstane vitální po chirurgické resekci, transarteriální chemoembolizaci nebo radiofrekvenční ablací pro přítomnost tumorózní tkáně v parenchymu jater. V programu žijících dárců je segmentace důležitou metodou pro odhad budoucí velikosti štěpu a zbylé části jater, které jsou klíčové pro přežití příjemce i samotného dárce.

V současnosti se segmentace jater nejčastěji provádí z CT snímků, méně často i z MR zobrazování. Automatické segmentační postupy pro CT snímky jsou robustní a často jsou běžně dostupné v základním softwarovém vybavení CT přístroje. Některé programy, např. MeVis (1), Mimics (2) či Synapse Vincent (3) s automatickými algoritmy dokážou určit i detailnější morfologické parametry jater, jako je umístění větších cév a objem jednotlivých jaterních segmentů s příslušným grafickým znázorněním segmentace. Naproti tomu segmentace jater z MR snímků je obtížnější z důvodů přítomnosti různých artefaktů (zejména dýchacích) a heterogenity MR signálu. Segmentační maska (vyznačená oblast zájmu) vykreslená v jedné MR sekvenci může být použita jako nástroj k vyhodnocení dalších parametrů z jiných typů MR sekvencí, např. u jaterní steatózy na výpočet průměrné tukové frakce nebo T1 a T2 relaxačního času např. u pacientů se střádavými onemocněními. Vzhledem k tomu, že MR vyšetření nepředstavuje radiační zátěž, je to metoda vhodná pro opakovanou vyšetření, ke sledování změn objemu jater a dalších kvantitativních parametrů, např. při změně dietního režimu nebo po chirurgických zákrocích.

Naše pracoviště se dlouhodobě věnuje problematice jaterní steatózy (4, 5).

Ve studii, kde skupina zdravých dobrovolnic podstoupila 48hodinové lačnění a dvoudenní sacharidovou realimentaci, byla zjištěna výrazná ($\approx 20\%$) změna objemu jaterní tkáně (6). Získané MR snímky jater v rámci této studie jsou pro sledování změn objemu jater ideální a byly použity k testování přesnosti určení změn objemu jater zvolenou segmentační metodou v průběhu časového vývoje u konkrétních pacientů. Určení přesnosti změn může být v dlouhodobých metabolických a diabetologických studiích významnějším parametrem, než je přesnost stanovení celkového objemu jater.

METODIKA

Subjekty

Pro porovnání segmentačních metod byly využity MR obrazy pacientů naměřených standardním jaterním protokolem na 3T MR tomografu. Speciální skupinu pro studium změn objemu jater v čase tvořilo sedm žen (průměrný věk $38,2 \pm 5,5$ let, BMI = $28,6 \pm 8,3$ kg/m²) bez známého jaterního nebo cholestatického onemocnění. Účastnice studie byly hospitalizovány, podstoupily 60hodinové lačnění a následně dvoudenní sacharidovou realimentaci. Během experimentu byly celkově třikrát vyšetřeny na MR – před zahájením experimentu, po 48hodinovém lačnění a po dvoudenní sacharidové realimentaci. Daný soubor dobrovolnic patřil do větší skupiny osob projektu AZV MZ ČR NV19-01-00263 zkoumajícího vliv indukce ketózy na metabolismus tukové tkáně (6).

Všechna vyšetření proběhla podle protokolu schváleného etickou komisí IKEM a Thomayerovy nemocnice podle pravidel Helsinské deklarace. Všechny

Tab. 1. Přehled použitých programů a jejich základní charakteristika
Table 1. Overview of used programs and their basic characteristics

Program	3D Slicer			LiverLab	ITK-SNAP	Myrian	MedSeg
Dostupnost	zdarma			komerční	zdarma	zdarma	zdarma
Operační systém	Windows, Linux, Macintosh			Siemens	Windows, Linux, Macintosh	Windows	Webový prohlížeč
Verze	5.2.2			–	3.6.0	2.6.4	1.0
Programovací jazyk	C++, Python, Matlab			ICE, C++	C++	C++, Matlab	Python
3D vizualizace	disponuje			nedisponuje	disponuje	disponuje	nedisponuje
Modul	–	TotalSegmentator	TotalSegmentator	–	–	Myrian Studio	DeepGrow
Nástroj	<i>Grow from seeds</i>	<i>Watershed</i>	–	–	<i>Thresholding</i>	<i>Fill a homogeneous region</i>	–
Typ segmentace	poloautomatická	poloautomatická	automatická	automatická	poloautomatická	poloautomatická	poloautomatická
Pracovní rozhraní	+++	+++	+++	++	++	+	+++
Uživatelská nápověda	+++	+++	+++	++	++	+	+++
Automatizace segmentace	++	++	+++	++++	+	+	+

ICE – programovací jazyk Siemens/Image Calculation Environment, C++ – programovací jazyk/programming language

účastnice byly informovány o průběhu vyšetření a podepsaly písemný souhlas s vyšetřením.

MR vyšetření

MR snímky jater pro porovnání jednotlivých segmentačních metod byly získány na celotělovém 3T MR tomografu Magnetom VIDA (Siemens, Německo) pomocí 30kanálové povrchové cívký a 32kanálové páteřní cívký. Po lokalizační sekvenci HASTE následovalo měření sekvencí VIBE e-Dixon v zadržném výdechu s následujícími parametry: TR/TE1/TE2 = 3,97/1,29/2,52 ms, rozlišení 1,2 × 1,2 × 3 mm, velikost matice 320 × 195, sklápěcí úhel = 9°, 88 vrstev; akcelerační faktor 2 × 2 CAI-PIRINHA, celkový čas sekvence 15 s.

Přehled použitých programů

Do testování byly vybrány čtyři volně dostupné segmentační programy a jeden komerční. Z nekomerčních programů byly zvoleny ty, které nabízejí alespoň poloautomatickou segmentaci a jejichž zprovoznění nevyžaduje pokročilou znalost programování.

Referenční segmentace byla provedena manuálně v programu ITK-SNAP řez po řezu postupným označením celého parenchymu jater včetně jaterních cév. Žlučník a dolní dutá žíla byly vyčleněny ze segmentace. Každá segmentace trvala mezi 1 a 2 hodinami a všechny byly provedeny jediným zkušeným MR specialistou. Přehled použitých programů

s jejich základní charakteristikou je uveden v tabulce 1.

3D Slicer

3D Slicer (7) je program disponující mnoha segmentačními nástroji s rozsáhlými možnostmi rozšíření a aktivní uživatelskou komunitou (8). V rámci programu 3D Slicer byly testovány tři různé metody: nástroje *grow from seeds* a *watershed* a modul TotalSegmentator.

Grow from seeds je poloautomatický segmentační nástroj ze základní nabídky programu, který využívá algoritmus založený na rozrůstání definovaných *seeds* (9). Jedná se o rychlou metodu, jejíž práci lze v průběhu výpočtu korigovat. Umožňuje i vyznačení několika oblastí najednou. Nutnost úprav se snižuje vhodným rozmístěním *seeds* pro pozadí do míst, kde segmentace často zasahuje mimo játra. Jedná se o místa s podobnou intenzitou signálu – přiléhající žebra, pravá ledvina, srdce aj.

Watershed (10) je další poloautomatický segmentační nástroj, který již nepatří do základní nabídky programu 3D Slicer a je nutné ho instalovat v rámci modulu TotalSegmentator. Práce s ním je podobná jako s nástrojem *grow from seeds*, avšak je rychlejší, protože není potřeba tak důkladná příprava snímků (množství definovaných *seeds* pro pozadí a pro požadovanou strukturu) před samotnou segmentací.

TotalSegmentator je samostatný modul v rámci programu 3D Slicer používaný na zcela automatickou segmentaci

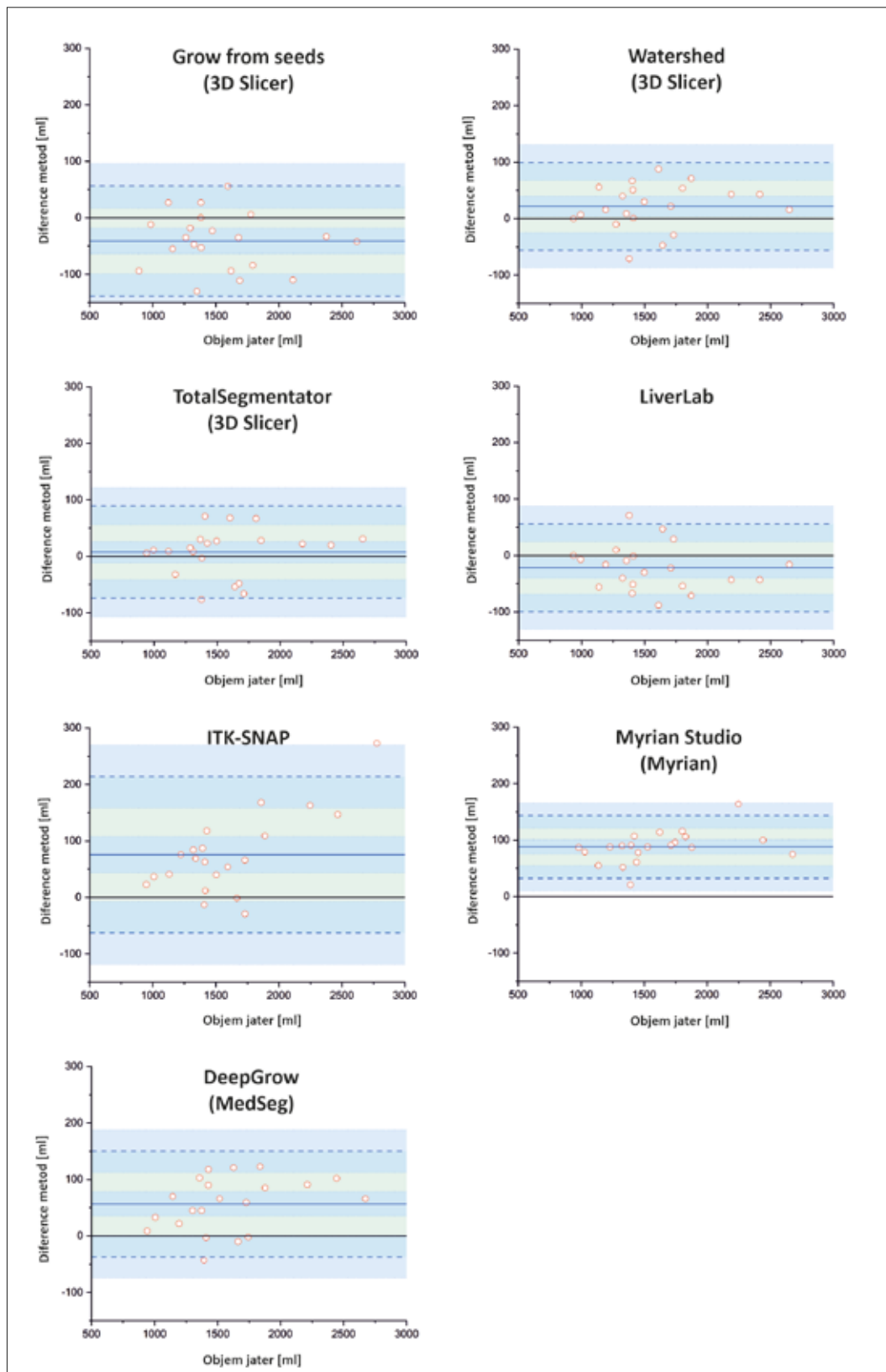
trupu (11). Primárně je určen na práci s CT snímky (rozlišuje až 104 anatomických struktur), proto jsou jeho možnosti při práci s MR snímky omezeny, co se týká množství rozlišitelných struktur, vzhledem k jejich menší kvalitě. Pro vyznačení jaterního parenchymu je však dostačující.

LiverLab

LiverLab je komerční softwarové vybavení pro tomografy firmy Siemens. Zahrnuje MR zobrazovací a spektroskopické sekvence pro kvantitativní vyhodnocení jaterní steatózy doplněné automatickou segmentací jater, která je provedena zcela automaticky s měřením MR sekvence e-Dixon (12). Vytvořenou masku však nelze samostatně exportovat ani upravovat.

ITK-SNAP

ITK-SNAP (13) patří mezi nejoblíbenější segmentační programy sloužící k analýze snímků ze zobrazovacích metod (14). Nabízí čtyři poloautomatické nástroje na vyznačení objektu zájmu vůči pozadí: *thresholding*, *classification*, *clustering*, *edge attraction*. Po manuálním vyznačení objektu následuje krok inicializace a následně dokončení segmentace (15). Výsledné segmentační masky jsou definované jako bitmapy a je možné je manuálně upravovat, použít automatické vyhlazení nebo je exportovat do jiných formátů vhodných např. pro 3D tiskárny.



1 Srovnání přesnosti určení absolutní velikosti objemu jater pomocí Bland-Altmanových grafů (osa x: průměr testovací a referenční manuální segmentace, osa y: rozdíl testovací a referenční manuální segmentace) pro programy 3D Slicer (nástroje *grow from seeds* a *watershed*, modul TotalSegmentator), ITK-SNAP, LiverLab, Myrian a MedSeg

Comparison of the accuracy of determining the absolute liver volume using Bland-Altman plots (x-axis: mean of test and reference manual segmentation, y-axis: difference between test and reference manual segmentation) for programs 3D Slicer (tools *grow from seeds* and *watershed*, module TotalSegmentator), ITK-SNAP, LiverLab, Myrian, and MedSeg

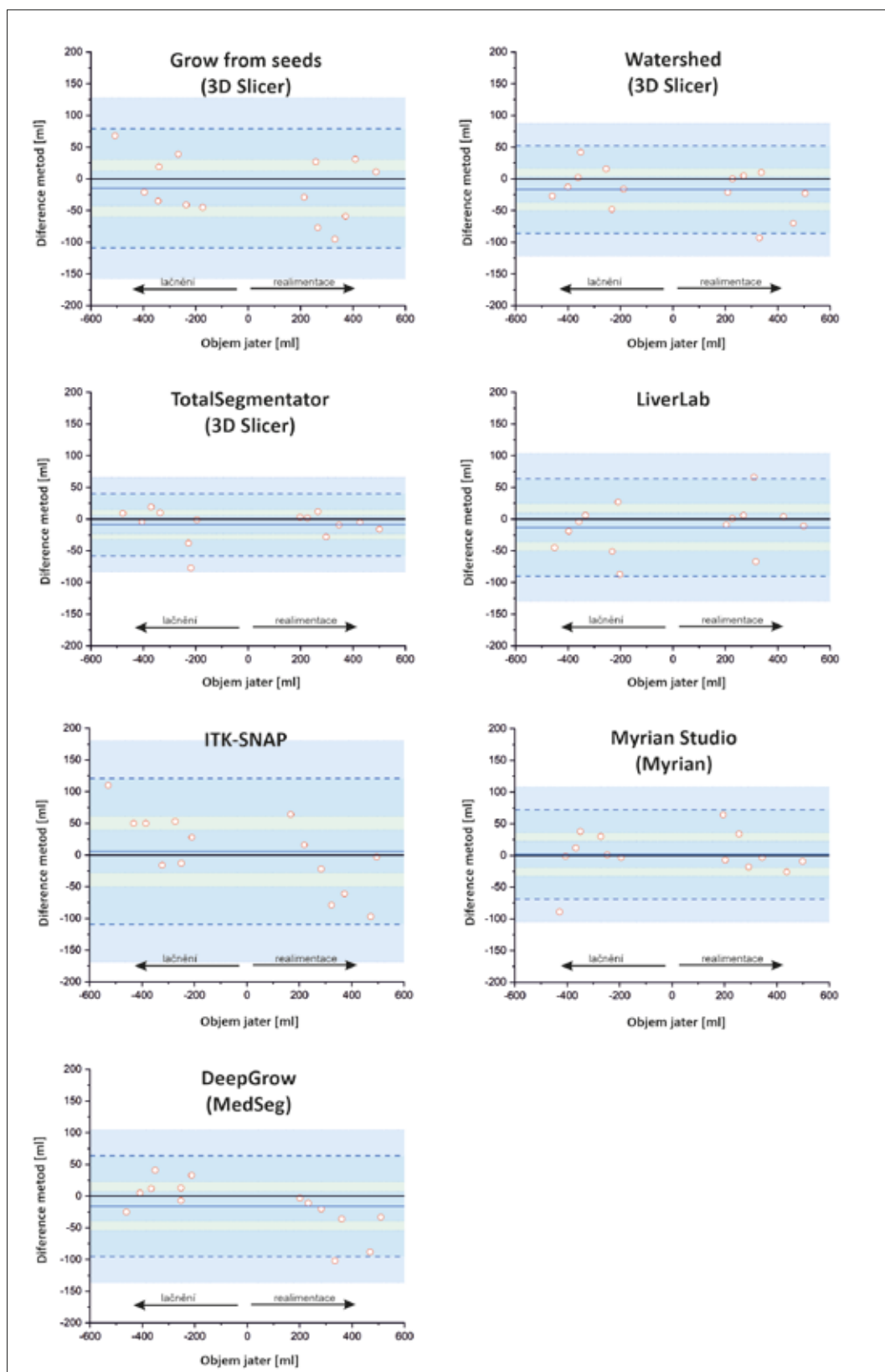
Naše testy pro odlišení jater od pozadí ukázaly jako vhodné pouze nástroje *clustering* a *thresholding*, mezi kterými nebyl nalezen z hlediska kvality a rychlosti výpočtu žádný rozdíl. Pro další hodnocení softwaru byla zvolena metoda *thresholding*. Po následné segmentaci byly

získané masky zkontrolovány a manuálně upraveny ve všech vrstvách.

Myrian

Myrian je automatický program pro zpracování, segmentaci a vizualizaci

medicínských snímků s použitím umělé inteligence (AI) od firmy Intrasense. V naší studii byla pro segmentaci jater využita pouze jeho bezplatná verze (Myrian Studio, 16) bez dalších rozšíření. V této základní verzi se nachází jen omezené množství segmentačních



2 Srovnání přesnosti změny objemu jater během lačnění a realimentace pomocí Bland-Altmanových grafů (osa x: průměr testovací a referenční manuální segmentace, osa y: rozdíl testovací a referenční manuální segmentace) pro programy 3D Slicer (nástroje *grow from seeds* a *watershed*, modul TotalSegmentator) ITK-SNAP, LiverLab, Myrian a MedSeg

Comparison of the accuracy of liver volume changes during fasting and realimentation using Bland-Altman plots (x-axis: mean of test and reference manual segmentation, y-axis: difference between test and reference manual segmentation) for programs 3D Slicer (tools *grow from seeds* and *watershed*, module TotalSegmentator), ITK-SNAP, LiverLab, Myrian, and MedSeg

nástrojů. Z nich nevhodnější pro poloautomatickou segmentaci byl nástroj *fill a homogeneous region*. Tento nástroj je založen na postupném rozšiřování definované oblasti zájmu do oblastí s podobnou intenzitou signálu. Výsledná maska byla následně manuálně

upravena v místech přesahu a doplněna o vynechaná místa.

MedSeg

MedSeg (17) je bezplatný webový segmentační software používající AI

modely pro CT a MR snímky a nabízí několik nástrojů pro jejich úpravu. Umožňuje automatickou, na AI modelech založenou segmentaci pro různé anatomické struktury (18), která ale na našich MR snímcích selhala. Pro poloautomatickou segmentaci využívá

Tab. 2. Vyhodnocení přesnosti určení objemu jater pomocí různých (polo)automatických segmentačních metod vztažených vůči referenčnímu objemu prováděnému manuálně (n = 21; Vm = 1557 ± 424 ml)

Table 2. Evaluation of the accuracy of liver volume determination using various (semi)automatic segmentation methods compared to the reference volume obtained manually (n = 21; Vm = 1557 ± 424 ml)

Program	3D Slicer			LiverLab	ITK-SNAP	Myrian	MedSeg
	Grow from seeds	Watershed	TotalSegmentator				
Nástroj/modul						Myrian Studio	DeepGrow
Va – Vm (ml) (δ)	-41 (2,7%)	22 (1,4%)	7 (0,5%)	-17 (1,1%)	76 (5,0%)	88 (5,8%)	57 (3,6%)
CV (%)	3,6	2,4	2,2	2,3	4,8	5,9	4,0
ICC konzistence	0,995	0,996	0,995	0,995	0,988	0,998	0,994
ICC shody	0,992	0,995	0,996	0,995	0,976	0,979	0,986
Čas segmentace (min)	5 ± 2	4 ± 2	3 ± 1	automaticky během měření	16 ± 2	21 ± 2	11 ± 2

CV – variační koeficient/coefficient of variation, ICC – koeficienty vnitřní korelace/intraclass correlation coefficients, Va – objem získaný (polo)automatickou segmentací/volume obtained by (semi)automatic segmentation, Vm – objem získaný manuální segmentací/volume obtained by manual segmentation, δ – relativní odchylka Va – Vm/percentage deviation Va – Vm

DeepGrow model (*DeepGrow MRI T2 and T1 liver model*), který se však musí aplikovat snímek po snímku. Pro 3D vizualizaci je potřeba výslednou masku exportovat (formát .nii) a otevřít v jiném programu, např. ITK-SNAP. Oproti ostatním programům pracuje tento software pouze online (optimalizace pro Google Chrome). Pro lékařské účely je proto nutné všechny snímky předem anonymizovat.

Statistické metody

Statistické výpočty byly provedeny v programu R a OriginPro (OriginLab Corporation, USA, v. 2021b). Jednotlivé objemy jater z různých segmentačních metod byly porovnány vůči objemu určenému z manuální segmentace. Porovnání bylo provedeno pomocí variačního koeficientu (CV), koeficientu vnitřní korelace (*intraclass correlation coefficient* – ICC, 19, 20) a Bland-Altmanových (BA) grafů (21).

VÝSLEDKY

Jednotlivé CV, ICC a BA grafy pro zvolené segmentační postupy jsou uvedeny v tabulce 2 a na obrázku 1. Průměrné časy segmentace pro jednotlivé metody jsou rovněž v tabulce 2. Všechny použité metody prokázaly dobrou přesnost, jak ukazují ICC koeficienty, které jsou větší než 0,95. S výjimkou programu Myrian studia byly všechny CV do 5%.

Nejlepšího CV dosáhla segmentace modulem TotalSegmentator, jak je patrné i z rozsahu pásma limitu shody (*limits of agreement*) v BA grafech. Druhá nejlepší hodnota CV byla dosažena LiverLab programem od společnosti Siemens, který je navíc nejrychlejší, protože je k dispozici okamžitě v rámci měřené sekvence e-Dixon. Při detailním srovnání jednotlivých metod pomocí Bland-Altmanových grafů (obr. 1) je ale patrné, že chybový pás průměrné difference zasahuje 0 pouze u segmentace provedené modulem TotalSegmentator. Ostatní metody objem jater systematicky buď mírně nadhodnocovaly, nebo

podhodnocovaly, průměrně do 100 ml (tab. 2).

Vyhodnocení změn objemu jater pomocí manuální segmentace ukázalo u všech vyšetřovaných subjektů snížení jaterního objemu v průměru o 325 ± 37 ml (20,8%) po dvoudenním lačnění. Následná dvoudenní sacharidová realimentace vedla k opětovnému zvýšení objemu jater o 320 ± 40 ml (23,9%, resp. o 20,5% bazálního objemu). Vyhodnocení přesnosti těchto změn v objemu jater jednotlivými segmentačními metodami je uvedeno v tabulce 3, příslušné BA grafy jsou na obrázku 2.

Z uvedených výsledků v tabulce 3 je zřejmé, že téměř všechny metody vykazují podobné průměrné změny velikosti jater jako manuální segmentace. Relativní rozdíl průměrných hodnot manuální a automatické segmentace byl do 10%. Nejlepší přesnost v rámci individuálního hodnocení efektu dietní intervence na objem jater dosáhl opět modul TotalSegmentator, kde byl průměrný CV pod 10%. Ostatní metody

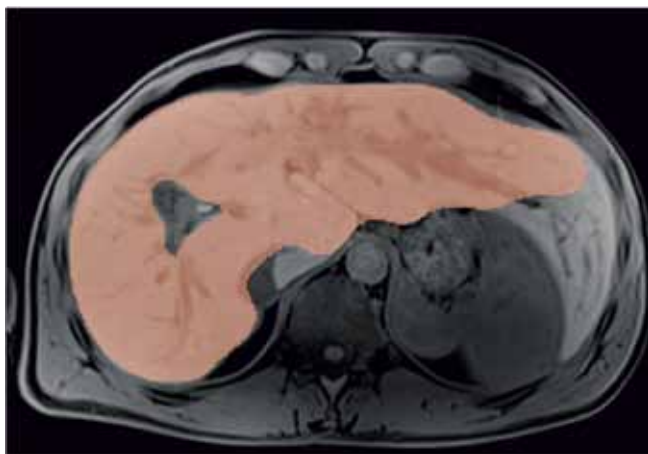
Tab. 3. Vyhodnocení přesnosti určení změn objemu jater během lačnění a sacharidové realimentace pomocí různých (polo)automatických segmentačních metod vztažených vůči referenčnímu objemu prováděnému manuálně (n = 7; ΔVm lačnění = -325 ± 37 ml, ΔVm realimentace = 320 ± 40 ml)

Table 3. Evaluation of the accuracy of liver volume changes during fasting and carbohydrate realimentation using various (semi)automatic segmentation methods compared to the reference volume obtained manually (n = 7; ΔVm fasting = -325 ± 37 ml, ΔVm realimentation = 320 ± 40 ml)

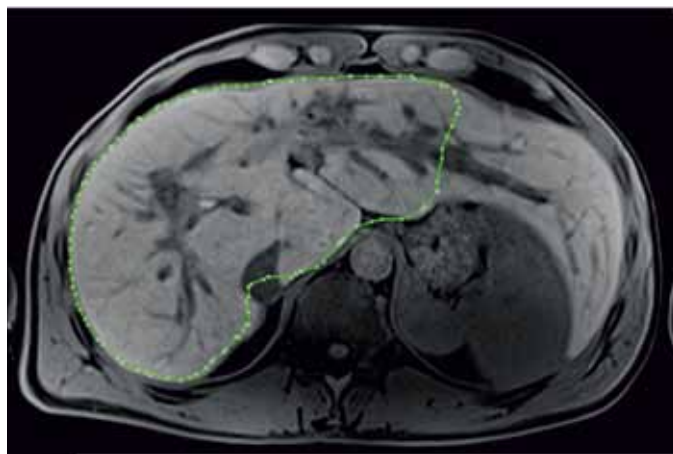
Program	3D Slicer			LiverLab	ITK-SNAP	Myrian	MedSeg	
	Grow from seeds	Watershed	TotalSegmentator					
Nástroj/modul						Myrian Studio	DeepGrow	
ΔVa (ml)	-322	-318	-313	-300	-362	-323	-335	
Lačnění	ΔVm – ΔVa (ml) (δ)	-3 (0,8%)	-7 (2,0%)	-12 (3,7%)	-25 (7,7%)	37 (11,5%)	-2 (0,6%)	10 (2,6%)
	CV (%)	19,5	12,0	11,5	17,4	23,3	12,7	9,9
Realimentace	ΔVa (ml)	347	347	326	321	346	315	362
	ΔVm – ΔVa (ml) (δ)	-27 (8,4%)	-27 (8,4%)	-6 (1,8%)	-1 (0,4%)	-26 (8,0%)	5 (1,5%)	-42 (13,1%)
	CV (%)	17,0	9,9	3,4	7,6	16,6	8,5	12,5

CV – variační koeficient/coefficient of variation, ICC – koeficienty vnitřní korelace/intraclass correlation coefficients, Va – objem získaný (polo)automatickou segmentací/volume obtained by (semi)automatic segmentation; Vm – objem získaný manuální segmentací/volume obtained by manual segmentation, δ – relativní odchylka ΔVm – ΔVa/percentage deviation ΔVm – ΔVa

3a



3b



- 3 **Pacient s primární sklerozující cholangitidou:** chybná automatická segmentace abnormálně tvarovaných jater modulem TotalSegmentator z programu 3D Slicer (a) a modulem LiverLab od Siemens (b)
Patient with primary sclerosing cholangitis: incorrect automatic segmentation of abnormally shaped liver using the TotalSegmentator module from 3D Slicer (a) and the LiverLab module from Siemens (b)

měly horší přesnost (průměrné CV mezi 10–20 %).

DISKUSE

Cílem této studie bylo zhodnotit různé programy pro segmentaci jater z MR snímků s ohledem na jejich využití v klinické praxi. Tři základní hodnocené parametry byly přesnost a rychlost segmentace a také dostupnost softwaru. Dále bylo hodnoceno pracovní rozhraní (jak intuitivně se dá s metodou pracovat), uživatelská nápověda (existence návodů či aktivních diskuzních fór) a automatizace segmentace (schopnost metody pracovat samostatně) (viz tab. 1).

Programy ITK-SNAP a Myrian Studio lze užít k segmentaci jater, ale práce s nimi trvá déle a není tolik přesná. Přesnost lze zvýšit důkladnějším odstraňováním přesahů a doplňováním neoznačeného parenchymu jater (zpravidla cév a žlučovýchodů) snímek po snímku, ale tím se výrazně prodlouží celková doba práce. Myrian Studio nabízí navíc některé užitečné funkce, jako je automatické ukládání probíhajícího pracovního

postupu či detailní zobrazení intenzity signálu ve výsledné masce, které ostatní zde zmíněné programy nenabízejí.

S programem MedSeg se pracovalo pohodlněji, rychleji a výsledek byl přesnější než s programy ITK-SNAP a Myrian Studio. Záporem zůstává nutnost provádět manuální úpravy v každém snímku zvláště a nutnost online připojení. Jeho další nevýhodou je absence 3D vizualizace. Může však sloužit jako jednoduchý nástroj pro rychlý orientační výpočet objemu jater.

Komerční produkt LiverLab je jako jediný z porovnávaných programů schválen pro klinické použití ve zdravotnictví. Jeho automatická segmentace byla nejrychlejší a druhá nejpřesnější. Nevýhodou však je, že vytvořenou masku již není možné použít dále, nelze opravit případné chyby.

Za nevhodnější z testovaných programů lze považovat 3D Slicer s rozšiřujícím modulem TotalSegmentator. Ten je nejpřesnější a jen mírně pomalejší než segmentace v LiverLab, výstupní segmentační masku navíc lze upravovat a je bezplatný. V případě abnormálně tvarovaných jater je však nutná velká manuální úprava finálních masek (obr. 3).

V těchto případech je často vhodnější zvolit jiný způsob segmentace, jako jsou ostatní nástroje z programu 3D Slicer, *grow from seeds* a *watershed*.

Efekt dietní intervence v rámci sledované skupiny vyhodnotila většina segmentačních metod velmi dobře. Individuální hodnoty změn objemu se však už více lišily od hodnot získaných manuální segmentací (viz tab. 3, CV). Opět nejlepší shodu s manuální segmentací měl modul TotalSegmentator.

ZÁVĚR

Z pěti testovaných programů pro segmentaci jater z MR snímků lze považovat za nejlepší 3D Slicer vzhledem k jeho rychlosti, přesnosti, dostupnosti a rozsáhlým možnostem dalších rozšíření. V základních úkonech, jako je segmentace orgánů, dokáže konkurovat i komerčním programům. Lze s ním s dobrou přesností sledovat např. i změny objemu jater při krátkodobých dietních intervencích. Není však schválen pro klinické využití. ●

Seznam zkratk a použitých způsobů segmentace

AI – umělá inteligence (*artificial intelligence*)
 BA – Bland-Altmanův graf
 BMI – index tělesné hmotnosti (*body mass index*)
 CAIPIRINHA – *Controlled aliasing in parallel imaging results in higher acceleration*
 CV – variační koeficient
 HASTE – *half Fourier acquisition single shot turbo spin echo*
 ICC – koeficient vnitrotřídní korelace (*intraclass correlation coefficients*)

VIBE – *volumetric interpolated breath hold examination*
 TE – echo čas
 TR – repetiční čas
 DeepGrow – AI model z nabídky programu MedSeg
 Grow from seeds – nástroj z nabídky programu 3D Slicer
 Fill a homogeneous region – nástroj z nabídky programu Myrian Studio
 Thresholding – nástroj z nabídky programu ITK-SNAP
 TotalSegmentator – rozšiřující modul do programu 3D Slicer
 Watershed – nástroj z rozšiřujícího modulu (TotalSegmentator) do programu 3D Slicer

LITERATURA

1. Janek J, Bician P, Kenderessy P, Kothaj P, Novotná K, et al. Experience with hepatoblastoma treatment in small children—the use of preoperative 3D virtual analysis MeVis for liver resections. *Rozhledy v Chirurgii: Mesicnik Ceskoslovenske Chirurgicke Spolecnosti* 2017; 96(1): 25–33.
2. Li K, Yan G, Zheng W, Sun J, and Zou Y. Measurement of the Brain Volume/Liver Volume Ratio by Three-Dimensional MRI in Appropriate-for-Gestational Age Fetuses and Those With Fetal Growth Restriction. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 2021; 54(6): 1796–1801.
3. Ohshima S. Volume analyzer SYNAPSE VINCENT for liver analysis. *Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences* 2014; 21(4): 235–238.
4. Hájek M, Dezortová M, Burian M, Dusilová T, Kovář J, et al. Determination of liver steatosis by MR spectroscopic methods PRESS, STEAM and HISTO. *Česká radiologie* 2020; 74(3): 211–221.
5. Šedivý P, Dezortová M, Burian M, Dusilová T, Kovář J, et al. Porovnání přesnosti spektroskopických a zobrazovacích technik magnetické rezonance pro stanovení jaterní steatózy. *Chemické Listy* 2021; 115: 46–53.
6. Sedivý P, Dusilová T, Setinová B, Dezortová M, Burian M, et al. Liver response to fasting and isocaloric high-carbohydrate refeeding in lean and obese women. *Abstract ISMRM London 2022*.
7. 3D Slicer (USA), v. 5.2.2 (vytvořeno 22. 2. 2022) [software] [cit. 27. 7. 2023]. Dostupný z: <https://download.slicer.org/>. Windows 10, 64 bit, 16 GB RAM, CPU i3.
8. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin JC, et al. 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic Resonance Imaging* 2012; 30(9): 1323–1341. PMID: 22770690. PMCID: PMC3466397.
9. Egger J, Kapur T, Nimsky C, Kikinis R. Pituitary adenoma volumetry with 3D Slicer. *PLoS One* 2012; 7(12): e51788.
10. Hasan SM, Ahmad M. Two-step verification of brain tumor segmentation using watershed-matching algorithm. *Brain informatics* 2018; 5(2): 1–11.
11. TotalSegmentator v. 1.0 [modul do programu 3D-Slicer] [cit. 27. 7. 2023]. Dostupný z: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.05868>. Windows 10, 64 bit, 16 GB RAM, CPU i3.
12. Sellers R. MR LiverLab. *MAGNETOM Flash* 2016; 66.
13. ITK-SNAP (USA), v. 3.6.0 (vytvořeno 1. 4. 2017) [software] [cit. 27. 7. 2023]. Dostupný z: <http://www.itksnap.org/pmwiki/pmwiki.php?n=Downloads.SNAP3>. Windows 10, 64 bit, 16 GB RAM, CPU i3.
14. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: Significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage* 2006; 31(3): 1116–1128.
15. Yushkevich, PA, Pashchinskiy A, Oguz I, Mohan S, Schmitt JE, et al. User-guided segmentation of multi-modality medical imaging datasets with ITK-SNAP. *Neuroinformatics* 2019; 17: 83–102.
16. Myrian® Studio (Intrasense, Francie), v. 2.6.4 (vytvořeno 10. 5. 2019) [software] [cit. 27. 7. 2023]. Dostupný z: <https://studio.myrian.fr/downloadoldversions/>. Windows 10, 64 bit, 16 GB RAM, CPU i3.
17. MedSeg (Norsko) (vytvořeno 21. 9. 2019) [webový software] [cit. 27. 7. 2023]. Dostupný z: <https://htmlsegmentation.s3.eu-north-1.amazonaws.com/index.html>. Windows 10, 64 bit, 16 GB RAM, CPU i3, Google Chrome.
18. Suri JS, Agarwal S, Carriero A, Paschè A, Danna PS, et al. COVLIAS 1.0 vs. MedSeg: artificial intelligence-based comparative study for automated COVID-19 computed tomography lung segmentation in Italian and Croatian Cohorts. *Diagnostics* 2021; 11(12): 2367.
19. Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin* 1979; 86: 420–428.
20. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine* 2016; 15(2): 155–163.
21. Altman DG, Bland JM. Measurement in medicine: The analysis of method comparison studies. *The Statistician* 1983; 32: 307–317.