

双低剂量 4D-CT 灌注替代常规肝脏四期 CT 成像可行性研究

韩瑞, 黄璐, 蒋鸿, 宋少辉, 尹龙, 彭勇, 张东友

【摘要】 目的:探讨双低剂量 4D-CT 灌注替代常规肝脏四期 CT 成像的可行性。**方法:**对 30 例肝脏疾病患者行肝脏 CT 平扫、低辐射剂量及低对比剂浓度的 4D-CT 灌注成像及延时期成像,通过使用动态血管成像软件对多期灌注图像进行处理,得到融合后平扫期、融合后动脉期、融合后静脉期。对比双低剂量 4D-CT 灌注总辐射剂量与常规肝脏四期 CT 成像辐射剂量,融合后平扫图像与常规平扫图像在信噪比、对比噪声比上的差异,并采用主观评分的方法对融合后平扫、融合后动脉期、融合后静脉期图像进行评分。**结果:**双低剂量肝脏 4D-CT 灌注成像患者接受的碘剂浓度较低,总辐射剂量为 $1129.0 (1087.0 \sim 1296.0)$ mGy · cm,常规肝脏四期 CT 成像辐射剂量为 (1265.9 ± 284.3) mGy · cm ($P=0.136$),两者差异无统计学意义;融合后平扫信噪比 $5.9 (4.8 \sim 7.1)$,常规平扫信噪比 5.8 ± 1.9 ($P=0.360$),两者差异无统计学意义,融合后平扫肝脏对比噪声比 0.90 ± 0.62 ,常规平扫肝脏对比噪声比 $1.06 (0.61 \sim 1.40)$, $P=0.153$,两者差异无统计学意义。4D 灌注融合后平扫、融合后动脉期、融合后静脉期图像质量主观评分均 ≥ 3 分,图像质量满足诊断需求。**结论:**双低剂量 4D-CT 灌注替代常规肝脏四期 CT 成像是可行的,不仅可以得到灌注信息,还能使用动态血管成像软件处理后所得到的融合后平扫、动脉期、静脉期图像能够满足临床诊断需求。

【关键词】 肝脏;灌注成像;计算机体层摄影血管造影术;对比剂

【中图分类号】 R57;R817.4; R814.4;R981.1 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2021)10-1238-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.10.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Feasibility of dual low dose 4D-CT perfusion replacing conventional four-phase liver imaging: a preliminary study HAN Rui, HUANG Lu, JIANG Hong, et al. Department of Radiology, the First Hospital of Wuhan, Wuhan 430022, China

【Abstract】 Objective: To preliminarily investigate the feasibility of dual low dose 4D-CT perfusion replacing conventional four-phase liver imaging. **Methods:** Non-contrast-enhanced CT scan, dual low dose 4D-CT perfusion imaging and delayed imaging of liver were performed in 30 patients with liver diseases. Dynamic angiography software was used to process the CT perfusion images, and the fusion CT plain scan, fusion arterial phase and fusion portal venous phase images were obtained. We compared the total radiation dose of dual low-dose 4D-CT and conventional 4-phase CT imaging of the liver, signal-to-noise ratio and contrast noise ratio of liver between the CT plain scan image and the fusion plain CT scan image. Subjective scoring method was used to evaluate the fused plain scan images, the fused arterial phase images and the fused portal venous phase images. **Results:** The intaking of iodine was lower in patients with dual low dose liver 4D-CT perfusion imaging. The total radiation dose of dual low dose liver 4D-CT perfusion imaging was $1129.0 (1087.0 \sim 1296.0)$ mGy · cm, and the radiation dose of conventional 4-phase CT imaging was (1265.9 ± 284.3) mGy · cm ($P=0.136$). The SNR of fused plain scan image of liver was $5.9 (4.8 \sim 7.1)$, while the SNR of conventional plain scan image was (5.8 ± 1.9) ($P=0.360$). The CNR of fused plain CT scan image was 0.90 ± 0.62 , and the CNR of conventional plain CT scan image was $1.06 (0.61 \sim 1.40)$ ($P=0.153$). The image quality of fused images can meet the diagnostic requirement with subjective score ≥ 3 marks in fused plain CT scan ima-

作者单位: 430022 武汉, 武汉市第一医院放射科(韩瑞、蒋鸿、宋少辉、尹龙、彭勇、张东友); 430030 武汉, 华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科(黄璐)

作者简介: 韩瑞(1984—), 男, 安徽亳州人, 硕士, 主治医师, 主要从事影像诊断工作。

基金项目: 武汉市卫生计生委科研项目计划资助项目(WX18B08)

ges, the fused arterial phase and the fused portal venous phase images. **Conclusions:** It is feasible for dual low dose 4D-CT perfusion to replace conventional four-phase liver imaging. It can not only provide perfusion information, but can also obtain the fusion non-contrast-enhanced phase, arterial phase and venous phase images, providing valuable information for clinical diagnosis.

【Key words】 Liver; Perfusion imaging; Computed tomography angiography; Contrast media

肝脏 CT 灌注成像能对肝脏占位性病变进行早期诊断,对肝脏肿瘤分期、治疗后疗效评价、肝脏纤维化评估等具有重要的价值^[1-7],但一直以来肝脏 CT 灌注成像由于其辐射剂量高,限制了其应用,而目前临床使用的常规肝脏四期 CT 成像,较 CT 灌注成像来说可提供的影像诊断信息相对较少,因此能否使用低对比剂浓度、低辐射剂量的灌注成像得到灌注信息的同时还能得到常规期相的 CT 图像,不仅能大大提高肝脏疾病评估的准确性,还能满足临床应用需求。本研究探讨双低剂量 4D-CT 灌注联合应用动态血管成像后处理软件在替代常规肝脏四期 CT 成像的可行性。

材料与方法

1. 研究对象

搜集本院 2018 年 10 月—2019 年 8 月行肝脏双低剂量 4D-CT 灌注患者 30 例。纳入标准:有肝脏疾病需做 CT 灌注成像检查的患者;排除标准:图像伪影较重未达到诊断要求。所有患者检查前测量体重及身高计算患者体重指数(body mass index, BMI),均签署知情同意书,并经过本院伦理委员会批准。

2. 仪器与方法

所有患者均行肝脏 CT 平扫、双低剂量 4D-CT 灌注成像及延时期扫描。CT 机型为 Siemens 128 层螺旋 CT(Somatom Definition AS+)。所有患者检查前空腹,检查前反复训练患者呼吸。扫描方法:患者仰卧位,脚先进,扫描范围包括整个肝脏。扫描先后顺序为肝脏 CT 平扫,双低剂量 4D-CT 灌注成像及延时期扫描。采用高压注射器自肘静脉推注低碘浓度对比剂(碘克沙醇, 270 mg I/mL),注射流率 6 mL/s,注射剂量 1 mL/kg,体重超过 50 kg 者均使用 50 mL。对比剂注射完毕后使用相同流率的生理盐水 20 mL 进行冲管。扫描参数:平扫及延时期扫描,管电压 120 kV;电流 care dose 4D mAs; 4D-CT 灌注成像,管电压 80 kV,管电流 80 mAs,层厚 5 mm,共扫描 24 期,循环时间(Cycle time):前 12 期设置为 1.5 s,后 12 期设置为 5 s,扫描时间为 77 s 左右,在扫描过程中尽量嘱咐患者全程憋气扫描,如不能全程憋气可间断憋气,但要尽量保持浅慢呼吸以确保图像质量和计算的准确性。

3. 辐射剂量测量与计算

所有扫描序列辐射剂量的统计以机器自带的 pa-

tient protocol 记录为标准。由于本研究测算的同一患者肝脏辐射剂量,因此其转换系数一致,故而使用剂量长度乘积(dose length product, DLP, 单位: mGy · cm)作为肝脏辐射剂量的等效表达。为了避免患者接收过多的辐射剂量,本研究在灌注的基础上仅增加肝脏 CT 平扫及延时期,对于常规肝脏四期 CT 成像的辐射总剂量采用近似估算的方式即常规肝脏四期 CT 成像辐射总剂量=(平扫辐射等效剂量+延时期辐射等效剂量)×2。

4. 融合后平扫期、融合后动脉期、融合后静脉期的图像重建

将每位患者 24 期 4D-CT 灌注图像导入工作站 syngo. via,应用 CT 动态血管成像软件进行图像后处理。先对图像进行体部运动校正。选定相对稳定期相作为融合的基线图像,对于运动幅度较大的期相可使用删除按钮进行剔除。使用时间衰减曲线作为融合期相选择的依据,先对图像进行 4D 降噪处理,之后进行容积创建,感兴趣区放入腹主动脉腔内,以对比剂刚到达主动脉时之前所有期相融合为平扫图像,之后以对比剂刚进入主动脉的期相开始至主动脉对比剂退出即门静脉对比剂刚进入期相为止,这之间所有期相融合为动脉期图像,从门静脉对比剂刚进入期相开始至扫描终期所有期相融合为静脉期图像(图 1)。

5. 图像质量的客观评价

本研究使用肝脏的信噪比、对比噪声比来客观评价融合后平扫与常规平扫的图像质量。分别测量前腹壁皮下脂肪 CT 值标准差(SD)作为图像噪声,肝脏的信噪比(SNR)=肝脏 CT 值/脂肪 CT 值标准差(SD),肝脏的对比噪声比(CNR)=(肝脏 CT 值-竖脊肌 CT 值)/脂肪 CT 值标准差(SD)。

6. 图像质量的主观评价

2 位具有 10 年以上工作经验的影像诊断医师依设定的图像质量评分标准对融合后平扫、动脉期及静脉期分别进行评分,总评分设定为 4 分,其中 3 分以上图像满足诊断需求,4 分图像质量较高。具体图像质量评分标准如下:1 分,融合伪影严重,肝脏及其周围组织结构模糊不清,图像质量无法满足诊断需求;2 分,部分层面存在融合伪影,肝脏颗粒感较重,周围结构显示欠清;3 分,肝脏及扫描视野内图像具有轻微颗粒感,组织结构显示清楚,图像质量满足诊断需求;4

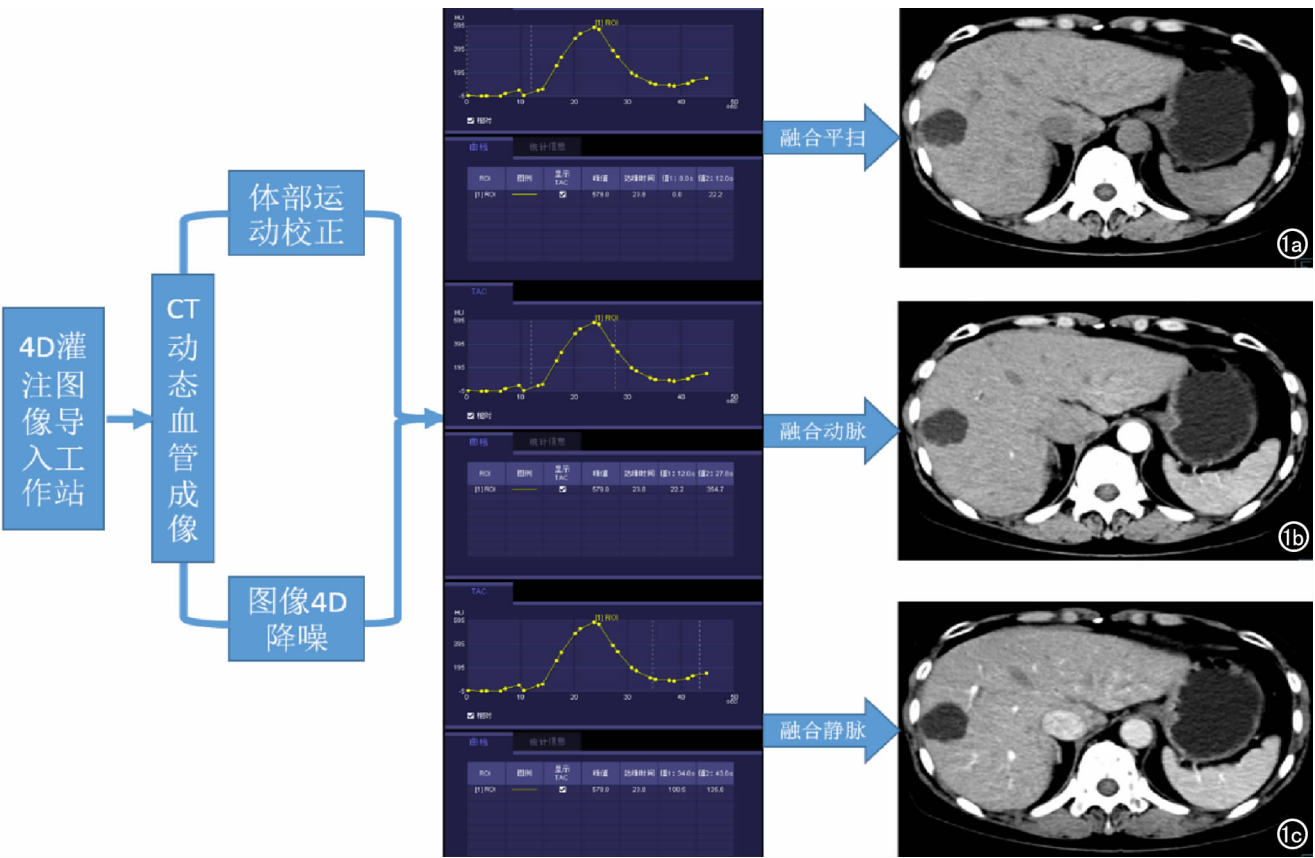


图 1 基于双低剂量 4D-灌注图像,应用动态血管成像软件得到融合后 a) 平扫、b) 动脉期、c) 静脉期处理流程。

分,肝脏解剖结构和细节显示清晰,无明显颗粒感,图像质量好,完全满足临床诊断需求。

7. 统计学分析

统计采用 SPSS 23.0 软件,计量资料符合正态分布使用 $\bar{x} \pm s$,不符合正态分布使用 M(Q)表示;分类资料应用频数(百分比)表示。计量数据进行正态分布检验(Kolmogorov-Smirnov 检验),符合正态分布使用配对 t 检验,不符合正态分布者使用配对 Wilcoxon 检验,以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

本研究纳入 30 例肝脏疾病患者,其中男 15 例,平均年龄 55 岁,范围 25 ~ 79 岁,BMI 中位数为 22 kg/m²,范围 21 ~ 25 kg/m²。30 例患者中,肝囊肿 10 例,血管瘤 11 例,原发性肝细胞癌 6 例,局灶性结节增生 3 例。

使用低碘含量对比剂(碘浓度 270 mg I/mL),患

者摄入碘剂减少。4D-CT 灌注与常规肝脏扫描的比较(表 1):4D-CT 灌注总辐射剂量为 1129.0 (1087.0 ~ 1296.0) mGy · cm,常规肝脏四期 CT 成像辐射剂量为(1265.9 ± 284.3) mGy · cm($P = 0.136$),两者差异无统计学意义。4D 灌注融合后平扫肝脏信噪比 5.9(4.8 ~ 7.1),常规平扫肝脏信噪比 5.8 ± 1.9 ($P = 0.360$),两者差异无统计学意义;融合后平扫肝脏对比噪声比 0.90 ± 0.62 ,常规平扫肝脏对比噪声比 $1.06(0.61 \sim 1.40)$, $P = 0.153$,两者差异无统计学意义。

双低剂量 4D 灌注融合后平扫、融合后动脉期、融合后静脉期图像质量主观评分均 ≥ 3 分(表 2),图像质量均满足诊断需求(图 2)。

表 2 4D 灌注图像融合后平扫、动脉期及静脉期图像质量主观评分

项目	1 分	2 分	3 分	4 分
融合后平扫	0	0	22(73%)	8(27%)
融合后动脉期	0	0	21(70%)	9(30%)
融合后静脉期	0	0	23(77%)	7(23%)

表 1 双低剂量 4D-CT 灌注与常规肝脏四期 CT 成像总辐射剂量及肝脏平扫信噪比、对比噪声比比较

项目	4D-CT 灌注	常规肝脏四期 CT 成像	Z	P
总辐射剂量(mGy · cm)	1129.0(1087.0 ~ 1296.0)	1265.9 ± 284.3	1.491	0.136
平扫肝脏信噪比	5.9(4.8 ~ 7.1)	5.8 ± 1.9	0.915	0.360
平扫肝脏对比噪声比	0.90 ± 0.62	1.06(0.61 ~ 1.40)	1.427	0.153



图2 女,63岁,肝囊肿患者,经动态血管成像软件处理后得到融合后图像。a)融合后平扫;b)融合后动脉期;c)融合后静脉期。图2示肝脏解剖结构和细节显示清晰,无明显颗粒感,病灶显示清晰(箭),图像质量好,主观评分4分。

讨论

肝脏CT灌注成像是一种功能性成像技术,能够提供比常规肝脏四期CT成像较多的信息且能够进行定量研究^[8,9],较之常规肝脏四期CT成像具有更高的临床应用价值,但一直以来其辐射剂量较高限制了其在临床上的应用,虽然可以通过降低管电压及电流来降低患者接受的辐射剂量能得到灌注信息,但无疑会对图像质量产生较大的影响,常不能满足影像诊断。本研究探讨低辐射剂量及低对比剂浓度的肝脏4D-CT灌注替代常规肝脏四期CT成像的可行性,不仅可以得到病灶的灌注信息,对肝脏病灶的整体形态及血供进行全面评估,同时通过动态血管成像软件对双低剂量肝脏4D-CT灌注图像进行后处理可得到常规肝脏CT期相图像,目前在国内外文献中还未见报道。

4D-CT灌注成像技术是通过团注对比剂,然后采用连续往返进行扫描即所谓的“摇篮床”扫描方式,覆盖范围最宽达到271 mm,可覆盖整个肝脏,较之以往灌注成像不仅可得到灌注信息,能对图像进行3D重建,评价肝脏病灶整体形态及血供肿瘤供血情况^[6],同时在检查时间内评估对比剂进入病灶的动态流入情况。为降低患者对碘剂的摄入和辐射剂量,本研究使用的双低剂量的4D-CT灌注成像即较低的含碘量对比剂,含碘浓度为270 mg I/mL,此外本组患者中位BMI为22(范围21~25)m²/kg,因此体重超过50 kg者对比剂总量上限值均为50 mL,从而在一定程度上降低患者对比剂肾病的风险,同时使用较低的管电压(80 kV)和管电流(80 mAs)使肝脏4D-CT灌注成像的辐射剂量得到有效降低。通过设置摇篮床的循环时间,24期灌注图像保证了获得灌注参数的同时可以覆盖整个肝动脉期和静脉期。从本研究的结果中可看出全肝脏4D-CT灌注成像患者所接受的辐射剂量与常规肝脏四期CT成像差异无统计学意义,而Peris-nakis等^[10]研究同样认为基于现在的CT技术肝脏灌注成像对患者产生的辐射剂量可以与常规肝脏四期

CT成像相当或者更低一些。

虽然低剂量肝脏4D-CT灌注成像降低了患者所接受的辐射剂量,但是无疑其灌注图像颗粒感较重,与常规肝脏四期CT成像的图像质量相比,显然无法满足诊断需求,为了使低剂量的肝脏灌注成像图像质量能够与常规肝脏四期CT成像图像相当,本研究使用CT动态血管成像软件对原始多期灌注图像进行后处理,通过对多期低剂量灌注图像进行融合成特定的一期,从而增加了图像的信噪比,使融合后的图像质量能够满足诊断要求,在多期图像融合的过程中通过叠加的方式同样也增加了血管中碘的密度,而且由于动态血管成像软件是基于时间衰减曲线对多期灌注图像进行融合重建成肝脏平扫、动脉期及静脉期,因而其融合后的动脉期、静脉期时间窗更加准确,克服了以往由于技术操作原因或者患者血供原因而导致的期相不准的情况。在肝脏信噪比和对比噪声上融合后平扫与常规平扫,两者差异无统计学意义,而且通过主观评分的方式对融合后平扫、融合后动脉期、融合后静脉期进行评分,所有患者的评分标准均 ≥ 3 分,其图像质量完全可以用于影像学诊断。

值得指出的是由于4D-CT灌注成像扫描时间无法涵盖肝脏常规扫描的延时期图像,本研究通过CT动态血管成像软件融合出平扫、动脉期、静脉期3期图像,虽然目前常规肝脏四期CT成像普遍应用于临床,但是对其是否需要延时期存在很大的质疑,因为随着影像技术的提升,图像质量的提高,加之对肝脏疾病影像诊断经验的积累,增加延时期扫描增加了患者所接受的辐射剂量,并未给患者带来较多的益处,因此部分研究认为并不需要增加延时期扫描^[11-12]。我们2位具有10年以上工作经验的影像诊断医师评估4D-CT灌注成像联合CT动态血管成像软件所得到的融合后图像质量均能满足诊断需求。双低剂量肝脏4D-CT灌注成像能够得到较常规增强肝脏三期更详细的肝脏灌注信息,同时灌注图像3D重建可评价病灶整体形态及供血情况,联合CT动态血管成像软件又可得到满

足诊断需求的融合后平扫、动脉及静脉期图像,其诊断效能要大于常规肝脏四期 CT 成像。

本研究不足之处是样本量较小。其次,对每位患者进行双低剂量 4D 灌注成像时仅加扫常规平扫及延时期图像,由于计算每位患者常规肝脏四期 CT 成像总辐射剂量采用平扫及延时期辐射剂量进行估算,这可能会对具体的数值存在一定的误差,但是不影响整体统计学分析。最后本研究主要从技术方面进行探讨,后期将使用此种技术在肝脏疾病诊断应用上进一步研究。

总之,双低剂量肝脏 4D-CT 灌注成像替代常规肝脏四期 CT 成像是可行的,患者接受辐射剂量低且能得到肝脏疾病灌注信息,并联合应用 CT 动态血管成像软件所得到的融合后的三期图像能够满足临床诊断需求。

参考文献:

- [1] Bevilacqua A, Malavasi S, Vilgrain V, et al. Liver CT perfusion; which is the relevant delay that reduces radiation dose and maintains diagnostic accuracy[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(12): 6550-6558.
- [2] Ippolito D, Pecorelli A, Querques G, et al. Dynamic computed tomography perfusion imaging; complementary diagnostic tool in hepatocellular carcinoma assessment from diagnosis to treatment follow-up[J]. *Acad Radiol*, 2019, 26(12): 1675-1685.
- [3] Horowitz JM, Venkatesh SK, Ehman RL, et al. Evaluation of hepatic fibrosis; a review from the society of abdominal radiology disease focus panel[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2017, 42(8): 2037-

2053.

- [4] 肖景坤,刘斌. 肝脏 CT 灌注成像在肝脏疾病中的研究进展[J]. *实用放射学杂志*, 2008, 24(3): 410-413.
- [5] 王涛,师毅冰,华荣,等. 双低剂量联合迭代重建技术在急性脑梗死容积 CT 全脑灌注成像中的可行性应用[J]. *放射学实践*, 2015, (10): 980-984.
- [6] 梁长华,梁盼,刘甲,等. 原发性肝癌 320 排容积 CT 全肿瘤灌注参数值与微血管密度及其与病理分级的相关性研究[J]. *临床放射学杂志*, 2017, 36(4): 517-522.
- [7] 战跃福,韩向君. CT 灌注成像在肝纤维化中的应用进展[J]. *中华放射学杂志*, 2014, 48(6): 521-523.
- [8] Goetti R, Reiner CS, Knuth A, et al. Quantitative perfusion analysis of malignant liver tumors; dynamic computed tomography and contrast-enhanced ultrasound[J]. *Invest Radiol*, 2012, 47(1): 18-24.
- [9] Jung EM, Clevert DA, Schreyer AG, et al. Evaluation of quantitative contrast harmonic imaging to assess malignancy of liver tumors; a prospective controlled two-center study[J]. *World J Gastroenterol*, 2007, 13(47): 6356-6364.
- [10] Perisinakis K, Tzedakis A, Pouli S, et al. Comparison of patient dose from routine multi-phase and dynamic liver perfusion CT studies taking into account the effect of iodinated contrast administration[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 110(2019): 39-44.
- [11] Lim JH, Choi D, Kim SH, et al. Detection of hepatocellular carcinoma; value of adding delayed phase imaging to dual-phase helical CT[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2002, 179(1): 67-73.
- [12] Johnson PT, Bello JA, Chatfield MB, et al. New ACR choosing wisely recommendations; judicious use of multiphase abdominal CT protocols[J]. *J Am Coll Radiol*, 2019, 16(1): 56-60.

(收稿日期:2020-10-30 修回日期:2021-01-20)