

大鼠活体胸部扫描中减少图像呼吸心跳伪影序列方案的探讨

尹伟, 刘日, 赵冰辉, 王敏杰, 弓静*

(第二军医大学附属医院长海医院影像医学科, 上海 200433)

【摘要】 目的 开发256层螺旋CT大鼠活体胸部CT扫描中减少图像呼吸、心跳伪影的序列。**方法** 采用飞利浦Brilliance-iCT对10只SD大鼠进行胸部CT成像。每只大鼠均采用A、B两种扫描方式, A方式为常规胸部CT扫描序列, 为非心电门控螺旋扫描模式, B方式为非心电门控轴扫模式。两组均在120 kV条件下扫描, 扫描长度为8 cm。对所得CT数据进行横断位与冠状位肺窗与软组织窗重建, 观察图像并进行测量, 比较两组图像的平均CT值、图像噪声、信噪比(SNR)、和主观图像质量评分的差异, 并对不同观察者间主观图像质量评分的一致性进行检验。**结果** 分析10例大鼠胸部CT扫描数据。A、B两种扫描序列的剂量长度乘积(dose length product, DLP)值分别为144.7 mGy/cm与72.2 mGy/cm。两组间肺组织CT值与肝组织CT值差异无显著性(t 值分别为-0.205、0.545, $P>0.05$), 两组图像噪声差异无显著性(t 值为-0.865, $P>0.05$), 两组图像肺组织的SNR差异无显著性(t 值为0.903, $P>0.05$), 但肝组织的SNR值B组高于A组, 差异有显著性(t 值为-2.885, $P<0.05$)。两位医师的评分结果的相关系数为0.763, 诊断结果一致性良好。A、B两种扫描方式的图像主观质量评分为(2.5 ± 0.53)分、(4.3 ± 0.67)分, 差异有显著性(χ^2 值为14.76, $P<0.05$)。**结论** 大鼠胸部CT扫描采用非心电门控轴扫模式可获得与胸部常规CT扫描(非心电门控螺旋扫描模式)大致相当的CT值与噪声、信噪比, 但采用非心电门控轴扫模式可以有效减少大鼠胸部图像的呼吸心跳伪影, 降低辐射剂量, 提高图像质量, 提高观察者的诊断信心。

【关键词】 计算机断层成像; 动物实验; 胸部; 伪影

【中图分类号】 Q95-33

【文献标识码】 A

【文章编号】 1005-4847(2018) 06-0714-07

Doi: 10.3969/j.issn.1005-4847.2018.06.007

Development of a 256-slice spiral CT scan sequence to reduce image respiratory motion and heartbeat artifacts in living rat chest scan

YIN Wei, LIU Ri, ZHAO Binghui, WANG Minjie, GONG Jing*

(Department of Radiology, Changhai Hospital, Shanghai 200433, China)

Corresponding author: GONG Jing. E-mail: gong.jing1980@163.com

【Abstract】 Objective To develop a scan sequence to reduce respiratory motion and heartbeat artifacts in 256-slice spiral CT in living rat chest CT scans. **Methods** Using a Philips iCT, chest CT imaging was performed on 10 rats. For each rat, both A and B scanning methods were used: A mode for a conventional chest CT scan sequence, non-ECG gating spiral scanning mode, and B mode for non-ECG gating axis scanning mode. Both scanning method were performed under 120 kV and the scan length was 8 cm. Reconstruction of transverse and coronal lung windows and soft-tissue windows was performed on the obtained CT data. The images were observed and measured. Differences in mean CT values, image noise, signal-to-noise ratio (SNR), and subjective image quality scores of the two groups of images were analyzed. In

【基金项目】 国家自然科学基金(81400368)。

Funded by National Natural Science Foundation of China(81400368)。

【作者简介】 尹伟, 技师, 研究方向: CT新技术的临床应用。Email: yinwei_0816@163.com

【通信作者】 弓静, 女, 博士, 主治医师、讲师, 研究方向: 分子影像学和医学影像学诊疗。Email: gong.jing1980@163.com

addition, the consistency of the subjective image quality scores was tested among different observers. **Results** A total of 10 sets of rat chest CT data were analyzed. The DLP values of the scanning sequences of A and B were 144.7 mGy/cm and 72.2 mGy/cm. There was no significant difference between the CT values of lung tissue and of liver tissue between the two groups ($t = -0.205$ and 0.545 ; $P > 0.05$). There was no statistically significant difference in noise between the two groups ($t = -0.865$, $P > 0.05$). There was also no statistically significant difference in lung tissue SNR between the two groups ($t = 0.903$, $P > 0.05$). However, liver SNR was significantly higher in group B than in group A ($t = -2.885$, $P < 0.05$). The correlation coefficient between the scores of two physicians was 0.763, and the consistency of the diagnostic result was good. The subjective quality scores in groups A and B were 2.5 ± 0.53 points and 4.3 ± 0.67 points, which were significantly different ($\chi^2 = 14.76$, $P < 0.05$). **Conclusions** The non-ECG gating axial scan mode can obtain approximately the same CT value, noise, and SNR as conventional chest CT scan (non-ECG gating spiral scan mode), but the use of non-ECG gating axial scan mode can effectively reduce respiratory and heartbeat artifacts in living rat chest CT scans, reduce radiation dose, improve image quality, and improve observers' diagnostic confidence.

【Keywords】 computed tomography; animal experiment; chest; artifact

Conflict of interest statement: We declare that we have no conflict of interest statement.

动物模型的影像学评估是研究各种疾病发生、转移以及治疗效果的重要手段,采用合适的影像技术获得高质量的影像学数据是动物模型进行有效影像学评估的关键。近些年来,分子影像学在快速发展同时也推动了动物模型影像技术的发展,在 X 线成像、计算机断层扫描成像 (computed tomography, CT)、磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI)、核素成像 (radionuclide imaging, RI)、光学成像等方面都进行了一定的探索和改进^[1]。

多层螺旋 CT 由于其具有高时间分辨率、高空间分辨率、高密度分辨等特点,被广泛应用于临床,在以往的 CT 扫描中局限在大动物模型,对于大鼠等临床常用且成本低廉的小动物的扫描依然因为感兴趣扫描野小、心率快、呼吸无法控制等多因素影响而阻碍其应用,而随着高端 CT 扫描和重建技术的进步,其对小动物的活体胸部 CT 扫描序列有待于开发,本实验旨在研究 256 层螺旋 CT 的不同扫描序列对图像呼吸、心跳伪影的影响,以探讨大鼠活体胸部扫描的适合方案。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验动物

清洁级 SD 大鼠 10 只,周龄 11 周左右,雄性,体重 250 ~ 300 g,购于上海斯莱克实验动物有限责任公司【SCXK(沪)2017-0005】。饲养期间给予小鼠标准饲料及洁净饮用水,均由上海市第二军医大学实验动物中心提供【SCXK(沪)2017-0005】。

1.1.2 试剂与仪器

采用飞利浦 Brilliance-iCT (Brilliance-iCT Elite

FHD; Philips Healthcare, Cleveland, Ohio, USA) 进行扫描。采用 4% 浓度的异氟烷进行吸入诱导麻醉,在小鼠进入外科深麻醉期后,以 2% 的浓度维持外科深麻醉状态,将大鼠取仰卧位固定,先行胸部双定位线扫描,然后对大鼠胸部进行扫描,扫描范围从小鼠胸廓入口到腹部,选择两种扫描序列进行胸部 CT 扫描,具体参数如下(表 1),重建函数使用 standard (B),重建层厚 0.8 mm,层间距 0.4 mm,矩阵 512×512 。所有图像传到飞利浦星云工作站 (ISP) 上进行后处理及图像分析。记录机器自动生成的容积 CT 剂量指数 (CT dose index volume, $CTDI_{vol}$) 和剂量长度乘积 (dose length product, DLP)。

1.2 方法

客观图像质量分析评估:由一名资深技师对图像感兴趣区进行 CT 值和客观噪声 (感兴趣区 CT 值的标准差 SD) 的测定,并计算信噪比。感兴趣区分别选择肺组织、肝组织以及胸部前方空气,面积为 $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$,信噪比 (SNR) = CT 值/SD 值。将空气噪声 CT 值的 SD 值定义为背景噪声。

主观图像质量分析评估:由两名高年资放射医师采用双盲法对两组图像进行评价,意见不一致时,共同再次阅片决定,取两者平均值为最后的主观评分。参考文献选择评价指标及评分标准^[2-3]。对图像质量的评分采用 5 分法。1 分:图像伪影重,解剖结构显示不清,图像质量差;2 分:图像伪影较重,解剖结构显示不清,图像质量较差;3 分:图像伪影一般,解剖结构显示欠清晰,图像质量一般;4 分:图像伪影较少,解剖结构显示较清晰,图像质量较好;5 分:图像无伪影,解剖结构显示清晰,图像质量

优秀。其中伪影评估主要包括心跳及呼吸运动伪影,图像观察必须包括肺窗下外周肺组织与心脏周围肺组织的评估以及纵隔窗下心脏组织的评估。图像质量 ≥ 3 分可满足诊断要求。窗宽和窗位设置如下:肺窗窗宽窗位:1300、-300 HU,纵隔窗窗宽窗位:250、25 HU。

1.3 统计学方法

采用 SPSS19.0 软件进行统计学分析. 所有计量资料采用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,采用独立样本 t 检验比较图像客观指标(CT 值、噪声、SNR)的差异,采用 χ^2 检验比较图像主观指标的差异和分析 2 名医师对两组图像主观评分的一致性。检验水准(α)为 0.05。

2 结果

2.1 辐射剂量比较

所有实验动物均完成活体胸部 CT 扫描,A 组

的 CTDI_{vol} 与 DLP 分别为 9.6 mGy 与 144.7 mGy/cm,B 组分别为 9.6 mGy 与 77.2 mGy/cm,可发现轴扫描 B 组辐射剂量远低于螺旋扫描的 A 组。

2.2 图像的客观指标比较

如表 2 所示,两组间肺组织 CT 值与肝组织 CT 值差异无显著性(t 值分别为 -0.205、0.545, $P > 0.05$),两组图像噪声差异无显著性(t 值为 -0.865, $P > 0.05$),两组图像肺组织的 SNR 差异无显著性(t 值为 0.012, $P > 0.05$),但肝组织的 SNR 差异有显著性(t 值为 -2.885, $P < 0.05$)。即两种方法得到的 CT 值、图像噪声及肺组织的信噪比相当,但肝组织的信噪比 B 组明显好于 A 组。回顾性分析发现,A 组图像肝区域运动伪影均较大,导致肝区域的 CT 值的噪声加大,最终影响到图像的 SNR 值。

表 1 CT 扫描参数对比

Table 1 Comparison of CT scan parameters							
组别 Groups	扫描模式 Scan mode	转速 Rotating speed(s)	管电压 Tube voltage (kV)	毫安秒 milliamperere second(mAs)	螺距 Pitch	准直宽度 Collimation width (mm)	扫描时间 Scan time (s)
A 组 Group A	非心电门控螺旋扫描 Non-cardiac gated helical scan	0.4	120	150	0.592	128×0.625	1.7
B 组 Group B	非心电门控轴扫 Non-cardiac gated axial scan	0.27	120	150	0	128×0.625	0.27

表 2 两种扫描方法所得图像的客观指标比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of objective indexes of images obtained by two scanning methods ($\bar{x} \pm s$)					
组别 Groups	肺组织 CT 值 Attenuation of Lung(HU)	肝组织 CT 值 Attenuation of liver(HU)	噪声 Noise(HU)	肺组织信噪比 SNR _{lung}	肝组织信噪比 SNR _{liver}
A 组 Group A	-589.99±69.27	71.79±1.78	2.01±0.57	61.07±28.82	28.92±5.98
B 组 Group B	-582.71±72.69	71.31±1.89	2.29±0.75	73.64±29.76	49.41±19.27
T 值 T value	-0.205	0.545	-0.865	0.903	-2.885
P 值 P value	0.840	0.593	0.400	0.380	< 0.05

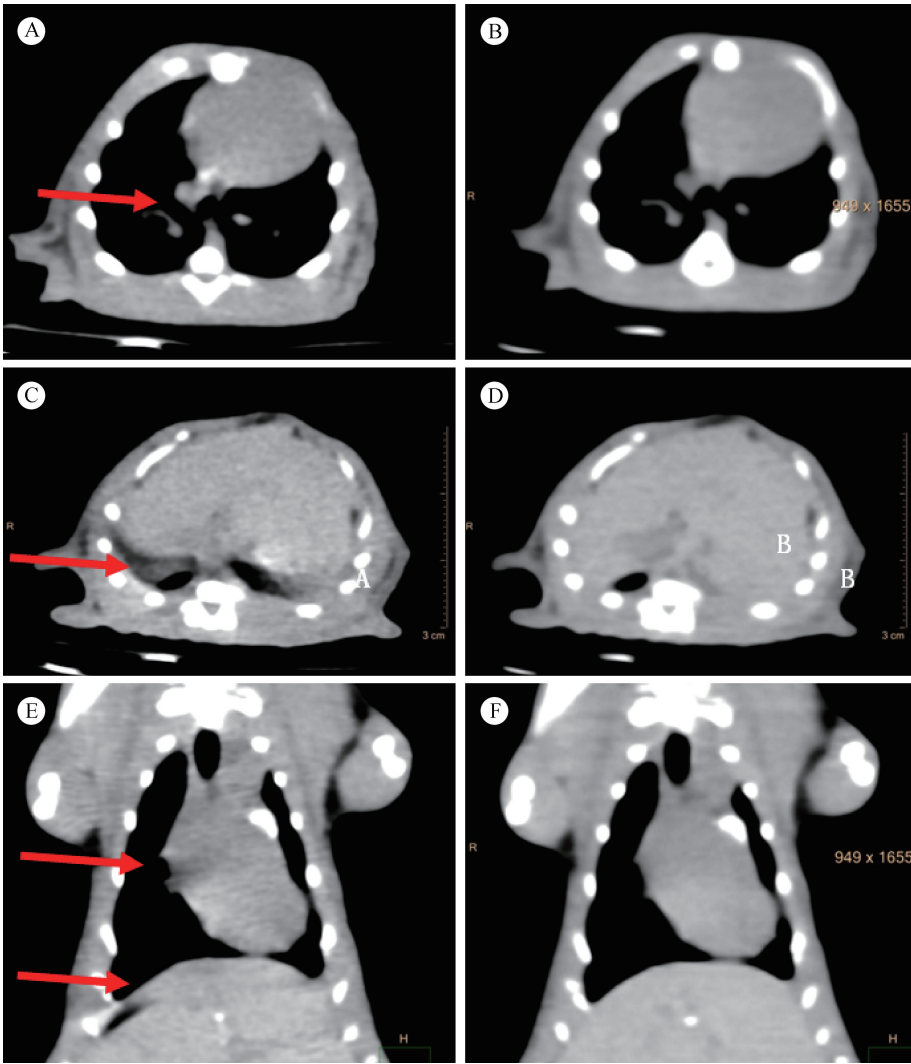
2.3 主观指标评价结果比较

观察者间一致性分析:共分析 10 例大鼠两种不同扫描序列的胸部 CT 数据。两位医师的评分结果的相关系数为 0.763,诊断结果一致性较好。两种方法图像质量评估:A、B 两组主观图像质量评分分别为(2.5±0.53)分、(4.3±0.67)分,差异有显著性(χ^2 值为 14.76, $P < 0.05$)。其中影响 A 组最大的因素为心跳及呼吸运动伪影,相关伪影可在软组织窗(图 1)与肺窗(图 2)条件下显示,对肺外周及

心脏周围肺组织均有较大影响,而 B 组质量均较好。

3 讨论

临床上对于胸部疾患常用的影像学评价方法有 X 线、超声、计算机断层扫描成像(computed tomography, CT)、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)单电子发射计算机断层扫描成像(single-photon emission tomography, SPECT)、正电子



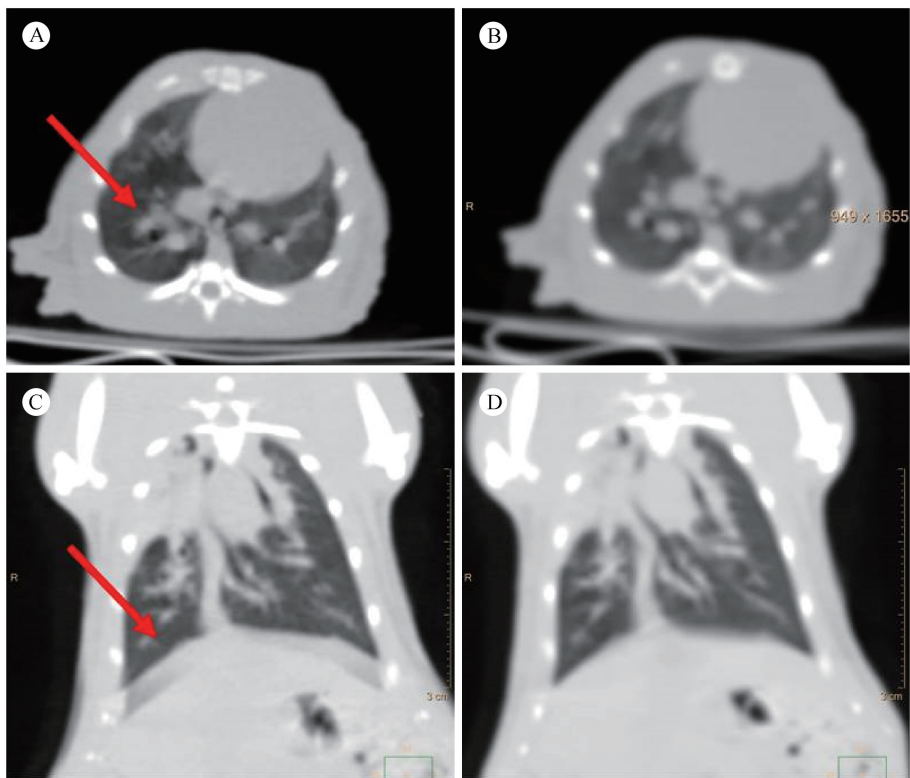
注: A、C、E 为常规胸部扫描序列获取图像, A 为心脏层面横断位软组织窗, 如箭头所示, 心脏与肺组织解剖结构较模糊, 有明显的运动导致的射线硬化伪影; C 为肝层面横断位软组织窗; E 为冠状位软组织窗, 箭头区域均为明显的运动伪影。整体图像质量较差, 主观评分 2 分。 B、D、F 为心脏非门控扫描序列获取图像, B 为心脏层面横断位软组织窗, 如箭头所示, 心脏与肺组织解剖结构清晰, 无运动产生的相关伪影; C 为肝层面横断位软组织窗; E 为冠状位软组织窗。整体图像质量优秀, 主观评分 5 分。

图 1 常规胸部扫描与非门控扫描图像软组织对比

Note. A, C, and E are images obtained by routine chest scans. A is a cross-sectional soft-tissue window at the heart plane. As indicated by the arrows, the anatomy of the heart and lungs is blurred, and there are obvious radiation hardening artifacts caused by the movement. C is the transverse plane of the liver with soft-tissue window. E is the coronal plane with soft-tissue window, and the area indicated by an arrow is an obvious motion artifact. The image quality is poor, with a subjective score of 2 points. B, D, and F are images obtained by the cardiac non-gated scan sequence, and B is a cross-sectional soft-tissue window at the heart plane. As shown by the arrows, the anatomy of the heart and lungs is clear and there are no motion-related artifacts. C is the transverse cross-section of the liver. E is the coronal plane with a soft-tissue window. The image quality is excellent, with a subjective rating of 5 points.

Figure 1 Comparison of routine chest scan and non-gated scan with soft-tissue window

发射型计算机断层扫描成像 (positron emission tomography, PET) [4]。其中 X 线简便易行, 但往往因为其为二维图像, 存在着空间上的重叠, 对疾病的早期及心影膈肌周围肺组织的病灶容易漏诊; 超声价格低廉, 但气体对超声的影响较大, 不适合于肺部疾患的观察, 仅仅适用于对心脏病变的观察; MRI



注:A、C 为常规胸部扫描序列获取图像,A 为横断位肺窗,箭头所示为肺动脉与支气管解剖结构显示模糊,运动伪影较重;C 为冠状位肺窗,膈顶区域运动伪影明显。整体图像质量较差,主观评分 2 分。B、D 为心脏非门控扫描序列获取图像,B 为横断位肺窗,箭头所示肺动脉与支气管解剖结构清晰,无运动伪影;C 为冠状位肺窗,无运动伪影。整体图像质量优秀,主观评分 5 分。

图 2 常规胸部扫描与心脏非门控扫描图像肺窗对比

Note. A and C are images obtained by a conventional chest scan sequence. A is the transverse view with lung window. The arrows show that the anatomy of the pulmonary artery and the bronchus is blurred and the motion artifacts are intense. C is the coronal plane with lung window, and the motion artifacts in the dome region are clear. The image quality is poor, with a subjective score of 2 points. B and D are images obtained by the cardiac non-gated scan sequence. B is the transverse view with lung window. The anatomical structures of the pulmonary artery and bronchus are clearly shown by arrows. There is no movement artifact. C is the coronal plane with lung window and there is no motion artifact. The image quality is excellent, with a subjective rating of 5 points.

Figure 2 Comparison of routine chest scan and non-gated scan with lung tissue window

对胸部的扫描费时费力,且伪影较大,大多局限在纵隔病变的观察,对肺部疾患仅仅是作为 CT 的一种补充手段;SPECT-CT 与 PET 需要用到放射性药物,主要通过观察药物的摄取情况评价功能与代谢,价格昂贵,不能作为常规检查方法使用;而 CT 对于肺组织有着绝佳的空间分辨率、密度分辨率以及时间分辨率,应用最为广泛,为胸部病变的首选检查。

动物模型可以帮助我们了解疾病的发生、发展及转归,大鼠属于啮齿类哺乳动物,由于其成本低廉、性格温顺易于控制、成活率高易饲养等优点,被广泛应用于各种疾病的动物建模,其建造模型的使

用率远远高于猪、犬等大型动物,而临床机型的 CT 扫描对于胸部疾患的评估却往往局限在大动物模型^[2,5-6],对于大鼠等临床常用且成本低廉的小动物的胸部扫描依然因为感兴趣扫描野小、心率快、呼吸无法控制等多因素影响而阻碍其应用^[7],对于鼠类等小动物模型往往采用微计算机断层扫描技术 (micro computed tomography, micro-CT),但 micro-CT 作为分辨率极高的小动物专用 CT,设备昂贵,仅仅配置在一些大型的研究院所里,根本无法推广^[8]。因此,随着高端 CT 扫描和重建技术的进步,其对小动物的活体胸部 CT 扫描序列亟待于开发推广应用。

因为大鼠的体型小、心率较快(高达 300 次/min)且呼吸较急促,这些因素都将影响 CT 扫描的图像质量^[9]。影响大鼠 CT 扫描图像质量的最重要的因素有两个,扫描模式及时间分辨率。①CT 扫描模式主要分为心电门控扫描模式以及非心电门控扫描模式,心电门控扫描常用于能够配合且心率小于 120 次/min 的患者或动物,对于不能配合屏气或心率快的患者,采用心电门控扫描技术并不能解决呼吸心跳带来的伪影问题,临床上当患者无法配合或心率大于 120 次/min 时通常可采用非心电门控扫描模式^[3],在 Saad 等^[10]的研究中,心电门控扫描辐射剂量是非心电门控扫描辐射剂量的 2.5 倍。主要原因是心电门控技术常采用小螺距扫描,重叠扫描范围较多,而导致辐射剂量大幅上升。对于大鼠而言,心率太快,且心电图也不易引出,所以本实验选取的为非心电门控扫描的两种模式之间对比。②改善图像质量还可以通过提高时间分辨率的方法来实现,通常采用的方式就是通过加大螺距或者提高转速^[11-15]。本实验选取的 A 方式为常规胸部 CT 扫描序列,即非心电门控螺旋扫描模式,扫描机架单向连续旋转 X 线管曝光,检查床同时不停顿单向移动并采集数据。球管需要围绕扫描野螺旋运动以获取图像,球管转速为 0.4 r/s,螺距因子为 0.592,所需扫描时间为 1.7 s;B 方式为非心电门控轴扫模式,为心脏模式中非心电门控(no-gated)非螺旋轴扫模式,扫描机架连续曝光,扫描过程无需移床,探测器覆盖范围可达 8 cm,整个胸部数据的采集仅需要旋转一圈即可采集完成,无螺距的概念,而球管转速可高达 0.27 r/s,扫描时间仅为 0.27 s,也就是说可以在 0.27 s 的时间内就对大鼠的胸部扫描完毕,相较于临床上常规应用的胸部 CT 螺旋扫描序列,该序列明显缩短了扫描时间(从 1.7 s 缩短到 0.27 s),大幅减少了移动、错层伪影及心跳呼吸等伪影的影响。

对两组的数据进行整理后,发现 B 组所获得的图像质量评分明显高于 A 组,且具有统计学意义,即轴扫模式所获得图像质量优于普通胸部 CT 扫描,图像的呼吸心跳伪影得到了有效的抑制。另外我们又对两组的客观性指标进行了评价,以证实 B 组数据测量的准确性,发现两种方法得到的 CT 值、图像噪声及肺组织的信噪比相当,也就是说轴扫模式所测得的数据与普通胸部 CT 螺旋扫描比是确实可信的,但意外的发现肝组织的信噪比 B 组轴扫组

明显好于 A 组,回顾性分析发现, A 组图像肝区域运动伪影均较大,导致肝区域的 CT 值的噪声加大,最终影响到图像的 SNR 值,也就是说 B 组轴扫图像在去除了肝周围膈肌运动带来的影响后,测得的数据更为准确。我们同时又对两组间的辐射剂量进行了对比,发现在相同的管电流和管电压以及相同的扫描长度前提下, B 组的辐射剂量远低于螺旋扫描的 A 组,说明轴扫模式在获得优异图像数据准确可靠的背景下,比常规胸部螺旋 CT 扫描具有更低的辐射剂量,其主要原因是螺旋扫描模式重建图像常采用内插法进行数据预处理,它从两个相邻的离散值求得中间的函数值,故该扫描模式存在过扫范围,即根据螺旋扫描螺旋状的扫描轨迹所需,初始与结尾部分的图像需增加适量的扫描范围以保证原始数据可用于重建。而轴扫模式重建图像无需数据内插,故不存在过扫范围。且过扫范围与探测器宽度呈正比,探测器越宽,过扫范围越大。

本实验也有一些不足之处:本研究的目的是如何提高活体大鼠的胸部 CT 图像质量,实验中并未采用低管电压技术来大幅降低辐射剂量,而是采用传统的 120 kV 作为实验管电压;本实验样本量较少,且未研究在团注对比剂情况下的图像质量。

总之,通过对 256 层螺旋 CT 的序列开发,采用心脏非门控轴扫模式在保证辐射剂量减少和数据准确性的前提下,显著减少了呼吸及心跳带来的伪影,提高图像质量,可以实现临床普通 CT 机型对小动物胸部 CT 的优质成像。在动物实验上具有里程碑意义,值得进一步推广。

参 考 文 献(References)

- [1] 沈明勤,王颖钰,荆梅,等. 伤科接骨片治疗大鼠骨折模型的影像学评价[J]. 中国实验动物学报, 2015, 23(1):91-96.
Shen MQ, Wang YY, Jing M, et al. Imaging evaluation of the therapeutic effect of a Chinese medicine, Shangke Jiegu Tablet, on the rat model of bone fracture[J]. Acta Lab Anim Sci Sin, 2015, 23(1):91-96.
- [2] 刘琴,侯阳,赵鹏飞,等. 迭代重建技术在小猪胸部容积 CT 扫描中的应用及最佳剂量研究[J]. 中华放射学杂志, 2014, 48(4):328-332.
Liu Q, Hou Y, Zhao PF, et al. The optimal dose reduction level in chest CT with CT volume scan mode using iterative reconstruction in piglet model[J]. Chin J Radiol, 2014, 48(4):328-332.
- [3] 张琳焱,纪凤颖,李扬,等. 256 层多排探测器螺旋 CT 在儿童复杂先天性心脏病中的临床应用研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2012, 23(11):778-781.

- Zhang LH, Ji FY, Li Y, et al. The clinical value of the 256-slice multi-detector computed tomography in the diagnosis of complex congenital heart disease in children [J]. *J Chin Clin Med Imag*, 2012, 23(11):778-781.
- [4] 王江涛, 王捷, 詹纯列, 等. X 线、CT、SPECT、PET 在评估小鼠的骨成像中的作用[J]. *中国比较医学杂志*, 2008, 18(10):45-47.
- Wang JT, Wang J, Zhan CL, et al. Evaluation of mice bone imaging using X-ray, CT, SPECT or PET [J]. *Chin J Comp Med*. 2008, 18(10):45-47.
- [5] 唐雷, 曾宪春, 王玉权, 等. Flash CT 胸部低剂量参数优化的动物实验[D]. *实用放射学杂志*, 2015, 31(5):844-848.
- Tang L, Zeng XC, Wang YQ, et al. Parameter optimization of low-dose Flash CT scan of the chest: an animal experiment[J]. *J Prac Radiol*, 2015, 31(5):844-848.
- [6] 蒋骏, 黄美萍, 雷益, 等. 全模型迭代重建技术在心脏 CT 成像中应用的实验研究[J]. *中华放射学杂志*, 2015, 49(6):473-477.
- Jiang J, Huang MP, Lei Y, et al. Application of iterative model reconstruction iterative reconstruction in cardiac CT imaging - an animal experimental study[J]. *Chin J Radiol*, 2015, 49(6):473-477.
- [7] 于小利, 王婷, 陈功. 小鼠碘油纳米乳造影剂实验临床 CT 扫描条件的研究[J]. *中国医疗设备*, 2015, 30(11):29-31.
- Yu XL, Wang T, Chen G, et al. Research on clinical CT scanning conditions in the experiment of iodinated oil nanoemulsion contrast agents in mice[J]. *Chin Med Dev*, 2015, 30(11):29-31.
- [8] Bissinger O, Kirschke JS, Probst FA, et al. Micro-CT vs. whole body multirow detector CT for analysing bone regeneration in an animal model[J]. *PLoS One*, 2016, 11(11):e0166540.
- [9] 钱根年, 陈自谦, 付丽媛, 等. 多层螺旋 CT 图像常见伪影的影响因素与解决方案[J]. *中国医学装备*, 2017, 14(5):18-22.
- Qian GN, Chen ZQ, Fu LY, et al. Discussion on influence factors of common artifact of MSCT images [J]. *Chin Med Equip*, 2017, 14(5):18-22.
- [10] Saad MB, Rohnean A, Sigal-Cinqualbre A, et al. Evaluation of image quality and radiation dose of thoracic and coronary dual-source CT in 110 infants with congenital heart disease [J]. *Pediatr Radiol*, 2009, 39(7):668-676.
- [11] Shah R, Khoram R, Lambert JW, et al. Effect of gantry rotation speed and scan mode on peristalsis motion artifact frequency and severity at abdominal CT[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2018, 43(9):2239-2245.
- [12] 王振, 丁忠祥, 狄幸波, 等. 单扇区重建算法改善非预期自由呼吸 640 层 CT 冠状动脉成像图像质量的可行性研究[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2014, 23(1):22-26.
- Wang Z, Ding ZX, Di XB, et al. Half-cycle reconstruction improve image quality in high heart rate patients with unanticipated free-breathing 320-row coronary CT angiography [J]. *Diagn Imaging Interv Radiol*, 2014, 23(1):22-26.
- [13] 聂佩, 杨光杰, 徐文坚, 等. 128 层双源 CT 前瞻性心电门控序列扫描与大螺距扫描在小儿先天性心脏病诊断准确率、图像质量及辐射剂量的对比研究[J]. *中华放射学杂志*, 2016, 50(6):421-427.
- Nie P, Yang GJ, Xu WJ, et al. Accuracy, image quality and radiation dose comparison of prospective ECG-gated sequential and high-pitch acquisition on 128-slice dual-source CT angiography in infants and children with congenital heart disease [J]. *Chin J Radiol*, 2016, 50(6):421-427.
- [14] Beeres M, Wichmann JL, Paul J, et al. CT chest and gantry rotation time: does the rotation time influence image quality? [J]. *Acta Radiol*, 2015, 56(8):950-954.
- [15] Russo V, Garattoni M, Buia F, et al. 128-slice CT angiography of the aorta without ECG-gating: efficacy of faster gantry rotation time and iterative reconstruction in terms of image quality and radiation dose[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(2):359.

[收稿日期] 2018-06-11