

LightSpeed VCT Console图像升级改造技术的优化方案

戴姗姗, 张晓颖, 肖鹏飞, 张振

新疆医科大学附属肿瘤医院医学工程科, 新疆 乌鲁木齐 830001

【摘要】通过对LightSpeed VCT Console的升级改造与应用进行研究与分析,旨在探讨该技术的原理、方法和优势,并在实际场景中验证其效果。首先,介绍LightSpeed VCT Console的基本原理,即利用机器学习算法和大规模图像训练数据实现对低质量图像的提升和改造。然后,详细讨论LightSpeed VCT Console升级后在降低噪声、抑制伪影等方面的应用案例,展示该技术在图像质量改善方面的优秀表现。最后,对比LightSpeed VCT Console与其他图像改造技术的特点与差异,并提出未来该技术在图像处理领域的进一步发展方向。

【关键词】LightSpeed VCT Console; 升级改造; 降噪; 抑制伪影; 图像质量

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)06-0747-07

Optimization scheme of LightSpeed VCT Console image upgrade and transformation technology

DAI Shanshan, ZHANG Xiaoying, XIAO Pengfei, ZHANG Zhen

Department of Medical Engineering, Affiliated Cancer Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830001, China

Abstract: The study analyzes the upgrade and application of LightSpeed VCT Console, aiming to explore the principle, method and advantages of this technology, and verify its effectiveness in practical scenarios. After the introduction of the basic principle of LightSpeed VCT Console which uses machine learning algorithms and large-scale image training data to improve and transform low-quality images, the application cases of LightSpeed VCT Console in reducing noise and suppressing artifacts after upgrading are discussed in details, and the excellent performance of this technology in improving image quality is demonstrated. Finally, the characteristics and differences of LightSpeed VCT Console and other image transformation technologies are compared, and the further development direction of Lightspeed VCT Console in image processing is discussed.

Keywords: LightSpeed VCT Console; upgrade and transformation; noise reduction; artifact suppression; image quality

前言

人类对于视觉信息的处理和利用一直是一个重要的研究领域。随着科技的不断发展,计算机视觉和图像处理技术在众多领域中起着至关重要的作用,如医学影像分析、智能交通及安防监控等^[1]。然而,在实际应用中,常常面临着图像质量较差、噪声干扰或细节缺失等问题,影响图像处理和分析的准确性和可靠

性^[2]。在这一背景下,LightSpeed VCT Console技术作为一种创新的图像升级改造技术,得到了学术界和医学界的广泛关注与研究^[3]。LightSpeed VCT Console技术通过机器学习算法和大规模图像训练数据,实现对低质量图像的提升和改造,从而显著提高图像的分辨率、减少噪声以及增强细节。当前,CT临床检测面临着诸多疾病背景和治疗现状的挑战^[4-5]。在医学影像分析中,低质量图像可能导致诊断错误或错过重要的诊断信息^[6]。传统的图像改造技术在图像质量提升方面存在一定的局限性,无法满足实际应用的需求^[7-8]。因此,开发一种能够有效提升图像质量的图像升级改造技术对于改善疾病诊断和治疗具有重要的意义。本文旨在全面研究和探讨LightSpeed VCT Console技术的升级改造与应用,以便更好地理解该技术的原理和方法,并验证其在实际应用中的优势,以期为临床影像诊断技术的发展提供新的思路 and 参考。

【收稿日期】2023-11-04

【基金项目】新疆维吾尔自治区科技援疆项目(2022E02126)

【作者简介】戴姗姗,工程师,研究方向:生物医学工程、临床工程管理、医疗设备管理以及医工交叉领域,E-mail: 393625038@qq.com

【通信作者】张振,硕士,高级工程师,研究方向:生物医学工程、临床工程管理、医疗设备管理以及医工交叉领域,E-mail: 393625038@qq.com

1 LightSpeed VCT Console 介绍

GE LightSpeed VCT 是高图像分辨率 64 层 CT 系统^[9], LightSpeed VCT 实现了图像质量和覆盖范围的完全统一, 标志着多层螺旋 CT 进入了容积 CT 时代。GE LightSpeed VCT Console 是一种医疗设备控制台, 用于 GE LightSpeed VCT 成像系统, 通过图像重建、容积渲染、多平面重建等操作, 以获取更全面的影像信息, 帮助临床进行准确诊断^[10-11]。

1.1 GE LightSpeed VCT 的构造及工作原理

VCT 的主要构成为 X 射线源、探测器阵列、扫描架、控制系统和工作站。X 射线源产生高能量的 X 射线束, 通过患者身体部位并与探测器阵列进行交互作用, 形成 X 射线投影图像^[12]。探测器阵列位于患者身体对面, 与 X 射线源一起工作。它由一系列探测器组成, 负责接收从患者身体经过的 X 射线束, 并将其转换为电信号。扫描架是支撑 X 射线源和探测器阵列的框架结构, 它可以围绕患者进行旋转, 以实现多角度的扫描。控制系统是 GE LightSpeed VCT 的中枢控制单元, 负责管理整个扫描过程, 它包括软件和硬件组件, 控制 X 射线源、探测器阵列、扫描架的动作, 并搜集、处理、重建和存储扫描数据。工作站则是 GE LightSpeed VCT 系统的用户界面, 用于显示和操作扫描图像。临床可以在工作站上查看和分析扫描结果, 进行测量、标注、重建和三维可视化等操作^[13-14]。

工作机制。①准备阶段: 医生在工作站上选择扫描方案, 如扫描区域、扫描参数等, 并输入患者信息。准备完毕后, 患者进入扫描床, 并调整到适当的位置。②扫描阶段: 患者准备就绪后, 控制系统启动扫描, 扫描架开始围绕患者旋转。同时, X 射线源发射 X 射线束, 经过患者身体并与探测器阵列交互作用。探测器阵列将接收到的 X 射线转换为电信号, 并传输给控制系统。③数据处理阶段: 控制系统接收到来自探测器的电信号后, 将其转化为图像数据。通过强大的数据处理算法, 控制系统对原始数据进行滤波、校正、重建等处理, 最终生成高质量的 CT 图像。④图像显示和分析阶段: 重建后的图像在工作站上显示, 医生可以进行观察、测量和标注等操作。工作站提供了丰富的图像处理和分析功能, 如多平面重建、三维重建等, 以帮助医生做出准确诊断。⑤结果输出与存储: 医生根据需要可将图像结果导出或打印, 以便与其他医疗工作者共享。图像和扫描数据也可以保存在系统中, 用于后续的回顾、比较或追踪。

1.2 GE LightSpeed VCT 功能模块

GE LightSpeed VCT 采用多层螺旋扫描技术, 通

过旋转的 X 射线源和探测器阵列, 可以同时获取多个切面的影像。这种扫描方式比传统的逐层扫描方法更快, 大大缩短了扫描时间。此外, 每秒可进行多次旋转, 使得在 1 个呼吸周期内可以获得更多的切面图像。这对肺部、心脏等动态器官的检查非常重要。GE LightSpeed VCT 还可采用低剂量扫描技术, 能够在保证图像质量的同时减少患者的辐射剂量。利用其自适应剂量控制和优化扫描参数的功能, 可以根据不同患者的特点和需要进行个性化的剂量管理, 确保影像质量和患者安全。GE LightSpeed VCT 强大的数据处理和图像重建系统, 可快速生成高质量的影像。高效的数据处理和图像重建算法能够协助临床迅速获取所需的解剖结构信息, 提高诊断效率和准确性。

1.3 LightSpeed VCT Console 介绍及升级改造

使用 GE LightSpeed VCT Console 进行图像重建、容积渲染、多平面重建、肺结节检测等操作, 以获取更全面的影像信息。LightSpeed VCT Console 升级后应用了新的控制台硬件 (GOC6.6 Z840 VCT) 及其专用软件, 以替代当前的 GOC5、GOC6、GOC6.5 和 GOC6.6。新系统是通过将旧控制台完全替换为 GOC6.6 Z840 VCT 控制台来执行的, 包括液晶显示器、鼠标、键盘、PMT 线路及 GSCB 平台等。更新后的硬件系统可实现扫描实时重建 (升级前当前患者的图像重建基本要等到下一位患者扫描后才开始), 此外显著提升了图像重建速度 (37 幅图像 5 s 左右可重建完成)。

LightSpeed VCT Console 软件升级主要体现在低剂量迭代算法 (Adaptive Statistical Iterative Reconstruction, ASIR)、应用迭代质量增强器 + (Iterative quality enhancer plus, IQE PLus) 以及 Split-动态增强多期图像自动拆分功能的应用, 升级后的软件系统可显著提高图像质量, 降低辐射剂量。

2 GE LightSpeed VCT 改造前后对比

2.1 硬件

新仪器应用 GOC6.6 平台、Z840 主机及 NIO 版本显示器, 改进了重要的接口和电气线路, 并应用全新 GSCB 控制扫描的用户平台, 见图 1。

2.2 软件

2.2.1 ASIR ASIR 可通过多次迭代的方式对原始 CT 数据进行重建, 并采用统计模型对噪声进行建模和估计^[15-16]。具体而言, ASIR 将重建过程看作是一个最小化目标函数的优化问题, 目标函数由两部分组成: 数据约束项和正则化项。数据约束项是通过与



图1 机箱升级前后对比

Figure 1 Comparison before and after the chassis upgrade

原始投影数据进行比较来约束重建图像与原始数据的一致性。正则化项通过引入先验知识和平滑性约束,对重建图像进行限制,以减少噪声的影响。ASIR的主要特点是在每次迭代中,它会根据估计的噪声水平调整数据约束项和正则化项的权重,从而更好

地平衡噪声抑制和图像细节保留之间的关系。这种自适应的权重调整使得ASIR能够在降低噪声的同时保持更多的细节信息,提高图像质量^[17-18]。操作界面见图2。



图2 降噪操作界面

Figure 2 Noise reduction operation interface

相对于传统的滤波降噪方法,ASIR具有以下优势。

①噪声抑制效果更好:ASIR采用统计建模的方式对噪声进行估计和抑制,能够更准确地去除噪声,提高图像质量。相比于传统的滤波方法,ASIR能够更好地保留图像细节。

②自适应调整参数:ASIR根据噪声水平自适应地调整数据约束项和正则化项的权重,能够更好地平衡噪声抑制和图像细节保留之间的关系。传统的滤波方法通常使用固定的参数,不具备自适应性。

③可减少剂量:ASIR可以在保持图像质量的同时降低剂量。由于重建过程中引入了先验模型,ASIR能够通过更充分地利用原始数据的信息,从而在低剂量情况下重建出更清晰的图像。

④提高鉴别度:ASIR能够通过优化重建图像的噪声-分辨率特性,提高图像的鉴别度。这一点对于检测和诊断任务非常重要,能够提高医学影像的准确性和可靠性。

2.2.2 IQE PLus 螺旋CT扫描时的椭圆行轨迹和像素重建算法可引起一种伪影现象,称之为薄层风车状伪影,会对图像质量和诊断准确性产生负面影响。IQE PLus可通过迭代回退技术,模拟椭圆轨迹和利用反投影的方法,估计薄层风车状伪影的分布并将其应用于图像重建算法中,从而有效地抑制薄层风车状伪影,提高VCT图像质量和诊断准确性^[19]。

IQE PLus 基本原理。

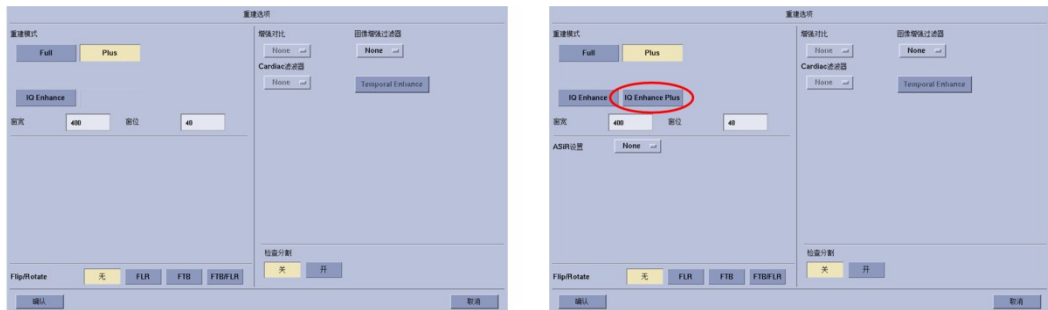
①采集数据:VCT扫描过程中,计算机会通过旋转X射线源和探测器,以螺旋方式收集一系列投影数据。

②重建图像:通过将这些投影数据应用于图像重建算法,计算机重建出高分辨率的体积数据集。然而,由于行进的椭圆轨迹,螺旋CT扫描会导致薄层风车状伪影在重建图像中出现。

③迭代回退:在应用IQE Plus之前,VCT系统首先会进行一次常规重建,得到原始图像。然后,系

统会使用这个原始图像作为输入,应用反投影回退方式模拟椭圆轨迹,生成一组虚拟的“回退投影”数据。④伪影估计:系统将这些虚拟的回退投影数据与原始螺旋投影数据进行比较,通过分析伪影之间的差异估计薄层风车状伪影的空间分布。⑤伪影抑

制:最后,通过将估计到的薄层风车状伪影分布应用于图像重建算法的正则化项,可以在重建过程中抑制这些伪影。这样,重建出的图像中的薄层风车状伪影会被显著减少,提高图像的质量^[20]。见图3。



a: 升级前

b: 升级后

图3 IQE PLus操作界面

Figure 3 IQE PLus operation interface

2.2.3 应用Split-动态增强多期图像自动拆分功能 Split-动态增强多期图像自动拆分功能是一种用于自动将多期动态增强的CT图像序列分割成不同的时间相位的技术^[21]。Split根据图像中的不同对象或特征,自动拆分图像并调整各个区域的属性,以提高图像的可视化效果和信息传达能力^[22]。基本原理:①通过图像分割算法将输入图像中的对象或特征进行分割。这些算法可以基于像素的颜色、纹理、形状等进行分割,以提取不同区域的图像内容。②利用目标检测或特征提取算法识别和分析每个分割出来的区域。这些算法可以用于检测感兴趣区域,或提取一些特定的特征,如边缘、角点等。③通过运用动态增强技术,根据每个区域的特征或目标调整图像的属性(如明暗度、对比度、饱和度等),以突出显示感兴趣的区域或特征。④将调整后的图像重新拼合在一起,生成具有自动拆分效果的图像。如此可使每个区域或特征更加突出。

Split具有以下优点。①诊断动态过程:对于一些疾病(如肿瘤、血管病变等),其动态过程是非常重要的。通过Split-动态增强多期图像自动拆分功能,可以将一次扫描所获得的连续多个时间点的CT图像分割开来,得到一系列不同时间相位上的图像,实现对病变的动态过程进行观察和评估。这对于疾病的早期诊断、评估治疗效果以及跟踪病情发展等方面具有重要意义。②提高图像质量:通过分割出不同时间相位的图像,可以根据相应的时间窗口对每个时间相位的图像进行优化处理,如可以选择在动脉期、门静脉期或延迟期等不同时间相位上调整图

像参数,以提高图像对特定结构或病变的显示和诊断准确性。③减少辐射剂量:利用Split功能,可以选择性地使用有限的射线剂量在感兴趣的时间相位上进行扫描,而不需要对整个扫描过程进行重复。这样可以减少患者暴露于辐射的剂量,提高扫描的安全性。④简化操作流程:自动拆分功能可以根据已设定的参数自动为多期动态增强图像序列进行分割,而无需人工干预,这大大简化了操作流程,节省了操作者的时间和精力。见图4。

3 GE LightSpeed VCT 升级后的临床应用

3.1 ASIR 降噪效果

图5~图7分别为GE LightSpeed VCT行颅脑、冠脉、低剂量肺扫描时使用ASIR序列和不使用ASIR序列的图像质量对比,可见ASIR序列的应用可显著降低造影、提高图像清晰度。

3.2 IQE PLus 临床实操效果

IQE是一种图像重建技术,可以用于降低螺旋扫描带来的伪影。螺旋扫描是一种快速采集图像的方式,但它可能导致图像中出现风车状伪影,特别是在窄窗图像上更为明显。IQE技术可以对这种风车状伪影进行抑制,减少其在图像中的出现。它通过迭代的量化编码过程,对图像进行重建和优化,从而减小伪影的影响。然而,尽管IQE可以有效地抑制伪影,但仍可能在某些情况下存在一定程度的伪影残留。与IQE相比,IQE PLus则更加彻底地消除螺旋扫描造成的风车状伪影。IQE PLus使用更先进的图

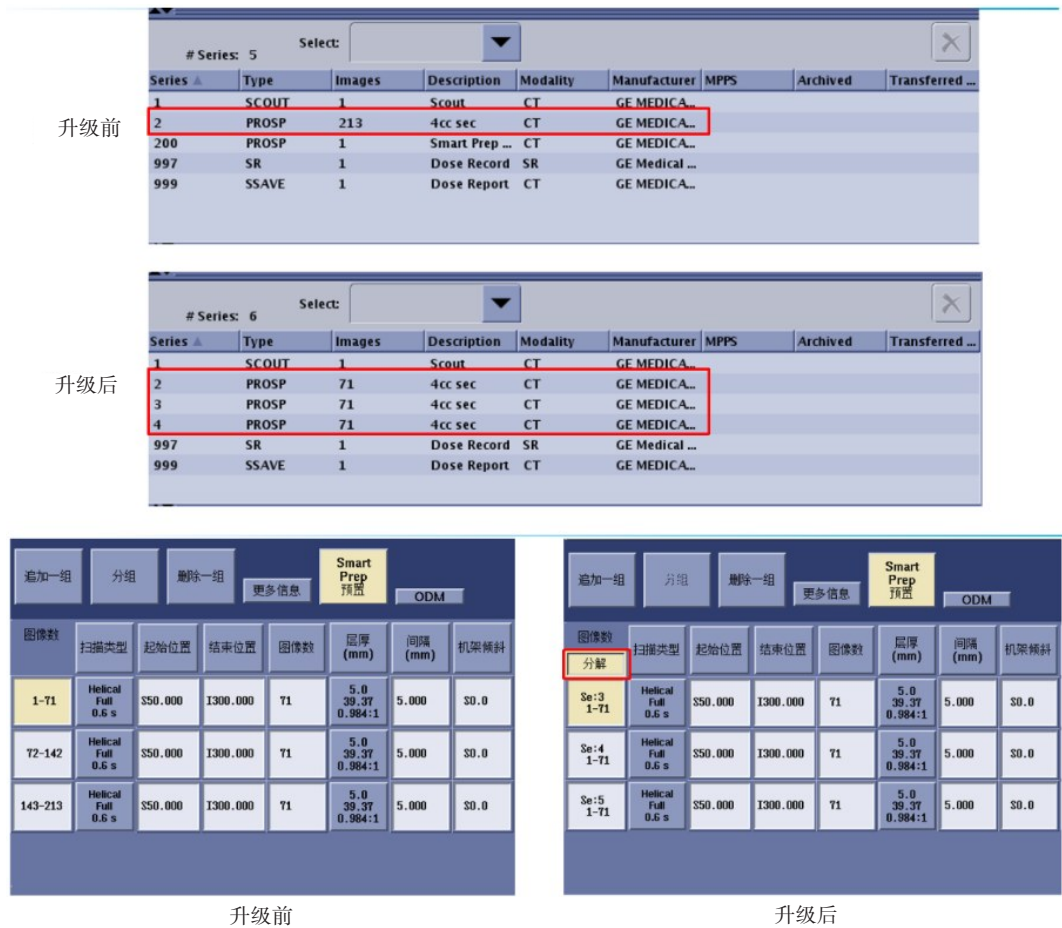


图 4 图像拆分操作界面升级前后对比

Figure 4 Comparison of image splitting operation interface before and after upgrade

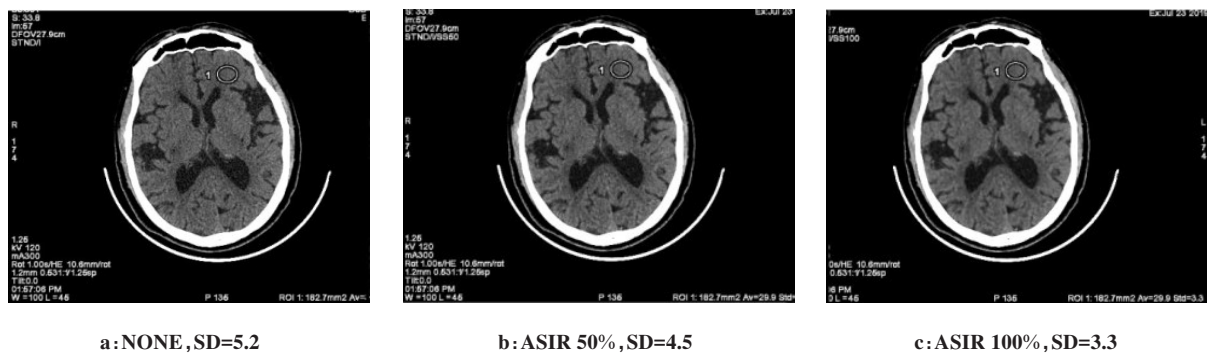


图 5 ASIR-颅脑降噪

Figure 5 ASIR-craniocerebral noise reduction

像重建算法和优化技术,可以进一步减小或消除伪影的存在。它提供了更高的图像质量和更准确的诊断信息,有助于临床做出更准确的诊断。总的来说, IQE 和 IQE Plus 是用于抑制和消除螺旋扫描造成的风车状伪影的图像重建技术。它们在医学影像领域中广泛应用,可以提高图像质量和诊断准确性。

4 总 结

LightSpeed VCT Console升级版在多个方面带来了显著优点。首先,该升级版的扫描速度更快,能够在更短的时间内获取更多的图像信息,从而提高诊断效率。其次,新版设备具备更高的空间分辨率和对比度,使得医生在诊断过程中能够更准确地分析

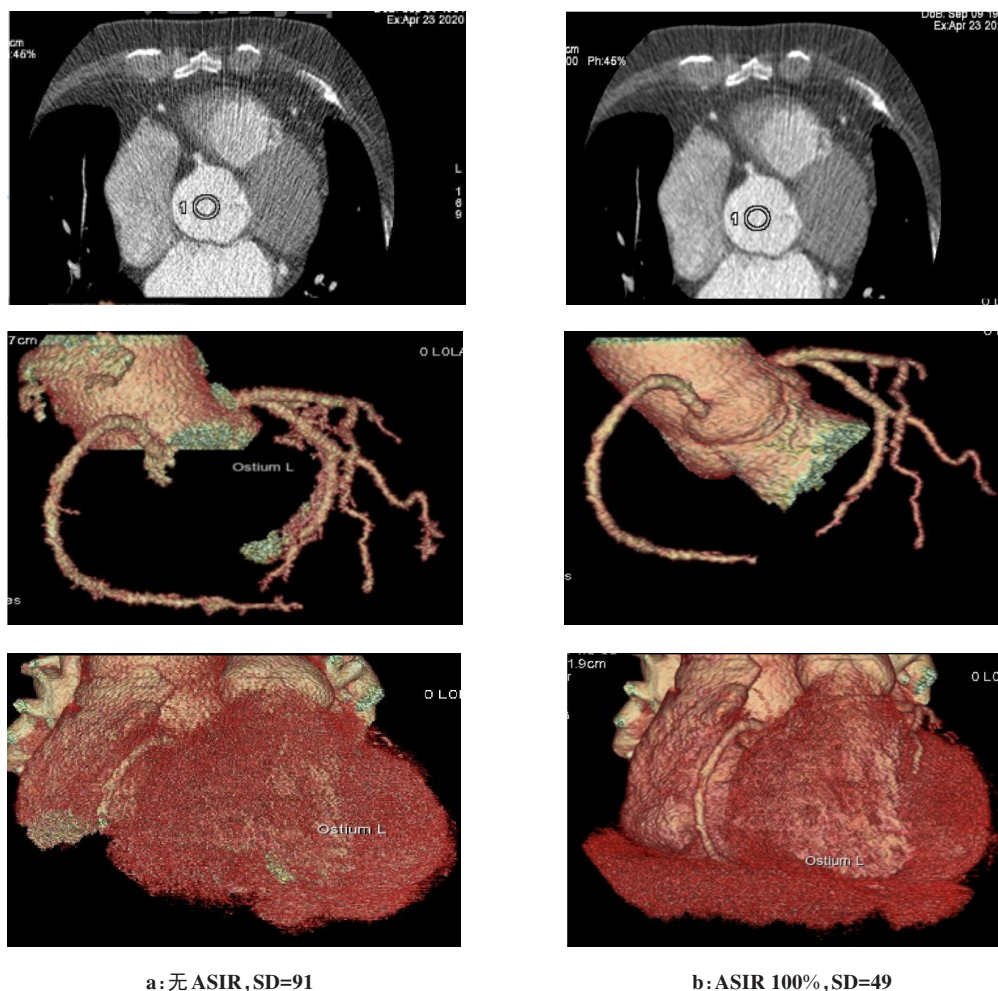


图6 ASIR-冠脉扫描

Figure 6 ASIR-coronary artery scanning

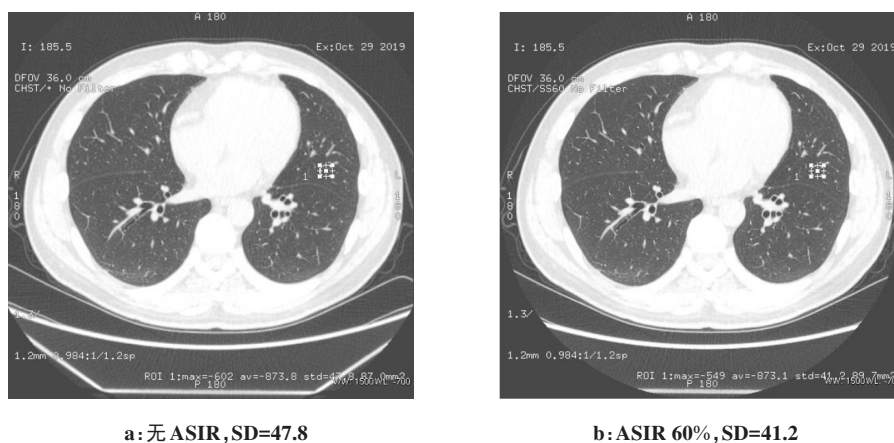


图7 ASIR-低剂量肺筛

Figure 7 ASIR-low dose lung screening

病变和异常区域。降低辐射剂量以及减少宕机频率,还可提高设备的使用寿命。

尽管 LightSpeed VCT Console 升级版已经取得显著的成果,仍然存在一些改进的方向^[23]。首先是改善图像重建算法和质量控制技术,以进一步提高

图像质量和准确性。其次,应该进一步优化设备的操作界面和人机交互方式,使医生和技术人员能够更加方便、快捷地操作设备。最后,应注意减少放射剂量和优化扫描协议,以降低患者接受检查的风险。未来,LightSpeed VCT Console 在图像处理领域有以

下发展方向:①更高的分辨率。随着技术的不断进步,LightSpeed VCT Console有望实现更高的空间分辨率,提供更清晰、更精准的图像信息。②更快的扫描速度。针对需要更快扫描速度的应用场景,如紧急情况下的急诊诊断,LightSpeed VCT Console可以借助更快的旋转速度和更多排探测器进一步提高扫描速度。③更准确的自动化图像分析。结合人工智能技术,LightSpeed VCT Console可以通过分析海量的医学图像数据,帮助医生更准确地诊断病情,并提供个性化治疗方案。④多模态成像。未来的LightSpeed VCT Console有望融合多种成像技术,如MRI、PET等,实现多模态成像,并提供更全面、多维度的医学信息^[24]。

【参考文献】

- [1] 韦丽宾,王璞,赵云转,等.上前牙轴向夹角和牙槽骨垂直距离的螺旋CT测量与种植应用分析[J].河北医药,2022,44(2):263-265.
Wei LB, Wang P, Zhao YZ, et al. Measurement of the axial included angle and vertical dimension of alveolar bone by applying of spiral CT scanning[J]. Hebei Medical Journal, 2022, 44(2): 263-265.
- [2] Yoshiura T, Masuda T, Sato T, et al. Coronary artery visualization by using the 64-row MDCT in pediatric patients[J]. Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi, 2022, 78(8): 856-863.
- [3] Yoshiura T, Masuda T, Matsumoto Y, et al. New potential method for optimizing the ATCM technique in pediatric CT examination[J]. Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi, 2020, 76(8): 802-807.
- [4] 许靖宇,高智敏,夏慧琳,等.两种64排GE CT冠脉成像信噪比与剂量对比分析研究[J].现代仪器与医疗,2022,28(1):7-10.
Xu JY, Gao ZM, Xia HL, et al. Comparative analysis of signal to noise ratio and dose in two 64 row GE CT images[J]. Modern Instruments & Medical Treatment, 2022, 28(1): 7-10.
- [5] 王寻,葛双,郝会珍,等.基于标准化增强CT影像组学列线图预测肺腺癌表皮生长因子受体突变状态的研究[J].中华放射医学与防护杂志,2024,44(3):194-201.
Wang X, Ge S, Xi HZ, et al. Prediction of EGFR mutation status in lung adenocarcinoma based on standardized enhanced CT radiomics nomogram [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2024, 44(3): 194-201.
- [6] 孙英丽,金惊,高盼,等.不同球管参数设定对肺磨玻璃结节CT筛查的影响-体模研究[J].临床放射学杂志,2018,37(7):1215-1220.
Sun YL, Jin J, Gao P, et al. Variation of tube parameters in lung CT screening for ground glass nodules(GGNs)-phantom study[J]. Journal of Clinical Radiology, 2018, 37(7): 1215-1220.
- [7] 赵芝敏,赵卫,潘文秋,等.高分辨率C臂CT联合减少金属伪影软件在Pipeline Flex治疗颅内动脉瘤的应用价值[J].临床放射学杂志,2023,42(1):115-118.
Zhao ZM, Zhao W, Pan WQ, et al. Application value of high-resolution C-arm CT combined with metal artifact reduction software in the treatment of intracranial aneurysms by Pipeline Flex[J]. Journal of Clinical Radiology, 2023, 42(1): 115-118.
- [8] 王洋,覃石磊,郑民,等.Mimics三维重建软件结合CT穿刺弹簧圈定位在肺小结节手术中的应用[J].中国医学物理学杂志,2023,40(7):868-871.
Wang Y, Qin SL, Zheng M, et al. Contribution of three-dimensional reconstruction using Mimics software and CT-guided coil localization in surgery of pulmonary small nodules[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2023, 40(7): 868-871.
- [9] 丁加泽,潘新庆. GE Lightspeed 16层CT平衡故障维修[J].实用放射学杂志,2020,36(7):1169.
Ding JZ, Pan XQ. Troubleshooting of GE lightspeed 16 CT balance [J]. Journal of Practical Radiology, 2020, 36(7): 1169.
- [10] 戴兴,徐加利,梁保辉.利用免洗胶片测量CT轴向和螺旋扫描的剂量分布[J].中国医学物理学杂志,2019,36(5):529-533.
Dai X, Xu JL, Liang BH. Using disposable film to measure the dose profiles in axial scanning and helical scanning with computed tomography[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(5): 529-533.
- [11] 韩林梅,俞琴.头颅CT偏中心定位对扫描图像质量的影响[J].临床放射学杂志,2019,38(12):2420-2424.
Han LM, Yu Q. Effect of miscentering location on image quality in computed tomography for head[J]. Journal of Clinical Radiology, 2019, 38(12): 2420-2424.
- [12] 梁保辉,付亚军,曹明娜.基于CT检查的正位定位像计算等效水直径[J].南方医科大学学报,2020,40(6):799-805.
Liang BH, Fu YJ, Cao MN. Calculation of water equivalent diameter based on anteroposterior localizer CT images[J]. Journal of Southern Medical University, 2020, 40(6): 799-805.
- [13] Robins M, Solomon J, Hoye J, et al. Systematic analysis of bias and variability of texture measurements in computed tomography[J]. J Med Imaging (Bellingham), 2019, 6(3): 033503.
- [14] Yang K, Li ZM, Li XH, et al. Characterization of dynamic collimation mechanisms for helical CT scans with direct measurements[J]. Phys Med Biol, 2019, 64(21): 215006.
- [15] Yoshiura T, Masuda T, Matsumoto Y, et al. Usefulness of fenestrated catheters for i.v. contrast infusion cardiac CT angiography for newborn patients during the congenital heart disease [J]. Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi, 2019, 75(8): 765-770.
- [16] Zhong JY, Xia YH, Chen Y, et al. Deep learning image reconstruction algorithm reduces image noise while alters radiomics features in dual-energy CT in comparison with conventional iterative reconstruction algorithms: a phantom study[J]. Eur Radiol, 2023, 33(2): 812-824.
- [17] Bie YF, Yang S, Li XC, et al. Impact of deep learning-based image reconstruction on image quality and lesion visibility in renal computed tomography at different doses[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13(4): 2197-2207.
- [18] Kamani CH, Huang WJ, Lutz J, et al. Impact of adaptive statistical iterative reconstruction-V on coronary artery calcium scores obtained from Low-Tube-Voltage computed tomography-a patient study[J]. Acad Radiol, 2022, 29 (Suppl 4): S11-S16.
- [19] Kim C, Kwack T, Kim W, et al. Accuracy of two deep learning-based reconstruction methods compared with an adaptive statistical iterative reconstruction method for solid and ground-glass nodule volumetry on low-dose and ultra-low-dose chest computed tomography: a phantom study[J]. PLoS One, 2022, 17(6): e0270122.
- [20] Kawashima H, Ichikawa K, Matsubara K, et al. Quality evaluation of image-based iterative reconstruction for CT: comparison with hybrid iterative reconstruction [J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(6): 199-205.
- [21] 苟军年,董海鹰.基于Split Bregman算法的有限角度CT图像重建[J].兰州交通大学学报,2018,37(3):37-41.
Gou JN, Dong HY. CT image reconstruction from limited angle based on Split Bregman algorithm [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2018, 37(3): 37-41.
- [22] 张硕,余世明.基于多尺度并行深度可拆分的CNN新冠肺炎CT图像去噪方法[J].高技术通讯,2021,31(11):1145-1153.
Zhang S, Yu SM. COVID-19 CT images denoising method based on multi-scale parallel deep split CNN[J]. Chinese High Technology Letters, 2021, 31(11): 1145-1153.
- [23] 李冠,梁泉,曹志强,等.双能量CT后处理单能谱模式有效识别肾周脂肪粘连及全息可视化三维成像研究[J].东南大学学报(医学版),2022,41(5):688-694.
Li G, Liang Q, Cao ZQ, et al. Effective recognition of adherent perinephric fat by dual energy CT post-processing single energy spectrum mode and holographic visual three-dimensional imaging study[J]. Journal of Southeast University (Medical Science Edition), 2022, 41(5): 688-694.
- [24] 张冬艳,薛雁山,许芳,等.MRI-CT图像融合技术在颈椎肿瘤靶区勾画中的应用[J].中国医学物理学杂志,2022,39(5):551-555.
Zhang DY, Xue YS, Xu F, et al. Application of MRI-CT image fusion technology in delineation of cervical tumor target area[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2022, 39(5): 551-555.

(编辑:黄开颜)