

基于不同重建算法的容积再现成像在诊断鼻区线性骨折中的差异研究

鲁新亮, 陶建华, 马文涛, 康天良, 刘丹丹, 张永县, 牛延涛, 刘云福

Differences in Volume Rendering Imaging Based on Different Algorithms in Assisting Detection of Linear Fracture of Nasal Bone Area

LU Xinliang, TAO Jianhua, MA Wentao, KANG Tianliang, LIU Dandan, ZHANG Yongxian, NIU Yantao, and LIU Yunfu

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15953/j.ctta.2023.212>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

双能量CT虚拟单能量成像在鉴别脊柱急慢性压缩骨折中的应用价值

The Application Value of Dual-Energy CT Virtual Monoenergetic Imaging in the Differential Diagnosis of acute and Chronic Spinal Compression Fractures

CT理论与应用研究. 2021, 30(2): 209-216

三维CT与X线片检查跟骨骨折中的应用价值分析

Analysis of the Value of Three-dimensional CT and X-ray Examination in Calcaneal Fractures

CT理论与应用研究. 2019, 28(3): 371-376

探讨基于卷积神经网络对颅底骨折CT图像精准诊断的应用价值

The Application Value of Accurate Diagnosis of CT Image of Skull Base Fractures based on Convolutional Neural Network

CT理论与应用研究. 2021, 30(6): 769-776

士兵胫骨应力性骨折的影像评分与临床表现相关分析

Correlation Analysis of Imaging Score and Clinical Manifestation of Tibial Stress Fracture in Soldiers

CT理论与应用研究. 2017, 26(6): 783-790

X线检查发现病理性骨折对骨肉瘤预后的影响分析

Pathologic Fracture Predicts for Poor Prognosis in Osteosarcoma for Recurrence and Amputation Based on X-ray

CT理论与应用研究. 2018, 27(1): 77-84

非线性层析反演速度建模技术

Non-linear Tomography Inversion Technology for Velocity Modeling

CT理论与应用研究. 2017, 26(5): 543-551



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

鲁新亮, 陶建华, 马文涛, 等. 基于不同重建算法的容积再现成像在诊断鼻区线性骨折中的差异研究[J]. CT 理论与应用研究 (中英文), 2024, 33(5): 609-618. DOI:10.15953/j.ctta.2023.212.
LU X L, TAO J H, MA W T, et al. Differences in Volume Rendering Imaging Based on Different Algorithms in Assisting Detection of Linear Fracture of Nasal Bone Area[J]. CT Theory and Applications, 2024, 33(5): 609-618. DOI:10.15953/j.ctta.2023.212. (in Chinese).

基于不同重建算法的容积再现成像在 诊断鼻区线性骨折中的差异研究

鲁新亮, 陶建华, 马文涛, 康天良, 刘丹丹, 张永县, 牛延涛, 刘云福[✉]

首都医科大学附属北京同仁医院放射科, 北京 100730

摘要: 目的: 探索最佳的容积再现成像 (VR) 重建算法, 以提高对鼻区线性骨折的诊断效能。方法: 回顾性纳入 2022 年 8 月至 2023 年 8 月的成人鼻骨 CT 影像资料, 随机选取 100 例鼻区线性骨折和 35 例无骨折患者, 分别行平滑算法 (Smooth)、标准算法 (Standard)、锐利算法 (Sharp)、骨算法 (Bone) 的 VR 后处理。两名放射医师以双盲法对 VR 有无骨折、鼻骨孔显示及图像质量进行评分。采用相同协议对 CT 质控模体进行扫描, 并测量不同重建算法模体图像的噪声功率谱 (NPS), 任务传递函数 (TTF) 和可检测性指数 (d')。结果: 医师对鼻区线性骨折的诊断效能 VR_Standard、VR_Sharp 和 VR_Bone 之间存在差异, VR_Sharp 的鼻骨孔显示评分高于 VR_Standard, 并且 VR_Sharp 的图像质量评分高于 VR_Standard 和 VR_Bone; 随着重建算法锐利程度的增加, 噪声量和空间分辨力逐渐增加; Standard 组、Sharp 组和 Bone 组的 NPS 峰值和 TTF_{50%} 分别为 (225.85HU²·mm², 0.42), (416.67HU²·mm², 0.53) 和 (1888.20HU²·mm², 0.8)。当待测目标直径为 1mm 时, Sharp 组的 d' 值最高。结论: VR_Sharp 对鼻区线性骨折的诊断效能最佳, 能更好的发挥 VR 在辅助诊断中的价值。

关键词: 体层摄影术; 鼻骨; 线性骨折; 容积再现

DOI:10.15953/j.ctta.2023.212

中图分类号: R814; R683

文献标识码: A

鼻区位于面部的中心位置, 骨质较薄, 在面部外伤中经常受累^[1-2]。正确诊断鼻区骨折对于伤情的鉴定和治疗方案的选择尤为重要。线性骨折因骨折断端无明显成角移位、易受血管沟及鼻骨末端形态影响的特点不易鉴别, 漏诊率较高^[3-5]。容积再现成像 (volume rendering, VR) 可以多角度观察血管沟及鼻骨末端形态, 与线性骨折相鉴别^[6-8]。

目前, 在鼻骨 CT 后处理中多采用标准算法 (Standard) 重建 VR。基于 Standard 算法重建的 VR 虽然细腻平滑、噪声小, 但丢失了部分解剖细节。VR 的重建可基于多种算法 (Smooth, Standard, Sharp, Bone), 因此本研究旨在比较基于不同算法重建的 VR 在诊断鼻区线性骨折的差异, 以寻求一种最佳的算法提高对鼻区线性骨折的诊断效能。

1 材料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析我院 2022 年 8 月至 2023 年 8 月因鼻区外伤行鼻骨 CT 检查的成人影像资料, 排除既往存在颅面部损伤及手术史的患者。随机选取 100 例鼻区线性骨折患者和 35 例无骨折患者, 其中男 77 例, 女 58 例, 年龄 18~87 岁, 平均年龄 (41±14) 岁。

本研究获医学伦理委员会批准, 伦理号为 TRECKY2019-014。

1.2 实验模体

CT 质控模体 (Catphan® 500, The Phantom Laboratory, New York) 由 4 个模块组成, 本研究使用模体的 CTP528 模块观察可分辨的最大线对数并测量调制传递函数 (modulation transfer function,

MTF) 以研究不同重建算法的模体 CT 图像 xy 平面空间分辨力的差异。

使用模体的 CTP486 模块和 CTP401 模块测量基于任务的图像质量评价参数, 包括噪声功率谱 (noise power spectrum, NPS)、任务传递函数 (task-based transfer function, TTF) 和可检测性指数 (detectability index, d')^[9]。NPS 描述图像噪声强度和空间频率特征, TTF 是在考虑背景噪声水平时对特定成像物体的空间分辨力, d' 是基于观察者模型对 NPS 和 TTF 加权计算的结果, 是评估空间分辨力和图像噪声的综合指标, 可用于评估对模拟病变的分辨检测能力。

1.3 CT 扫描及图像后处理

使用飞利浦 Brilliance 16 排螺旋 CT 扫描患者鼻区, 扫描范围从鼻根部至上颌骨额突下缘。扫描参数: 管电压 120 kV, 管电流 250 mAs/层, 准直宽度 16×0.75 mm, 螺距 0.438, 旋转时间 0.5 s。分别重建平滑算法 (Smooth)、标准算法 (Standard)、锐利算法 (Sharp) 和骨算法 (Bone) 横断面薄层图像。其他重建参数为层厚 0.8 mm, 层间距 0.4 mm, 矩阵 512×512 。使用 Philips Portal 工作站进行 VR 后处理, 由左侧位旋转 180° 至右侧位保存 7 幅, 鼻骨下方旋转 180° 至鼻背上方保存 7 幅, 左上、左下、右上、右下 45° 各保存 1 幅, 共 18 幅, 根据不同的重建算法分为 VR_Smooth 组、VR_Standard 组、VR_Sharp 组和 VR_Bone 组。

采用相同扫描重建协议对 CT 质控模体 Catphan® 500 进行扫描, 根据不同的重建算法分为 Smooth 组、Standard 组、Sharp 组和 Bone 组。

1.4 客观评价

1.4.1 空间分辨力

将扫描后所得不同重建算法的模体 CT 横断面图像传至 Philips Portal 工作站, 将窗宽调至最小, 调节窗位显示可分辨的最大线对数, 同时将模体 CT 横断面图像的兴趣层面 (钨珠中心层面) 拷贝至 ImageJ 软件, 测量 xy 平面内的 $MTF_{10\%}$ 和 $MTF_{50\%}$ 。

1.4.2 基于任务的图像质量评价

使用 ImQuest 7.2 (Duke) 软件测量模体 CT 图像的 NPS、TTF 和 d' ^[10-11]。NPS 和 TTF 的测量方式如图 1(a)、图 1(b) 所示。NPS 测量选取模体 CT486 模块的 20 个连续层面进行测量, 每个层面放置 5 个方形 ROI (128×128), 测量并记录图像噪声 (Noise)、NPS 峰值 (NPS_{peak}) 和平均空间频率 (NPS 空间频率的平均值); TTF 测量需要在 CTP401 模块的特氟龙圆柱形插入物上放置同心圆 ROI, 对 20 个连续层面测量 $TTF_{50\%}$ 。 d' 值可由 ImQuest 7.2 软件测量的 NPS 和 TTF 通过结合视觉滤波器的非预白化观察者模型 (NPW observer model with an eye filter, NPWE) 计算得到, 值越大代表分辨能力越强。

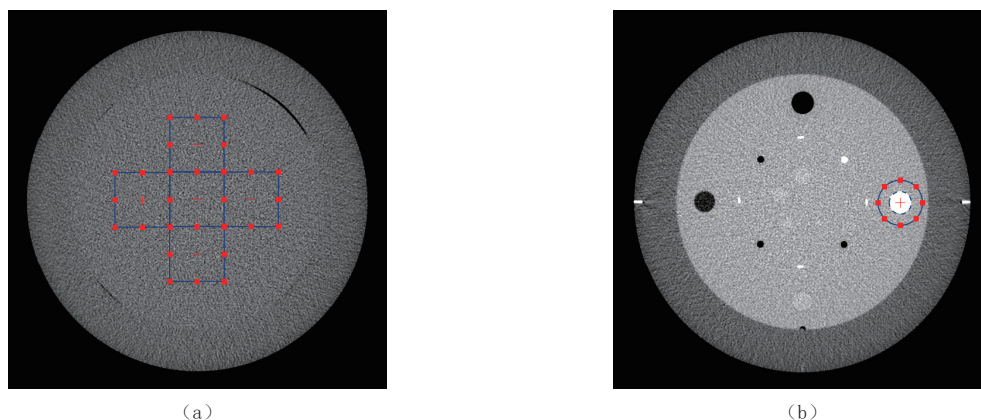


图 1 噪声功率谱 (NPS) 和任务传递函数 (TTF) 测量示意图

Fig.1 The measurement schematic of NPS and TTF

为模拟对鼻区线性骨折的分辨能力, 将待检测目标直径分别设置为 1.0、1.5 和 2.0 mm, 软件参数设置为变焦系数 1.5, 观察距离 500 mm, 视野 120 mm。\$d'\$ 计算公式为^[12]:

$$d'^2_{\text{NPWE}} = \frac{\left(\iint |W(u,v)|^2 \cdot \text{TTF}(u,v)^2 \cdot E(u,v)^2 du dv \right)^2}{\iint |W(u,v)|^2 \cdot \text{TTF}(u,v)^2 \cdot \text{NPS}(u,v)^2 \cdot E(u,v)^4 du dv},$$

式中, \$u\$ 和 \$v\$ 分别代表 \$x\$ 和 \$y\$ 方向上的空间频率, \$E\$ 是模拟人类视觉系统对不同空间频率敏感度的视觉滤波器, \$W(u,v)\$ 定义为任务函数, 即待检测信号的傅里叶变换。

1.5 主观评价

1.5.1 线性骨折和无骨折的金标准

两名高级职称放射医师对鼻骨 CT 的原始图像、MPR 图像以及基于 4 种重建算法的 VR 综合观察, 判断有无骨折, 对于存在分歧的病例, 通过协商达成一致意见。

1.5.2 评估流程

屏蔽原始图像及其他重组图像, 由两名放射医师 (工作 2 年的初级医师 A、工作 10 年以上的主任医师 B) 以盲法形式对 135 例患者的 VR 进行评估: ① 对鼻骨孔的显示评分; ② 判断有无骨折; ③ 对 VR 的质量评分。

采用 3 分法评价鼻骨孔的显示及 VR 的质量。鼻骨孔显示的评分标准: 3 分为鼻骨孔清晰, 且图像无肉眼可见噪声颗粒; 2 分为鼻骨孔可见或鼻骨孔清晰但存在肉眼可见噪声颗粒; 1 分为鼻骨孔显示不佳。VR 质量的评分标准: 3 分为鼻骨末端形态清晰, 鼻区无骨折或鼻区存在骨折, 骨折线清晰且图像无肉眼可见噪声颗粒, 适合诊断; 2 分为鼻骨末端形态可辨, 骨折线可见或骨折线清晰但肉眼可见噪声颗粒, 尚可诊断; 1 分为鼻骨末端形态不清, 骨折线显示不佳, 图像噪声大, 影响诊断。

1.6 统计分析

使用 IBM SPSS Statistics 26.0 和 GraphPad Prism 8.0 软件对实验结果进行统计学分析。首先用 Shapiro-Wilk 检验评估数据的正态性, 符合正态分布的用 \$(\bar{x} \pm s)\$ 表示。两名医师对图像质量和鼻骨孔显示评分的一致性采用 Kappa 检验, Kappa 值 < 0.40 提示两者一致性差, 0.41~0.60 为一致性一般, 0.61~0.80 为一致性好, > 0.80 为一致性非常好。使用卡方检验对 VR_Standard、VR_Sharp 和 VR_Bone 质量评分及鼻骨孔显示的评分进行统计分析。采用 Cochran's Q 检验对两名医师在 VR_Standard、VR_Sharp 和 VR_Bone 的骨折诊断效能进行检验, 并用经 Bonferroni 法校正的 Dunn's 法进行两两比较。\$P < 0.05\$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 客观评价

2.1.1 空间分辨力

不同重建算法的模体 CT 图像高对比分辨力结果见表 1, Smooth 重建算法的模体图像的高对比分辨力为 8 LP/cm, 均低于其他 3 种重建算法。

表 1 不同重建算法模体 CT 图像的高对比分辨力
Table 1 The high contrast resolution of CT phantom images with different reconstruction algorithms

	Smooth	Standard	Sharp	Bone
线对数 LP/cm	8	9	10	10

不同重建算法的模体 CT 图像的 MTF 测量结果如图 2 所示, Sharp 组的 $MTF_{10\%}$ 值最高, Bone 组的 $MTF_{50\%}$ 值最高, Smooth 组在 $MTF_{10\%}$ 值和 $MTF_{50\%}$ 值中均最低。

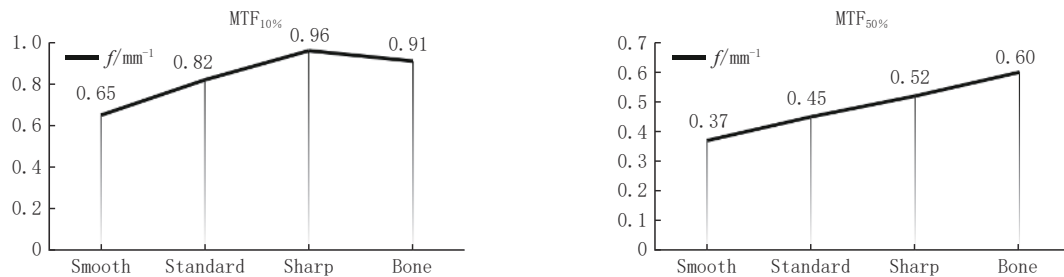


图 2 不同重建算法的模体 CT 图像的 MTF 值

Fig.2 The MTF of CT phantom images with different reconstruction algorithms

2.1.2 基于任务的图像质量评价

不同重建算法的模体 CT 图像的 NPS 曲线如图 3 (a) 所示。Standard 组的噪声值 (19.8HU) 低于 Sharp 组 (29.6HU) 和 Bone (68.9HU) 组, 并且 Standard 组和 Sharp 组的 NPS_{peak} ($225.85 HU^2 \cdot mm^2$, $416.67 HU^2 \cdot mm^2$) 远低于 Bone 组 ($1888.20 HU^2 \cdot mm^2$)。Bone 组图像的噪声值在各空间频率下均表现最高, 且平均空间频率 ($0.63 mm^{-1}$) 相较于 Standard 组 ($0.41 mm^{-1}$) 和 Sharp 组 ($0.5 mm^{-1}$) 向高频移动。不同算法的模体 CT 图像的高对比 TTF 曲线如图 3 (b) 所示, Standard 组、Sharp 组和 Bone 组的 $TTF_{50\%}$ 分别为 0.42、0.53 和 0.8。

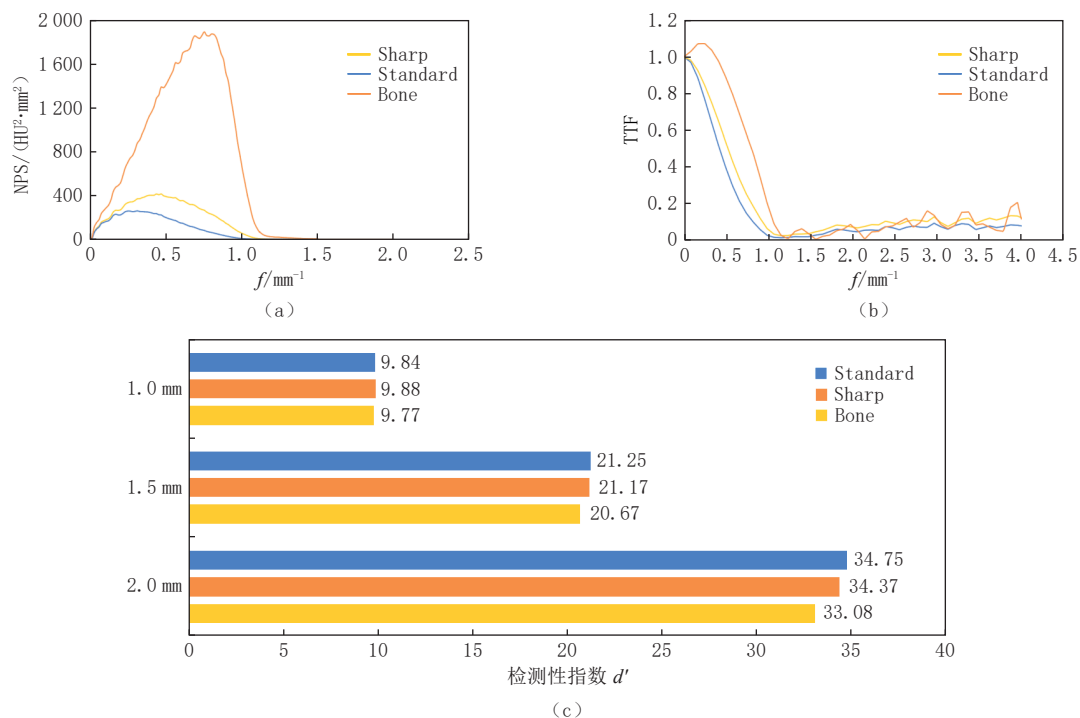


图 3 不同重建算法的模体 CT 图像的 NPS, TTF 和 d' 值

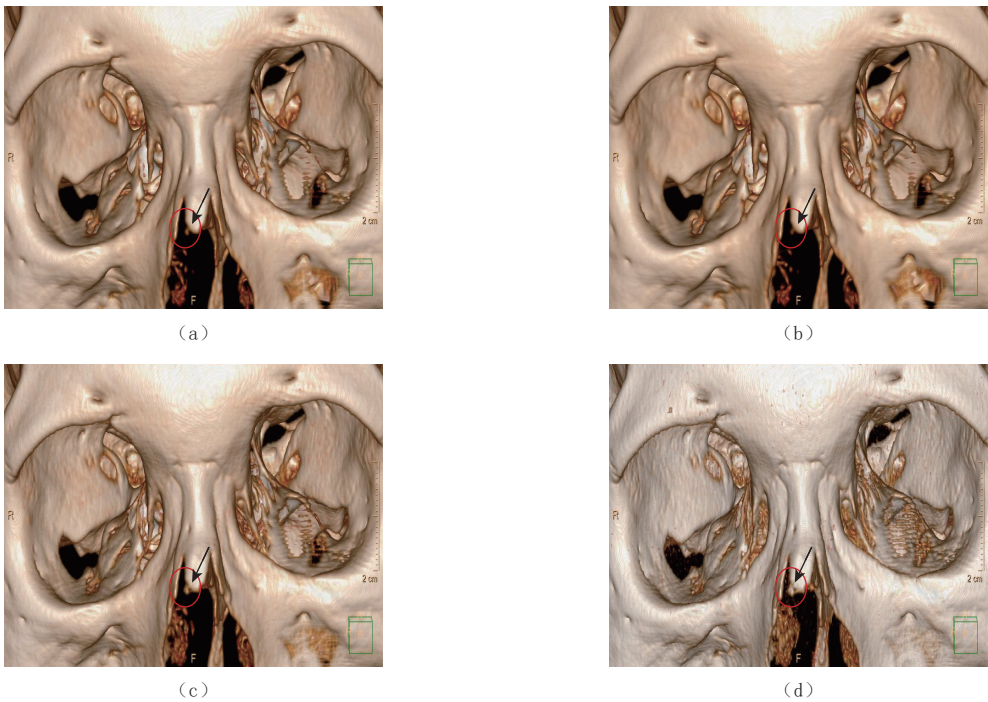
Fig.3 The NPS, TTF and d' values of CT phantom images with different reconstruction algorithms

不同直径高对比度待检测目标的 d' 如图 3 (c) 所示。当待检测目标直径为 1.0mm 时, Sharp 组的 d' 值高于 Standard 组和 Bone 组, 当待检测目标直径为 1.5mm 和 2.0mm 时, Standard 组的 d' 值最高。Bone 组的 d' 值在各个待检测目标直径下均为最低。

2.2 主观评价

2.2.1 图像质量及鼻骨孔的显示

经两名医师商讨，Smooth 组因空间分辨率低，且 VR_Smooth 过于细腻平滑导致丢失解剖细节，对鼻区骨折显示不佳，放弃入组（图 2 和图 4）。两名医师对 VR_Standard、VR_Sharp 和 VR_Bone 组图像质量的评分及鼻骨孔显示评分结果如表 2 所示，且一致性好（Kappa 值均 > 0.61）。



注：女，49 岁，右侧鼻骨前端骨折。从左至右依次为 VR_Standard (a)，VR_Smooth (b)，VR_Sharp (c)，VR_Bone (d) 对骨折的显示（黑箭）。

图 4 基于不同重建算法的 VR 对鼻区骨折的显示情况

Fig.4 Display of nasal region fractures by VR based on different reconstruction algorithms

表 2 两名医师对不同重建算法 VR 的主观评价得分和一致性分析

Table 2 Subjective evaluation scores and consistency analysis of VR with different reconstruction algorithms by two radiologists

项目	组别	医师 A/例			医师 B/例			评分/%			一致性分析	
		3 分	2 分	1 分	3 分	2 分	1 分	3 分	2 分	1 分	Kappa	P
图像质量评分	VR_Standard 组	95	33	7	83	41	11	65.93	27.41	6.67	0.652	<0.001
	VR_Sharp 组	121	14	0	119	14	2	88.89	10.37	0.74	0.628	<0.001
	VR_Bone 组	96	36	3	94	28	13	70.37	23.70	5.93	0.637	<0.001
鼻骨孔显示评分	VR_Standard 组	61	62	12	60	56	19	44.81	43.70	11.48	0.751	<0.001
	VR_Sharp 组	83	51	1	91	39	5	64.44	33.33	2.22	0.767	<0.001
	VR_Bone 组	95	33	7	99	28	8	71.85	22.59	5.56	0.645	<0.001

VR_Standard、VR_Sharp 和 VR_Bone 组在图像质量评分中三者总体比较有统计学差异。VR_Standard 组在图像质量评分中，3 分、2 分、1 分的占比分别为 65.93%、27.41% 和 6.67%；VR_Sharp 组在质量评分中，3 分、2 分、1 分的占比分别为 88.89%、10.37% 和 0.74%；VR_Bone 组在质量评分中，3 分、2 分、1 分的占比分别为 70.37%、23.70% 和 5.93%。VR_Sharp 组质量评分为 3 分的占比显著高于 VR_Standard 组和 VR_Bone 组，但 VR_Standard 组和 VR_Bone 组之间评分无统计学差异。

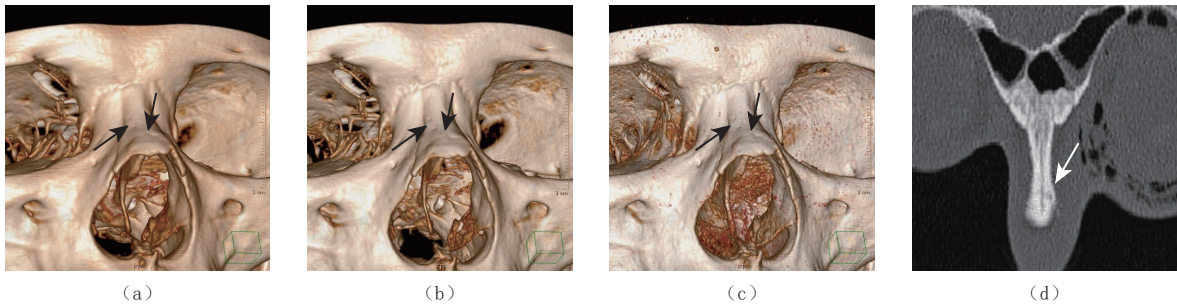
对于鼻骨孔的显示, VR_Standard, VR_Sharp 和 VR_Bone 三组总体比较有统计学差异。VR_Standard 组在鼻骨孔显示的评分中, 3 分、2 分、1 分的占比分别为 44.81%、43.70%、11.48%; VR_Sharp 组在质量评分中, 3 分、2 分、1 分的占比分别为 64.44%、33.33%、2.22%; VR_Bone 组在质量评分中, 3 分、2 分、1 分的占比分别为 71.85%、22.59%、5.56%。VR_Sharp 组和 VR_Bone 组鼻骨孔显示评分为 3 分的占比显著高于 VR_Standard 组, 但 VR_Sharp 组和 VR_Bone 组之间评分无统计学差异。

2.2.2 基于不同重建算法的 VR 对鼻区线性骨折的诊断效能

医师基于 VR_Standard, VR_Sharp 和 VR_Bone 对鼻区线性骨折的诊断效能如表 3, 图 5~图 7 所示。VR_Sharp 组和 VR_Bone 组的敏感度高于 VR_Standard 组, 并且 VR_Bone 组的特异度最低。在准确率方面, VR_Sharp 组的准确率最高。两名医师对鼻区线性骨折的诊断效能在 3 组中总体比较均有统计学差异。VR_Sharp 组的诊断效能高于 VR_Standard 组, 但 VR_Sharp 组与 VR_Bone 组, VR_Bone 组与 VR_Standard 组诊断效能之间并无统计学差异。

表 3 医师在 VR_Standard、VR_Sharp、VR_Bone 中对鼻区骨折的诊断效能比较
Table 3 Comparison of diagnostic efficacy for linear fractures in the nasal region between two radiologists in VR_Standard, VR_Sharp, and VR_Bone

医师	效能指标	VR_Standard	VR_Sharp	VR_Bone	三者总体 差异 <i>P</i>	VR_Standard vs VR_Sharp 差异校正 <i>P</i>	VR_Standard vs VR_Bone 差异校正 <i>P</i>	VR_Sharp vs VR_Bone 差异校正 <i>P</i>
医师 A	敏感度	0.84 (84/100)	0.92 (92/100)	0.92 (92/100)	0.039	0.043	1.000	0.199
	特异度	0.83 (29/35)	0.86 (30/35)	0.69 (24/35)				
	准确率	0.84 (113/135)	0.90 (122/135)	0.85 (116/135)				
医师 B	敏感度	0.85 (85/100)	0.95 (95/100)	0.95 (95/100)	0.034	0.028	0.447	0.745
	特异度	0.80 (28/35)	0.77 (27/35)	0.66 (23/35)				
	准确率	0.84 (113/135)	0.90 (122/135)	0.87 (118/135)				



注: 男, 47 岁, 双侧鼻骨横行骨折。VR_Standard (a), VR_Sharp (b), VR_Bone (c) 对鼻骨孔及线性骨折的显示, VR_Bone (c) 对鼻骨孔及骨折线显示最好(黑箭), 但受噪声影响, 冠状面 (d) 可见横行骨折线(白箭)。

图 5 基于 Standard、Sharp 和 Bone 重建算法的 VR 对横行骨折的显示情况

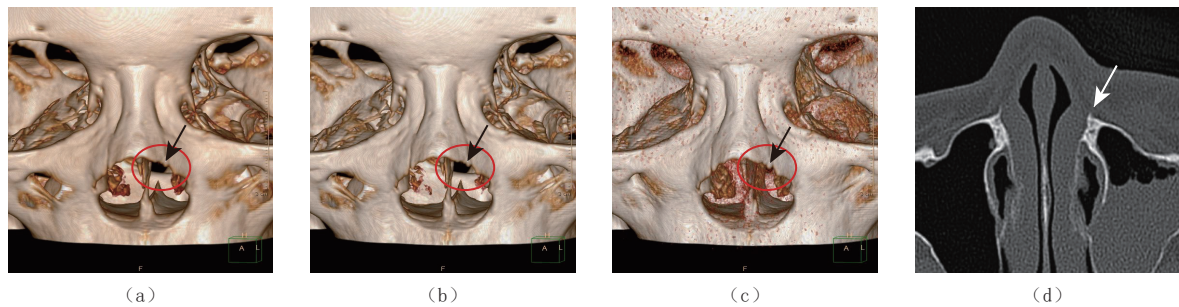
Fig.5 Display of transverse fractures by VR based on standard, sharp and bone reconstruction algorithms

3 讨论

鼻区线性骨折因仅见透亮线而断端无明显成角移位, 在影像诊断中最易漏诊。VR 是影像科最常用的 3D 重建技术, 它既可以显示横行骨折线减少其漏诊, 也可以提高对血管沟的辨别能力, 减少与线性骨折的混淆^[13]。目前临床 MPR 重组多使用基于高分辨算法重建的薄层图像, 而 VR 重组多使用基于低分辨算法重建的薄层图像^[6]。

本研究所使用的 Bone 算法为高分辨重建算法, 相对于 Bone 算法, Standard 算法为低分辨重建算法, Sharp 算法则介于 Bone 算法和 Standard 算法之间。低分辨重建算法在降低噪声、平滑图像的

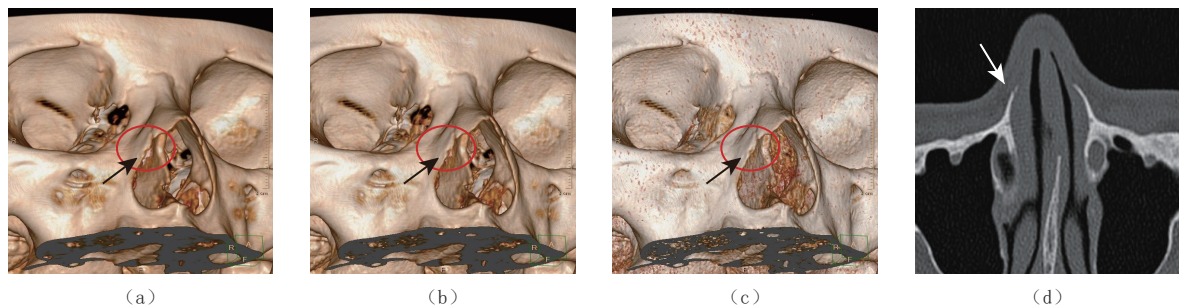
同时丢失了解剖细节,对结构细微的骨折线的观察增加了难度,而高分辨重建算法在提高空间分辨力的同时会提高噪声点之间的差异,使噪声结构趋于锐利,进而使重建的 VR 受到较大的噪声影响^[14-15]。



注:女,57岁,无骨折。VR_Standard (a), VR_Sharp (b) 诊断无骨折, VR_Bone (c) 将左侧上颌骨额突处(黑箭)误认为线性骨折,假阳性,横断面(d)显示无骨折发生(白箭)。

图 6 基于 Bone 重建算法的 VR 在诊断鼻区线性骨折中容易出现假阳性

Fig.6 VR based on Bone reconstruction algorithm is prone to false positives in the diagnosis of linear fractures in the nasal region



注:女,41岁,右侧上颌骨额突骨折。VR_Standard (a), VR_Sharp (b), VR_Bone (c) 对鼻区线性骨折的显示, VR_Standard (a) 易将右侧上颌骨额突处(黑箭)线性骨折漏掉,假阴性,横断面(d)可见骨折断端(白箭)。

图 7 基于 Standard 重建算法的 VR 在诊断鼻区线性骨折中容易出现假阴性

Fig.7 VR based on the Standard reconstruction algorithm is prone to false negatives in the diagnosis of linear fractures in the nasal region

对于鼻区线性骨折,高的空间分辨力和少的噪声量有助于鉴别诊断,既往研究常采用 MTF 及 CNR 对图像质量进行评价,缺少综合评价参数。因此,本研究通过使用基于任务的图像质量评价参数(NPS, TTF, d')综合评价基于 Standard、Sharp 和 Bone 重建算法的模体 CT 图像,来模拟分辨鼻区线性骨折的能力,并进一步通过诊断医师的主观评价来比较 VR 在诊断鼻区线性骨折的差异,以寻求一种最佳的算法提高对鼻区线性骨折的诊断效能。

重建算法影响 CT 图像的空间分辨力,本研究使用模体特氟龙材料的内插物来模拟高对比下图像的空间分辨力,发现 Standard 重建算法的 $TTF_{50\%}$ 低于 Sharp 和 Bone 重建算法,提示 Standard 重建算法的空间分辨力较低。由于 VR_Standard 在显示鼻骨孔的效果低于 VR_Sharp 和 VR_Bone,因此 Standard 重建算法较低的空间分辨力可能会影响细微骨折线的显示。

CT 图像的噪声也会受到重建算法的影响,较平滑的算法会提高像素点之间的相关性,平滑噪声结构,而越锐利的算法会降低像素点之间的相关性,提高噪声频率,锐化噪声结构^[14]。本研究使用 NPS 评估了噪声的幅度和频率,发现 Bone 重建算法相比 Standard 和 Sharp 重建算法具有高的噪声幅度且噪声平均频率偏向于高频段,提示 Bone 重建算法提高了噪声频率,引入了大量的噪声。VR_Bone 虽然在显示鼻骨孔时与 VR_Sharp 具有等效性,但由于噪声的存在影响了对细微骨折线的观察,进而导致 VR_Bone 的图像质量评分低于 VR_Sharp。

为对空间分辨力和图像噪声进行综合评价,本研究模拟计算了 3 个待检测目标直径下的 d' 值。

由于本研究采用了 0.8mm 的重建层厚, 且常规进行层厚为 2mm 的横断面重组及层厚为 1.0mm 的冠状面重组, 为此将待检测目标直径分别设定为 1.0、1.5 和 2.0mm 以研究不同重建算法在不同待检测目标直径下的分辨能力 d' 值。本研究发现在不同的待检测目标直径下, Bone 重建算法的 d' 值最低, 这或许与 Bone 重建算法引入了非常大的噪声, 致使噪声提高的影响远大于空间分辨力提高的效果有关。

在待检测目标直径为 1.0mm 时, Sharp 重建算法的分辨能力最高, 当大于 1.0mm 时, Standard 重建算法的分辨能力最高, 并且随着待检测目标直径的增大, Standard 重建算法的分辨能力与 Sharp 重建算法之间的差异越大。这或许与空间分辨力和图像噪声的影响的尺度有关, 当目标直径较小时, 主要依靠图像的空间分辨力, 所以具有较高空间分辨力的 Sharp 重建算法的 d' 值高于 Standard 重建算法; 当目标直径较大时, 往往通过肉眼即可观察到, 更加需要较低的噪声水准来清晰显示待检测目标。 d' 值作为评估空间分辨力和图像噪声的综合指标, 随着目标直径的增大, 对空间分辨力的需求越来越低, 受噪声影响的比重逐渐加大。因此, 对于结构细微的线性骨折, Sharp 重建算法是最佳的选择。

为寻求一种最佳的算法提高对鼻区线性骨折的诊断效能, 本研究进一步通过诊断医师的主观评价来比较 VR 在诊断鼻区线性骨折的差异。由于 VR 对解剖变异认识不足, 对于诊断鼻区线性骨折, 往往需要联合 MPR 图像去观察鼻区血管沟的分布、皮下软组织及粘膜进行综合判断^[13]。本研究仅对基于不同重建算法的 VR 进行主观评价, 因此导致较多假阳性及假阴性的出现。

本研究发现 VR_Standard 组假阴性病例较多, 导致敏感度较低, 这可能与 VR_Standard 较为细腻平滑, 丢失部分解剖细节有关。VR_Bone 组特异度较低, 较多的假阳性病例可能与 VR_Bone 过于锐利且噪声过大, 易将血管沟等误认为线性骨折有关。VR_Sharp 组在满足较高的空间分辨力的同时具有低的噪声水平, 对鼻骨孔的显示好, 且鉴别鼻区线性骨折的准确率高。

综上所述, VR_Sharp 相较于 VR_Standard 和 VR_Bone 对鼻区线性骨折的诊断效能高。目前, 临床中常采用骨重建算法的 MPR 图像联合 VR_Standard 诊断鼻区骨折, 但针对鼻区线性骨折, VR_Sharp 较 VR_Standard 更有优势, VR_Sharp 可以更加真实的显示鼻区细微结构, 更好地发挥 VR 在诊断鼻区线性骨折中的辅助价值。

本研究不足之处: ① 本研究仅考虑了重建算法对诊断鼻区线性骨折的差异, 未进一步研究管电流等其他参数的影响; ② 本研究中的重建算法基于飞利浦品牌 CT, 其他品牌 CT 的重建算法选择可基于本研究算法进行调整, 并加以研究以确认最佳算法; ③ 本研究在测量基于任务的图像质量评价参数时, 仅对模体图像的 20 个连续层面进行测量, 为避免机器误差及模体摆放误差等因素, 后续应间隔一定时间分批采集数据以提高客观评价结果的准确性。

参考文献

- [1] DAVARI R, PIRZADEH A, SATTARI F. Etiology and epidemiology of nasal bone fractures in patients referred to the otorhinolaryngology section, 2019[J]. *International Archives of Otorhinolaryngology*, 2023, 27(2): e234-e239. DOI:10.1055/s-0043-1768208.
- [2] ZHANG P, ZHAO J, ZANG M, et al. Etiology of nasal bone fracture: A retrospective analysis of 1441 patients in China[J]. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 2022, 33(4): 1185-1189. DOI:10.1097/SCS.00000000000008479.
- [3] CHUKWULEBE S, HOGREFE C. The diagnosis and management of facial bone fractures[J]. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 2019, 37(1): 137-151. DOI:10.1016/j.emc.2018.09.012.
- [4] LANDEEN KC, KIMURA K, STEPHAN S J. Nasal fractures[J]. *Facial Plastic Surgery Clinics of North America*, 2022, 30(1): 23-30. DOI:10.1016/j.fsc.2021.08.002.
- [5] LI L F, ZANG H R, HAN D M, et al. Nasal bone fractures: Analysis of 1193 cases with an emphasis on coincident adjacent fractures[J]. *Facial Plastic Surgery & Aesthetic Medicine*, 2020, 22(4): 249-254. DOI:10.1089/fpsam.2020.0026.
- [6] 陶建华, 曲晓霞, 康天良, 等. 容积再现成像在鼻区线性骨折中的诊断效能[J]. *实用放射学杂志*, 2022, 38(8): 1233-1237. DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2022.08.004.

- TAO J H, QU X X, KANG T L, et al. Diagnostic efficacy of volume rendering imaging in assisting detection of linear fracture of nasal bone area[J]. *Journal of Practical Radiology*, 2022, 38(8): 1233-1237. DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2022.08.004. (in Chinese).
- [7] 汪茂文, 檀思蕾, 刘霞, 等. 鼻区骨折 MSCT 图像后处理显示与诊断探讨[J]. *中国司法鉴定*, 2017, (6): 56-60. DOI:10.3969/j.issn.1671-2072.2017.06.009.
- WANG M W, TAN S L, LIU X, et al. Post processing of MSCT Images in forensic examination of nasal and paranasal bone fracture[J]. *Chinese Journal of Forensic Sciences*, 2017, (6): 56-60. DOI:10.3969/j.issn.1671-2072.2017.06.009. (in Chinese).
- [8] SANDEEP R B, NAIK D, KENKERE D. Role of multidetector computed tomography in the evaluation of maxillofacial trauma[J]. *Cureus*, 2023, 15(2): e35008. DOI:10.7759/cureus.35008.
- [9] SAMEI E, BAKALYAR D, BOEDEKER K L, et al. Performance evaluation of computed tomography systems: Summary of AAPM task group 233[J]. *Medical Physics*, 2019, 46(11): e735-e756. DOI:10.1002/mp.13763.
- [10] 曾令明, 邓涵, 吕琴, 等. 偏离等中心点对 CT 图像质量影响的体模研究[J]. *中华放射学杂志*, 2022, 56(11): 1237-1241. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20220710-00596.
- ZENG L M, DENG H, LV Q, et al. A phantom study of the effect of deviation from isocentric points on CT image quality[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2022, 56(11): 1237-1241. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20220710-00596. (in Chinese).
- [11] GREFFIER J, FRANDON J, LARBI A, et al. CT iterative reconstruction algorithms: A task-based image quality assessment[J]. *European Radiology*, 2020, 30(1): 487-500. DOI:10.1007/s00330-019-06359-6.
- [12] 杨政君, 张昂, 陈勇, 等. 辐射剂量和管电压对 CT 图像质量的影响: 基于任务的图像质量评价[J]. *CT 理论与应用研究*, 2022, 31(2): 211-217. DOI:10.15953/j.ctta.2021.060.
- YANG Z J, ZHANG A, CHEN Y, et al. The effect of radiation dose and tube potential on image quality of CT: A task-based image quality assessment[J]. *CT Theory and Applications*, 2022, 31(2): 211-217. DOI:10.15953/j.ctta.2021.060. (in Chinese).
- [13] 陶建华, 曲晓霞, 张怀宇, 等. 成人鼻骨末端、鼻骨孔、鼻骨其他孔及咬合缝间骨型鼻颌缝的多层螺旋 CT 影像特征: 附 1600 例分析[J]. *中华解剖与临床杂志*, 2022, 27(1): 1-7. DOI:10.3760/cma.j.cn101202-20210428-00118.
- TAO J H, QU X X, ZHANG H Y, et al. Multi-slice spiral computed tomography of the morphology of the nasal bone end, foramen of nasal bone, accessory foramen of nasal bone, and nasomaxillary suture in 1600 cases[J]. *Chinese Journal of Anatomy and Clinics*, 2022, 27(1): 1-7. DOI:10.3760/cma.j.cn101202-20210428-00118. (in Chinese).
- [14] 原媛, 卢东生, 钟朝辉. 基于噪声功率谱的不同重建类型 CT 图像噪声分析[J]. *中国医学装备*, 2017, 14(4): 32-35. DOI:10.3969/J.ISSN.1672-8270.2017.04.007.
- YUAN Y, LU D S, ZHONG Z H. The noise analysis of CT imaging based on noise power spectrum of different reconstruction type[J]. *China Medical Equipment*, 2017, 14(4): 32-35. DOI:10.3969/J.ISSN.1672-8270.2017.04.007. (in Chinese).
- [15] 余晓锬, 高海英, 蔡凡伟, 等. 基于噪声功率谱的 CT 图像噪声评价[J]. *中国医学影像技术*, 2014, 30(8): 1243-1246. DOI:10.13929/j.1003-3289.2014.08.035.
- YU X E, GAO H Y, CAI F W, et al. Noise power spectrum-based evaluation of CT image noise[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2014, 30(8): 1243-1246. DOI:10.13929/j.1003-3289.2014.08.035. (in Chinese).

Differences in Volume Rendering Imaging Based on Different Algorithms in Assisting Detection of Linear Fracture of Nasal Bone Area

LU Xinliang, TAO Jianhua, MA Wentao, KANG Tianliang,
LIU Dandan, ZHANG Yongxian, NIU Yantao, LIU Yunfu[✉]

Department of Radiology, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing 100730, China

Abstract: Objective: To explore the optimal reconstruction algorithm for volume rendering imaging (VR), improving the diagnostic efficacy of linear fractures of nasal bone area. Methods: Adult CT images of the nasal bone from August 2022 to August 2023 were retrospectively included, and 100 patients with linear fracture and 35 patients without fracture in the nasal region were randomly selected and underwent post-processing of VR with Smooth, Standard, Sharp, and Bone algorithms, respectively. Two radiologists scored the VR with and without fracture, the display of the nasal foramen, and the image quality in a double-blind method. The CT phantom was used for measuring the noise power spectrum (NPS), task transfer function (TTF) and detectability index (d') of the CT images of different reconstruction algorithms using the same scanning protocol. Results: The diagnostic efficacy for linear nasal fractures varied between VR_Standard, VR_Sharp, and VR_Bone, with higher scores for the display of the nasal foramen in VR_Sharp than in VR_Standard and higher image quality scores in VR_Sharp than in VR_Standard and VR_Bone. As the sharpness of the reconstruction algorithm increased, the amount of noise and spatial resolution gradually increased. The NPS_{peak} and $TTF_{50\%}$ for the Standard, Sharp, and Bone groups were $(225.85 \text{ HU}^2 \cdot \text{mm}^2, 0.42)$, $(416.67 \text{ HU}^2 \cdot \text{mm}^2, 0.53)$, and $(1888.20 \text{ HU}^2 \cdot \text{mm}^2, 0.8)$, respectively. The Sharp group had the highest d' value when the diameter of the target to be measured was 1 mm. Conclusion: VR_Sharp has the best diagnostic efficacy for linear fractures in the nasal region, which better utilizes the value of VR in aiding diagnosis.

Keywords: tomography; nasal bone; linear fracture; volume rendering (VR)



作者简介: 鲁新亮, 男, 医学硕士, 首都医科大学附属北京同仁医院技师, 主要从事头颈部 CT 质量控制和图像后处理方面的研究, E-mail: xinliang_lu@163.com; 刘云福[✉], 男, 首都医科大学附属北京同仁医院副主任技师, 主要从事头颈部 CT、MRI 扫描和图像后处理, E-mail: bzliuyf@163.com。