

论 著

CBCT辅助超声骨刀用于下颌水平位阻生牙微创拔牙对手术时间、术后恢复及并发症的影响

王 慧 郭婧芳 王彦帝
黄晓峰*
首都医科大学附属北京友谊医院口腔科
(北京 100050)

【摘要】目的 探究锥形束CT(CBCT)辅助超声骨刀用于下颌水平位阻生牙微创拔牙对手术时间、术后恢复及并发症的影响。方法 参照随机数字表法将2023年4月至2024年5月于本院行下颌水平位阻生牙拔除术患者90例划分为对照组与观察组，各45例。对照组行常规X线辅助微动力系统治疗，观察组行CBCT辅助超声骨刀治疗，比较两组围术期指标、术后恢复情况[口腔健康影响程度量表(OHIP-14)评分]、血清炎症因子水平[肿瘤坏死因子-α(TNF-α)、白细胞介素-1β(IL-1β)与抗牙龈卟啉菌抗体(PgIgG)]和术后并发症发生情况。结果 与对照组比较，观察组的手术时间明显缩短($P<0.05$)，术中出血量减少($P<0.05$)，术后张口度较大($P<0.05$)，术后7 d OHIP-14各方面评分及总分均较低($P<0.05$)。与对照组比较，观察组术后3 d血清TNF-α、IL-1β及PgIgG水平均较低($P<0.05$)。两组术后并发症的发生情况对比无统计学差异($P>0.05$)。结论 CBCT辅助超声骨刀用于下颌水平位阻生牙微创拔牙可有效缩短手术时间，减少失血量，减轻机体炎症反应，改善患者术后恢复效果，且术后并发症少。

【关键词】锥形束CT；超声骨刀；微创拔牙术；
下颌水平位阻生牙
【中图分类号】R781.2
【文献标识码】A
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.08.009

Effects of Minimally Invasive Extraction with CBCT-assisted Piezosurgery on Operation Time, Postoperative Recovery and Complications in Mandibular Horizontal Impacted Teeth

WANG Hui, GUO Jing-fang, WANG Yan-di, HUANG Xiao-feng*.
Department of Stomatology, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

ABSTRACT
Objective To explore the effects of minimally invasive extraction with cone beam CT (CBCT)-assisted piezosurgery on operation time, postoperative recovery and complications in mandibular horizontal impacted teeth. **Methods** According to random number table method, 90 patients undergoing extraction of mandibular horizontal impacted teeth in the hospital were divided into control group and observation group between April 2023 and May 2024, 45 cases in each group. The control group was treated with routine X-ray assisted piezosurgery, while observation group was treated with CBCT-assisted piezosurgery. The perioperative indexes, postoperative recovery [oral health impact profile-14 (OHIP-14)], levels of serum inflammatory factors [tumor necrosis factor-α (TNF-α), interleukin-1β (IL-1β), anti-P.gingivalis antibody (PgIgG)] and occurrence of postoperative complications were compared between the two groups. **Results** Compared with control group, operation time was significantly shorter in observation group ($P<0.05$), intraoperative blood loss was less ($P<0.05$), postoperative mouth opening was larger ($P<0.05$), scores and total score of OHIP-14 were lower at 7d after surgery ($P<0.05$). Compared with control group, levels of serum TNF-α, IL-1β and PgIgG were lower in observation group at 3d after surgery ($P<0.05$). There was no significant difference in the occurrence of postoperative complications between the two groups ($P>0.05$). **Conclusion** Minimally invasive extraction with CBCT-assisted piezosurgery can effectively shorten operation time, reduce blood loss, alleviate inflammatory response and improve postoperative recovery effect in mandibular horizontal impacted teeth, with few postoperative complications.
Keywords: Cone Beam CT; Piezosurgery; Minimally Invasive Extraction; Mandibular Horizontal Impacted Tooth

阻生牙在口腔科疾病中较为常见，通常是指受口腔内软、硬组织或邻牙存在障碍的影响无法正常萌出或仅部分萌出的牙齿，主要产生于下颌第三磨牙，可引发冠周炎、邻牙龋坏、干槽症等多种并发症，严重影响患者的身体健康和生活质量^[1-2]。临床上主要通过拔除阻生牙缓解患者病情。目前，以超声骨刀为代表的微创拔牙术在临床上应用广泛，具有创伤小、切割位置精准、手术时间短等优势^[3]。为快速完整的拔除阻生牙，术前的影像学检查十分关键。常规X线检查是临床观察和定位病变牙齿的主要影像学手段，尽管该方法能满足一般的手术需求，但是由于其无法对患者阻生牙及其周围部位的情况进行立体成像，阻生牙的准确定位仍然存在一定的困难，导致手术仍然具有较高的操作难度和风险^[4]。锥形束CT(cone beam computed tomography, CBCT)是近年来逐渐发展和普及起来的一种影像学技术，研究表明该方法能对人体口腔内部结构进行三维成像，可用于辅助口腔科疾病的诊断和治疗^[5]。然而，运用CBCT辅助超声骨刀实施下颌水平位阻生牙微创拔牙的临床效果尚未明确。基于此，本研究探究CBCT辅助超声骨刀用于下颌水平位阻生牙微创拔牙对手术时间、术后恢复及并发症的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 研究时间为2023年4月至2024年5月，参照随机数字表法将本院行下颌水平位阻生牙拔除术患者90例划分成对照组和观察组，各45例。对照组男24例，女21例；年龄18~60岁，平均(40.86±6.92)岁；病程7~35 d，平均(21.15±3.68)d；患牙位置：左侧28颗，右侧24颗。观察组男18例，女27例；年龄19~62岁，平均(42.52±7.08)岁；病程5~36 d，平均(22.17±3.85)d；患牙位置：左侧20颗，右侧29颗。两组患者的基本资料相比较无明显差别($P>0.05$)，作为研究对象符合科学规范。

纳入标准：术前经影像学检查确认存在下颌水平位阻生牙且需要手术拔除者；符合微创拔牙术相关要求者；术后可正常张口者；影像学图像清晰者；自愿参与本研究，且在知情同意书上署名者。排除标准：合并恶性肿瘤、骨代谢及其他类别口腔疾病者；存在心脏、肝脏、肾脏等重大器官功能障碍者；合并自身免疫系统疾病或血液系统疾病者；接受过正畸治疗者；存在颌面部外伤或手术史者；合并下颌骨骨折者。

1.2 方法 所有患者术前均接受常规口腔检查，拍摄断层片，对阻生牙位置进行确认，观察其周边组织的位置分布情况。对照组使用常规X线对下颌水平位阻生牙进行影像拍摄，

【第一作者】王 慧，女，住院医师，主要研究方向：牙槽外科，口腔种植等。E-mail: wanghuizi13@126.com
【通讯作者】黄晓峰，男，主任医师，主要研究方向：口腔正畸，牙槽外科等。E-mail: huangxf1998@163.com

通过图片信息分析其阻生牙位置指标与应力；观察组应用CBCT仪器对下颌水平位阻生牙实施全方位多角度摄影，通过相关软件读取检测指标并实施三维重建，从水平位、矢状位和冠状位等多个角度仔细观察和分析阻生牙的准确位置、朝向、大小、数量及其牙根与周围重要组织或结构的位置关系等具体情况，重点关注阻生牙牙根与下颌神经管及邻近牙齿的位置关系，并据此制定出涵盖最佳切口位置、切口大小及拔牙方向等内容的手术方案。

微创拔牙具体方法：(1)术前使用2%盐酸利多卡因注射液实施下牙槽神经阻滞麻醉，同时配合4%阿替卡因肾上腺素实施浸润麻醉；(2)实施口腔清洁消毒，随后应用常规方法切口翻瓣，使牙体与周围骨组织完全显露出来；(3)利用超声骨刀切除患者阻生牙周围牙槽骨，并选用齿科微动力系统与长裂钻除去牙体表层的骨组织，使牙冠与牙根分离；(4)使用微创器械将分离的牙冠从牙窝取出，充分清理牙冠碎屑，对牙槽骨进行准确复位并对创口进行缝合，让患者咬住棉花进行压迫止血，随后服用止痛药物。告知患者术后一周入院复查和拆线。

1.3 观察指标 (1)围术期指标：观察记录两组手术时间、术中出血量及术后7 d的张口度等围术期指标。利用卡钳测量患者的张口度，测量时以患者最大张口时上下中切牙间距为准，距离越大表明其张口受限程度越轻^[6]。(2)术后恢复情况。术后7 d运用口腔健康影响程度量表(oral health impact profile-14, OHIP-14)评估患者的术后恢复情况，量表内容分为4个方面共14个条目，每个条目计为0~4分，满分为56分，得分越高表明患者口腔健康相关生活质量越差，即术后恢复情况越差^[7]。(3)血清炎症因子水平。于术前和术后3 d分别抽取两组牙槽窝血液1 mL左右，按照3500 r/min的转速离心10 min，小心收集上清液，随后应用ELISA法分别测定血清中肿瘤坏死因子-α(tumor necrosis factor alpha, TNF-α)、白细胞介素-1β(interleukin-1 beta, IL-1β)与抗牙龈卟啉菌抗体(anti-P. gingivalis antibody, PglgG)水平。(4)术后并发症发生情况。观察记录两组术后出现邻牙损伤、牙根撕裂、间隙感染、舌侧骨板骨折等并发症的具体情况。

1.4 统计学方法 利用SPSS 22.0统计分析软件开展数据分析，其中围术期指标、术后恢复情况和血清炎症因子水平等计量数据以均值±标准差($\bar{x} \pm s$)来表示，组间对比行独立样本t检验，组内对比运用配对t检验；术后并发症发生情况等计数数据以例(%)标示，行 χ^2 检验，检验标准为 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 两组围术期指标对比 与对照组比较，观察组的手术时间明显缩短($P<0.05$)，术中出血量减少($P<0.05$)，术后张口度较大($P<0.05$)，见表1。

2.2 两组术后恢复情况对比 术前，两组在OHIP-14中多个方面的评分及总分对比均无明显差异($P>0.05$)；与对照组比较，观察组术后7 d在OHIP-14中4个方面的评分及总分均较低($P<0.05$)。见表2。

2.3 两组血清炎症因子水平对比 两组术前血清炎症因子TNF-α、IL-1β及PglgG水平对比均无明显差异($P>0.05$)；术后3 d两组血清上述指标水平均明显增加，但与对照组比较，观察组术后3 d血清上述指标水平均较低($P<0.05$)。见表3。

2.4 两组术后并发症发生情况对比 两组术后出现邻牙损伤、牙根撕裂、间隙感染及舌侧骨板骨折等不同并发症的情况对比无统计学差异($P>0.05$ ，表4)。

2.5 典型病例 患者龚某，男，27岁，因近一年内左下智齿反复出现肿痛就诊，查体可见38近中倾斜，部分萌出，远中大量龈瓣覆盖，牙冠紧邻37远中颈部下方，无松动，牙龈轻度红肿。CBCT图像显示：38近中倾斜水平位阻生(图1A)；双根，两根分叉区可见骨板间隔，近根根尖较弯曲(图1B)；根尖紧邻下颌神经管，下颌神经管粗大，边界不规则(图1C)；舌侧骨板厚度不足1 mm(图1D)。鉴于患者阻生牙位置特殊，实施微创拔牙术时尽可能避让下颌神经管，小心分离牙冠并朝向舌侧将牙根拔除。手术顺利开展，术后提供常规药物治疗，一周后复查无张口受限，口腔未发生感染，未发生明显并发症。

表1 两组围术期指标对比

组别	手术时间(min)	术中出血量(mL)	术后7 d张口度(mm)
观察组(n=45)	18.35±3.26	3.78±0.51	22.87±3.25
对照组(n=45)	26.12±4.81	5.27±0.93	21.18±3.06
t	8.970	9.424	2.540
P	0.000	0.000	0.013

表2 两组术后恢复情况对比(分)

组别	时间	观察组(n=45)	对照组(n=45)	t	P
口腔疼痛与不适	术前	4.83±0.72	4.61±0.66	1.511	0.134
	术后7d	3.13±0.51 ^a	3.86±0.58 ^a	6.341	0.000
心理不适	术前	4.71±0.68	4.58±0.64	0.934	0.353
	术后7d	3.08±0.47 ^a	3.62±0.56 ^a	4.955	0.000
身体机能不适	术前	3.44±0.53	3.57±0.55	1.142	0.257
	术后7d	2.28±0.32 ^a	2.89±0.37 ^a	8.365	0.000
独立能力减弱	术前	3.17±0.51	3.06±0.46	1.074	0.286
	术后7d	1.93±0.15 ^a	2.41±0.35 ^a	8.456	0.000
总分	术前	16.15±2.87	15.82±2.69	0.563	0.575
	术后7d	10.42±1.83 ^a	12.78±2.19 ^a	5.547	0.000

注：与同组术前对比，^a $P<0.05$ 。

表4 两组术后并发症发生情况对比[例(%)]

组别	邻牙损伤	牙根撕裂	间隙感染	舌侧骨板骨折	总发生率
观察组(n=45)	0(0.00)	0(0.00)	1(2.22)	0(0.00)	1(2.22)
对照组(n=45)	0(0.00)	1(2.22)	1(2.22)	1(2.22)	3(6.67)
χ^2					1.046
P					0.306

表3 两组血清炎症因子水平对比

组别	TNF-α(μg/L)		IL-1β(μg/L)		PglgG(ng/mL)	
	术前	术后3d	术前	术后3d	术前	术后3d
观察组(n=45)	2.73±0.46	7.86±1.45 ^a	2.12±0.35	6.23±1.16 ^a	0.27±0.05	0.76±0.13 ^a
对照组(n=45)	2.59±0.42	8.65±1.63 ^a	2.03±0.32	7.71±1.42 ^a	0.26±0.04	0.85±0.15 ^a
t	1.508	2.429	1.273	5.415	1.048	3.042
P	0.135	0.017	0.206	0.000	0.298	0.003

注：与同组治疗前对比，^a $P<0.05$ 。

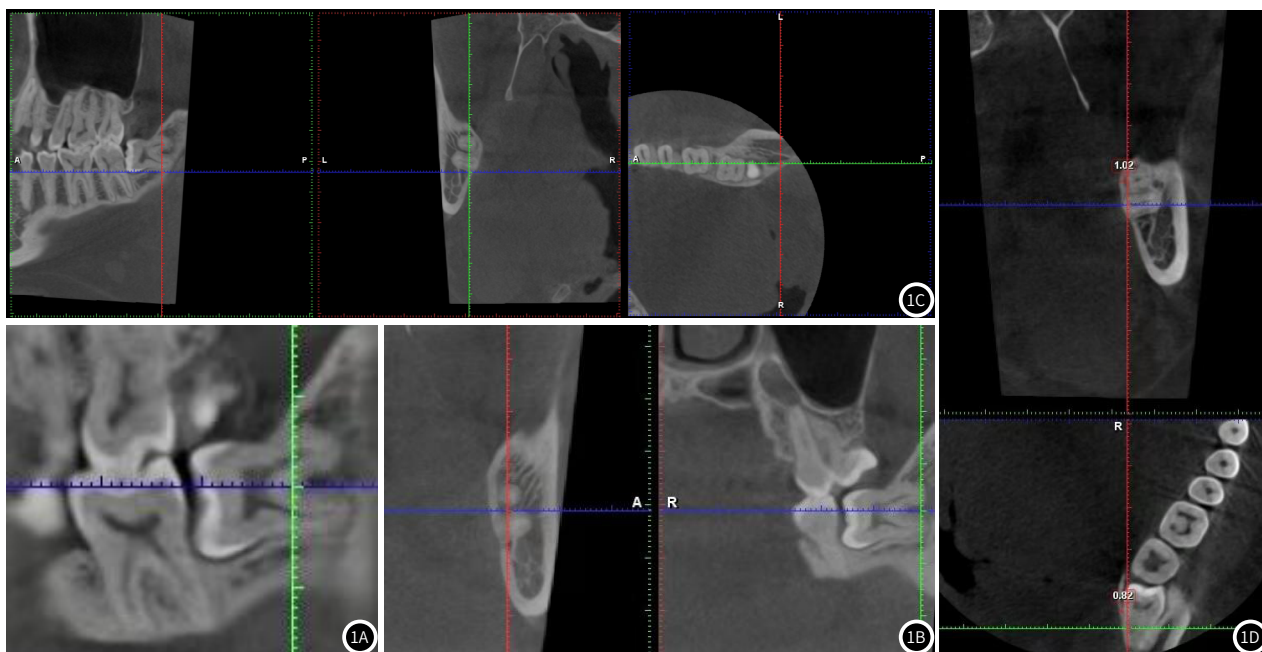


图1A-图1D 下颌位阻生牙CBCT图像。1A: 38近中倾斜水平阻生; 1B: 双牙根之间可见骨质间隔; 1C: 根尖紧邻下颌神经; 1D: 舌侧骨板厚度不足1mm。

3 讨论

阻生牙可由多种因素引起,包括遗传、乳牙发育异常、颌骨退化等,该病在成年人群中较为常见^[8]。下颌水平位阻生牙由于与下颌神经管相邻,加之牙齿生长方向特殊,与垂直阻生牙对比拔除难度较大^[9]。为尽可能减轻患者的痛苦,术前需通过影像学手段获取阻生牙的清晰图像,从而明确阻生牙的位置及其与周围组织的位置关系。研究表明,CBCT可获得高分辨率的图像,准确呈现出病变部位的位置、大小及其周围组织的空间分布情况,在研究下颌阻生牙与其周围组织的解剖关系方面应用广泛^[10]。

本研究结果显示,与对照组比较,观察组的手术时间明显缩短,患者失血量减少,术后张口度较大,且术后7d OHIP-14各方面评分及总分均较低,表明CBCT辅助超声骨刀用于下颌水平位阻生牙微创拔牙可有效缩短手术时间,减少失血量,减轻患者的痛苦,改善其术后恢复效果。分析原因,CBCT是参考人体口腔颌面部特征进行设计和制造的主要应用于口腔科疾病诊断的影像学仪器,与常规X线检查相比扫描方向和扫描范围更加灵活,可获得更加清晰、细致的口腔内部图像^[11],帮助医师更加准确迅速地定位病灶区域,进而促使手术操作更加精准、高效,从而缩短手术时间;同时通过精准定位可有效减少手术器械对病灶周围组织的损伤,缩小手术创口,进而减少患者口腔出血量,减轻术后口腔的肿胀程度,从而促进创口的愈合,改善患者口腔恢复效果。王景涛^[12]分析了CBCT介导下超声骨刀配合微创拔牙术拔除下颌阻生牙的临床疗效,结果表明该手术方案与常规X线介导的微创拔牙术对比能显著缩短手术时间,减轻患者疼痛感,佐证了本研究结果。

在实施微创拔牙的过程中,由于需要使用机械除去牙体表层骨组织并进行牙根与牙冠的分离,病灶部位的黏膜组织和骨骼难免会受到外力的切割和牵引进而受到明显的刺激,使周围组织产生炎症反应,从而大量表达和分泌炎症因子^[13]。研究显示,炎症因子能直接或间接地参与牙槽骨的修复重建,其水平对于拔牙后骨骼的快速恢复具有重要影响^[14]。TNF- α 、IL-1 β 是两种重要的

炎症因子,其中TNF- α 主要由活化的巨噬细胞和单核细胞合成和分泌,可参与机体炎症的发生发展,在机体内还能刺激破骨细胞的增殖和分化,进而破坏骨组织,抑制骨骼的生成,阻碍骨骼的修复^[15-16]; IL-1 β 可诱导破骨细胞的增殖和成熟,干扰骨骼的修复,破坏牙周软组织,同时还能诱导巨噬细胞表达和释放其他炎症因子,促进炎症的发生发展^[17-18]。PglgG是反映口腔炎症严重程度的常用指标,其水平与口腔炎症反应的程度呈正相关^[19]。本研究显示,与对照组比较,观察组术后3 d牙槽窝血液中TNF- α 、IL-1 β 及PglgG水平均较低,提示CBCT辅助超声骨刀用于下颌水平位阻生牙微创拔牙可有效减轻患者口腔内部的炎症反应,这可能与CBCT介导下的手术操作显著减少了对病灶部位的刺激和对周围组织的损伤有关。此外,本研究中,两组术后出现邻牙损伤、牙根撕裂、间隙感染及舌侧骨板骨折等并发症的具体情况对比无明显差异,说明CBCT辅助超声骨刀用于下颌水平位阻生牙微创拔牙与常规X线检查介导的微创拔牙术比较未增加并发症的发生,具有一定的安全性。

综上所述,CBCT辅助超声骨刀用于下颌水平位阻生牙微创拔牙可显著缩短手术时间,减少患者术中失血量,减轻其口腔内的炎症反应,改善其术后恢复效果,且术后并发症少。

参考文献

- [1]高波.视频健康教育结合音乐疗法对下颌阻生牙拔除患者预后的影响[J].中国美容医学,2022,31(9):172-175.
- [2]范雅儒,孟庆芳,吴倩倩.影响正畸中下颌阻生第三磨牙自发性近中移动的相关因素研究[J].口腔医学研究,2023,39(9):804-809.
- [3]王兰,谢永林,周欣荣.超声骨刀微创拔牙联合医用胶原蛋白海绵在下颌阻生牙拔除中的应用效果[J].中国医药导报,2024,21(9):129-132.
- [4]张绍嘉,李燕.CBCT介导下超声骨刀联合微创拔牙术治疗下颌阻生第三磨牙患者的疗效观察[J].中国现代药物应用,2024,18(6):58-61.
- [5]郑琼琪,张练平,徐娟.基于锥形束CT的下颌阻生第三磨牙与下颌管位置关系研究[J].中国实用口腔杂志,2023,16(2):173-178.
- [6]吴瑞芳,王燕,陈亮.充气式开口训练器联合口腔功能训练操治疗张口受限患者效果

分析[J]. 皖南医学院学报, 2021, 40(2): 192-194, 201.

- [7] 刘信伶, 黄姘, 白远亮, 等. 牙周治疗对牙周炎患者口腔健康相关生活质量的影响研究[J]. 重庆医学, 2021, 50(19): 3351-3355.
- [8] 罗晶, 张乐琪, 谭蕾, 等. 多层螺旋CT曲面重建对阻生牙定位及正畸治疗的指导价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(7): 37-39.
- [9] 李晓岚. 基于CBCT结合微创拔牙在中低位阻生牙拔除中的临床应用[J]. 中国医疗器械信息, 2022, 28(23): 83-86.
- [10] 许哲欣, 崔啸尘, 房雅静, 等. 下颌阻生第三磨牙及周围解剖形态与垂直骨面型之间关系的CBCT研究[J]. 现代中西医结合杂志, 2023, 32(10): 1385-1389.
- [11] 闫弘静, 李志民, 冯婧, 等. 锥形束临床应用现状分析[J]. 口腔医学研究, 2019, 35(2): 155-158.
- [12] 王景涛. CBCT介导下超声骨刀联合微创拔牙治疗下颌阻生第三磨牙患者的疗效评价[J]. 医学理论与实践, 2022, 35(21): 3688-3690.
- [13] 王海燕, 赖道峰, 吴坤基, 等. 龈沟炎炎症因子及TSP-1在拔牙正畸患者中的表达情况及发生牙周疾病的影响因素分析[J]. 现代生物医学进展, 2024, 24(12): 2351-2355.

- [14] 朱妮曼,熊亚芳,张诚壹.拔牙窝冲洗后牙槽窝对患者血液炎症因子IL-1、IL-6、TNF- α 浓度的影响情况分析[J].河北医药,2017,39(15):2275-2277.
- [15] 苏娟娟,张文玲,朱永翠.龈沟液IL-6和TNF- α 与孕妇牙周炎严重程度的关系及机制分析[J].实用口腔医学杂志,2023,39(2):228-231.
- [16] 黄大海,王祥芸,储雯,等.IL-6对种植体周围炎大鼠牙龈组织中TNF- α 表达的影响[J].河北医药,2024,46(15):2256-2260.
- [17] 杜宇,尹华强,王菊,等.茯苓酸对牙周炎大鼠牙槽骨吸收和炎症反应的影响及机制[J].山东医药,2024,64(16):47-51.
- [18] 白秋野,李宏斌,贾鹏.牙周-正畸结合治疗对重度牙周炎患者龈沟液MMP-2、IL-1 β 及RANKL/OPG水平的影响[J].中国美容医学,2022,31(8):155-159.
- [19] 朱向宇,范新昊,刘钟月.超声骨刀机结合高速涡轮手机治疗下颌复杂阻生智齿效果[J].现代科学仪器,2023,40(1):87-90.

(收稿日期: 2024-10-16)
(校对编辑: 韩敏求、翁佳鸿)

(上接第27页)

- [5] Ikoma T, Suwa K, Sano M, et al. Early changes of pulmonary arterial hemodynamics in patients with systemic sclerosis: flow pattern, WSS, and OSI analysis with 4D flow MRI[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(6): 4253–4263.
- [6] Liang X, Peng F, Yao Y, et al. Aneurysm wall enhancement, hemodynamics, and morphology of intracranial fusiform aneurysms[J]. *Front Aging Neurosci*, 2023, 15: 1145542.
- [7] Nivethitha L, Mooventhan A, Manjunath NK, et al. Cerebrovascular hemodynamics during pranayama techniques[J]. *J Neurosci Rural Pract*, 2017, 8(1): 60–63.
- [8] Brennan S, Watson D, Schneider M, et al. Fetal renal artery blood flow – normal ranges[J]. *Ultrasound*, 2022, 30(1): 62–71.
- [9] 王改红. 分析CT和MRI在脑血管疾病诊断中的应用效果. 罕少疾病杂志, 2018, 25(01): 4–5, 32.
- [10] 蒲阳, 母其文, 郭志伟, 等. 基于CTA参数的颅内小动脉瘤破裂风险预测模型建立与验证[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2024, 22(6): 37–39.
- [11] Zheng R, Han Q, Hong W, et al. Hemodynamic characteristics and mechanism for intracranial aneurysms initiation with the circle of Willis anomaly[J]. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 2024, 27(6): 727–735.
- [12] Costa D, Andreucci M, Ielapi N, et al. Vascular Biology of Arterial Aneurysms[J]. *Ann Vasc Surg*, 2023, 94: 378–389.
- [13] Rostam-Alilou AA, Jarrah HR, Zolfagharian A, et al. Fluid–structure interaction (FSI) simulation for studying the impact of atherosclerosis on hemodynamics, arterial tissue remodeling, and initiation risk of intracranial aneurysms[J]. *Biomech Model Mechanobiol*, 2022, 21(5): 1393–1406.
- [14] Mutlu O, Salman HE, Al-Thani H, et al. How does hemodynamics affect rupture tissue mechanics in abdominal aortic aneurysm: Focus on wall shear stress derived parameters, time-averaged wall shear stress, oscillatory shear index, endothelial cell activation potential, and relative residence time[J]. *Comput Biol Med*, 2023, 154: 106609.
- [15] 高雨佳, 刘振, 马骏, 等. 基于计算流体动力学技术评估动脉瘤性蛛网膜下腔出血后迟发性脑缺血风险[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2024, 22(3): 12–15.
- [16] Fattahi M, Abdollahi SA, Alibak AH, et al. Influence of parent vessel feature on the risk of internal carotid artery aneurysm rupture via computational method[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 20544.
- [17] Anđelović K, Winter P, Kampf T, et al. 2D projection maps of WSS and OSI reveal distinct spatiotemporal changes in hemodynamics in the murine aorta during ageing and atherosclerosis[J]. *Biomedicine*, 2021, 9(12): 1856.
- [18] Jiang H, Lu Z, Gerdroodbary MB, et al. The influence of sac centreline on saccular aneurysm rupture: computational study[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 11288.
- [19] Shiina Y, Nagao M, Itatani K, et al. 4D flow MRI-derived energy loss and RV workload in adults with tetralogy of Fallot[J]. *J Cardiol*, 2024, 83(6): 382–389.
- [20] Dirix P, Buoso S, Peper ES, et al. Synthesis of patient-specific multipoint 4D flow MRI data of turbulent aortic flow downstream of stenotic valves[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 16004.
- [21] Bellala AP, Valakkada J, Ayappan A, et al. False lumen regurgitation fraction and energy loss in the aorta measured using four-dimensional flow MRI to predict expansion of acute uncomplicated type B aortic dissection: a prospective study[J]. *Clin Radiol*, 2024, 79(4): e616–e623.
- [22] Odemis E, Gumus T, Aka İB, et al. Evaluation of the total hydrodynamic energy loss using 4D flow MRI in a case with Fontan failure[J]. *Heliyon*, 2024, 10(6): e28140.
- [23] Horiguchi R, Takehara Y, Sugiyama M, et al. Postendovascular aneurysmal repair increase in local energy loss for fusiform abdominal aortic aneurysm: assessments with 4D flow MRI[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2023, 57(4): 1199–1211.

(收稿日期: 2024-11-22)

(校对编辑: 韩敏求、翁佳鸿)

(收稿日期: 2024-11-22) (校对编辑: 韩敏求、翁佳鸿)