

· 论 著 ·

DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2022.03.08

主动脉瓣关闭不全解剖结构 CT 精准评估
与术中实际测量的对比研究

丁文元, 赵宏亮, 张 冰, 谭延振, 许荆棘, 冯乐乐, 张玉玺, 金振晓, 易 蔚

[摘要]:目的 对主动脉瓣关闭不全患者进行主动脉瓣 CT 精准评估,为手术方式选择与手术方案制定提供参考依据。**方法** 对主动脉瓣关闭不全患者常规行术前全心动周期 CT 检查,用 Mimics 软件对影像数据进行评估,2021 年 1 月到 2022 年 1 月期间对 125 例用 CT 精准评估的方法对拟手术的主动脉瓣进行测量评估;对 69 例患者术中实际测量主动脉瓣瓣叶几何高度(gH)和游离缘长度(FML),用 Bland-Altman 图一致性分析 CT 精准评估与术中实际测量的一致性。**结果** 两种方法测量主动脉瓣瓣叶 gH,差值均数为 0.1 mm,95%可信区间(CI):-1.9~2.1 mm,有 2 个点在 CI 以外;测量瓣叶 FML,差值均数为 0.4 mm,95%CI:-1.8~2.6 mm,有 1 个点在 CI 以外,差异在临床上可以接受。**结论** CT 精准评估与术中实际测量瓣叶 gH 和 FML 的一致性良好,是主动脉瓣术前测量评估解剖结构的准确方法,可作为主动脉瓣关闭不全修复术前患者选择和手术修复的重要参考依据。

[关键词]: 主动脉瓣关闭不全;主动脉瓣修复;几何高度;游离缘长度;主动脉瓣解剖;CT 评估

Comparative study of CT accurate evaluation and intraoperative measurement of aortic valve insufficiency

Ding Wenyuan, Zhao Hongliang, Zhang Bing, Tan Yanzhen, Xu Jingji, Feng Lele, Zhang Yuxi,

Jin Zhenxiao, Yi Wei

Department of Cardiovascular Surgery, Xijing Hospital, Air Force Medical University, Shaan'xi Xi'an 710032, China

Corresponding author: Yi Wei, Email: yiwei@fmmu.edu.cn

[Abstract]: Objective Accurate evaluation of aortic valve CT in patients with aortic valve insufficiency provided a reference for the selection of surgical methods and the formulation of surgical plans. **Methods** Preoperative total cardiac cycle CT examinations were routinely performed in patients with aortic valve insufficiency. Image data were evaluated using Mimics software. Aortic valve measurements were evaluated in 125 patients between January 2021 and January 2022 using CT accurate evaluation. The geometric height (gH) and free margin length (FML) of aortic valve were measured in 69 patients during operation, and the consistency between CT accurate estimation and actual measurement was analyzed by bland-Altman diagram. **Results** The mean difference of gH measured by the two methods was 0.1 mm, and the 95% consistency limit was (-1.9 mm, 2.1 mm), with 2 points outside the consistency limit. FML was measured and the mean difference was 0.4 mm with the 95% consistency limit of (-1.8 mm, 2.6 mm). There was 1 point outside the consistency limit, and the difference was clinically acceptable. **Conclusion** CT accurate evaluation is consistent with actual intraoperative measurement for valve gH and FML. CT is an accurate method for preoperative measurement and evaluation of aortic valve anatomical structure, and can be used as an important reference for patient selection and surgical repair before aortic valve insufficiency repair.

[Key words]: Aortic valve insufficiency; Aortic valve repair; Geometric height; Free margin length; Aortic valve anatomical structure; CT evaluation

基金项目:国家自然科学基金资助项目(82170336)

作者单位:710032 西安,空军军医大学第一附属医院心血管外科(丁文元、张 冰、谭延振、冯乐乐、张玉玺、金振晓、易蔚),放射科(赵宏亮、许荆棘)

通信作者:易 蔚,Email:yiwei@fmmu.edu.cn

治疗主动脉瓣关闭不全的手术方式包括瓣膜置换手术和瓣膜修复术^[1-2]。置换机械瓣膜后需要终生服用华法林,患者面临较高的出血和血栓栓塞的风险^[3-4]。置换生物瓣膜后随置换时间的延长瓣膜结构会退化^[4]。瓣膜修复术后不需要长期抗凝,出

血事件发生率低,具有更好的血流动力学表现、更低的死亡率和瓣膜相关并发症率^[4-5]。因此,在 2017 年、2021 年欧洲瓣膜病管理指南中,均推荐在有经验的瓣膜修复中心,适合的病例推荐行主动脉瓣修复手术^[1,6]。

CT 成像技术可以准确显示主动脉瓣叶及根部复杂三维解剖,帮助外科医生深入了解主动脉瓣叶及根部解剖,为患者选择瓣膜修复手术方案提供参考依据,2020 年日本瓣膜病管理指南推荐对于超声无法详细评估的主动脉瓣关闭不全患者,可应用 CT 等检查方法对主动脉根部进行详细评估^[7]。

本研究通过术前 CT 评估对主动脉瓣及根部进行测量评估,同时在术中对主动脉瓣瓣叶几何高度 (geometric height, gH) 和游离缘长度 (free margin length, FML) 进行实际测量,比较两种方法的一致性。本研究通过了本院医学伦理委员会的伦理审查 (KY20202067-F-1)。

1 材料与方法

1.1 病例选择 选择自 2021 年 1 月到 2022 年 1 月,西京医院心血管外科对主动脉瓣关闭不全患者行主动脉瓣 CT 评估,其中对 39 例三叶瓣主动脉瓣关闭不全、81 例二叶瓣主动脉瓣关闭不全和 5 例四叶瓣主动脉瓣关闭不全进行术前全心动周期 CT 检查并进行 CT 测量评估;在手术中实际测量患者瓣叶 gH 和 FML,其中三叶瓣主动脉瓣 21 例,二叶瓣左右融合主动脉瓣 48 例。将既有术前 CT 评估又有术中实际测量的主动脉瓣关闭不全 69 例纳入研究,其中三叶瓣主动脉瓣 21 例,二叶瓣左右融合主动脉瓣 48 例。

1.2 CT 检查 采用 Flash64 排双源螺旋 CT,每名患者做检查时注射造影剂碘佛醇注射液 0.8~1 ml/kg,在心电门控辅助下对患者进行全心动周期 CT 检查,以 10% 间隔重建心脏周期 10%~100% R-R 间期影像得到 10 组影像,影像数据以 DICOM 格式保存,用 Mimics (Materialise, Leuven, Belgium) 软件 (Mimics 21.0 版本) 对影像数据进行评估, Mimics 软件的三维重建和可视化模块可以让外科医生对薄层 CT 数据在三个正交平面 (横断面、矢状面和冠状面) 浏览,对需要关注的区域反复观察,进而三维重建,对感兴趣的区域进行几何参数测量。

1.3 术中实际测量 所有手术患者均采用胸部正中切口,在体外循环支持下切开升主动脉,经冠状动脉开口顺行灌注心脏冷停搏液,在主动脉瓣瓣叶的

三个交界处缝三针向上向外牵引悬吊使瓣膜在一个自然的位置。对主动脉瓣叶进行评估,使用设计的半圆头带有刻度的专用瓣叶测量尺测量每个瓣叶 gH 和 FML,测量瓣叶 gH 时,用镊子轻轻的牵引瓣叶,使测尺与瓣叶底部和瓣叶游离缘中间相对应^[8],将瓣叶 FML 分为两部分用测尺测量,从瓣叶的中间到瓣叶两个交界分别测量,如图 1。

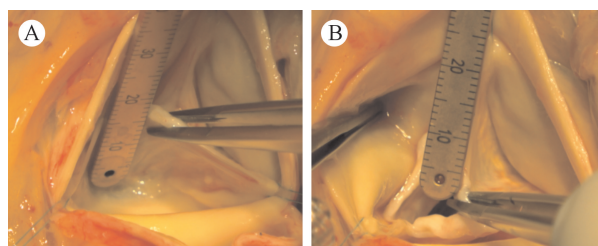


图 1 术中实际测量

注:A:术中实际测量主动脉瓣瓣叶 gH;B:术中实际测量主动脉瓣瓣叶 FML

1.4 CT 测量评估 使用 Mimics 软件对患者 CT 影像数据进行测量评估。术前 CT 精准测量评估的项目有瓣口开放面积、升主动脉直径、窦管交界直径、主动脉窦大小、交界间间距、瓣环直径、左室流出道直径、非融合瓣叶 gH 和有效高度 (effective height, eH)、非融合瓣叶角度、融合嵴和交界融合长度、非融合瓣 FML、融合瓣 gH 和 eH、融合瓣 FML、Arantius 结节延长长度、附着缘长度、交界高度、冠状动脉开口到窦管交界和瓣环的距离,其中瓣口开放面积的测量使用心脏收缩期影像,其余使用心脏舒张期影像测量评估。

1.5 数据分析 运用 SPSS 16 统计软件进行数据分析,变量以均值±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 或者百分数 (%) 表示,两种测量方法的一致性分析用 Bland-Altman 图。

2 结果

2.1 基线特征 21 例三叶瓣主动脉瓣患者,平均年龄 (46.9 ± 14.5) 岁,其中男性 16 (76.2%) 例,女性 5 (23.8%) 例;48 例二叶瓣左右融合主动脉瓣患者,平均年龄 (35.5 ± 11.2) 岁,其中男性 42 例 (87.5%), 女性 6 例 (12.5%)。

2.2 CT 精准测量评估 经过不断探索总结的 CT 测量评估方法可以对主动脉瓣的所有解剖结构进行精准的测量,如图 2~3。本研究在手术中使用专用测尺对瓣叶 gH 和 FML 进行了准确测量,本文只对在术中实际测量和 CT 精准测量评估的瓣叶 gH 和 FML 进行一致性分析。

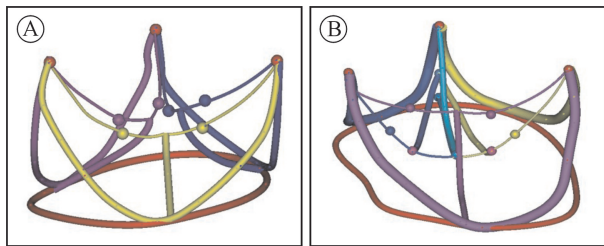


图 2 CT 精准评估主动脉瓣效果图
注:A:三叶瓣主动脉瓣 CT 精准评估后效果图;B:二叶瓣左右融合主动脉瓣 CT 精准评估后效果图

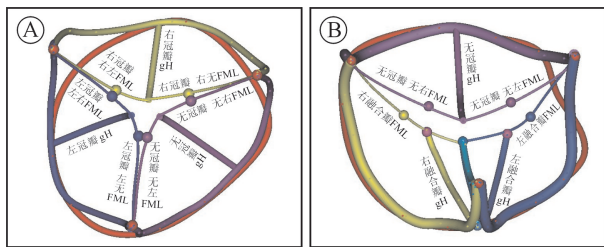


图 3 瓣叶 gH 和 FML
注:A:三叶瓣主动脉瓣瓣叶 gH 和 FML(无冠瓣无左 FML+无冠瓣无右 FML)为无冠瓣 FML,右冠瓣 FML 和左冠瓣 FML 也是同样的方法;B:二叶瓣左右融合主动脉瓣瓣叶 gH 和 FML

2.3 CT 测量评估与术中实际测量的一致性 CT 测量评估与术中实际测量主动脉瓣瓣叶 gH,差值均数为 0.1 mm,95% 可信区间 (confidence interval, CI): -1.9~2.1 mm,有 2 个点在 CI 以外,其余都在 CI 以内,见图 4。CT 测量评估与术中实际测量主动脉瓣瓣叶 FML,差值均数为 0.4 mm,95% CI: -1.8~2.6 mm,有 1 个点在 CI 以外,其余都在 CI 以内,见图 5。根据差值均数的绝对值、95% CI 以外数据点数、CI 以内差值最大绝对值以及临床上对差异的接受程度,CT 测量评估与术中实际测量主动脉瓣瓣叶 gH 和 FML 的一致性良好。

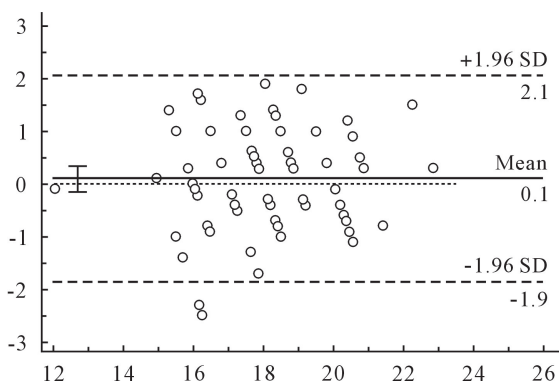


图 4 CT 测量评估与术中实际测量主动脉瓣瓣叶几何高度的一致性

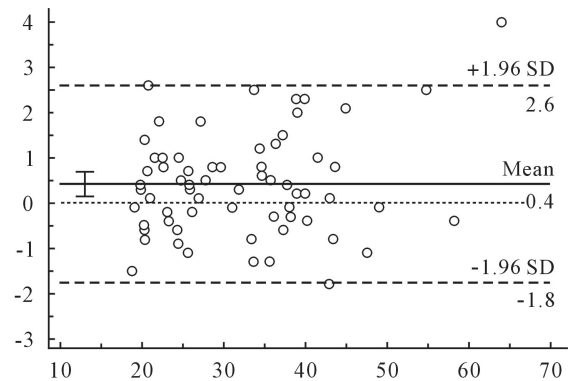


图 5 CT 测量评估与术中实际测量主动脉瓣瓣叶游离缘长度的一致性

3 讨论

瓣膜修复手术对于主动脉瓣关闭不全患者尤其年轻患者在有经验的中心是优先的选择方式^[9],对于主动脉瓣关闭不全的年轻患者,修复手术与置换人工生物瓣膜相比,有更好的持久性和更低的再手术率,与置换人工机械瓣膜相比,修复手术后患者不用终身服用抗凝药,避免了出血和血栓栓塞等瓣膜相关并发症的发生,育龄女性也会从中受益,避免后期怀孕的潜在抗凝相关问题^[3,10-13]。随着对主动脉瓣解剖结构的深入了解,心脏外科手术医生逐渐认识到主动脉瓣解剖结构是决定修复手术效果的一个很重要因素^[14],在术前对患者主动脉瓣瓣叶形态和主动脉根部结构的认识与精准评估,对确定是否以及如何进行修复手术非常重要,术前对患者的主动脉瓣解剖结构进行精准评估对于外科医生为患者选择规划合适手术方式有很好的参考依据。

本院瓣膜团队每年独立开展主动脉瓣修复手术约 100 余例,其修复理念是在有效瓣叶面积与瓣叶质量足够的基础上,基于正常人群主动脉瓣与主动脉根部数据,恢复主动脉瓣叶及根部的正常解剖结构和功能。因此,需要通过影像学检查方法对主动脉瓣叶及根部解剖结构进行精准的测量评估,帮助手术医师在术前为患者规划合适的瓣膜修复手术方案^[9]。目前缺少术前精准评估主动脉瓣的方法,经胸超声受到角度与测量精度的限制,难以精准测量部分主动脉瓣叶 gH 和 FML,食道超声作为有创检查,对于需手术的心脏病患者,一般建议在麻醉后检查,同样也受到检测角度的限制,往往在术中应用,对于超声心动图评估主动脉瓣叶及根部受限制的方面可以用 CT 评估主动脉瓣叶及根部^[15-16]。通过 CT 检查与多平面三维重建相结合的方式可以对主

动脉瓣叶及根部实现更精确的评估,正在成为详细分析心脏解剖结构的重要方法,本研究使用 Mimic 软件对患者 CT 影像数据进行分析,不断改进分析方法,总结了 CT 测量评估主动脉瓣修复手术所需要的重要结构的方法,形成了精准测量评估流程。

主动脉瓣关闭不全患者的主动脉瓣叶及根部结构个体差异较大,手术修复主动脉瓣的具体策略也应个体化、精准化,因此只有通过精准评估患者的主动脉瓣叶及根部解剖结构,心脏外科手术医生才能筛选适宜拟主动脉瓣修复的患者,并据此制定手术方案。如果在术中评估瓣叶形态大小,会延长患者的升主动脉阻闭时间,心脏缺血缺氧时间延长,增加心肌损伤的程度,对患者预后不利,尤其是部分数据,如升主动脉直径、窦管交界直径、主动脉窦大小、交界间间距、瓣环直径、左室流出道直径、非融合瓣叶角度、融合嵴和交界融合长度、附着缘长度、交界高度、冠状动脉开口到窦管交界和瓣环的距离等,在心脏停跳主动脉根部没有张力的情况下测量准确性不佳或难以测量,而这些指标对主动脉瓣修复手术方案制定至关重要。如果在手术前通过 CT 精准评估的方法对患者主动脉瓣叶及根部解剖结构进行详细的分析,手术医生在术前就可以确定是否进行修复手术,并制定好修复手术的方案,有助于减少患者手术时间,尤其是升主动脉阻闭时间,降低心肌损伤程度,更加精准的为患者进行主动脉瓣修复手术。对于在门诊就诊的主动脉瓣关闭不全患者,心脏外科医生通过 CT 精准评估就可以对其主动脉瓣叶及根部有清楚的了解,方便为患者合理选择治疗方案奠定了理论与实践基础。

主动脉瓣修复手术逐渐从随机、不可重复的手术转变为术后效果持久的标准化手术^[13],修复手术的标准化需要术前评估的标准化,CT 精准评估可以对主动脉瓣叶及根部的解剖结构进行准确的测量评估,为医生对患者选择合适的手术时机和手术方式以及系统的规划修复术方法提供参考依据,让患者从主动脉瓣修复手术中获益,同时为手术医生改进手术方式和理念更新提供参考。

4 结 论

本研究探索总结了 CT 精准评估测量主动脉瓣修复手术所需要的主动脉瓣重要结构的方法,CT 精准评估与术中实际测量主动脉瓣瓣叶 gH 和 FML 的一致性良好,CT 精准测量评估对心脏外科手术医生更好的了解患者主动脉瓣病变结构并制定合理的治疗方案和修复手术方法有重要参考作用。

参考文献:

- [1] Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, *et al*. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease[J]. Eur Heart J, 2022, 43(7):561-632.
- [2] Akinseye OA, Pathak A, Ibebuogu UN. Aortic valve regurgitation: A comprehensive review[J]. Curr Probl Cardiol, 2018, 43(8): 315-334.
- [3] Wong CHM, Chan JSK, Sanli D, *et al*. Aortic valve repair or replacement in patients with aortic regurgitation: A systematic review and meta-analysis[J]. J Card Surg, 2019, 34(6): 377-384.
- [4] Antoniou A, Harky A, Bashir M, *et al*. Why I choose to repair and not to replace the aortic valve[J]? Gen Thorac Cardiovasc Surg, 2019, 67(1): 20-24.
- [5] Boodhwani M, El Khoury G. Aortic valve repair: indications and outcomes[J]. Curr Cardiol Rep, 2014, 16(6): 490.
- [6] Baumgartner H, Falk V, Bax J J, *et al*. 2017 ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease[J]. Eur Heart J, 2017, 38(36): 2739-2791.
- [7] Izumi C, Eishi K, Ashihara K, *et al*. JCS/JSCS/JATS/JSVS 2020 guidelines on the management of valvular heart disease[J]. Circ J, 2020, 84(11): 2037-2119.
- [8] Tamer S, Mastrobuoni S, van Dyck M, *et al*. Free margin length and geometric height in aortic root dilatation and leaflet prolapse: implications for aortic valve repair surgery[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2020, 57(1):124-132.
- [9] Rimmer L, Ahmad MU, Chaplin G, *et al*. Aortic valve repair: where are we now[J]? Heart Lung Circ, 2019, 28(7): 988-999.
- [10] Gocol R, Malinowski M, Bis J, *et al*. Long-term outcomes of aortic valve repair in over 500 consecutive patients: a single-center experience[J]. Kardiol Pol, 2020, 78(9): 861-868.
- [11] David T E, David C M, Feindel C M, *et al*. Reimplantation of the aortic valve at 20 years[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2017, 153(2): 232-238.
- [12] Schneider U, Hofmann C, Schöpe J, *et al*. Long-term Results of Differentiated Anatomic Reconstruction of Bicuspid Aortic Valves[J]. JAMA Cardiol, 2020, 5(12): 1366-1373.
- [13] Lansac E, de Kerchove L. Aortic valve repair techniques: state of the art[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2018, 53(6):1101-1107.
- [14] Abeln K B, Giebels C, Ehrlich T, *et al*. Which aortic valve can be surgically reconstructed? [J]. Curr Cardiol Rep, 2021, 23(8):108.
- [15] Hagendorff A, Evangelista A, Fehske W, *et al*. Improvement in the assessment of aortic valve and aortic aneurysm repair by 3-dimensional echocardiography [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2019, 12(11 Pt 1): 2225-2244.
- [16] Vaquerizo B, Spaziano M, Alali J, *et al*. Three-dimensional echocardiography vs. computed tomography for transcatheter aortic valve replacement sizing[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2016, 17(1): 15-23.

(收稿日期:2022-03-21)

(修订日期:2022-06-06)