

## 综 述

## 图像配准技术在颞下颌关节紊乱病诊疗中的应用及展望

谢玉婷<sup>1,2,3,4,5</sup>, 唐 雯<sup>1,2,6</sup>, 吴 玥<sup>1,2,6</sup>, 曹立波<sup>4</sup>, 马家俊<sup>7</sup>, IZADIKHAH Iman<sup>2,6,7</sup>, 陈 艳<sup>1,4,8</sup>,  
曹 丹<sup>1,2,6</sup>, 严 斌<sup>1,2,6</sup>, 朱琳琳<sup>2,9</sup>, 谢理哲<sup>1,2</sup>

**[摘要]** 随着影像学、内窥镜技术、手术治疗、细胞生物学和分子生物学的进步,人们对颞下颌关节紊乱病(temporomandibular joint disorders, TMD)的认识也在不断加深。颞下颌关节(temporomandibular joint, TMJ)是一个包含软组织和硬组织的复杂结构,在 TMJ 中,颞下颌关节盘是连接下颌骨和颅骨之间的软组织结构,为关节运动提供缓冲和稳定的作用。不同的成像技术在 TMD 诊疗中各有优势和局限性,因此,利用图像配准技术对关节盘的状况与位置进行评估,为评估 TMD 提供了新的研究思路,或有助于 TMD 的诊断和治疗。本文回顾了 TMJ 成像的最新进展,探讨了各种图像配准技术的应用,特别是在 TMD 诊疗中的应用及前景。文章结合国内外部分学者的研究结果和笔者的临床经验,旨在为临床医生提供有价值的见解。

**[关键词]** 颞下颌关节;颞下颌关节紊乱病;图像配准技术

**[中图分类号]** R782.6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-9872(2024)10-0770-05

**[doi]** 10.13591/j.cnki.kqyx.2024.10.009

## Application and prospect of image registration technology in the diagnosis and treatment of temporomandibular joint disorders

XIE Yuting, TANG Wen, WU Yue, CAO Libo, MA Jiajun, IZADIKHAH Iman, CHEN Yan, CAO Dan, YAN Bin, ZHU Linlin, XIE Lizhe. (Dental Digital Medical Technology Engineering Center, Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** With advancements in radiology, endoscopic techniques, surgical treatments, cell biology and molecular biology, the understanding of temporomandibular disorders (TMD) has increased. The temporomandibular joint (TMJ) is a complex structure comprising both soft and hard tissues. Within the TMJ, the temporomandibular disc is a soft tissue structure that connects the mandible to the skull, providing cushioning and stability during joint movement. Different imaging techniques have their own advantages and limitations in the diagnosis and treatment of TMD. Therefore, using image registration technology to assess the condition and position of the articular disc provides new research perspectives for evaluating TMD, which may contribute to the diagnosis and treatment. This article reviews the latest advancements in TMJ imaging, explores the applications of various image registration techniques, particularly in the context of TMD diagnosis and treatment, and discusses future prospects. Combining the research results of some scholars at home and abroad with the author's clinical experience, the article aims to provide valuable insights for clinicians.

**Key words:** temporomandibular joint; temporomandibular joint disorder; image registration technology

Stomatology, 2024, 44(10):770-774

基金项目:国家自然科学基金项目(82101079);江苏省重点研发计划项目(SBE2023740336);南京医科大学 2023 年度教育研究课题(2023LX080)

作者单位:1 南京医科大学口腔数字化医疗技术工程中心,江苏南京(210029);2 口腔疾病研究与防治国家级重点实验室培育建设点,江苏南京(210029);3 江苏省口腔转化医学工程研究中心,江苏南京(210029);4 南京医科大学口腔医学院,江苏南京(210029);5 南京医科大学生物医学工程与信息学院,江苏南京(211166);6 南京医科大学附属口腔医院正畸科,江苏南京(210029);7 东南大学网络空间安全学院,江苏南京(223300);8 淮安市第二人民医院医疗设备处,江苏淮安(211189);9 南京医科大学附属口腔医院第三门诊部,江苏南京(210029)

通信作者:谢理哲 E-mail:xielizhe@njmu.edu.cn

朱琳琳 E-mail:zhulynn768@126.com

颞下颌关节紊乱病(temporomandibular joint disorder, TMD)是最常见的一类口面部疼痛疾病,涉及颞下颌关节(temporomandibular joint, TMJ)及其相关肌肉组织<sup>[1]</sup>,在临床上主要表现为关节弹响、疼痛、下颌运动受限,在青少年中发病率较高<sup>[2]</sup>。

在进行影像学检查时,医生常需要使用不同类型的影像学技术来获取图像。医生需结合患者的临床症状和体征,并依据不同影像学检查的适应证和其敏感性、特异性的程度来选择适当的影像检查方法,以提高诊断效率和更好地判断治疗结果<sup>[3]</sup>。现有的 TMJ 成像方法众多,包括常规 X 线、计算机断层扫描(computed tomography, CT)、锥形束 CT(cone beam computer tomography, CBCT)、磁共振成像

(magnetic resonance imaging, MRI) 和超声等<sup>[4]</sup>。在 TMJ 成像的研究中,由于其解剖结构的复杂性,成像较为困难,若仅采用某一类成像方法对其进行检查,效果并不理想。在计算机视觉领域,图像配准是一个重要的研究方向,可以将图像进行快速有效地分割,确保图像中具有诊断价值的点对应匹配,以便进行准确的分析和诊断<sup>[5]</sup>。不同的影像学图像具有独特的特点,将它们的互补信息综合考虑,作为一个整体呈现,将提供更全面和丰富的信息,帮助临床医生做出诊断<sup>[6]</sup>。

目前,关于 TMJ 成像的文献较为丰富,故本文试对 TMJ 成像的最新进展以及几种图像配准技术的应用,特别是在 TMD 诊疗中的应用作一总结,希望有助于 TMD 的诊断与治疗。

## 1 颞下颌关节成像的研究现状

随着计算机科技飞速进步,医学成像技术也在不断革新,为临床医学提供了多种形态和功能的影像信息<sup>[7]</sup>。当前,鉴于 TMJ 同时具备软组织和硬组织的特性,其影像学评价相对复杂,单一检测手段难以全面揭示其所有结构<sup>[8]</sup>。常规 X 线检查虽可用于初步筛查骨性病变、关节畸形等,但它所提供的二维图像无法精确显示关节盘的位置、形态、活动以及软组织结构的详细信息,限制了对 TMD 的准确诊断和全面评估。CT 和 CBCT 则可以更好地观察骨结构变化,其中,CT 密度分辨率较高,能清晰显示关节骨性结构,但其体位的选择常影响照片的质量。与传统 CT 相比,CBCT 的扫描时间更短,对患者的辐射剂量更低,重建速度快,1 次扫描即可完整采集全口牙列及双侧 TMJ,且不存在结构重叠,非常适合用于 TMJ 检查<sup>[9]</sup>。但 CBCT 也存在一个固有的缺陷,即其对比度分辨率较低,对关节盘等软组织不显影<sup>[10]</sup>,所以仍无法作为关节诊断的金标准。MRI 是一种无创技术,可以清晰显示关节周围的解剖情况,可用于评估关节盘的位置和形态,还可用于确定 TMD 的早期体征,包括关节盘前带或后带增厚、关节盘穿孔、关节盘形态改变以及关节积液等,已经成为 TMD 诊断和治疗评价的金标准<sup>[11-13]</sup>。通过 MRI 的多向平面成像功能,采用高分辨率的表面线圈可显著提升各关节部位的成像质量,使得神经、肌腱、韧带、血管、软骨等微小结构能够清晰地显示出来,这在其他影像检查中可能不易区分<sup>[14]</sup>。然而,MRI 在骨关节系统成像方面的局限性在于,它对骨和软组织病变进行定性诊断时并没有特异性,MRI 检查有可能遗漏髁突假性囊肿等骨性病变和炎症或肿瘤

引起的软组织钙化<sup>[3]</sup>。

当前医学图像处理技术应用广泛,对 TMD 的鉴别诊断、临床分类、疗效评估及预后均具有重要价值<sup>[15]</sup>。在探讨 TMJ 的临床问题中,不同的影像学检查方法具有不同的成像原理,对 TMJ 结构的显示不同,对疾病的诊断效率也不同,因此在 TMD 诊疗中,每种方法都有其采集方面的优势和局限性。为了发挥各自的图像信息优势,将 TMJ 的不同模式影像信息结合起来,需要进行图像配准,从而进一步对 TMJ 关键结构的位置和形态进行评估,故该研究具有一定的现实意义。

## 2 医学图像配准技术在医学影像中的应用

图像配准技术是通过空间变换将两组图像对齐,基于迭代优化的算法寻找出一种使源图像与目标图像达到最佳相似性的映射方式<sup>[16]</sup>。在医学影像领域,图像配准技术能使两组图像中具有诊断意义的点对应匹配起来,对于诊断、治疗规划和医学研究至关重要,可以为医生提供更全面的诊断信息,为研究人员提供丰富的数据来源。根据两组图像的成像方式是否一致,可分为单模态和多模态图像配准<sup>[8]</sup>。

### 2.1 单模态图像配准技术的应用

单模态图像配准指的是两幅需要进行配准的图像分别来自同一成像设备,如 CT 图像与 CT 图像的配准,MRI 图像与 MRI 图像的配准等。例如,Kim 等<sup>[17]</sup>使用基于互信息的自动化图像配准技术,校正多层面功能磁共振成像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 数据中的头部运动。并使用非参数统计方法对 fMRI 数据进行分析以评估效果。研究表明通过将每个层面独立映射到解剖体积,可以提高 fMRI 信号的敏感性和特异性。再如,Hill 等<sup>[18]</sup>在明尼苏达大学的介入 MR 室进行了脑部变形的研究,采用了一种自动非刚性配准算法来量化变形,强调了单模态配准技术在评估和量化大脑变形方面的应用,特别是在神经外科手术中可以帮助理解手术过程中大脑结构的变化。

### 2.2 多模态图像配准技术的应用

多模态图像配准技术涉及不同模态之间的配准,例如将 MRI 图像与 CT 图像或 PET 图像进行配准。随着临床诊断和治疗规划对更准确、更全面医学影像的需求增长,仅使用单个模态的图像进行配准,往往无法利用多个模态间的互补信息,因此多模态配准受到了广泛的关注,使用多个模态的信息可以获得更准确可靠的目标信息,从而提高诊断和治

疗的精准度<sup>[19]</sup>。

目前,多模态图像配准方法取得了显著进展,新的配准算法采用了深度学习、卷积神经网络等先进技术,提高了配准的精度和速度<sup>[20]</sup>。不同类型的医学影像(如 MRI、CT、PET 等)通常用于不同的临床诊断或研究目的,将这些异质性图像进行精准、可靠的配准,以实现全面信息的整合和综合分析,成为医学影像处理领域的重要挑战之一。例如, Yang 等<sup>[21]</sup>提出了一种结合归一化互信息和空间信息的新型相似度量方法,用于非刚性医学图像配准。通过自适应高斯滤波器和局部结构张量,充分考虑了图像的空间信息。实验证明该方法相比传统算法提高了配准精度和鲁棒性,降低了局部极值的风险。 Kohyama 等<sup>[22]</sup>通过构建肱骨的三维 MRI-CT 融合图像,对病变区域进行了测量,包括其纵向和横向直径。在此基础上,评估了关节软骨的裂隙和缺损、关节表面的畸形,并依据国际软骨修复学会(ICRS)的分类标准进行了分类,发现三维 MRI-CT 融合图像可显示关节软骨和软骨下骨之间的确切位置关系,从而详细评估肱骨髁部剥脱性骨软骨炎(capitellar osteochondritis dissecans, COCD)病变的严重程度。 He<sup>[23]</sup>提出了一种基于最大互信息的非刚性配准模型,称为新型局部体积(novel partial volume, NPV)图像插值方法。通过优化变换参数和改进插值技术,最后,使用人脑 CT-MRI-PET 图像进行测试,获得了清晰的 CT-MRI-PET 图像。结果表明,提出的 NPV 方法准确性更高、鲁棒性更好以及更容易实现,有效提高了多模态医学图像配准的准确性和鲁棒性。

### 3 多模态图像配准技术在 TMD 诊疗中的应用

近年来,大量的多模态图像配准方法被提出,这些方法旨在提高配准的精度、效率和适用范围,以满足临床实践中的不同需求。本节将重点探讨多模态图像配准技术在 TMD 诊疗中的应用。

在 TMJ 区域,多模态配准的发展经历了许多挑战。CT-MRI 图像配准技术自二十世纪九十年代出现以来,已逐步应用于盆腔、肱骨、颅颌面等临床医学领域的研究<sup>[22,24,25]</sup>。针对 TMJ,买买提吐逊·吐尔地<sup>[6]</sup>利用 CT 和 MRI 图像各自的优势,通过人造球形标记的配准过程,成功实现了对 TMJ 的三维重建,重建的模型形态逼真、结构精确,此方法适用于 TMJ 的运动学和生物力学方面的研究,为后续深入开展三维有限元研究积累了宝贵的经验。 Al-Saleh 等<sup>[26]</sup>首次使用 MRI 和 CBCT 配准图像评估 TMJ 病

理诊断,通过比较外部(基于标志物)和内部(基于互信息)配准技术,发现标志物的移位导致外部配准不准确。相比之下,基于相互信息的配准准确性高且一致性强。研究强调了在一个图像中观察骨轮廓和关节盘组织的重要性。王政宪<sup>[27]</sup>分别在 CBCT 和 MRI 的三维模型中自主设置三个点,根据这些标记点的对应关系对两组模型进行配准,通过人工的精确调节,成功生成了一个重叠的三维模型,为 TMJ 的生物力学研究和临床分析提供了坚实的基础。

CBCT/CT 和 MRI 图像配准技术在临床应用中展现出卓越的前景,为临床医生提供了更加精确和全方位的诊断手段。 Al-Saleh 等<sup>[28]</sup>系统、批判性地分析有关 TMJ 解剖和评估的 MRI、CT 或 CBCT 图像配准的重要性,并提出尽管在检测骨异常方面,使用 MRI 和 CBCT 配准后的图像相比于单独使用 CBCT 图像略有限制,但能提高检查者在检测关节盘相对于髁突位置方面的一致性。 Jain 等<sup>[1]</sup>关注了未来能进一步优化 CBCT 成像的软件发展,提到了 CBCT 扫描与 MRI 的自动配准方法能在单幅图像中提供 TMJ 硬组织和软组织的补充图像,从而促进准确的诊断和最佳的治疗结果。同年, Ma 等<sup>[29]</sup>提出一种针对 TMJ 的 CBCT/CT 和 MRI 配准方法,包括自动配准和半自动配准两种模式。研究使用刚性变换模型和归一化互信息进行配准,通过 Amira 可视化软件处理后发现,将配准后的图像融合能清晰显示软肿块和硬组织关系,界定肿瘤轮廓和骨质破坏,帮助观察者发现单幅图像无法确认的缺陷。研究表明 CBCT/CT 和 MRI 图像配准后,有助于 TMJ 解剖结构和病变的检测。

通过优化和探索图像配准技术,可以为临床提供更准确、全面的结构信息,为医学影像学领域的进步注入新动力。 Al-Saleh 等<sup>[30]</sup>通过互信息刚性图像配准技术对 MRI-CBCT 图像进行配准,评估其对 TMD 评估时一致性的影响,并让两位经验丰富的放射科医生评估了两种类型的图像(单独的 MRI 和配准后的 MRI-CBCT 图像),结果表明配准后的 MRI-CBCT 图像在 TMD 评估方面提高了一致性,减少了配准误差。何妍明等<sup>[31]</sup>使用 Mimics 软件重建和配准了颞下颌关节的 CBCT 和 MRI 的三维图像。通过配准后的图像评估关节盘的各项指标后发现,配准后的图像可以准确显示关节盘相对于髁突和关节结节的位置,为颞下颌关节盘位移研究提供依据。然而,配准图像存在技术局限性,需要适当调整骨组织透明度和使用高分辨率图像。王雨婕等<sup>[8]</sup>指出 CBCT-MRI 图像配准技术可呈现完整的 TMJ 结构,



再通过三维重建定量评估 TMJ 位置,为 TMD 的临床诊断开辟了新的影像学途径。还提到多模态配准虽能形成诊断价值较高的 TMJ 图像,但研究集中在特定图像方面,缺乏全面评估。同年,Wang 等<sup>[32]</sup>通过专家评估 TMJ 的 CBCT 图像、MRI 图像及其配准后的融合图像,以关节盘前移位、骨缺损和骨质增生为标准。研究显示 CBCT-MRI 配准后的融合图像能够同时显示关节盘和周围的骨骼结构,对于骨质变化的诊断准确性明显高于单独使用 MRI 图像集,从而显著提高观察者的可靠性和诊断准确性。钱敏等<sup>[33]</sup>发现通过 CBCT 和 MRI 图像数据构建 TMJ 三维模型并基于髁突标志点进行配准,可实现骨组织结构与软组织空间位置的良好再现。ElShennawy 等<sup>[34]</sup>使用 Amira 三维软件将 TMJ 的 MRI 和 CBCT 图像进行配准后创建了融合图像,研究主要关注了关节盘的位置、关节囊内积液和骨性变化的评估,研究表明将 MRI-CBCT 配准后的图像融合,在评估 TMD 时能显著提高临床诊断的准确性,为 TMD 的全面诊断提供了更多信息。

## 4 总 结

TMD 的诊断和治疗过程一直是临床关注的焦点,本综述总结了近年来 TMJ 成像的最新进展,列举出各种成像技术的优势与不足,重点关注了多模态医学图像应用的发展,详述了几种图像配准方法在 TMD 诊疗中的应用,并强调了图像配准对获取 TMJ 更真实、更精确的成像信息的重要性。在综述 CBCT/CT 与 MRI 配准方法的研究时,发现对颞下颌关节盘进行图像配准,有望为 TMD 的临床诊疗提供实用性的参考。此外,通过探索多模态图像配准方法,可以提供更全面的信息或减少配准误差等,有望提高配准的效率和准确性。例如基于互信息的配准与功能图像(SPECT/PET)配准技术的使用为图像配准的研究提供了新的可能性,但应用于 TMD 诊断的相关研究较少。由于 TMJ 结构的复杂性和疾病的多样性,通常需要多种影像学检查方法的协同使用,才能达到理想的配准和随后的诊断效果<sup>[35]</sup>。此外,多模态图像配准技术已在 TMJ 领域得到了广泛应用,但在颞下颌关节盘领域的研究相对较少,有望进一步探索。

综上所述,随着计算机视觉与生物医学的交叉协同发展,以及技术的不断进步和研究的深入,多模态图像配准有望让人们评估颞下颌关节盘在不同状态下的形态和位置,为 TMD 的辅助诊断提供更准确和全面的信息,进一步提高 TMD 的诊断和治疗效

果,并充实相关领域的理论基础,在临床实践中具有重要的指导意义。

## [参 考 文 献]

- [1] Jain S, Choudhary K, Nagi R, *et al.* New evolution of cone-beam computed tomography in dentistry: Combining digital technologies [J]. *Imaging Sci Dent*, 2019, 49(3): 179-190.
- [2] 夏文棣,傅开元. 颞下颌关节盘前移位对下颌功能和形态的影响及其生物学机制的研究进展[J]. *中华口腔医学杂志*, 2016, 51(3): 182-184.
- [3] Talmaceanu D, Lenghel LM, Bolog N, *et al.* Imaging modalities for temporomandibular joint disorders: An update [J]. *Clujul Med*, 2018, 91(3): 280-287.
- [4] 杨晓丰,赵阳,刘奕. 颞下颌关节紊乱病的医学影像学诊断方法[J]. *中国实用口腔杂志*, 2023, 16(2): 152-155.
- [5] 黄鹏,郭春生,陈华华,等. 基于深度学习的图像配准方法综述[J]. *杭州电子科技大学学报(自然科学版)*, 2020, 40(6): 37-44.
- [6] 买买提吐逊·吐尔地. 图像融合技术建立颞下颌关节有限元模型的生物力学分析研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2014.
- [7] 周艳艳. 基于 MRI 影像组学鉴别高级别胶质瘤和单发脑转移瘤的价值[D]. 芜湖: 皖南医学院, 2023.
- [8] 王雨婕,李志勇. 颞下颌关节多模态图像配准及三维重建的研究进展[J]. *口腔颌面修复学杂志*, 2022, 23(2): 147-152.
- [9] Dhabale GS, Bhowate RR. Cone-beam computed tomography for temporomandibular joint imaging [J]. *Cureus*, 2022, 14(11): e31515.
- [10] 李鑫,陈志晔. 颞下颌关节盘移位的影像学研究进展[J]. *解放军医学院学报*, 2024, 45(4): 445-448.
- [11] 陈志晔,胡敏. 颞下颌关节紊乱病的 MRI 评估[J]. *中华口腔医学杂志*, 2020, 55(2): 139-144.
- [12] 马绪臣. 颞下颌关节紊乱病医学影像学诊断的重要性和局限性[J]. *中华口腔医学杂志*, 2020, 55(9): 603-607.
- [13] 傅开元,胡敏,余强,等. 颞下颌关节常规 MRI 检查规范及关节盘移位诊断标准的专家共识[J]. *中华口腔医学杂志*, 2020, 55(9): 608-612.
- [14] 胡辉华. EMG/MRI 联合检查对多节段腰椎退行性疾病诊断的分析[J]. *中国实验诊断学*, 2019, 23(3): 485-487.
- [15] 陈建荣,丁水清,陈亮,等. 颞下颌关节紊乱的影像学特征: 锥形束 CT 和 MRI 效能比较[J]. *中国口腔颌面外科杂志*, 2022, 8(3): 273-276.
- [16] El-Gamal FEZ A, Elmogy M, Atwan A. Current trends in medical image registration and fusion [J]. *EgyptInform J*, 2016, 17(1): 99-124.
- [17] Kim B, Boes JL, Bland PH, *et al.* Motion correction in fMRI via registration of individual slices into an anatomical volume [J]. *Magn Reson Med*, 1999, 41(5): 964-972.
- [18] Hill DLG, Maurer CRJr, Martin AJ, *et al.* Assessment of intraoperative brain deformation using interventional MR imaging [C]// *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI'99*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1999: 910-919.

[19] 周立恒. 基于 ITK 的医学配准算法研究实现[D]. 厦门: 厦门大学, 2014.

[20] 王苹. 高精度视频配准算法中的静态图像配准算法[J]. 液晶与显示, 2020, 35(6): 612-618.

[21] Yang TJ, Tang Q, Li L, *et al.* Nonrigid registration of medical image based on adaptive local structure tensor and normalized mutual information[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(6): 99-110.

[22] Kohyama S, Nishiura Y, Hara Y, *et al.* A novel three-dimensional MRI-CT image fusion technique for precise preoperative evaluation and treatment of capitellar osteochondritis dissecans[J]. Eur Radiol, 2021, 31(8): 5721-5733.

[23] He LT. Non-rigid multi-modal medical image registration based on improved maximum mutual information PV image interpolation method[J]. Front Public Health, 2022, 10: 863307.

[24] Cao XH, Yang JH, Gao YZ, *et al.* Region-adaptive deformable registration of CT/MRI pelvic images *via* learning-based image synthesis[J]. IEEE Trans Image Process, 2018: 2820424.

[25] Kracima J, Dorgelo B, Gulbitti HA, *et al.* Multi-modality 3D mandibular resection planning in head and neck cancer using CT and MRI data fusion: A clinical series[J]. Oral Oncol, 2018, 81: 22-28.

[26] Al-Saleh MA, Jaremko L, Alsufyani N, *et al.* Assessing the reliability of MRI-CBCT image registration to visualize temporomandibular joints[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2015, 44(6): 20140244.

[27] 王政宪. 正常殆与偏殆条件下颞下颌关节结构三维模型建立及对比研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.

[28] Al-Saleh MA, Alsufyani NA, Saltaji H, *et al.* MRI and CBCT im-

age registration of temporomandibular joint: A systematic review [J]. Le J D'oto Rhino Laryngol De Chir Cervico Faciale, 2016, 45(1): 30.

[29] Ma RH, Li G, Sun Y, *et al.* Application of fused image in detecting abnormalities of temporomandibular joint[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2019, 48(3): 20180129.

[30] Al-Saleh MA, Alsufyani NA, Lagravere M, *et al.* MRI alone *versus* MRI-CBCT registered images to evaluate temporomandibular joint internal derangement[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol, 2016, 122(5): 638-645.

[31] 何妍明, 王荷燕, 冯亚平, 等. 颞下颌关节盘 MRI 和锥形束 CT 图像配准的初步研究[J]. 中华口腔医学杂志, 2020, 55(10): 772-777.

[32] Wang YH, Ma RH, Li JJ, *et al.* Diagnostic efficacy of CBCT, MRI and CBCT-MRI fused images in determining anterior disc displacement and bone changes of temporomandibular joint[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2022, 51(2): 20210286.

[33] 钱敏, 吴梦婕. 基于磁共振影像的颞下颌关节三维模型重建的研究现状[J]. 口腔医学, 2023, 43(10): 930-934.

[34] ElShennawy EM, Hamed WM, Samir SM. Diagnostic accuracy of MRI-CBCT fused images in assessment of clinically diagnosed internal derangement of the temporomandibular joint [J]. Oral Radiol, 2024, 40(2): 226-233.

[35] 陈影, 蔡协艺. 颞下颌关节的影像学检查进展[J]. 口腔医学研究, 2014, 30(10): 1004-1006.

(收稿日期: 2024-01-01)  
(本文编辑: 曹 丹)

(上接第 758 页) 吴 翠, 等. Theracal LC 与 MTA 用于复杂冠折年轻恒牙髓切断术的临床对照研究

[17] Umale KG, Gade VJ, Asani RN, *et al.* Theracal lc: A boon to dentistry[J]. Arch Dent Res, 2021, 11(2): 112-117.

[18] Alazrag MA, Abu-Seida AM, El-Batouty KM, *et al.* Marginal adaptation, solubility and biocompatibility of TheraCal LC compared with MTA-angelus and biodentine as a furcation perforation repair material[J]. BMC Oral Health, 2020, 20(1): 1-12.

[19] Sanz JL, Soler-Doria A, López-García S, *et al.* Comparative biological properties and mineralization potential of 3 endodontic materials for vital pulp therapy: Theracal PT, theracal LC, and biodentine on human dental pulp stem cells[J]. J Endod, 2021, 47(12): 1896-1906.

[20] Singla M, Wahi P. Comparative evaluation of shear bond strength of Biodentine, Endocem mineral trioxide aggregate, and TheraCal LC to resin composite using a universal adhesive; An *in vitro* study [J]. Endodontology, 2020, 32(1): 14-19.

[21] Abdel Sameia M, Darrag A, Ghoneim W. Two calcium silicate-based materials used in direct pulp capping (*in-vivo* study) [J]. Tanta Dent J, 2020, 17(2): 78-83.

[22] Nam OH, Lee HS, Kim JH, *et al.* Differential gene expression changes in human primary dental pulp cells treated with biodentine and TheraCal LC compared to MTA [J]. Biomedicines, 2020, 8(11): 445.

(收稿日期: 2023-10-23)  
(本文编辑: 田 慧)