

## • 综述 •

## 牙体牙髓病的舒适化治疗

侯旭彤 李贵民 叶玲 汪成林

口腔疾病防治全国重点实验室 国家口腔医学中心 口腔疾病国家临床医学研究中心  
四川大学华西口腔医院牙体牙髓病科 成都 610041

**[摘要]** 口腔疾病进展和治疗过程中的疼痛等不适症状常常导致患者产生恐惧，进而延误治疗，不利于口腔及全身健康。牙体牙髓病作为常见病症，在口腔临床实践中占据重要位置，其治疗具有明显的疼痛相关特征。口腔舒适化治疗通过减轻疼痛和恐惧，能改善患者治疗体验。在处理牙体牙髓病时，舒适化治疗呈现出个性化方案，包括镇静、麻醉、微创治疗、计算机辅助等。本文综述了口腔舒适化治疗在牙体牙髓病中的应用，探讨了这些治疗方式如何为牙体牙髓病的诊疗开辟新路径。随着患者对医疗体验期望的提高和科技进步，牙体牙髓病舒适化治疗将有更广阔的发展前景。

**[关键词]** 舒适化治疗；牙体牙髓病；镇静；麻醉；根管治疗；引导牙髓治疗技术

**[中图分类号]** R781.05 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkk.2026202



本文链接

OSID码

**Comfort therapy in cariology and endodontics**

Hou Xutong, Li Guimin, Ye Ling, Wang Chenglin

State Key Laboratory of Oral Diseases &amp; National Center for Stomatology &amp; National Clinical Research Center for Oral Diseases &amp; Dept. of Cariology and Endodontics, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Supported by: Sichuan Natural Science Foundation Project (2024NSFSC0551); Exploration and Creation Project of West China Hospital of Stomatology, Sichuan University (LCYJ2019-18, LCYJ-2022-YY-2)

Correspondence: Wang Chenglin, Email: wxonet@163.com

**[Abstract]** Discomfort symptoms, such as pain, during the progression and treatment of oral diseases often lead to fear in patients, which delays treatment and is not conducive to oral and systemic health. Cariology and endodontics is a common disease that has obvious pain-related characteristics, and its treatment plays an important role in oral clinical practice. Oral comfort therapy improves patients' treatment experience by reducing pain and fear and presents a personalized plan when dealing with such disease. The program includes sedation, anesthesia, minimally invasive treatment, computer-assisted technique, etc. This review focuses on the applications of oral comfort therapy in cariology and endodontics and discusses how treatments open up a new path for diagnosis and clinical management. With the improvement of patients' expectations for medical experience and the progress of science and technology, the comfortable treatment of cariology and endodontics will have a broad development prospect.

**[Key words]** comfort therapy; cariology and endodontics; sedation; anesthesia; root canal therapy; guided endodontics

**[收稿日期]** 2024-07-16; **[修回日期]** 2025-02-28

**[基金项目]** 四川省自然科学基金面上项目 (2024NSFSC0551); 四川大学华西口腔医院探索与研发项目 (LCYJ2019-18, LCYJ-2022-YY-2)

**[作者简介]** 侯旭彤, 学士, Email: hxtong1113@126.com

**[通信作者]** 汪成林, 主任医师, 博士, Email: wxonet@163.com

我国成年人约有35.39%患有牙科焦虑症<sup>[1]</sup>, 实施口腔舒适化治疗显得尤为重要。口腔舒适化治疗通过多种措施减轻或消除因口腔疾病诊疗过程中引发的不适和疼痛, 减少并发症, 并缓解患者的焦虑<sup>[2]</sup>。其适应证广泛, 从牙齿敏感、咬合不适, 到牙齿疼痛, 乃至牙齿脱落及颌面外科手术,

舒适化治疗都可作为标准治疗的重要补充<sup>[3]</sup>。牙体牙髓病是口腔门诊的多发病和常见病,常伴有显著疼痛和不适,且治疗需要多次就诊,耗时较长,对患者身心构成挑战。牙体牙髓病科的治疗往往围绕牙髓展开,牙髓病变可能导致剧烈疼痛,且治疗需深入到牙齿内部,对疼痛控制要求高<sup>[4]</sup>。因此,采取有效的舒适化治疗措施,如镇静、局部麻醉、全身麻醉、微创治疗以及计算机辅助治疗等,对于提高治疗效果、缩短治疗时间、减轻患者痛苦具有重要意义<sup>[5]</sup>。本文旨在对口腔舒适化治疗在牙体牙髓病治疗中的应用作一全面综述。

## 1 镇静

镇静是通过使用一种或多种药物使患者的中枢神经系统处于抑制状态的技术,其目的是减轻患者的焦虑和疼痛,在接受治疗时保持安静和合作<sup>[6]</sup>。镇静药物可以通过多种途径给药,例如口服、吸入、鼻腔、皮下、肌肉和静脉途径。

### 1.1 口服镇静

口服镇静可应用于儿童患者,特别是对针头有恐惧心理或患有其他疾病的儿童。口服镇静剂便宜、安全、易于管理、耐受性良好,其缺点包括起效和消退时间长、吸收速率不可靠、无法滴定等,且镇静剂多无镇痛作用,口服镇静需配合局部麻醉。临床上比较常见的口服药物为咪达唑仑。咪达唑仑能迅速产生抗焦虑、镇静、催眠、抗惊厥、肌肉松弛和健忘作用<sup>[7]</sup>。

### 1.2 吸入镇静

吸入镇静特别适合于治疗牙科焦虑症、对针头有恐惧的患者,对于伴有咽反射敏感的患者也可采用。吸入性镇静药物安全性良好、起效快、代谢快,技术应用的前提是患者主动配合,能够佩戴及正确使用鼻罩,且需配合良好的局部麻醉措施。对于极度恐惧和无法配合佩戴鼻罩的患者,应考虑联合其他镇静方式。

目前一氧化二氮(又称笑气)吸入镇静是口腔科最常使用的镇静方式,一氧化二氮是一种无色、有甜味的气体,通过呼吸道吸入,产生镇静镇痛、抗焦虑的效果<sup>[8]</sup>。研究<sup>[9]</sup>表明,儿童笑气/氧气吸入镇静的有效率达91.9%。笑气有着较低组织溶解度和较高血液溶解度,能够快速起效和快速恢复,对日常生活影响较小,因此接受度较高,有研究<sup>[10]</sup>表明笑气镇静的满意率为91.46%。笑气

镇静的吸入浓度目前仍存在争议,应根据患者术前评估、术中监测等进行个性化制定和调整,普遍认为笑气最大浓度应不超过70%<sup>[11]</sup>。

### 1.3 鼻腔镇静

经鼻内黏膜给药镇静的的方式同样适用于牙科焦虑和对针头有恐惧心理的儿童,鼻腔常使用咪达唑仑、氯酮和舒芬太尼,具有良好的镇静作用且安全性高<sup>[12]</sup>,缺点是其具有一定刺激性。研究<sup>[13]</sup>表明,接受鼻内咪达唑仑镇静的儿童患者较冷静、不良反应较少,其在控制患者行为和提供足够的镇静作用方面与笑气镇静一样有效,可作为无法接受治疗全程佩戴鼻罩患者的镇静选择。

### 1.4 静脉镇静

深度静脉镇静可作为全身麻醉的安全替代方案,适用于高度焦虑、咽反射严重、不合作或特殊疾病患者的口腔治疗<sup>[14]</sup>。静脉给药起效快,能够滴定药物以达到特定血药浓度,镇静时间和深度可控;但作为有创镇静,需要持续的静脉通路,且对医护人员有着较高的技术要求。常用的静脉镇静剂包括咪达唑仑、氯胺酮和丙泊酚。静脉镇静时可能出现呼吸和心血管抑制的不良反应,应进行术前评估,镇静时密切监测。

## 2 麻醉

### 2.1 局部麻醉

牙髓病是一种慢性、进行性疾病,但在急性发作时可引发剧烈疼痛。目前,局部麻醉是预防和处理牙髓病疼痛最安全有效的办法。

2.1.1 主要麻醉方式 1) 表面麻醉:利用涂布、喷雾、冷冻、微针等方式作用于口腔黏膜表面,减少痛觉传导,可减少针头刺入时的疼痛,常与其他麻醉方式联合使用<sup>[15]</sup>。一般认为,表面麻醉可显著减轻插入和注射时的疼痛,且能降低焦虑对疼痛的影响<sup>[16]</sup>。常用的表面麻醉剂包括:20%苯佐卡因、复方利多卡因乳膏(2.5%利多卡因和2.5%普鲁卡因)和5%利多卡因。但也有研究<sup>[17]</sup>表明,表面麻醉组与安慰剂组在针头穿透和注射疼痛方面没有明显差异。

2) 浸润麻醉:阻断神经末梢,适用于单个牙齿的治疗。上颌骨密度较低,颊侧骨皮质较薄,麻醉剂渗透快,上颌牙牙髓麻醉主要使用阿替卡因进行颊侧浸润麻醉;下颌前牙和前磨牙多为单根牙,根尖孔粗大,浸润麻醉也可取得较好的效

果。浸润麻醉失败的原因包括：牙髓炎症、牙髓状态、根长、麻药量等。譬如：具有较长腭、颊根的不可复性牙髓炎的上颌磨牙，其麻醉失败率更高<sup>[18]</sup>；腭根呈发散状的牙与腭根尖到颊侧骨皮质板较近的牙相比，其麻醉失败率更高<sup>[19]</sup>；增加阿替卡因的给药量，并在颊侧浸润的基础上增加腭侧浸润，可显著提高不可复性牙髓炎上颌第一磨牙的麻醉成功率<sup>[20]</sup>。

3) 神经阻滞麻醉：适用于较大区域的麻醉，常用于下颌。下牙槽神经阻滞麻醉 (inferior alveolar nerve block anesthesia, IANB) 是麻醉下颌牙髓最常用的方法。相比利多卡因，阿替卡因能为不可复性牙髓炎患者提供更佳的麻醉效果<sup>[21]</sup>；Gow-Gates神经阻滞比传统IANB具有更高的成功率，然而更常用的辅助办法仍是颊舌侧浸润<sup>[22]</sup>；提高麻醉剂的使用量也可显著提高IANB的成功率，但无法达到100%<sup>[23]</sup>。上牙槽后神经阻滞麻醉适用于上颌第一、第二磨牙麻醉，但其难度较大，且有多种临床并发症，如血肿、复视、视物模糊、咀嚼肌损害等<sup>[24]</sup>，临床上可作为浸润麻醉效果不佳时的备选。

2.1.2 辅助麻醉 最常用的IANB有43%~83%的失效率，特别是不可复性牙髓炎的患牙<sup>[25]</sup>。最主要的失败因素为注射技巧不佳，其次为解剖变异、感染与炎症、病理过程、心理因素<sup>[26]</sup>。当失败发生时，可以使用以下方式进行辅助麻醉。

1) 骨内麻醉：使用穿孔器在皮质骨上钻孔，将麻醉剂直接注射到目标牙齿周围的骨松质中。研究<sup>[27]</sup>表明，浸润麻醉和阻滞麻醉失败后，骨内麻醉的成功率在90%以上。骨内麻醉即时起效，持续约15~30 min，但可能会使患者心率增加<sup>[28]</sup>。

2) 牙周膜麻醉：将麻醉剂注入牙周膜，使其达到根尖孔的位置，本质也是骨内麻醉的一种。IANB后，补充牙周膜麻醉的成功率可达80%以上<sup>[29]</sup>。牙周膜麻醉起效快，麻醉剂用量小，不良反应发生率也相对降低<sup>[30]</sup>，但牙周炎患者不推荐使用该麻醉方式。

3) 颊侧浸润：常被用作IANB失败后的辅助麻醉。与利多卡因相比，阿替卡因由于其更好的扩散作用而更有效<sup>[31]</sup>。有研究<sup>[32]</sup>表示，在不可复性牙髓炎的患者中，使用颊侧浸润作为IANB补充的成功率为50%~70%，低于骨内麻醉和牙周膜麻醉。

4) 牙槽间隔麻醉：与骨内和牙周膜麻醉相比，牙槽间隔麻醉在控制术后疼痛方面更有效<sup>[33]</sup>。

该方法需要的麻醉剂量小，起效快 (<30 s)，并能最大限度地减少手术过程中的出血，术后并发症相对较少。在神经阻滞麻醉+颊侧浸润后加入阿替卡因牙槽间隔麻醉，能显著提高不可复性牙髓炎患牙的麻醉成功率<sup>[34]</sup>。

尽管应用了上述方法，仍有一小部分牙齿可能会麻醉不全，这种情况下，髓腔麻醉被认为是最后的手段，但仅适用于髓室敞开封头可进入的病例。该麻醉方式禁用于牙髓切除术，且过程痛苦，将20%的苯佐卡因和玻璃酸钠混合涂抹在暴露的牙髓上，或可减轻髓腔麻醉时的痛苦<sup>[35]</sup>。

## 2.2 全身麻醉

全身麻醉使患者在治疗期间处于无意识状态，多用于儿童及有特殊需要的患者，适用于复杂的牙髓治疗或需同时处理多颗牙齿治疗的情况，以减少治疗次数，提高治疗效率<sup>[36]</sup>。然而全身麻醉具有更高的风险和更复杂的术后恢复过程，因此在使用前需要进行全面而严谨的评估。医生需综合考虑患者的全身状态，包括年龄、体重、是否有系统性疾病，以及是否有正在服用可能影响麻醉效果的药物，以确保麻醉的安全性和有效性。麻醉后有一定概率出现不良反应，如疼痛、疲倦嗜睡、发热、恶心呕吐等，此外鼻气管插管不可避免会刺激甚至伤害呼吸道黏膜，导致咽痛、咳嗽和鼻出血<sup>[37]</sup>。

全身麻醉可以采用吸入麻醉和静脉麻醉2种方式，在儿童口腔治疗中，静吸复合麻醉是常用的方法。吸入麻醉药中，七氟烷是目前临床上最常用的药物之一，而静脉麻醉药则主要包括丙泊酚和右美托咪定等<sup>[38]</sup>。国内全身麻醉下进行口腔治疗主要集中在口腔专科医院和少数综合医院，这些医疗机构通常具备必要的设备和专业人员，能够为患者提供安全有效的全身麻醉。

镇静及全身麻醉前的术前用药，能降低患者对手术相关痛苦或焦虑的感知，提高患者的依从性。例如，尽管鼻内镇静剂没有镇痛效果，但它们是镇痛药的有用辅助手段，通常在全身麻醉前给予。鼻内咪达唑仑、右美托咪定和舒芬太尼已被证明是有效的术前用药<sup>[12]</sup>。

## 3 微创治疗

### 3.1 微创去龋

化学去龋技术，特别是Carisolv系统，安全、

微创、舒适,对健康牙体组织无影响,不产热,对牙髓组织刺激性小。微创车针去龋,可以避免传统车针如金刚砂和钨钢车针在使用过程中产生的噪声、压力、震动和温度刺激,从而减少患者的不适,避免可能出现的过度切削牙体组织。此类微创去龋的方法能有效减少术中疼痛及术后并发症的发生,是舒适化牙体牙髓病治疗的有效方式<sup>[39]</sup>。

### 3.2 激光

激光作为一种治疗方式,被用于各种医疗实践中,但在牙体牙髓病的治疗中,激光尚未被普遍应用,仍有很大的发展空间。

**3.2.1 激光去龋** 传统的去龋方式为机械去龋,其伴随的噪声和疼痛可能造成患者的焦虑恐惧。与传统的钻磨技术相比,钕激光(Er:YAG)的优势有:精确去除龋坏组织,减小对健康牙体组织的损伤<sup>[40]</sup>;无震动、无痛预备、少用或不用麻药<sup>[41]</sup>;减少裂纹的产生;产生的光热效应不仅能杀菌还不会对牙髓造成热损伤;激光照射熔融牙本质的无机成分,密封治疗过的牙本质表面,增加对继发龋的抵抗力<sup>[42]</sup>。

**3.2.2 激光在根管治疗中的应用** 根管预备时,钕激光能有效去除根管内的感染物和玷污层,敞开牙本质小管并清除其中的细菌,还可以降低牙本质微裂的风险,减少根折发生,降低对根尖组织产生的损伤<sup>[43]</sup>。与传统针管冲洗、超声波激活冲洗方式比,激光活化冲洗(laser activated irrigation, LAI)<sup>[44]</sup>在去除根管系统中的微生物、牙本质碎片和玷污层方面更胜一筹,在去除根尖生物膜和杀死牙本质小管中定植细菌方面也表现出显著效果<sup>[45-46]</sup>。

**3.2.3 激光镇痛** 低能量激光疗法(low-level laser therapy, LLLT)的工作原理是对细胞进行光生物刺激,这种效应会导致细胞和组织功能的改变,有助于伤口愈合、防止细胞死亡、增强组织修复、减轻疼痛等作用<sup>[47]</sup>。

先使用LLLT,然后施用局部麻醉剂可以减轻注射期间的疼痛<sup>[48]</sup>,且LLLT对局部麻醉的效果和持续时间没有影响<sup>[49]</sup>。术后疼痛是牙髓治疗后的常见并发症之一<sup>[50]</sup>,而激光的抗菌作用有助于控制根管内的感染,减少术后并发症和疼痛<sup>[51]</sup>。研究<sup>[52-53]</sup>表明,LLLT具有增强愈合、减少炎症和镇痛的特征,可被用于减轻根管治疗和根管再治疗后的疼痛。

## 4 计算机辅助

### 4.1 计算机辅助麻醉

计算机控制下的局部麻醉注射系统(computer-controlled local anesthetic delivery system, C-CLADs)通过使用计算机化设备来控制注射,保持缓慢并恒定的注射速度,包括单颗牙麻醉(single tooth anesthesia, STA)系统、Comfort Control系统、QuickSleeper系统、iCT系统等<sup>[54]</sup>。其中,STA在国内外被广泛应用,特别是针对儿童的口腔治疗。

STA系统由电脑智能控制,采用动态压力传感技术实时监测麻醉药的输出压力,以恒定的压力和缓慢的速度自动注射药物,降低对局部组织的压力,从而减轻疼痛<sup>[55]</sup>。虽然STA缓慢的注射速度可能导致治疗时间延长,但由于其可减轻麻醉时的疼痛感,减少了患者对传统注射器的恐惧心理,提高了治疗的配合度,为牙体牙髓病舒适化治疗提供了一种更为舒适和精确的麻醉方式,使其成为临床治疗中一个重要的选择。

### 4.2 计算机辅助诊断

人工智能(artificial intelligence, AI)因其强大的数据分析和图像处理功能,有望更加快速、精确地对牙体牙髓病进行诊断,提高诊断效率,从而减少患者的就诊时间和检查项目,提升就诊体验。譬如,根尖周炎是一种常见的牙髓疾病,锥形束计算机断层扫描成像(cone beam computed tomography, CBCT)可以精确检测根尖周病变并评估其位置和大小<sup>[56]</sup>。Orhan等<sup>[57]</sup>验证了基于深度卷积神经网络方法(convolutional neural network, CNN)的AI系统在CBCT图像上检测根尖周病变的诊断性能,正确检测根尖周病变的可靠性为92.8%。又譬如牙根纵折的诊断,研究表明,CNN可能是在全景片上识别牙根纵折的一种有用工具,精确度为0.93<sup>[58]</sup>,而概率神经网络(probabilistic neural network, PNN)在根尖X线片和CBCT图像上识别牙根纵折上同样有效<sup>[59]</sup>。

### 4.3 计算机辅助治疗

**4.3.1 视听技术和虚拟现实(virtual reality, VR)** 分散注意力是一种减轻焦虑的有效策略,口腔治疗中常采用视听技术分散儿童患者的注意力,如平板电脑、电视和投影<sup>[60]</sup>。视听技术分散注意力的方法有效减少了儿童的焦虑情绪,常配

合局部麻醉进行口腔治疗<sup>[61]</sup>。此外,视听资源还能用于患者教育,通过动画或视频的形式详细解释牙体牙髓病的病因、治疗方法和预防措施,使患者更加清楚地了解自己的病情和治疗方案,从而提高治疗的依从性。

VR技术提供了沉浸式体验,有效地将患者的注意力从临床环境中转移开,营造出积极愉快的治疗体验<sup>[62]</sup>;能够让个人完全沉浸其中,可能与更好的麻醉效果相关<sup>[63]</sup>;不仅有助于减轻治疗时的焦虑情绪,也能减轻治疗结束后对口腔治疗的负面记忆,从而减少推迟或逃避就诊的可能,有利于长期的口腔健康。

#### 4.3.2 引导牙髓治疗 (guided endodontics, GE)

GE技术是一种新兴的牙体牙髓病舒适化治疗技术,它通过结合CBCT和计算机辅助设计/计算机辅助制造 (computer-aided design/computer-aided manufacturing, CAD/CAM) 系统,实现对根管系统的精确定位和治疗。髓腔通路预备和准确的根管定位是根管治疗成功的基础,在根管闭锁、根管钙化、复杂根管的情况下,GE用于进入难以治疗的根管,可减少治疗时间、降低治疗风险、避免牙体硬组织过度损失。实施根尖手术时,为了切除更少的骨组织,更加精确地切除病变区域,需要利用GE进行手术通路的引导,GE降低了术中和术后并发症的风险,缩短手术时间,有利于预后。

4.3.3 CAD/CAM 牙体缺损或牙髓治疗后常需要利用修复体恢复牙齿的形态和功能,CAD/CAM椅旁系统允许临床医师在诊室设计和制造修复体,从而实现单次就诊完成牙髓治疗及修复治疗,节省了患者的就诊时间和医疗资源,不仅提高了治疗的效率,也提升了患者的就诊体验。

CAM/CAD技术常常与口内扫描(简称“口扫”)技术相结合,通过直接在患者口腔内进行扫描,获取牙齿的三维形态,为牙体修复提供实时、精确的数据支持。这项技术极大地简化了传统印模制取过程,减少了患者因取模造成的不适感,并提高了治疗效率。

## 5 总结与展望

本文系统探讨了牙体牙髓病舒适化治疗的各个方面,从其定义、重要性及具体技术和方法。该治疗策略涵盖镇静、麻醉、微创治疗、计算机

辅助等多种方法,每种方法均有其特定的适应证、优势和局限性,在临床实践中,需综合评估患者状况,依据其病情和身心状态选择合适的治疗方法。随着患者对医疗体验要求的提高和口腔医学技术的快速发展,舒适化治疗已成为牙体牙髓领域的发展方向。未来,牙体牙髓病的舒适化治疗或将与心理学、药理学等其他学科交叉融合,建立多学科综合治疗模式,为患者提供更全面和个性化的治疗方案。此外,口腔专业教育也将更加重视舒适化治疗理念的建立和技能的培训,以培养更多能够提供高质量舒适化治疗的口腔医师。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

## 6 参考文献

- [1] 洪飞若,陈飘飘,俞雪芬,等.中国成年人牙科焦虑症患病率的Meta分析[J].华西口腔医学杂志,2023,41(1):88-98.  
Hong FR, Chen PP, Yu XF, et al. Prevalence of dental anxiety among adults in China: a Meta-analysis [J]. West China J Stomatol, 2023, 41(1): 88-98.
- [2] 邓锋,郁葱.“舒适化口腔医疗”理念与规范化管理[J].重庆医学,2012,41(26):2681-2682.  
Deng F, Yu C. The concept and standardized management of “comfortable oral care” [J]. Chongqing Med, 2012, 41(26): 2681-2682.
- [3] 景泉,万阔.口腔舒适化治疗的协和模式[J].中国实用口腔科杂志,2018,11(2):74-76.  
Jing Q, Wan K. Dental fear management and comfort dentistry: 15-year experience in a dental center in Peking Union Medical College Hospital [J]. Chin J Pract Stomatol, 2018, 11(2): 74-76.
- [4] Abbott PV. Present status and future directions: managing endodontic emergencies [J]. Int Endod J, 2022, 55(Suppl 3): 778-803.
- [5] 王晓,倪龙兴,田宇.微创牙髓病学理念及微创髓腔预备方式[J].中华口腔医学研究杂志(电子版),2020,14(3):133-137.  
Wang X, Ni LX, Tian Y. The concept and research progress in endodontic cavities of minimal invasive endodontics [J]. Chin J Stomatol Res (Electr Ed), 2020, 14(3): 133-137.
- [6] Giovannitti Jr JA. moderate sedation and emergency medicine for periodontists [M]. Cham: Springer, 2020:

- 5-13.
- [7] Peter JU, Dieudonné P, Zolk O. Pharmacokinetics, pharmacodynamics, and side effects of midazolam: a review and case example[J]. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2024, 17(4): 473.
- [8] Emmanouil DE, Quock RM. Advances in understanding the actions of nitrous oxide[J]. *Anesth Prog*, 2007, 54(1): 9-18.
- [9] Rossit M, Gil-Manich V, Ribera-Urbe JM. Success rate of nitrous oxide-oxygen procedural sedation in dental patients: systematic review and meta-analysis [J]. *J Dent Anesth Pain Med*, 2021, 21(6): 527-545.
- [10] 邓宇杰, 杨晓彬, 陈浩, 等. 口腔门诊治疗中1 429例患者应用笑气镇静技术的回顾性分析[J]. *口腔疾病防治*, 2021, 29(4): 249-253.
- Deng YJ, Yang XB, Chen H, et al. 1 429 cases treated with nitrous oxide inhalation sedation in dental clinic: a retrospective study[J]. *J Prev Treat Stomatol Dis*, 2021, 29(4): 249-253.
- [11] 中华口腔医学会. 口腔门诊笑气-氧气吸入镇静技术操作指南: T/CHSA 008-2022[S]. 北京: 中华口腔医学会, 2022.
- Chinese Stomatological Association. Guideline on nitrous oxide-oxygen inhalation sedation in dental outpatient: T/CHSA 008-2022[S]. Beijing: Chinese Stomatological Association, 2022.
- [12] AlSarheed MA. Intranasal sedatives in pediatric dentistry[J]. *Saudi Med J*, 2016, 37(9): 948-956.
- [13] Srinivasan NK, Karunakaran P, Panchal V, et al. Comparison of the sedative effect of inhaled nitrous oxide and intranasal midazolam in behavior management and pain perception of pediatric patients: a split-mouth randomized controlled clinical trial[J]. *Int J Clin Pediatr Dent*, 2021, 14(Suppl 2): S111-S116.
- [14] Nishizaki H, Morimoto Y, Hayashi M, et al. Analysis of intravenous sedation for dental treatment in elderly patients with severe dementia—a retrospective cohort study of a Japanese population[J]. *J Dent Sci*, 2021, 16(1): 101-107.
- [15] Tani R, Yamasaki S, Hamada A, et al. Clinical efficacy and safety of lidocaine tape for topical anesthesia of the oral mucosa: a preliminary controlled trial [J]. *Dent J (Basel)*, 2023, 11(12): 276.
- [16] Cho SY, Kim E, Park SH, et al. Effect of topical anesthesia on pain from needle insertion and injection and its relationship with anxiety in patients awaiting apical surgery: a randomized double-blind clinical trial[J]. *J Endod*, 2017, 43(3): 364-369.
- [17] Parirokh M, Sadeghi AS, Nakhaee N, et al. Effect of topical anesthesia on pain during infiltration injection and success of anesthesia for maxillary central incisors[J]. *J Endod*, 2012, 38(12): 1553-1536.
- [18] Moradi Askari E, Parirokh M, Nakhaee N, et al. The effect of maxillary first molar root length on the success rate of buccal infiltration anesthesia[J]. *J Endod*, 2016, 42(10): 1462-1466.
- [19] Parirokh M, Kakooei S, Nakhaee N, et al. The effect of the anatomic variables on the success rate of anesthesia in maxillary molars with irreversible pulpitis[J]. *J Endod*, 2022, 48(6): 707-713.
- [20] Afkhami F, Rostami G, Peters OA, et al. Pulpal anesthesia of maxillary first molars using 4% articaine infiltration in patients with symptomatic irreversible pulpitis: a randomized controlled clinical trial[J]. *Clin Oral Investig*, 2023, 27(7): 3999-4006.
- [21] Nagendrababu V, Duncan HF, Whitworth J, et al. Is articaine more effective than lidocaine in patients with irreversible pulpitis? An umbrella review[J]. *Int Endod J*, 2020, 53(2): 200-213.
- [22] Sarfaraz I, Pascoal S, Macedo JP, et al. Anesthetic efficacy of Gow-Gates versus inferior alveolar nerve block for irreversible pulpitis: a systematic quantitative review[J]. *J Dent Anesth Pain Med*, 2021, 21(4): 269-282.
- [23] Nagendrababu V, Abbott PV, Pulikkotil SJ, et al. Comparing the anaesthetic efficacy of 1.8 mL and 3.6 mL of anaesthetic solution for inferior alveolar nerve blocks for teeth with irreversible pulpitis: a systematic review and meta-analysis with trial sequential analysis[J]. *Int Endod J*, 2021, 54(3): 331-342.
- [24] Marques ALN, Figueroba SR, Mafra MAT, et al. Edema and hematoma after local anesthesia via posterior superior alveolar nerve block: a case report[J]. *J Dent Anesth Pain Med*, 2022, 22(3): 227-231.
- [25] Dias-Junior LCL, Bezerra AP, Schuldt DPV, et al. Effectiveness of different anesthetic methods for

- mandibular posterior teeth with symptomatic irreversible pulpitis: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Oral Investig*, 2021, 25(12): 6477-6500.
- [26] Lee CR, Yang HJ. Alternative techniques for failure of conventional inferior alveolar nerve block[J]. *J Dent Anesth Pain Med*, 2019, 19(3): 125-134.
- [27] Nilius M, Mueller C, Nilius MH, et al. Intraosseous anesthesia in symptomatic irreversible pulpitis: impact of bone thickness on perception and duration of pain[J]. *J Dent Anesth Pain Med*, 2020, 20(6): 367-375.
- [28] Gaudin A, Clouet R, Boëffard C, et al. Comparing intraosseous computerized anaesthesia with inferior alveolar nerve block in the treatment of symptomatic irreversible pulpitis: a randomized controlled trial [J]. *Int Endod J*, 2023, 56(8): 922-931.
- [29] Gufran K, Mirza MB, Robaian A, et al. A prospective clinical study evaluating the efficacy of intraligamentary anesthetic solutions in mandibular molars diagnosed as symptomatic irreversible pulpitis with symptomatic apical periodontitis[J]. *Healthcare (Basel)*, 2022, 10(8): 1389.
- [30] Youssef BR, Söhnel A, Welk A, et al. RCT on the effectiveness of the intraligamentary anesthesia and inferior alveolar nerve block on pain during dental treatment[J]. *Clin Oral Investig*, 2021, 25(8): 4825-4832.
- [31] Miglani S, Ansari I, Patro S, et al. Efficacy of 4% articaine vs 2% lidocaine in mandibular and maxillary block and infiltration anaesthesia in patients with irreversible pulpitis: a systematic review and meta-analysis[J]. *PeerJ*, 2021, 9: e12214.
- [32] Gandhi SA, Das S, Das A, et al. Anaesthetic efficacy of lidocaine and articaine in inferior alveolar nerve block combined with buccal infiltration in patients with irreversible pulpitis[J]. *J Pharm Bioallied Sci*, 2021, 13(Suppl 1): S731-S734.
- [33] Brkovic BM, Savic M, Andric M, et al. Intraosseous vs. periodontal ligament anaesthesia for maxillary tooth extraction: quality of local anaesthesia and haemodynamic response[J]. *Clin Oral Investig*, 2010, 14(6): 675-681.
- [34] Dianat O, Mozayeni MA, Layeghnejad MK, et al. The efficacy of supplemental intraosseous and buccal infiltration anesthesia in mandibular molars of patients with symptomatic irreversible pulpitis[J]. *Clin Oral Investig*, 2020, 24(3): 1281-1286.
- [35] Sooraparaju SG, Abarajithan M, Sathish ES, et al. Anaesthetic efficacy of topical benzocaine gel combined with hyaluronidase for supplemental intraosseous injection in teeth with irreversible pulpitis—a double blinded clinical trial[J]. *J Clin Diagn Res*, 2015, 9(8): ZC95-ZC97.
- [36] Marinho MA, Ramos FCT, Cardoso AL, et al. Dental treatment under general anesthesia in patients with special needs provided by private and public healthcare services—a retrospective, comparative study [J]. *Healthcare (Basel)*, 2022, 10(6): 1147.
- [37] Zhang Q, Deng X, Wang Y, et al. Postoperative complications in Chinese children following dental general anesthesia: a cross-sectional study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(45): e23065.
- [38] 赵乐, 刘乐, 林洁. 儿童口腔镇痛镇静治疗现状[J]. *吉林医学*, 2020, 41(12): 3009-3011.
- Zhao L, Liu L, Lin J. Current status of oral analgesia and sedation in children [J]. *Jilin Med*, 2020, 41(12): 3009-3011.
- [39] 倪佳文, 朱亚琴. 去龋技术研究进展[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2015, 8(7): 435-438.
- Ni JW, Zhu YQ. Advances in caries excavation techniques[J]. *Chin J Pract Stomatol*, 2015, 8(7): 435-438.
- [40] Feng Z, Yuan R, Cheng L, et al. Effect of Er:YAG laser irradiation on preventing enamel caries: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int Dent J*, 2024, 74(4): 679-687.
- [41] Li T, Zhang X, Shi H, et al. Er:YAG laser application in caries removal and cavity preparation in children: a meta-analysis[J]. *Lasers Med Sci*, 2019, 34(2): 273-280.
- [42] Valenti C, Pagano S, Bozza S, et al. Use of the Er:YAG laser in conservative dentistry: evaluation of the microbial population in carious lesions[J]. *Materials (Basel)*, 2021, 14(9): 2387.
- [43] Kokuzawa C, Ebihara A, Watanabe S, et al. Shaping of the root canal using Er:YAG laser irradiation[J]. *Photomed Laser Surg*, 2012, 30(7): 367-373.
- [44] Swimberghe RCD, Tzourmanas R, De Moor RJG,

- et al. Explaining the working mechanism of laser-activated irrigation and its action on microbial biofilms: a high-speed imaging study[J]. *Int Endod J*, 2022, 55(12): 1372-1384.
- [45] Bao P, Liu H, Yang L, et al. *In vitro* efficacy of Er:YAG laser-activated irrigation versus passive ultrasonic irrigation and sonic-powered irrigation for treating multispecies biofilms in artificial grooves and dentinal tubules: an SEM and CLSM study[J]. *BMC Oral Health*, 2024, 24(1): 261.
- [46] Bürklein S, Abdi I, Schäfer E, et al. Influence of pulse energy, tip design and insertion depth during Er:YAG-activated irrigation on cleaning efficacy in simulated severely curved complex root canal systems *in vitro*[J]. *Int Endod J*, 2024, 57(1): 87-99.
- [47] de Freitas LF, Hamblin MR. Proposed mechanisms of photobiomodulation or low-level light therapy[J]. *IEEE J Sel Top Quantum Electron*, 2016, 22(3): 7000417.
- [48] Jagtap B, Bhate K, Magoo S, et al. Painless injections-a possibility with low level laser therapy[J]. *J Dent Anesth Pain Med*, 2019, 19(3): 159-165.
- [49] Uçar G, Şermet Elbay Ü, Elbay M. Effects of low level laser therapy on injection pain and anesthesia efficacy during local anesthesia in children: a randomized clinical trial[J]. *Int J Paediatr Dent*, 2022, 32(4): 576-584.
- [50] Ismail HH, Obeid M, Hassanien E. Efficiency of diode laser in control of post-endodontic pain: a randomized controlled trial[J]. *Clin Oral Investig*, 2023, 27(6): 2797-2804.
- [51] Aydın H, Er K, Kuştaçarı A, et al. Antibacterial activity of silver nanoparticles activated by photodynamic therapy in infected root canals[J]. *Dent Med Probl*, 2020, 57(4): 393-400.
- [52] Fazlyab M, Esmacili Shahmirzadi S, Esnaashari E, et al. Effect of low-level laser therapy on postoperative pain after single-visit root canal retreatment of mandibular molars: a randomized controlled clinical trial[J]. *Int Endod J*, 2021, 54(11): 2006-2015.
- [53] Toopalle SV, Yadav I, Gupta A, et al. Effect of laser therapy on postoperative pain and endodontic retreatment: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int Dent J*, 2024, 74(2): 335-342.
- [54] Kwak EJ, Pang NS, Cho JH, et al. Computer-controlled local anesthetic delivery for painless anesthesia: a literature review[J]. *J Dent Anesth Pain Med*, 2016, 16(2): 81-88.
- [55] Garret-Bernardin A, Cantile T, D'Antò V, et al. Pain experience and behavior management in pediatric dentistry: a comparison between traditional local anesthesia and the wand computerized delivery system[J]. *Pain Res Manag*, 2017, 2017: 7941238.
- [56] Leonardi Dutra K, Haas L, Porporatti AL, et al. Diagnostic accuracy of cone-beam computed tomography and conventional radiography on apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Endod*, 2016, 42(3): 356-364.
- [57] Orhan K, Bayrakdar IS, Ezhov M, et al. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathology on cone-beam computed tomography scans [J]. *Int Endod J*, 2020, 53(5): 680-689.
- [58] Fukuda M, Inamoto K, Shibata N, et al. Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography[J]. *Oral Radiol*, 2020, 36(4): 337-343.
- [59] Johari M, Esmacili F, Andalib A, et al. Detection of vertical root fractures in intact and endodontically treated premolar teeth by designing a probabilistic neural network: an *ex vivo* study[J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2017, 46(2): 20160107.
- [60] Prado IM, Carcavalli L, Abreu LG, et al. Use of distraction techniques for the management of anxiety and fear in paediatric dental practice: a systematic review of randomized controlled trials[J]. *Int J Paediatr Dent*, 2019, 29(5): 650-668.
- [61] Zhang C, Qin D, Shen L, et al. Does audiovisual distraction reduce dental anxiety in children under local anesthesia? A systematic review and meta-analysis[J]. *Oral Dis*, 2019, 25(2): 416-424.
- [62] Barros Padilha DX, Veiga NJ, Mello-Moura ACV, et al. Virtual reality and behaviour management in paediatric dentistry: a systematic review[J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1): 995.
- [63] Gold JI, Belmont KA, Thomas DA. The neurobiology of virtual reality pain attenuation[J]. *Cyberpsychol Behav*, 2007, 10(4): 536-544.