

纤维桩联合不同冠部修复方式修复穿髓型非龋性颈部缺损牙体的力学分析

陈倚琰¹, 张旭², 李红¹

<https://doi.org/10.12307/2025.219>

投稿日期: 2023-11-21

采用日期: 2024-01-20

修回日期: 2024-02-22

在线日期: 2024-03-08

中图分类号:

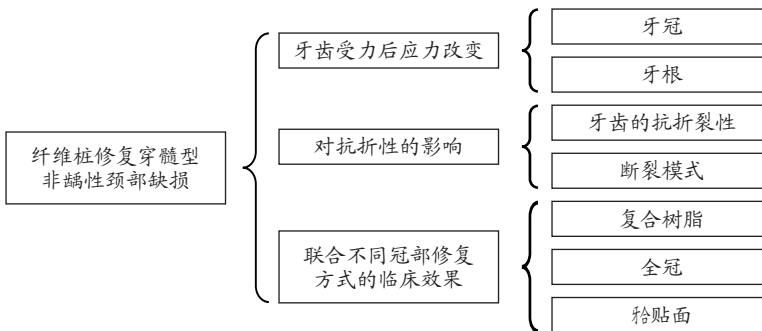
R459.9; R318.08; R-1

文章编号:

2095-4344(2025)04-00866-06

文献标识码: A

文章快速阅读: 纤维桩联合不同冠部修复方式修复穿髓型非龋性颈部缺损



文题释义:

非龋性颈部缺损:指发生在牙颈部的牙釉质和牙骨质处除龋损外的牙体硬组织丧失,形态多样,如浅凹状、圆盘状或楔状缺损,可仅累及牙冠部、牙根表面,或同时累及牙冠和牙根部,累及牙根者往往伴随牙龈退缩。

三维有限元分析:是分析复杂几何体应力和变形的的方法,其原理是将复杂几何体划分为更小、更简单的有限元素,有限元素经过分析后再整合起来得到原几何体的解。

摘要

背景:使用纤维桩修复穿髓型非龋性颈部缺损可以改变牙齿的应力分布,显著降低患牙折裂风险,但关于纤维桩改善牙体抗折性的力学机制及穿髓型非龋性颈部缺损的最佳冠部修复方式尚有争论。

目的:综述纤维桩修复穿髓型非龋性颈部缺损后的应力分布模式,在各种受力状态下的抗折能力与断裂模式,以及纤维桩联合不同冠部修复方式的最新研究进展。

方法:应用计算机在PubMed和中国知网数据库中检索2008年9月至2023年9月发表的相关文献,英文检索词为“non-carious cervical lesions, endodontically treated teeth restoration, endodontically treated teeth stress distribution”,中文检索词为“非龋性颈部缺损,根管治疗后牙体修复,根管治疗后牙齿应力分布”,最终纳入56篇文献进行分析。

结果与结论:穿髓型非龋性颈部缺损根管治疗后,应用纤维桩修复可部分改善牙齿颈部应力,同时不会增加牙根纵裂的风险;使应力分布更加均匀,提高牙齿的抗折性。使用纤维桩修复的非龋性颈部缺损牙齿若折断,其断裂模式显示出有利的、可恢复的或可修复的断裂模式。纤维桩联合瓷贴面或贴面式嵌体可能会成为修复穿髓型非龋性颈部缺损的一种较理想微创修复方法。

关键词:非龋性颈部缺损;穿髓型;三维有限元分析;纤维桩;冠部修复;应力分布;抗折性;折断模式

Mechanical analysis of fiber post combined with different crown restorations for endodontically treated non-carious cervical lesions

Chen Yilong¹, Zhang Xu², Li Hong¹

¹Beijing Stomatological Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China; ²Beijing Fangshan Liangxiang Hospital, Beijing 102401, China
Chen Yilong, Master candidate, Beijing Stomatological Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

Corresponding author: Li Hong, Chief physician, Professor, Beijing Stomatological Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

Abstract

BACKGROUND: The use of fiber post to repair the endodontically treated non-carious cervical lesions teeth can change the stress distribution of the tooth and significantly reduce the risk of fracture of the affected tooth. However, the mechanical mechanism of fiber posts improving tooth fracture resistance and the optimal crown restoration for endodontically treated non-carious cervical lesions teeth are still debated.

OBJECTIVE: To review the stress distribution pattern after restoration of endodontically treated non-carious cervical lesions teeth with fiber posts, the fracture resistance and fracture pattern under various stress states, and the latest research progress on fiber posts combined with different crown restorations.

METHODS: The computerized search was applied in PubMed and CNKI to retrieve articles published from September 2008 to September 2023 with Chinese and English search terms “non-carious cervical lesions, endodontically treated teeth restoration, endodontically treated teeth stress distribution.” Finally, 56 articles were included for analysis.

RESULTS AND CONCLUSION: The application of fiber post restoration for endodontically treated non-carious cervical lesion teeth can partially improve

¹首都医科大学附属北京口腔医院,北京市 100050; ²北京市房山区良乡医院,北京市 102401

第一作者: 陈倚琰,女,1999年生,北京市人,汉族,首都医科大学在读硕士,主要从事免疫与牙周组织稳态研究。

通讯作者: 李红,主任医师,教授,首都医科大学附属北京口腔医院,北京市 100050

<https://orcid.org/0000-0001-6589-9166>(陈倚琰)

基金资助:北京市医管中心培育计划项目(PX2023055),项目负责人:李红;首都医科大学附属北京口腔医院创新基金项目(23-09-20),项目负责人:李红

引用本文: 陈倚琰,张旭,李红.纤维桩联合不同冠部修复方式修复穿髓型非龋性颈部缺损牙体的力学分析[J].中国组织工程研究,2025,29(4):866-871.



the cervical stress of the tooth without increasing the risk of vertical root fracture, can lead to a more consistent distribution of stress and enhance the tooth's ability to withstand fractures. Non-carious cervical lesion teeth with fiber posts that fracture would show favorable, restorable, or repairable fracture patterns. Fiber posts in combination with porcelain veneers or veneer-type inlays may become a more desirable minimally invasive restoration for repairing endodontically treated non-carious cervical lesion teeth.

Key words: non-carious cervical lesion; pulp exposure; three-dimensional finite element analysis; fiber post; crown restoration; stress distribution; fracture resistance; fracture pattern

Funding: Beijing Municipal Administration of Hospitals Incubating Program, No. PX2023055 (to LH); Innovation Foundation of Beijing Stomatological Hospital of Capital Medical University, No. 23-09-20 (to LH)

How to cite this article: CHEN YL, ZHANG X, LI H. Mechanical analysis of fiber post combined with different crown restorations for endodontically treated non-carious cervical lesions. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2025;29(4):866-871.

0 引言 Introduction

非龋性颈部缺损是指发生在牙颈部的慢性、非龋性硬组织缺损，累及最常见于第一前磨牙，其次为尖牙与第二前磨牙^[1-2]。非龋性颈部缺损是机械磨损^[3]、化学酸蚀^[4]、牙齿颈部应力集中等多因素作用的结果^[5-6]。最新研究报道，非龋性颈部缺损在全球范围内的发病率为9.1%-93%^[7-11]。因牙颈部特殊解剖结构，非龋性颈部缺损易累及牙髓，导致牙髓病、根尖周病，需进行根管治疗。穿髓型非龋性颈部缺损极大减弱了牙齿颈部的抗折力，当非龋性颈部缺损存在时，即使只有0.5 mm的深度也会促进颈部区域周围的应力集中，并且随着缺损程度的增大，缺损区应力急剧增大^[12]。根管治疗过程中对冠部牙体组织和根管壁的切削，会进一步降低根管治疗后牙齿颈部的抗折性，术后极易发生牙体组织断裂，严重时将会导致牙齿的丧失^[13]。

由于特殊的缺损位置和应力分布模式，穿髓型非龋性颈部缺损在根管治疗后的牙体修复方式上一直存在争议，如何改善牙体组织的应力分布、提高或改善牙齿颈部的抗折性，是修复方式选择的关键因素。多数临床研究认为纤维桩弹性模量较金属铸造桩更接近牙本质，在受到弯曲和扭转应力时可提供更佳的应力分布模式^[14]，用于修复穿髓型非龋性颈部缺损能够促进最终修复体的固位并降低垂直根折的风险^[15]。然而，桩道预备会进一步切削颈部牙体组织，并且放置纤维桩后牙齿的应力仍集中在颈部，因而对于穿髓型非龋性颈部缺损是否必须放置纤维桩仍存在争议。此外，对于穿髓型非龋性颈部缺损的冠部修复方式，现阶段主要有复合树脂直接粘接修复、全冠修复及粘贴面，传统观点认为全冠对于根管治疗后的牙齿应力分布均匀，对牙齿起到保护作用，然而全冠预备会进一步减少患牙颈部的牙体组织，减弱其抗折性。随着修复材料和粘接技术的不断进步，复合树脂直接粘接修复以及粘贴面的临床效果得到逐步证实，然而在临床实际应用中，针对不同牙位、不同冠部缺损面积以及不同咬合状态，应如何选择最佳的冠部修复方式仍然没有定论。

近年来，国内外多项研究试图探讨穿髓型非龋性颈部缺损牙齿经过根管治疗后，使用纤维桩修复的临床疗效及最佳冠部修复方式，得出的结论并不一致。该文从应力分析的角度入手，阐明纤维桩修复穿髓型非龋性颈部缺损后牙齿的应力分布模式，总结分析其在不同受力状态下的抗折能力与断裂模式，以及纤维桩联合不同冠部修复方式的临床效果最新研究进展。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源

1.1.1 检索人及检索时间 由第二作者于2023年9月应用计算机进行检索。

1.1.2 检索文献时限 2008年9月至2023年9月。

1.1.3 检索数据库 PubMed 和中国知网 (CNKI) 数据库。

1.1.4 检索词 英文检索词为“non-carious cervical lesions, endodontically treated teeth restoration, endodontically treated teeth stress distribution”，中文检索词为“非龋性颈部缺损，根管治疗后牙体修复，根管治疗后牙齿应力分布”。

1.1.5 检索文献类型 研究原著、综述、述评和病例报告。

1.1.6 手工检索情况 无。

1.1.7 检索策略 PubMed 和中国知网数据库检索策略见图1。

PubMed 数据库	中国知网数据库
#1 NCCL OR non-carious cervical lesions [Topic]	#1 非龋性颈部缺损 主题
#2 endodontically treated teeth restoration [Topic]	#2 根管治疗后牙体修复 主题
#3 endodontically treated teeth stress distribution [Topic]	#3 根管治疗后牙齿应力分布 主题
#4 #1 AND #2 AND #3	#4 #1 AND #2 AND #3

图1 | 文献检索策略

1.1.8 检索文献量 共检索到文献507篇，包括中文文献44篇、英文文献463篇。

1.2 入组标准

1.2.1 纳入标准 ①研究对象为穿髓型非龋性颈部缺损；②研究内容为非龋性颈部缺损患牙根管治疗后的修复方法；③研究内容为穿髓型非龋性颈部缺损患牙修复后的力学分析。

1.2.2 排除标准 ①研究对象为非龋性颈部缺损的活髓患牙；②研究内容与患牙的修复方式无关；③研究内容陈旧，研究结果可信度低的重复性文献。

1.3 数据提取 排除与研究目的相关性差及内容陈旧、重复的文献451篇，最终纳入56篇符合标准的文献进行综述。文献筛选流程见图2。

2 结果 Results

2.1 纤维桩修复穿髓型非龋性颈部缺损后应力分布变化

2.1.1 冠部应力改变 研究表明，根管治疗后的非龋性颈部缺损患牙无论采取何种冠部修复方式，牙齿的最大应力集中区均位于颈部^[16]。因纤维桩弹性模量与牙本质接近，

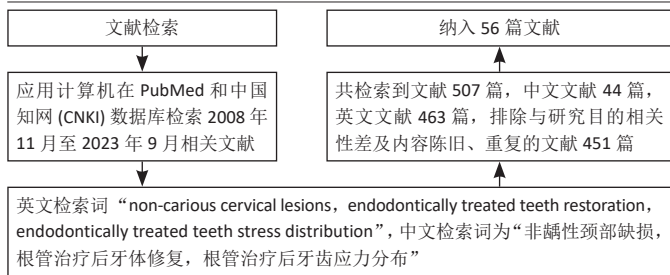


图 2 | 文献筛选流程图

向根方传导的应力分布均匀, 非龋性颈部缺损患牙放置纤维桩后, 根管内表面中 1/3 应力增加, 颈 1/3 最大等效应力下降, 因此纤维桩能起到保护牙颈部牙体组织的作用^[17-18]。

有学者通过模拟侧方殆最大颌力状态下前磨牙的受力状况, 发现采用纤维桩及复合树脂修复后的穿髓型非龋性颈部缺损前磨牙与正常前磨牙的最大主应力分布趋势基本一致, 认为经复合树脂联合纤维桩修复后可显著缓解颈部缺损处牙体组织所承受的拉应力, 有助于降低患牙颈部的折裂风险^[19]。同时, 通过静态恒力加载实验和静、动态载荷的对比分析发现, 前磨牙深型非龋性颈部缺损根管治疗后应用纤维桩及复合树脂充填可改善牙齿颈部的应力, 但仍存在较大的颈部折裂风险^[20-21]。当牙颈部楔状缺损跨越颊侧壁的邻颊轴角时则建议行全冠修复。

颈部缺损的面积和纤维桩放置的位置对牙体组织的应力分布会产生不同的影响。FEI 等^[22]通过建立双根管上颌第一前磨牙非龋性颈部缺损模型发现, 腭侧根管放置纤维桩时产生类似与未经修复的非龋性颈部缺损相似的应力分布, 而颊侧根管放置纤维桩时, 无论有无牙冠修复, 均产生了和完整牙齿近似的应力分布, 因此应该在颊侧近缺损处放置纤维桩。多数研究认为纤维桩修复可以改善非龋性颈部缺损患牙颈部的应力集中, 但是关于采用纤维桩联合复合树脂修复穿髓型非龋性颈部缺损患牙的文献多为体外研究, 而临床研究多为短期观察^[23-24], 并且缺乏生物力学层面的深入研究。

2.1.2 牙根应力改变 作为非龋性颈部缺损最好发的牙齿, 前磨牙被拔除的最常见原因即为牙根纵裂^[25]。合理的修复方案, 既需要降低颈部的折裂风险, 又需要减少牙根纵裂的发生。在根管治疗后的上颌第一前磨牙内放置纤维桩时, 咬合负荷下最大范式等效应力 (Von Mises Stress) 集中在冠部牙体组织和复合材料之间的界面, 而牙根内部则表现出更加有利的应力分布, 即最高应力分布在纤维桩表面而非牙根内的牙本质^[26]。GULDENER 等^[27]通过对 144 颗根管治疗后患牙长达 5 年以上的随访观察发现, 相对于不使用纤维桩的修复方式, 纤维桩修复组有效减少了牙齿垂直根折的发生率, 从而延长了根管治疗后牙齿的使用寿命。此外, 对比纤维桩与金属桩, 当患牙被施加轴向载荷时二者对牙根的应力分布无显著差异, 但在斜载荷的作用下, 纤维桩的张力值高于金属桩, 对牙根的应力集中较低^[28]。

综合上述研究结果, 使用纤维桩修复穿髓型非龋性颈部缺损的颈部的应力集中得到了一定程度的改善, 同时

不会增加牙根纵裂的风险, 但是仍存在颈部折断的风险。单从应力分布的角度分析, 在缺损达到一定深度及宽度后, 多数学者建议使用纤维桩联合全冠的修复方式。

2.2 纤维桩修复穿髓型非龋性颈部缺损后抗折裂性及断裂模式分析

2.2.1 对牙齿抗折裂性的影响 颈部牙体组织缺损造成牙齿应力传递中断, 形成了牙颈部的应力集中, 根管治疗也在一定程度上破坏了牙齿的力学性能^[29], 据报道上颌前磨牙穿髓型非龋性颈部缺损经根管治疗后牙根抗折力降低约 51%^[30]。传统观点认为全冠修复对提高根管治疗后牙体的抗折性具有关键作用, 但近年来随着纤维桩和复合树脂材料性能的不断改进, 临床治疗开始倾向于尽量保存剩余牙体组织的保守修复方式。纤维桩的使用对增强牙体组织断裂抗力的作用仍存在争议, 有学者认为纤维桩并没有显著增强牙齿的抗折裂强度^[22, 31], 也有很多学者持不同的观点^[32-35]。

有学者通过在根管治疗后的非龋性颈部缺损患牙中央窝位置或腭尖的颊斜面施加轴向加载力或非轴向压缩加载, 发现放置纤维桩后的患牙在不同加载条件可能会得到不同的结果, 虽获得和正常牙齿类似的应力分布, 但抗折裂能力并没有得到增强^[22, 31]。沈晴昉等^[19]比较不同方法修复后的前磨牙穿髓型非龋性颈部缺损的抗折性能, 发现采用纤维桩联合复合树脂修复后患牙的抗折强度虽略小于纤维桩核全冠修复者, 但前者的抗折载荷水平与正常牙基本相当, 远远大于前磨牙的生理性最大牙颌力。TANGSRIPONGKUL 等^[33]使用 100 N 循环载荷、2 Hz 频率持续 100 000 次循环模拟口腔环境中树脂使用 1 年的临床情况, 结果显示复合树脂的填料基体界面降低、填料腐蚀、显微硬度降低, 但是纤维桩仍可以显著提高牙齿的抗断裂能力, 相当于完整牙齿的抗断裂性。以上研究结果不同, 可能是由于使用不同的检测方法导致的。JUREMA 等^[34]通过 Meta 分析得出结论: 当牙齿因根管治疗或冠预备而失去牙体结构时, 应力集中在颈部区域, 使用纤维桩可以使应力分布更加均匀, 提高牙齿的抗折性。

多数研究认为纤维桩可以提高牙齿的抗折性, 但是口外研究不能完全模拟口腔环境, 未来的研究应尽可能复制口腔真实环境, 考虑复杂的口腔环境和材料老化对修复体的影响, 以得到更加准确和具有临床意义的实验结果。

2.2.2 对牙齿断裂模式的影响 根据牙体折断的位置, 有的牙体断裂后尚可修复, 有的折断后则需要拔除。通常认为, 冠折或牙根折裂至釉牙骨质界下 1.0-2.0 mm 以内的牙体折断是有利于二次修复的, 而断面位于釉牙骨质界根方 2 mm 以上则被认为是不利的折断模式^[31, 35]。

研究发现, 使用纤维桩的牙齿的断裂模式有助于二次修复, 显示出有利的、可恢复的或可修复的折断模式^[34]。纤维桩树脂核与铸造金属桩核相比平均断裂载荷无差异, 但是产生更多的可修复断裂^[36]; 碳纤维桩比玻璃纤维桩有更强的抗折裂能力, 但同时导致更多的不利断裂^[37]。纤维桩联合复合树脂充填的方式相比冠修复可以提高“有利断裂模式”百分比, 冠修复本身虽然提高了抗断裂能力, 但也相对增加了不利的断裂方式, 甚至增加了牙根断裂

的发生^[22, 31, 33]。

可见,纤维桩因其弹性模量与牙本质接近可以有效减少穿髓型非龋性颈部缺损牙根部的应力集中,降低不可修复的牙根折断的概率,是穿髓型非龋性颈部缺损首选的修复方式。

2.3 纤维桩联合不同冠部修复方式修复穿髓型非龋性颈部缺损的临床效果

2.3.1 穿髓型非龋性颈部缺损修复的研究历程 见图3。

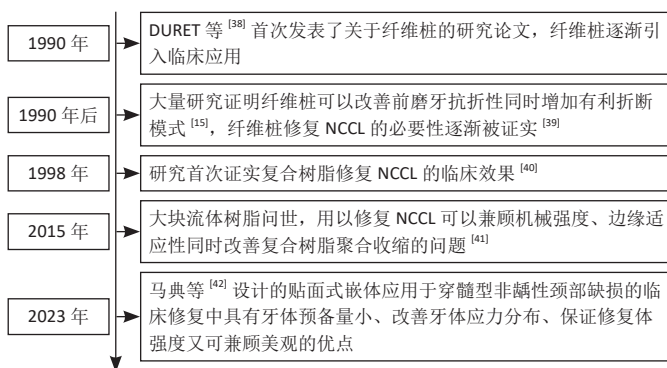


图3 | 穿髓型非龋性颈部缺损(NCLL)修复的研究历程时间脉络图

2.3.2 纤维桩联合复合树脂修复 传统的观点认为全冠修复对提高根管治疗后牙体的抗折性具有关键作用^[43],但近年来随着复合树脂材料性能的不提高、粘接技术的发展,临床治疗开始倾向于尽量保存剩余牙体组织的保守修复方式。纤维桩联合复合树脂直接粘接修复临床操作简单,是非龋性颈部缺损的临床修复方式之一。纤维桩+联合复合树脂充填的方式相比冠修复可以提高“有利断裂模式”百分比,冠修复本身虽然提高了抗断裂能力,但也相对增加了不利的断裂方式,甚至增加了牙根断裂的发生^[29, 37, 44]。但树脂材料有聚合收缩,存在龈沟液渗入缺损位置影响粘接、抛光过程容易损伤龈缘、在舌侧颈部缺损难以操作等问题^[45]。为了解决这些问题,有学者建议采用直接树脂嵌体修复方式,例如:FAHL^[44]在此基础上提出了直接-间接法树脂充填技术,并在多年的临床实践中取得了较好效果;然而CANEPPELE等^[45]对这项技术随访2年的研究结论是,除了针对后牙舌侧非龋性颈部缺损等难以操作的位置,直接-间接法树脂充填术与传统的复合树脂直接粘接修复术相比没有优势,并且更耗时。

当颈部缺损靠近牙龈或牙龈下方时,流动树脂显示了较好的边缘适应性,被很多学者用来充填非龋性颈部缺损。有学者用纳米流体树脂和大块流体树脂充填非龋性颈部缺损后进行一两年的随访,取得了较好的临床效果^[46-47]。ZHANG等^[48]通过3年的临床随访,认为相对于传统膏体复合树脂,高填充流动性复合树脂对于非龋性颈部缺损表现出更好的边缘适应性和临床疗效。但也有学者认为流动树脂在长期使用后会显示出更大的磨损,表现出较低的耐磨性和较低的存活率,保留率和边缘适应性明显低于传统膏体复合树脂^[49]。

2.3.3 纤维桩联合瓷嵌体或贴面修复 修复无髓牙时,保存健康牙体组织是微创修复的关键理念,越来越受到医

生的重视^[50]。而采用全冠修复时,冠部牙体预备量几乎占冠部牙体组织的60%以上^[51]。有关采用IPS e-max Press 粘贴面修复牙体的抗折性及断裂模式的研究表明,试件断裂载荷值远大于正常咀嚼力,可满足临床修复需求^[52],断裂模式多局限于修复体的碎裂或局限于小范围牙体破坏,利于二次修复,证明了穿髓型非龋性颈部缺损微创间接修复的可能性。

采用纤维桩联合不用冠部修复方式修复穿髓型前磨牙非龋性颈部缺损模型的研究发现,颊粘贴面的修复效果最理想,0.5 mm厚度的超薄粘贴面可达到临床满意的抗折强度^[53-55]。马典等^[42]设计的贴面式嵌体修复具有牙体预备量小、有效改善牙体应力分布、保证修复体强度又可兼顾美观的优点,在正常负载状态下具有良好的力学性能及抗折性能,认为贴面式嵌体应用于穿髓型非龋性颈部缺损的临床修复中可达到类似天然牙的生物力学强度,配合颊侧双根管内纤维桩的使用可以最大程度降低颊尖位移值,降低脱粘接的风险。

可见,粘贴面和贴面式嵌体在抗断裂性能上接近全冠,在牙体预备方面更加微创,配合使用纤维桩修复使应力分布更加均匀,树脂核更稳定,降低了牙根折断和脱粘接的风险,是修复穿髓型非龋性颈部缺损的一个理想方式。

3 讨论 Discussion

3.1 既往他人在该领域研究的贡献和存在的问题 大量研究通过建立穿髓型非龋性颈部缺损患牙的三维有限元分析模型发现,根管治疗后应用纤维桩修复非龋性颈部缺损可部分改善牙齿颈部应力,提高牙齿的抗折断性,同时不会增加牙根纵裂的风险。同时对于断裂模式方面的研究发现,使用纤维桩修复的非龋性颈部缺损患牙表现出更有利的断裂模式,即可恢复的或者有利于二次修复的断裂方式。结合大量基础和临床研究结果,作者推测随着口腔材料学和临床技术的发展,从牙齿的抗折性、牙体预备的微创需求以及美学仿生修复来看,纤维桩联合瓷贴面或贴面式嵌体可能会成为修复穿髓型非龋性颈部缺损的一种较理想的微创修复方法。然而穿髓型非龋性颈部缺损缺损程度以及缺损形态差异较大,在临床中仍需要根据不同牙位的不同缺损程度来选择修复方式。目前临床上关于穿髓型非龋性颈部缺损根管治疗后的冠部修复方式,尚没有明确规定或统一结论,传统修复观念认为纤维桩修复后应结合全冠方式修复可使牙体受力均匀,也有学者认为冠部树脂直接粘接修复或粘贴面修复可达到微创目的,还有医师根据自身临床经验采用不同冠部修复方法。谭建国教授^[56]将非龋性颈部缺损分为5类:①一类,非龋性颈部缺损未及髓;②二类,根管治疗后,非龋性颈部缺损宽度小于1/3冠宽;③三类,根管治疗后,非龋性颈部缺损宽度大于1/3冠宽而未及邻颊轴角;④四类,根管治疗后,非龋性颈部缺损宽度越过邻颊轴角而未达1/2近远中邻面壁;⑤五类,根管治疗后,非龋性颈部缺损宽度越过1/2近远中邻面壁。对于第一和第二类缺损,建议采用复合树脂直接粘接修复;对于第三和第四类缺损,建议采用纤维桩结合树脂充填或纤维桩结合全冠修

复;对于第五类过大的缺损,建议采用金属桩+全冠修复。通过该综述引用的大量基础和临床研究结果综合分析,主要针对修复后牙齿整体应力分布的角度为临床医生提供参考意见,建议医生根据患牙的牙位、颈部缺损面积、咬合状态,结合微创和美观需求来决定患牙应该采用何种修复方式,能够达到更好的临床效果,见图4。

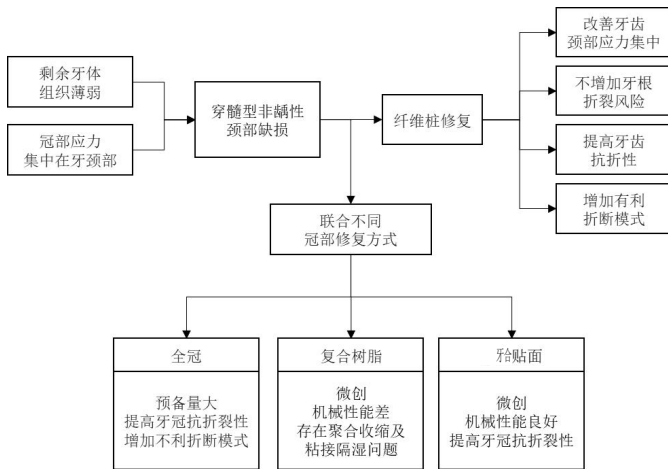


图4 | 纤维桩联合不同管不修复方式穿髓型非龋性颈部缺损的研究关系脉络图

现阶段的研究仍存在一定局限性:①临床研究多为短期观察,并且缺少高质量的临床随机对照研究结果。②关于根管治疗后非龋性颈部缺损的受力分析方面的基础研究较多,但研究对象多集中在前磨牙,而口腔内不同牙位咀嚼时受力方式并不相同,缺少其他牙位如前牙或磨牙的研究结果。对于不同的缺损程度应该选择何种修复方式仍然没有较为确切的体外实验结论。实验建立的体外研究模型并不能完全模拟口腔环境,包括温度、酸碱度、复杂的颌力大小及方向对材料和牙体组织受力的影响,体外研究尚不能完全模拟口腔的复杂环境。

3.2 作者综述区别于他人他篇的特点 近年来关于非龋性颈部缺损的综述多集中于对活髓患牙治疗的充填材料或方法的研究,鲜有文章针对穿髓型非龋性颈部缺损的修复方式进行综述。该文从穿髓型非龋性颈部缺损患牙的解剖特点和应力分析的角度出发,通过大量文献检索和阅读,重点对近5-10年来在这一领域的最新研究进展进行总结和分析,并且将体外研究与临床试验相结合,着重阐述纤维桩联合不同冠部修复方式对于牙齿冠部以及根部应力分布的作用,深入分析患牙的抗折裂性以及不同的折断模式,结合大量研究结果进行了客观评述,希望为临床修复穿髓型非龋性颈部缺损提供参考依据和新的思路。

3.3 综述的局限性 该综述也存在一些局限性:首先,由于文献检索的关键词和筛选标准,综述所选取的文献可能存在偏倚和误差;其次,对穿髓型非龋性颈部缺损患牙修复的体外研究多为利用三维有限元分析(3D-FEA),模拟患牙在受到压力时的应力分布情况,然而体外建模始终无法完全模拟口腔中的复杂环境,包括牙齿所受的复杂颌力,口腔内温度变化以及酸碱碱性对材料的影响,未来仍需要改善建模方式以更好地模拟口腔内复杂的环境;最后,该综述搜索到的关于穿髓型非龋性颈部缺损患牙的

临床研究多为短期随访观察,未来还需要更多大样本量、长期的随机对照临床试验,以探索不同修复方式的长期临床效果。

3.4 综述的重要意义和展望 该文对穿髓型非龋性颈部缺损牙体修复的力学分析的研究现状进行归纳、分析和总结,为该领域的研究者在未来研究中提供参考依据,同时为临床选择修复穿髓型非龋性颈部缺损的方法提供理论依据和新思路。未来的研究仍需要建立更加完善的模型来模拟牙齿在实际口腔环境中复杂的受力环境,研究不同缺损深度和大小穿髓型非龋性颈部缺损患牙的最佳修复方式,同时开展大样本量、长期的临床研究,以期临床工作提供更加可靠的依据。

作者贡献: 文章撰写者为陈倚琰,资料收集者为张旭,文章设计者和校审者为李红。

利益冲突: 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让: 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范: 该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发表宗旨。

4 参考文献 References

- [1] MICHAEL JA, TOWNSEND GC, GREENWOOD LF, et al. Abfraction: separating fact from fiction. *Aust Dent J.* 2009;54(1):2-8.
- [2] IGARASHI Y, YOSHIDA S, KANAZAWA E. The prevalence and morphological types of non-carious cervical lesions (NCCL) in a contemporary sample of people. *Odontology.* 2017;105(4):443-452.
- [3] NGUYEN C, RANJITKAR S, KAIDONIS JA, et al. A qualitative assessment of non-carious cervical lesions in extracted human teeth. *Aust Dent J.* 2008;53(1):46-51.
- [4] BARTLETT DW, SHAH P. A critical review of non-carious cervical (wear) lesions and the role of abfraction, erosion, and abrasion. *J Dent Res.* 2006;85(4):306-312.
- [5] DU JK, WU JH, CHEN PH, et al. Influence of cavity depth and restoration of non-carious cervical root lesions on strain distribution from various loading sites. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):98.
- [6] GRIPPO JO, SIMRING M, COLEMAN TA. Abfraction, abrasion, biocorrosion, and the enigma of noncarious cervical lesions: a 20-year perspective. *J Esthet Restor Dent.* 2012;24(1):10-23.
- [7] TEIXEIRA DNR, THOMAS RZ, SOARES PV, et al. Prevalence of noncarious cervical lesions among adults: A systematic review. *J Dent.* 2020;95:103285.
- [8] LAI ZY, ZHI QH, ZHOU Y, et al. Prevalence of non-carious cervical lesions and associated risk indicators in middle-aged and elderly populations in Southern China. *Chin J Dent Res.* 2015;18(1):41-50.
- [9] JIANG H, DU MQ, HUANG W, et al. The prevalence of and risk factors for non-carious cervical lesions in adults in Hubei Province, China. *Community Dent Health.* 2011;28(1):22-28.
- [10] YANG J, CAI D, WANG F, et al. Non-carious cervical lesions (NCCLs) in a random sampling community population and the association of NCCLs with occlusal wear. *J Oral Rehabil.* 2016;43(12):960-966.
- [11] 梁景平. 非龋性颈部缺损的研究进展[J]. *中华口腔医学志*, 2020,55(5):323-328.
- [12] ZEOLA LF, PEREIRA FA, MACHADO AC, et al. Effects of non-carious cervical lesion size, occlusal loading and restoration on biomechanical behaviour of premolar teeth. *Aust Dent J.* 2016;61(4):408-417.

- [13] TOURÉ B, FAYE B, KANE AW, et al. Analysis of reasons for extraction of endodontically treated teeth: a prospective study. *J Endod.* 2011; 37(11):1512-1515.
- [14] GODAS AGL, SUZUKI TYU, OLIVEIRA-REIS B, et al. Effect of glass fiber post customization on the mechanical properties of resin cement and underlying dentin. *Gen Dent.* 2020;68(1):72-77.
- [15] IACULLI F, RENGO C, LODATO V, et al. Fracture resistance of endodontically-treated maxillary premolars restored with different type of posts and direct composite reconstructions: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Dent Mater.* 2021;37(9):e455-e484.
- [16] KAUSHIK M, KUMAR U, SHARMA R, et al. Stress distribution in endodontically treated abraded mandibular premolar restored with different cements and crowns: A three-dimensional finite element analysis. *J Conserv Dent.* 2018;21(5):557-561.
- [17] 仲麒, 黄雨捷, 张轶凡, 等. 纤维桩修复上颌第一磨牙牙体缺损的三维有限元力学分析 [J]. *上海交通大学学报*, 2022,42(8):042.
- [18] YOON HG, OH HK, LEE DY, et al. 3-D finite element analysis of the effects of post location and loading location on stress distribution in root canals of the mandibular 1st molar. *J Appl Oral Sci.* 2018;26:e20160406.
- [19] 沈晴映, 王冬梅, 钟群, 等. 纤维桩复合树脂修复重度楔状缺损前磨牙的三维有限元分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2014,18(30):4777-4782.
- [20] 赵凌, 杨丽媛, 刘翠玲, 等. 不同修复方法对深型楔状缺损牙应力分布影响的三维有限元分析 [J]. *华西口腔医学杂志*, 2017,35(1):5.
- [21] 王静, 殷金萍, 林华洁, 等. 动态载荷下不同方式修复牙重度楔状缺损有限元分析 [J]. *上海口腔医学*, 2022,31(6):615-620.
- [22] FEI X, WANG Z, ZHONG W, et al. Fracture resistance and stress distribution of repairing endodontically treated maxillary first premolars with severe non-carious cervical lesions. *Dent Mater J.* 2018;37(5):789-797.
- [23] 任雨冰, 侯喜朋, 李文颜. 不同方法修复穿髓型楔状缺损牙的抗折性比较研究 [J]. *临床口腔医学杂志*, 2018,34(1):3.
- [24] 唐婉娴, 刘桂英. 3种方法修复前磨牙楔状缺损的疗效比较 [J]. *口腔医学*, 2019,39(1):4.
- [25] ALMASRI M. Assessment of extracting molars and premolars after root canal treatment: A retrospective study. *Saudi Dent J.* 2019;31(4):487-491.
- [26] ZAROW M, VADINI M, CHOJNACKA-BROZEK A, et al. Effect of Fiber Posts on Stress Distribution of Endodontically Treated Upper Premolars: Finite Element Analysis. *Nanomaterials (Basel).* 2020;10(9):1708.
- [27] GULDENER KA, LANZREIN CL, SIEGRIST GULDENER BE, et al. Long-term Clinical Outcomes of Endodontically Treated Teeth Restored with or without Fiber Post-retained Single-unit Restorations. *J Endod.* 2017;43(2):188-193.
- [28] VERRI FR, OKUMURA MHT, LEMOS CAA, et al. Three-dimensional finite element analysis of glass fiber and cast metal posts with different alloys for reconstruction of teeth without ferrule. *J Med Eng Technol.* 2017;41(8):644-651.
- [29] ALKHATRI R, SALEH ARM, KHEDER W. Impact of post and core materials on the apical extension of root fracture in root canal treated teeth. *J Mater Res Technol.* 2021;10:730-737.
- [30] OPASATIAN A, JEARANAIPHAISARN T. The effects of cervical lesion, endodontic access, and resin composite restoration to the fracture resistance and fracture pattern of maxillary premolars. *J Dent Assoc Thai.* 2018;68:270-278.
- [31] LEUNG WSF, LEE AHC, LIU C, et al. Fracture Resistance of Endodontically Treated Maxillary Premolars with Non-carious Cervical Lesions Restored with Different Post Systems. *Eur Endod J.* 2023;8(1):65-71.
- [32] KHAN SIR, RAMACHANDRAN A, ALFADLEY A, et al. Ex vivo fracture resistance of teeth restored with glass and fiber reinforced composite resin. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2018;82:235-238.
- [33] TANGSRIPONGKUL P, JEARANAIPHAISARN T. Resin composite core and fiber post Improved the fracture parameters of endodontically treated maxillary premolars with wedge-shaped cervical lesions. *J Endod.* 2020; 46(11):1733-1737.
- [34] JUREMA ALB, FILGUEIRAS AT, SANTOS KA, et al. Effect of intraradicular fiber post on the fracture resistance of endodontically treated and restored anterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2022;128(1):13-24.
- [35] ÖZYÜREK T, TOPKARA C, KOÇAK I, et al. Fracture strength of endodontically treated teeth restored with different fiber post and core systems. *Odontology.* 2020;108(4):588-595.
- [36] PINTO CL, BHERING CLB, DE OLIVEIRA GR, et al. The influence of post system design and material on the biomechanical behavior of teeth with little remaining coronal structure. *J Prosthodont.* 2019; 28(1):e350-e356.
- [37] GALLICCHIO V, LODATO V, SANTIS RD, et al. Fracture Strength and failure modes of endodontically treated premolars restored with compact and hollow composite posts subjected to cyclic fatigue. *Materials (Basel).* 2022;15(3):1141.
- [38] DURET B, REYNAUD M, DURET F. Un nouveau concept de reconstitution corono-radicaire, le Composipost (2) [A new concept of corono-radicular reconstruction, the Composipost (2)]. *Chir Dent Fr.* 1990; 60(542):69-77.
- [39] ABDULJAWAD M, SAMRAN A, KADOUR J, et al. Effect of fiber posts on the fracture resistance of endodontically treated anterior teeth with cervical cavities: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2016;116(1):80-84.
- [40] MCCOY RB, ANDERSON MH, LEPE X, et al. Clinical success of class V composite resin restorations without mechanical retention. *J Am Dent Assoc.* 1998;129:593-599.
- [41] VAN ENDE A, DE MUNCK J, LISE DP, et al. Bulk-Fill Composites: A Review of the Current Literature. *J Adhes Dent.* 2017;19(2):95-109.
- [42] 马典, 钱捷. 贴面式瓷嵌体修复上颌第一前磨牙穿髓型非龋性颈部缺损的三维有限元应力分析 [J]. *华西口腔医学杂志*, 2023,41(5): 541-553.
- [43] MANNOCCI F, COWIE J. Restoration of endodontically treated teeth. *Br Dent J.* 2014;216(6):341-346.
- [44] FAHL NJ. Direct-Indirect Class V Restorations: A Novel Approach for Treating Noncarious Cervical Lesions. *J Esthet Restor Dent.* 2015;27(5): 267-284.
- [45] CANEPELE TMF, MEIRELLES LCF, ROCHA RS, et al. A 2-year clinical evaluation of direct and semi-direct resin composite restorations in non-carious cervical lesions: a randomized clinical study. *Clin Oral Investig.* 2020;24(3):1321-1331.
- [46] 李智, 许永伟, 高承志. 整层充填流动树脂充填深楔状缺损的随机对照临床研究 [J]. *实用口腔医学杂志*, 2015,31(6):5.
- [47] CANALI GD, IGNÁCIO SA, RACHED RN, et al. One-year clinical evaluation of bulk-fill flowable vs. regular nanofilled composite in non-carious cervical lesions. *Clin Oral Investig.* 2019;23(2):889-897.
- [48] ZHANG H, WANG L, HUA L, et al. Randomized controlled clinical trial of a highly filled flowable composite in non-carious cervical lesions: 3-year results. *Clin Oral Investig.* 2021;25(10):5955-5965.
- [49] KAIDA K, KUBO S, EGOSHI T, et al. Eight-year clinical evaluation of two types of resin composite in non-carious cervical lesions. *Clin Oral Investig.* 2022;26(10):6327-6337.
- [50] IOANNIDIS A, MÜHLEMANN S, ÖZCAN M, et al. Ultra-thin occlusal veneers bonded to enamel and made of ceramic or hybrid materials exhibit load-bearing capacities not different from conventional restorations. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2019;90:433-440.
- [51] LABNO P, DROBNIK K. Comparison of horizontal and vertical methods of tooth preparation for a prosthetic crown. *J. Pre-Clin. Clin. Res.* 2020;14(1):25-28.
- [52] 张樱, 张宁, 赵卫芳, 等. IPS e-max Press 功能性 (瓷) 贴面抗折性和断裂模式的研究 [J]. *安徽医科大学学报*, 2021,56(8):056.
- [53] 张雨晴, 陈如婷, 武郭敏, 等. [瓷] 贴面的预备设计和纤维桩对穿髓型楔状缺损抗折性分析 [J]. *安徽医科大学学报*, 2023,58(10):058.
- [54] HUANG X, ZOU L, YAO R, et al. Effect of preparation design on the fracture behavior of ceramic occlusal veneers in maxillary premolars. *J Dent.* 2020;97:103346.
- [55] ZAHARAN M, EL-FARAG SA, SOLTAN H, et al. Fracture load of ultrathin occlusal veneers: Effect of thickness and surface conditioning. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2023;145:106030.
- [56] 谭建国. 牙体缺损美学修复谭建国 2020 观点 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2020.

(责任编辑: GW, ZN, QY, LWJ)