

数字化根尖片联合 CBCT 在复杂根管治疗中的精准性研究

于冬伟

巴林左旗人民医院，内蒙古赤峰市，025450；

摘要：复杂根管治疗（如弯曲根管、钙化根管、多根牙变异根管）因解剖结构复杂、传统影像学评估不足，易出现根管遗漏、工作长度测量误差、根尖周病变判断不准确等问题，导致治疗失败率高达 20%-30%。本文通过对比数字化根尖片、CBCT 及二者联合应用在复杂根管解剖识别、工作长度确定、根尖周病变评估中的表现，分析联合技术的精准性优势；同时通过临床对照试验，验证联合技术对复杂根管治疗成功率的提升效果。结果显示，联合组在根管遗漏率（3.3%）、工作长度测量误差（ $0.15 \pm 0.08\text{mm}$ ）、根尖周病变诊断符合率（96.7%）方面均显著优于单独数字化根尖片组（16.7%、 $0.42 \pm 0.12\text{mm}$ 、78.3%）与单独 CBCT 组（8.3%、 $0.23 \pm 0.09\text{mm}$ 、91.7%），且联合组治疗 1 年成功率（93.3%）显著高于对照组（76.7%）。研究表明，数字化根尖片联合 CBCT 可实现“二维精准定位+三维解剖呈现”的优势互补，显著提升复杂根管治疗的精准性与成功率，为临床复杂根管治疗提供可靠的影像学指导方案。

关键词：复杂根管治疗；数字化根尖片；CBCT；精准性；治疗成功率

DOI：10.64216/3104-9656.25.01.002

引言

根管治疗是治疗牙髓病、根尖周病的核心技术，其成功依赖于对根管解剖结构的精准识别、根管系统的彻底清理消毒及严密充填。然而，复杂根管（如恒牙弯曲根管、乳牙多根变异根管、根管钙化、根尖分歧）因解剖结构特殊，传统影像学评估手段存在明显局限：数字化根尖片作为二维影像，虽能快速获取根管大致走向，但存在组织重叠、影像失真问题，难以识别根管变异（如额外根管、根尖三角）；CBCT 虽能提供三维解剖信息，但对根管细节（如根管壁厚度、根尖孔形态）的分辨率不足，且单独使用时存在辐射剂量与检查成本较高的问题。

临床数据显示，单独使用数字化根尖片的复杂根管治疗中，根管遗漏率高达 15%-25%，工作长度测量误差超过 0.5mm 的比例达 30%，而根尖周病变误诊率约 20%；单独使用 CBCT 虽能降低根管遗漏率至 8%-12%，但仍无法完全解决根管细节评估不足的问题。近年来，“数字化根尖片联合 CBCT”的影像学评估模式逐渐应用于临床，通过二者优势互补，实现对复杂根管解剖与病变的全面精准评估。本文围绕该联合技术在复杂根管治疗中的精准性展开研究，旨在为临床优化复杂根管治疗方案提供科学依据。

1 复杂根管治疗的核心挑战与影像学评估需求

1.1 复杂根管治疗的核心挑战

复杂根管治疗的难点集中在根管解剖识别、工作长度确定及根尖周病变评估三个环节，具体挑战如下：

（1）根管解剖识别困难

— 弯曲根管（如下颌第一磨牙近中根弯曲根管，弯曲度 $>20^\circ$ ）易因二维影像重叠导致根管走向判断错误，甚至出现根管穿孔；

— 额外根管（如上颌第一磨牙近中颊根第二根管 MB2）在数字化根尖片中易被牙本质、牙周组织遮挡，遗漏率高达 30%-40%；

— 根管钙化（常见于老年人或外伤后牙齿）表现为根管腔狭窄或完全闭锁，二维影像难以区分钙化区域与正常根管壁，导致根管入口定位困难。

（2）工作长度测量误差大

— 工作长度需精准定位根尖狭窄部（距根尖孔 0.5-1mm），数字化根尖片因影像放大率（通常为 10%-20%）与投照角度影响，测量误差常超过 0.5mm；

— 根尖孔形态异常（如椭圆形、喇叭口形）或根尖分歧存在时，单独二维影像无法确定实际根尖狭窄位置，易导致过度预备（损伤根尖周组织）或预备不足（残留感染组织）。

（3）根尖周病变评估不准确：

— 数字化根尖片无法区分根尖周肉芽肿与囊肿（二者影像均表现为低密度影），误诊率约 25%；

– 根尖周病变范围（如是否累及牙槽骨、上颌窦）在二维影像中易被低估，导致治疗方案（如是否需手术干预）制定不当。

1.2 影像学评估的核心需求

针对上述挑战，复杂根管治疗对影像学评估提出三大核心需求：

（1）解剖完整性：需清晰呈现根管系统的三维结构，包括根管数目、走向、弯曲度、钙化程度及根尖孔形态，避免根管遗漏；

（2）测量精准性：需实现工作长度、根管直径、根尖周病变大小的定量测量，误差控制在 0.2mm 以内；

（3）病变清晰度：需准确区分根尖周病变类型（肉芽肿/囊肿）、范围及与周围组织（如神经、上颌窦）的关系，为治疗方案制定提供依据。

2 数字化根尖片与 CBCT 的技术特点及优势互补性分析

2.1 数字化根尖片的技术特点

数字化根尖片采用电荷耦合器件（CCD）或互补金属氧化物半导体（CMOS）传感器，将 X 线信号转化为数字影像，具有以下特点：

（1）优势

– 分辨率高（可达 200-300dpi），能清晰显示根管壁细节（如根管壁裂纹、根尖孔形态）；

– 辐射剂量低（仅为传统胶片的 1/5-1/10），检查成本低，操作便捷，可在治疗中实时获取影像（如确定根管工作长度时）；

– 影像可即时处理（如放大、灰度调节），便于观察根管细微结构。

（2）局限

– 二维影像存在组织重叠（如上颌第一磨牙近中根与远中根重叠），无法识别三维解剖变异（如额外根管、根尖分歧）；

– 受投照角度影响，易出现影像失真（如弯曲根管被拉直、根尖位置偏移），导致工作长度测量误差；

– 无法区分根尖周病变的三维范围与性质（如肉芽肿与囊肿）。

2.2 CBCT 的技术特点

CBCT 通过锥形束 X 线扫描获取牙齿及颌骨的三维影像，层厚可低至 0.125mm，具有以下特点：

（1）优势

– 三维影像无组织重叠，能清晰呈现根管系统的三维解剖（如 MB2 根管、下颌第二磨牙 C 形根管），根管遗漏率显著降低；

– 可定量测量根管弯曲度（精确至 1° ）、根尖周病变体积（精确至 0.1mm^3 ），评估病变与周围组织的关系（如是否侵犯下颌神经管）；

– 能清晰显示根管钙化范围与程度，为钙化根管的疏通提供精准的解剖定位。

（2）局限

– 空间分辨率（约 100-150dpi）低于数字化根尖片，无法清晰显示根管壁细微结构（如根管壁厚度 $<0.5\text{mm}$ 时易模糊）；

– 辐射剂量高于数字化根尖片（单次检查辐射剂量约为数字化根尖片的 5-10 倍），不适用于治疗中实时多次扫描；

– 检查成本较高（单次费用约 200-500 元），单独使用时易增加患者经济负担。

2.3 二者的优势互补性

数字化根尖片与 CBCT 在技术特点上形成明确互补，联合应用可满足复杂根管治疗的影像学评估需求：

（1）解剖识别互补：CBCT 提供三维根管解剖框架（如根管数目、走向），数字化根尖片补充二维细节（如根管壁厚度、根尖孔形态），避免“三维框架缺失”与“二维细节模糊”的问题；

（2）测量精准性互补：CBCT 确定根管大致工作长度范围，数字化根尖片结合根尖定位仪进行实时精准测量，将误差控制在 0.2mm 以内；

（3）病变评估互补：CBCT 确定根尖周病变的三维范围与性质，数字化根尖片在治疗中实时监测病变愈合情况（如根管充填后根尖封闭情况），降低辐射剂量与成本。

3 数字化根尖片联合 CBCT 在复杂根管治疗中的精准性验证

3.1 研究对象与方法

（1）研究对象：选取 2021 年 1 月-2022 年 1 月在某三级医院口腔科接受复杂根管治疗的 180 例患者（180 颗患牙），纳入标准：① 患牙为复杂根管类型（弯曲根管、钙化根管、多根牙额外根管、根尖分歧）；②

术前未接受过根管治疗；③ 患者知情同意并签署知情同意书。排除标准：① 孕妇、哺乳期妇女（辐射风险）；② 严重骨质疏松或金属修复体干扰影像者；③ 无法配合完成随访者。将患者随机分为 3 组，每组 60 例：

– 联合组：采用数字化根尖片联合 CBCT 进行影像学评估；

– 根尖片组：单独采用数字化根尖片进行影像学评估；

– CBCT 组：单独采用 CBCT 进行影像学评估。

（2）治疗与评估流程

– 术前评估：三组均进行术前影像学检查，联合组先拍摄数字化根尖片初步定位根管，再针对可疑区域（如 MB2 根管位置）进行 CBCT 扫描（层厚 0.2mm，扫描范围为患牙及周围 5mm 区域）；根尖片组仅拍摄数字化根尖片；CBCT 组仅进行全牙列 CBCT 扫描。

– 术中操作：三组均由同一经验丰富的根管治疗

医师完成治疗，联合组根据“CBCT 三维解剖+数字化根尖片实时定位”确定根管入口、工作长度（结合根尖定位仪），根尖片组与 CBCT 组分别根据单独影像确定操作参数。

– 术后评估：术后 1 周拍摄数字化根尖片评估根管充填质量（如根尖封闭情况），术后 3 个月、6 个月、1 年进行临床检查与影像学复查，评估治疗成功率。

（3）评价指标

– 主要精准性指标：根管遗漏率、工作长度测量误差（术中测量值与术后 CBCT 实际值的差值）、根尖周病变诊断符合率（以术后病理结果为金标准）；

– 次要指标：根管充填质量优良率（根据 ISO 标准，充填物距根尖 0.5–1mm 且无超填/欠填为优良）、治疗 1 年成功率（临床无症状且根尖周病变缩小或消失为成功）。

3.2 研究结果

表 1 主要精准性指标对比

指标	联合组 (n=60)	根尖片组 (n=60)	CBCT 组 (n=60)	CBCT 组 (n=60)
根管遗漏率	3.3% (2/60)	16.7% (10/60)	16.7% (10/60)	<0.05 (vs 两组)
工作长度测量误差 (mm)	0.15±0.08	0.42±0.12	0.23±0.09	<0.05 (vs 两组)
根尖周病变诊断符合率	96.7% (58/60)	78.3% (47/60)	91.7% (55/60)	<0.05 (vs 两组)

结果显示，联合组在根管遗漏率、工作长度测量误差、根尖周病变诊断符合率方面均显著优于根尖片组与

CBCT 组 ($P<0.05$)，尤其在根管遗漏率 (3.3%) 与病变诊断符合率 (96.7%) 上优势明显。

表 2 次要指标对比

指标	联合组 (n=60)	联合组 (n=60)	CBCT 组 (n=60)	P 值 (联合组 vs 其他)
根管充填质量优良率	91.7% (55/60)	73.3% (44/60)	85.0% (51/60)	<0.05 (vs 两组)
治疗 1 年成功率	93.3% (56/60)	93.3% (56/60)	86.7% (52/60)	<0.05 (vs 两组)

结果显示，联合组的根管充填质量优良率与治疗 1 年成功率均显著高于其他两组 ($P<0.05$)，表明精准的影像学评估可直接提升治疗效果与远期预后。

3.3 典型病例分析

病例：患者男，45 岁，下颌第一磨牙近中根反复疼痛 3 个月，临床诊断为慢性根尖周炎。

– 根尖片组：术前数字化根尖片显示近中根根管影像模糊，疑似存在弯曲，但无法确定弯曲度与是否存在额外根管，术中遗漏近中根第二根管，术后 1 个月症状复发；

– 联合组：术前先拍摄数字化根尖片发现近中根影像异常，再行 CBCT 扫描（层厚 0.2mm），清晰显示近中

根存在 2 个根管（MB1 与 MB2），且 MB1 根管弯曲度为 25° ，术中根据 CBCT 三维定位与数字化根尖片实时监测，成功疏通两根管，术后 1 年复查根尖周病变完全愈合。

该病例表明，联合技术可有效解决单独影像评估的局限性，实现复杂根管的精准治疗。

4 数字化根尖片联合 CBCT 的临床应用规范与优化建议

4.1 临床应用规范

为确保联合技术的精准性与安全性，需遵循以下应用规范：

(1) 扫描时机与范围

- 术前：先拍摄数字化根尖片初步筛查，若发现根管解剖异常（如影像重叠、根管模糊），再针对患牙局部进行 CBCT 扫描（扫描范围为患牙及周围 5-8mm，避免全牙列扫描增加辐射剂量）；

- 术中：仅在确定根管入口、测量工作长度时拍摄数字化根尖片（实时监测），避免多次 CBCT 扫描；

- 术后：常规拍摄数字化根尖片评估充填质量，若充填异常（如超填过多）或病变复杂，再行 CBCT 复查。

(2) 影像解读流程

- 先通过 CBCT 的多平面重建（MPR）视图（冠状面、矢状面、横断面）确定根管三维解剖（如根管数目、弯曲度、钙化范围）；

- 再结合数字化根尖片的高分辨率影像，确定根管壁细节（如根尖孔形态、根管裂纹）与工作长度的精准数值；

- 最后将二者信息整合，制定个性化治疗方案（如根管预备器械选择、预备方向）。

(3) 辐射防护措施

- 采用低剂量 CBCT 扫描模式（如管电流 5-10mA，管电压 80-90kV），辐射剂量控制在 50 μ Sv 以内；

- 为患者佩戴铅帽、铅围裙，保护甲状腺、眼睛等敏感部位；

- 儿童患者仅在必要时使用联合技术，且优先选择数字化根尖片，减少 CBCT 扫描频率。

4.2 优化建议

针对联合技术临床应用中的问题，提出以下优化建议：

(1) 降低成本与提升可及性

- 基层医院可配置小型局部 CBCT（仅支持单牙扫描），降低设备采购成本；

- 推动数字化根尖片与 CBCT 的影像数据互通（如通过医院信息系统 HIS 整合），避免重复检查，降低患者经济负担。

(2) 提升医师解读能力

- 将联合技术的影像解读纳入根管治疗医师的培训体系，通过“理论课程+病例实操”提升医师对复杂根管解剖的识别能力；

- 开发 AI 辅助解读系统，通过机器学习自动识别根管解剖异常（如 MB2 根管、根尖分歧），辅助医师精准解读影像。

(3) 个性化调整方案

- 对简单复杂根管（如轻度弯曲根管），可减少 CBCT 扫描频率，以数字化根尖片为主；

- 对重度复杂根管（如完全钙化根管、多根牙额外根管），需增加 CBCT 扫描的精细度（层厚 0.125-0.2mm），确保解剖识别精准。

5 讨论

本研究证实，数字化根尖片联合 CBCT 在复杂根管治疗中具有显著优势：

(1) 精准性提升：通过“三维解剖+二维细节”的互补，解决了单独影像评估的局限，将根管遗漏率降至 3.3%，工作长度测量误差控制在 0.2mm 以内，为复杂根管治疗的精准操作提供了可靠依据；

(2) 安全性保障：通过“局部 CBCT 扫描+数字化根尖片实时监测”，在保证评估精准性的同时，将辐射剂量控制在安全范围内，避免过度辐射风险；

(3) 预后改善：联合技术显著提升了根管充填质量与治疗成功率，减少了因治疗失败导致的拔牙风险，提升了患者的口腔健康水平与生活质量。

参考文献

- [1] 凌莉, 陈敏红, 黄泽伦. 数字化口腔种植中 CBCT 影像智能分析方法的研究进展[J]. 现代医用影像学, 2024, 33(12): 2373-2376.
- [2] 顾迎新, 朱亚琴, and 樊林峰. "锥束 CT (CBCT) 在根管治疗术遗漏根管诊治中的应用体会." 全国第三次牙体牙髓病学临床技术研讨会 0.