

· 综述 ·

# 即刻种植修复前骨密度影像学评估方法的研究进展

冯澜<sup>1,2</sup> 顾新华<sup>1</sup>

<sup>1</sup>浙江大学医学院附属第一医院口腔科, 杭州 310003; <sup>2</sup>浙江大学医学院口腔医学系, 杭州 310058

通信作者: 顾新华, Email: guxh@zju.edu.cn, 电话: 0571-87236338

**【摘要】** 牙槽骨密度被认为是影响即刻种植修复疗效的最重要因素之一。利用骨密度可对种植体的初始稳定性进行预测, 从而为即刻种植修复治疗的术前计划、种植体选择、手术方式等提供决策, 同时从骨密度角度细化种植治疗的适应证。大量研究表明, 影像学方法例如双能 X 射线吸收法、曲面体层放射线片、根尖放射线片、微型计算机体层成像、多层计算机体层成像、锥形束计算机体层成像等可对受体骨的骨密度进行评估, 然而利用影像学方法制定明确详细的骨密度分类用于患者即刻种植修复, 尤其是无牙颌患者的临床决策有待进一步研究。本文对利用影像学方法获取骨密度数据的研究进行了综述。

**【关键词】** 骨密度; 影像学; 体层成像; 锥体束计算机体层成像; 牙种植

## Research progress on imaging evaluation methods of bone mineral density before immediate implant restoration

Feng Lan<sup>1,2</sup>, Gu Xinhua<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Stomatology, The First Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310003, China; <sup>2</sup>Department of Stomatology, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310058, China

Corresponding author: Gu Xinhua, Email:guxh@zju.edu.cn, Tel: 0086-571-87236338

**【Abstract】** Alveolar bone density is considered to be one of the most important factors affecting the clinical outcome of immediate implant restoration. The bone density can be used to predict the initial stability of the implant, so as to decide the preoperative plan, implant selection, surgical protocol for immediate implant treatment, and at the same time refine the indications of implant treatment from the perspective of bone density. A large number of studies have shown that imaging methods such as dual-energy X-ray absorptiometry, panoramic X-ray film, periapical X-ray film, Micro-computed tomography, multi-slice computed tomography, cone beam computed tomography, etc., can assess the bone density of the recipient bone. However, the use of imaging methods to formulate the classification of bone mineral density used in clinical decision-making for immediate implant treatment of patients, especially in the treatment of patients with edentulous jaws, needs further research. This article reviews the research on obtaining bone mineral density data using imaging methods.

**【Key words】** Bone density; Imaging; Tomography; Cone-beam computed tomography; Dental implants



冯澜  
硕士在读, 研究方向: 口腔颌面影像学在牙种植术中的应用



顾新华  
博士、主任医师、博士生导师, 研究方向: 主要从事人体硬组织仿生矿化和口腔种植临床研究

DOI: 10.12337/zgkqzzxz.2021.04.010

收稿日期 2021-03-17 本文编辑 石淑芹, 宋宇

引用本文: 冯澜, 顾新华. 即刻种植修复前骨密度影像学评估方法的研究进展 [J]. 中国口腔种植学杂志, 2021, 26(2): 129-134. DOI: 10.12337/zgkqzzxz.2021.04.010.

即刻种植修复的疗效受到众多因素的影响。随着技术的进步、种植体结构的完善,种植体骨结合的能力逐渐得到改善,但仍存在治疗效果不佳的情况。骨密度在即刻种植修复治疗中尤为重要,尤其对于无牙颌患者,是术前治疗计划制定、种植体选择、术式选择、修复负荷时机等方面的决定性因素。一方面,骨皮质较薄,骨质过于疏松的骨不利于骨结合,这种情况以上颌骨多见;另一方面,骨密度过高的骨存在血管化不足的问题,不利于种植体植入后骨结合,这种情况在下颌骨多见<sup>[1,2]</sup>。同时,这种骨在植入过程中产热更多,造成周围骨损伤。种植体的稳定性与骨密度密切相关,种植体的初始稳定性是保证种植修复远期疗效的关键因素,在即刻种植修复中这一点尤为显著,初始稳定性欠佳可能导致骨结合不良使种植体植入失败<sup>[3]</sup>。因此,在对种植治疗进行决策时应当结合骨密度数据。

回顾过去的研究,有多种测量手段用于评估骨密度。双能 X 射线吸收法(dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)是定量测量骨密度的金标准,具有辐射剂量低、扫描速度快、非重复性和非侵入性的优点<sup>[4]</sup>。曲面体层放射线片能用于测量骨密度,但其对骨结构的评估较为主观,难以得到客观准确的数据<sup>[1,5]</sup>。微型计算机体层成像(Micro-computed tomography, Micro-CT)被推荐用作评估骨形态和骨小梁微结构的金标准<sup>[6-8]</sup>。多层计算机体层成像(multi-slice computed tomography, MSCT)被广泛用于测定骨密度,其提供的亨氏单位(Hounsfield unit, HU)可以直接转化用来测量骨密度值<sup>[6]</sup>。锥形束计算机体层成像(cone beam computed tomography, CBCT)已广泛用于辅助口腔科的检查和诊断,具有便于临床医生使用、设备体积相对较小、成本相对较低、辐射剂量相对小等优点<sup>[6]</sup>。研究表明利用 CBCT 测得的骨密度数据有较高的准确性。

即刻种植修复,尤其无牙颌种植即刻固定修复是当前解决患者缺牙后功能及美学重建的有效方法。种植体初始稳定性是无牙颌即刻种植修复成功实施的首要条件,它不但有赖于种植区骨量、种植体形态数目、手术技巧,还与骨的密度密切相关。因此,术前对无牙颌种植术区骨密度的评估对完善种植修复方案、达到与患者有效沟通以及预案准备有重要价值。本文旨在总结归纳利用影像学方法得到的骨密度数据并预测种植治疗疗效方面的研究,为临床决策提供参考。

### 一、利用影像学检查判断骨密度

#### 1. 双能 X 射线吸收法:

双能 X 射线吸收法(dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)是诊断骨质疏松症和预测骨折风险的金标准<sup>[9-10]</sup>,国际临床骨密度测量学会(The International Society for Clinical Densitometry, ISCD)推

荐腰椎和全身无头部为首选测量位置<sup>[4]</sup>。骨密度(bone mineral density, BMD)是在 DXA 扫描的基础上计算的,结果用与相应健康人口骨密度数据库比较后得出的 T 分数(T-score)和 Z 分数(Z-score)表示<sup>[11]</sup>。根据 WHO 给出的标准<sup>[12]</sup>:正常骨密度: T-score  $\geq -1$ ,骨质减少:  $-1 > \text{T-score} > -2.5$ ,骨质疏松: T-score  $\leq -2.5$ 。

骨小梁评分(trabecular bone score, TBS)是一种灰度纹理测量方法,可以从 DXA 图像中提取,用于评判骨小梁的结构,它的测量不受测量区域大小或形状的限制,可应用于小的或不规则的骨表面<sup>[4]</sup>。DXA 测量的股骨颈及腰椎部分的骨密度与 CBCT 测得的上颌结节及上颌切牙部位灰度值密切相关,上颌结节灰度值  $< 298$  可区分骨质疏松和正常人,准确率为 66%~67%,提示需要进一步进行 DXA 分析<sup>[13-14]</sup>。但是,通过 DXA 测量的骨密度在口腔种植修复治疗过程中存在局限性,包括不能直接测量受体骨部位的骨结构,其测量数据可能受到骨块大小、伪影、定位错误等影响产生偏倚<sup>[15]</sup>。

#### 2. 曲面体层放射线片:

曲面体层放射线片在口腔领域已有广泛应用,可以用于初步筛选骨质疏松患者,以便在治疗前提供最初的治疗方案。不同植骨区对应不同的骨密度, Misch 等<sup>[16]</sup>推荐按照骨密度较低的一侧进行骨密度的评估,根据宏观骨密度分类(D1、D2、D3、D4)作出治疗计划,通常上颌骨前部为 D3 型骨,上颌骨后部为 D4 型骨,下颌骨前部为 D2 型骨,下颌骨后部为 D3 型骨。Chugh 等提出了使用导阶梯楔状铅板测量曲面体层放射线片中的骨密度,将曲面体层放射线片中特定位置的图像与既定标准 HU 值的阶梯图像进行对比,阶梯 A、B、C 分别与 D4、D3、D2 类型骨有显著的对应关系( $P \leq 0.05$ ),可根据骨小梁及皮质骨厚度的比值对骨密度进行分类<sup>[5]</sup>。曲面体层放射线片可作为一种经济可靠的诊断工具,利用骨膜内缘结构排除未确诊患者的骨质疏松或骨质减少的准确率可高达 96%,但是在颈椎等部位曲面体层放射线片中存在大量的伪影,影响数据的准确性,目前不能得到有关骨松质内骨量减少的定量分析<sup>[17-18]</sup>。

#### 3. 根尖放射线片:

曲面体层放射线片及根尖放射线片均可进行分形维数分析(fractal dimension analysis, FA),分形维数(fractal dimension, FD)可用于评估骨密度,也可用于评估根尖周组织病变和骨结合状况,高 FD 值(范围 1.340~2.659)可用于评价较好的种植体初始稳定性<sup>[19]</sup>。在 CBCT、曲面体层放射线片、根尖放射线片三者中,利用根尖放射线片评估 FD 最准确<sup>[19-20]</sup>。Oliverira 等研究发现根尖放射线片可以通过灰度变化来评价骨质量,平均灰度值( $P=0.035$ )、灰度值的标准差( $P<0.001$ )和熵值( $P<0.001$ )之间存在差异,其与 Lekholm 和 Zarb 骨密

度分类的相关性优于曲面体层放射线片<sup>[21]</sup>。也有研究认为根尖放射线片存在图像重叠、模糊、一定程度的扭曲等局限性,在骨密度定量分析方面没有显著的临床价值,Fu等研究表明根尖放射线片获取的骨质量数据与立体显微镜及 Micro-CT 检查在无论上颌骨或下颌骨获得的结果相关性较差<sup>[22]</sup>。

#### 4. 利用 CBCT 判断骨密度:

Micro-CT 是评估骨微观结构的金标准。在利用计算机体层成像测量骨密度的应用中,最关键的骨微结构参数 (bone microstructure parameters, TBMPs) 包括每组织体积骨量 (bone volume/tissue volume, BV/TV), 骨小梁厚度 (thickness of trabecular bone, Tb.Th), 骨小梁数量 (number of trabecular bone, Tb.N) 及骨小梁疏密度 (sparse density of trabecular, Tb.Sp)<sup>[23]</sup>。Micro-CT 的分辨率小到只有几微米,在扫描大尺寸对象时需要进行体素重建,在骨密度研究中通常用于离体标本、模型、小动物的扫描, Kim 等发现除 Tb.N 为 110/110  $\mu\text{m}$ 、MIL1/MIL3 为 110  $\mu\text{m}$  以上、体素尺寸大于 110  $\mu\text{m}$  的图像和任意体素尺寸组合的 -Euler/Vol 图像外,大体素尺寸图像的分析结果均与理想结果 ( $r_2=0.55\sim 0.99$ ) 相关,但这一方法不适用于对颌骨的扫描<sup>[24]</sup>。在很长的一段时间内,MSCT 被作为测量骨密度的临床标准, Parsa 等研究发现 MSCT 的 HU 值与 Micro-CT 的 BV/TV 值相关性良好 ( $r=0.91$ ), Micro-CT 与 MSCT 在评价骨量分数及骨密度方面有较强的一致性<sup>[6]</sup>,但是其较高的辐射剂量限制了其在临床的应用<sup>[25]</sup>。

与 Micro-CT、MSCT 不同, CBCT 现已被广泛应用于口腔医学的临床实践。有大量研究已经证明,通过 CBCT 测量的 BV/TV 可以用于评估上颌骨小梁微结构 (表 1)。同时, Tasi 等通过测量骨小梁微结构参数,指出拥有更高分辨率的 CBCT 可以提供更准确的骨小梁显微参数结果<sup>[7]</sup>。

同时,利用 CBCT 可鉴别骨质疏松等低骨密度的受体骨,其测量数据主要为计算机体层成像下颌骨指数上 (computer tomography mandibular index (Superior), CTI (S))、计算机体层成像下颌骨指数下 (computer

tomography mandibular index (Inferior), CTI (I))、计算机体层成像心理指数 (computer tomography mental index, CTMI)、计算机体层成像皮质指数 (computerized tomography cortical index, CTCI), 与 DXA 获得的参考骨密度数据密切相关<sup>[27]</sup>。根据以往的研究, 25 mm 层厚的 CBCT 可以获得最佳的准确率<sup>[28]</sup>, 在 CBCT 上测得的颏孔区下颌骨皮质宽度 (mandibular cortex width, MCW) 低于 3 mm 可被认为是预测低骨密度的一个阈值,也是转诊患者进行密度测量评估的一个临界值<sup>[29-31]</sup>。

虽然 CBCT 的体素灰度值与实际存在偏差,但存在显著的线性关系。在临床实践中, CBCT 的灰度值有待进一步校准<sup>[25]</sup>。视野大小、扫描对象的位置及不同的 CBCT 系统类型会影响对骨小梁微观结构的临床评价<sup>[32]</sup>。Klintström 等通过对 CBCT 9 种不同成像方式和不同影像学参数 (电流, 电压, 旋转度, 体素大小, 成像面积和旋转时间) 与 Micro-CT 得到的骨微结构参数进行对比,表明其结果相关性系数均大于 0.9, 说明影像学参数改变对骨量和骨小梁厚度等用于预测骨密度的数据没有影响,可用于骨密度的测量<sup>[33]</sup>。Van Dessel 等利用 7 台不同 CBCT 对 6 个有牙下颌骨标本进行了扫描,表明大多数不同厂家生产的 CBCT 机器可以定量评估牙槽骨质量,具有接近 micro-CT 的准确性和可靠性<sup>[1]</sup>。较多研究对矫正 CBCT 的灰度值进行了尝试, Sennerby 等使用新型的图像矫正方法,如骨密度检查 (bone density examination, BDE) 等,可从重建图像中提取更加准确的 HU 值<sup>[34]</sup>。Zhang 等开发了一个计算框架,利用从 4D CT 数据集对高质量的日常 4D CBCT 图像进行数字合成,从而有效减少伪影并增强软组织的显像<sup>[35]</sup>。

#### 二、利用影像学骨密度数据决策即刻种植修复的可选因素

骨密度可影响种植体植入时的植入扭矩值 (insert torque, IT)<sup>[36]</sup>。在种植术后,正常的愈合过程有耐受阈值区间,大约为 50~150  $\mu\text{m}$ 。种植体的稳定性差可能使种植体的微动超过阈值,导致种植的失败。骨密度更高的受体骨拥有更高的 IT, IT 越大,种植体初始稳定性越好<sup>[37-39]</sup>。了解 IT 值适应范围有助于临床对种植治疗术前

表 1 不同研究中 CBCT 测量获得的 BV/TV 与金标准相似度表

研究组别	Tasi et al. <sup>[7]</sup>	Parsa et al. <sup>[6]</sup>	Van dessel et al. <sup>[1]</sup>	Kim et al. <sup>[26]</sup>
研究对象	28 例新鲜牛椎体松质骨标本	20 个部分无牙颌下颌骨标本	6 个有牙下颌骨标本	从 4 对颌骨标本上取下的 68 个样本
Micro-CT 分辨率	18 $\mu\text{m}$	35 $\mu\text{m}$	30 $\mu\text{m}$	19.37 $\mu\text{m}$
CBCT 分辨率	100 $\mu\text{m}$	80 $\mu\text{m}$	80 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$
BV/TV 相似度	$r$ 0.84	0.82	0.88	0.61
	$P$ <0.001	<0.001	<0.05	<0.05

数据为 Pearson 相关系数 ( $r$  值) 和概率值 ( $P$ )。

规划及修复因素进行决策，有研究表明，过高的 IT 可产生较高的应力和应变，可能造成种植体周围的骨损伤<sup>[40]</sup>。较小的 IT 值能减少周围骨损伤，中短期内产生较好的边缘骨水平，例如 IT<20 N/cm 时也可获得 98% 的成功率<sup>[41]</sup>。

临床上，可使用曲面体层放射线片和 CBCT 进行骨密度测定来预测种植体植入的初始稳定性。从曲面体层放射线片和 CBCT 上测得的骨密度数据和骨结构数据呈正相关，与种植体稳定性数据也呈正相关。Bidez 等利用三维有限元应力分析得出 D4 型骨和 D3 型骨在颌力作用下会出现种植治疗失败<sup>[16]</sup>。Arsan 等发现曲面体层放射线片测得的植入部位的灰度值 (grey level value, GV)、FD、连接小梁数 (connectivity, Co) 和连接小梁密度 (connectivity density, CoD) 与 IT 相关 ( $P<0.047$ )，GV 与植入稳定性商 (implant stability quotient, ISQ) 相关 ( $P<0.029$ )，可用于预测种植体的初始稳定性，这与先前 Suer 等的研究结论相似<sup>[42-43]</sup>。在术前 CBCT 扫描三维重建中，种植体周围骨测得的 HU 值与 ISQ、平均 IT 值和种植手术时获得的峰值 IT 值有良好的相关性。HU 测量可用于预测 3D 重建中种植体的稳定性，这一特征可集成到治疗计划软件中<sup>[34, 44]</sup>。

### 三、小结

非侵入性的骨密度评估方法在诊断、预后和决策可选因素时起到决定性的作用，在无牙颌种植即刻功能重建中尤其重要，即刻修复或临时即刻修复为患者和口腔医生提供了许多优势。这种即刻固定的临时修复体避免了活动义齿带来的弊端，并为无牙颌患者提供心理上的抚慰。即刻种植体可以促进骨愈合，并在最终修复前改善软组织的适应性和轮廓。

过去临床医生通常单纯依赖 Lekholm 和 Zarb 提出的骨的宏观结构分类来评估骨质量，但存在主观性强、缺乏客观评价标准的缺点<sup>[45]</sup>。Misch 利用 CT，以 HU 为基础，客观地将骨密度分为 5 种类型 (D1: >1250 HU, D2: 850~1250 HU, D3: 350~850 HU, D4: 150~350 HU, D5: <150 HU)，并且距离牙槽嵴顶 7~10 mm 的骨密度对治疗计划的选择起到关键作用<sup>[16]</sup>。当前有大量研究用于证实放射线及 CBCT 与骨密度相关参数存在线性关系，结合主观的骨分类标准，可用于大致预测种植术后种植体的骨结合效果及稳定性，但准确详细的骨密度分级分类方法及其与种植初始稳定性相关的临床研究尚不充分<sup>[5]</sup>。在利用明确详细的骨密度参数用于临床决策种植治疗的可选因素，以控制种植体植入后即刻修复种植体的微动在允许的范围内，最大程度减少骨损伤，从而达到长期的功能稳定等方面有待进一步的研究。利用放射线影像及 CT 数据，口腔临床医生如果能早期识别骨密度过低甚至骨质疏松的患者，并将其转至专科临床治疗，将有一定的临床价值<sup>[27]</sup>，但需要注意的是，不同 CBCT 系统产

生的数据在骨密度分级分类中是否产生影响需要进一步的验证。人工智能 (artificial intelligence, AI) 技术和放射组学在医疗领域已经有了初步的发展，例如利用影像学数据集进行肥胖、肿瘤相关疾病的诊断、分类及治疗评价<sup>[46-47]</sup>。在未来的口腔种植学领域，AI 技术和放射组学将得到进一步的发展，利用简便的影像学测量方式获取较准确的骨密度定量数据能帮助骨密度数据集的建立。利用 AI 技术获取最佳种植方案，并协助数字化种植导板的制作等可为未来口腔种植医疗提供广阔的前景。

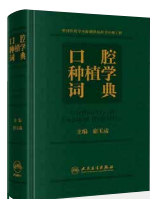
**利益冲突** 本文作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] Van Dessel J, Nicolielo LF, Huang Y, et al. Accuracy and reliability of different cone beam computed tomography (CBCT) devices for structural analysis of alveolar bone in comparison with multislice CT and micro-CT[J]. *Eur J Oral Implantol*, 2017,10(1):95-105.
- [2] Guang M, Huang B, Yao Y, et al. Effects of vascular endothelial growth factor on osteoblasts around dental implants in vitro and in vivo[J]. *J Oral Sci*, 2017,59(2):215-223. DOI: 10.2334/josnusd.16-0406.
- [3] De Bruyn H, Raes S, Ostman PO, et al. Immediate loading in partially and completely edentulous jaws: a review of the literature with clinical guidelines[J]. *Periodontol* 2000, 2014,66(1):153-187. DOI: 10.1111/prd.12040.
- [4] Shaw N, Crabtree N. Bone density in children: what are we measuring?[J]. *Arch Dis Child*, 2019,104(11):1108-1111. DOI: 10.1136/archdischild-2019-316940.
- [5] Chugh NK, Bhattacharyya J, Das S, et al. Use of digital panoramic radiology in presurgical implant treatment planning to accurately assess bone density[J]. *J Prosthet Dent*, 2016,116(2):200-205.e1. DOI: 10.1016/j.prosdent.2016.01.017.
- [6] Parsa A, Ibrahim N, Hassan B, et al. Bone quality evaluation at dental implant site using multislice CT, micro-CT, and cone beam CT[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2015,26(1):e1-7. DOI: 10.1111/clr.12315.
- [7] Tsai MT, He RT, Huang HL, et al. Effect of Scanning Resolution on the Prediction of Trabecular Bone Microarchitectures Using Dental Cone Beam Computed Tomography[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2020,10(6). DOI: 10.3390/diagnostics10060368.
- [8] Min CK, Kim KA. Quantitative analysis of metal artefacts of dental implant in CBCT image by correlation analysis to micro-CT: A microstructural study[J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2021,50(3):20200365. DOI: 10.1259/dmfr.20200365.
- [9] Messina C, Maffi G, Vitale JA, et al. Diagnostic imaging of osteoporosis and sarcopenia: a narrative review[J]. *Quant*

- Imaging Med Surg, 2018,8(1):86-99. DOI: 10.21037/qims.2018.01.01.
- [10] Mendes MM, Darling AL, Hart KH, et al. Impact of high latitude, urban living and ethnicity on 25-hydroxyvitamin D status: A need for multidisciplinary action?[J]. J Steroid Biochem Mol Biol, 2019,188:95-102. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2018.12.012.
- [11] Wong CP, Gani LU, Chong LR. Dual-energy X-ray absorptiometry bone densitometry and pitfalls in the assessment of osteoporosis: a primer for the practicing clinician[J]. Arch Osteoporos, 2020,15(1):135. DOI: 10.1007/s11657-020-00808-2.
- [12] Organization W H. WHO Scientific Group on The Assessment of Osteoporosis at Primary Health Care Level[J]. 2004.
- [13] Shokri A, Ghanbari M, Maleki FH, et al. Relationship of gray values in cone beam computed tomography and bone mineral density obtained by dual energy X-ray absorptiometry[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol, 2019,128(3):319-331. DOI: 10.1016/j.oooo.2019.04.017.
- [14] Shevroja E, Lamy O, Kohlmeier L, et al. Use of Trabecular Bone Score (TBS) as a Complementary Approach to Dual-energy X-ray Absorptiometry (DXA) for Fracture Risk Assessment in Clinical Practice[J]. J Clin Densitom, 2017,20(3):334-345. DOI: 10.1016/j.jocd.2017.06.019.
- [15] Jain RK, Vokes T. Dual-energy X-ray Absorptiometry[J]. J Clin Densitom, 2017,20(3):291-303. DOI: 10.1016/j.jocd.2017.06.014.
- [16] Misch, Carl, E. Contemporary Implant Dentistry[J]. Implant Dentistry, 1999,8(1):1-90. DOI: 10.1097/00008505-199901000-00012
- [17] Singh SV, Aggarwal H, Gupta V, et al. Measurements in Mandibular Pantomographic X-rays and Relation to Skeletal Mineral Densitometric Values[J]. J Clin Densitom, 2016,19(2):255-261. DOI: 10.1016/j.jocd.2015.03.004.
- [18] Hwang JJ, Lee JH, Han SS, et al. Strut analysis for osteoporosis detection model using dental panoramic radiography[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2017,46(7):20170006. DOI: 10.1259/dmfr.20170006.
- [19] Kato CN, Barra SG, Tavares NP, et al. Use of fractal analysis in dental images: a systematic review[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2020,49(2):20180457. DOI: 10.1259/dmfr.20180457.
- [20] Vadiati Saberi B, Khosravifard N, Nooshmand K, et al. Fractal analysis of the trabecular bone pattern in the presence/absence of metal artifact-producing objects: Comparison of cone-beam computed tomography with panoramic and periapical radiography[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2021:20200559. DOI: 10.1259/dmfr.20200559.
- [21] Oliveira MR, Gonçalves A, Gabrielli M, et al. Radiographic Evaluation in the Diagnosis of Alveolar Bone Quality in Implant Rehabilitation[J]. J Craniofac Surg, 2020,31(6):1805-1808. DOI: 10.1097/SCS.00000000000006755.
- [22] Fu MW, Shen EC, Fu E, et al. Assessing Bone Type of Implant Recipient Sites by Stereomicroscopic Observation of Bone Core Specimens: A Comparison With the Assessment Using Dental Radiography[J]. J Periodontol, 2017,88(6):593-601. DOI: 10.1902/jop.2017.160446.
- [23] Boussein ML, Boyd SK, Christiansen BA, et al. Guidelines for assessment of bone microstructure in rodents using micro-computed tomography[J]. J Bone Miner Res, 2010,25(7):1468-1486. DOI: 10.1002/jbmr.141.
- [24] Kim DG, Christopherson GT, Dong XN, et al. The effect of microcomputed tomography scanning and reconstruction voxel size on the accuracy of stereological measurements in human cancellous bone[J]. Bone, 2004,35(6):1375-1382. DOI: 10.1016/j.bone.2004.09.007.
- [25] Van Dessel J, Nicolielo LF, Huang Y, et al. Quantification of bone quality using different cone beam computed tomography devices: Accuracy assessment for edentulous human mandibles[J]. Eur J Oral Implantol, 2016,9(4):411-424.
- [26] Kim JE, Yi WJ, Heo MS, et al. Three-dimensional evaluation of human jaw bone microarchitecture: correlation between the microarchitectural parameters of cone beam computed tomography and micro-computer tomography[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol, 2015,120(6):762-770. DOI: 10.1016/j.oooo.2015.08.022.
- [27] Guerra E, Almeida FT, Bezerra FV, et al. Capability of CBCT to identify patients with low bone mineral density: a systematic review[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2017,46(8):20160475. DOI: 10.1259/dmfr.20160475.
- [28] Kato CN, Tavares NP, Barra SG, et al. Digital panoramic radiography and cone-beam CT as ancillary tools to detect low bone mineral density in post-menopausal women[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2019,48(2):20180254. DOI: 10.1259/dmfr.20180254.
- [29] Taguchi A, Tsuda M, Ohtsuka M, et al. Use of dental panoramic radiographs in identifying younger postmenopausal women with osteoporosis[J]. Osteoporos Int, 2006,17(3):387-394. DOI: 10.1007/s00198-005-2029-7.
- [30] Brasileiro CB, Chalub L, Abreu M, et al. Use of cone beam computed tomography in identifying postmenopausal women with osteoporosis[J]. Arch Osteoporos, 2017,12(1):26. DOI: 10.1007/s11657-017-0314-7.
- [31] de Castro J, Carvalho BF, de Melo NS, et al. A new cone-beam computed tomography-driven index for osteoporosis prediction[J]. Clin Oral Investig, 2020,24(9):3193-3202. DOI: 10.1007/s00784-019-03193-4.
- [32] Ibrahim N, Parsa A, Hassan B, et al. The effect of scan parameters on cone beam CT trabecular bone microstructural measurements of the human mandible[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2013,42(10):20130206. DOI:

- 10.1259/dmfr.20130206.
- [33] Klintström E, Smedby O, Klintström B, et al. Trabecular bone histomorphometric measurements and contrast-to-noise ratio in CBCT[J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2014,43(8):20140196. DOI: 10.1259/dmfr.20140196.
- [34] Sennerby L, Andersson P, Pagliani L, et al. Evaluation of a Novel Cone Beam Computed Tomography Scanner for Bone Density Examinations in Preoperative 3D Reconstructions and Correlation with Primary Implant Stability[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2015,17(5):844-853. DOI: 10.1111/cid.12193.
- [35] Zhang Y, Yang J, Zhang L, et al. Digital reconstruction of high-quality daily 4D cone-beam CT images using prior knowledge of anatomy and respiratory motion[J]. *Comput Med Imaging Graph*, 2015,40:30-38. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2014.10.007.
- [36] Hsu JT, Fuh LJ, Tu MG, et al. The effects of cortical bone thickness and trabecular bone strength on noninvasive measures of the implant primary stability using synthetic bone models[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2013,15(2):251-261. DOI: 10.1111/j.1708-8208.2011.00349.x.
- [37] Sugiura T, Yamamoto K, Horita S, et al. The effects of bone density and crestal cortical bone thickness on micromotion and peri-implant bone strain distribution in an immediately loaded implant: a nonlinear finite element analysis[J]. *J Periodontal Implant Sci*, 2016,46(3):152-165. DOI: 10.5051/jpis.2016.46.3.152.
- [38] Di Stefano DA, Arosio P. Correlation Between Bone Density and Instantaneous Torque at Implant Site Preparation: A Validation on Polyurethane Foam Blocks of a Device Assessing Density of Jawbones[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2016,31(5):e128-135. DOI: 10.11607/jomi.4475.
- [39] Irandoust S, Müftü S. The interplay between bone healing and remodeling around dental implants[J]. *Sci Rep*, 2020,10(1):4335. DOI: 10.1038/s41598-020-60735-7.
- [40] Cha JY, Pereira MD, Smith AA, et al. Multiscale analyses of the bone-implant interface[J]. *J Dent Res*, 2015,94(3):482-490. DOI: 10.1177/0022034514566029.
- [41] Norton MR. The Influence of Low Insertion Torque on Primary Stability, Implant Survival, and Maintenance of Marginal Bone Levels: A Closed-Cohort Prospective Study[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2017,32(4):849-857. DOI: 10.11607/jomi.5889.
- [42] Arsan B, Yalcin-Ülker GM, Meral DG, et al. Is there any predictive bone parameter for implant stability in 2-dimensional and 3-dimensional radiologic images?[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2021,131(3):371-379. DOI: 10.1016/j.oooo.2020.08.009.
- [43] Suer BT, Yaman Z, Buyuksarac B. Correlation of Fractal Dimension Values with Implant Insertion Torque and Resonance Frequency Values at Implant Recipient Sites[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2016,31(1):55-62. DOI: 10.11607/jomi.3965.
- [44] Cortes AR, Eimar H, Barbosa Jde S, et al. Sensitivity and specificity of radiographic methods for predicting insertion torque of dental implants[J]. *J Periodontol*, 2015,86(5):646-655. DOI: 10.1902/jop.2015.140584.
- [45] Arsan B, Yalcin-Ülker GM, Meral DG, et al. Is there any predictive bone parameter for implant stability in 2-dimensional and 3-dimensional radiologic images?[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2021,131(3):371-379. DOI: 10.1016/j.oooo.2020.08.009.
- [46] Attanasio S, Forte SM, Restante G, et al. Artificial intelligence, radiomics and other horizons in body composition assessment[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2020,10(8):1650-1660. DOI: 10.21037/qims.2020.03.10.
- [47] Lohmann P, Elahmadawy MA, Gutsche R, et al. FET PET Radiomics for Differentiating Pseudoprogression from Early Tumor Progression in Glioma Patients Post-Chemoradiation[J]. *Cancers (Basel)*, 2020,12(12). DOI: 10.3390/cancers12123835.



## · 名词释义 ·

常规负荷 *cháng guī fù hè*

conventional loading

种植体植入后, 3~6个月之间戴入最终种植修复体, 修复体与对颌存在功能性接触。种植体愈合期间不进行即刻或早期负荷。