

锥形束计算机断层扫描摄影在 下颌骨的空间线性分析中的诊 断精度

Diagnostic Accuracy of Cone Beam Computed Tomography for Dimensional Linear Measurements in the Mandible

Michal Halperin-Sternfeld, Eli E. Machtei, Jacob Horwitz 原载 Int J Oral Maxillofac Implants, 2014, 29: 593-599. (英文) 董 凯 译 柳忠豪 审

摘要

目的: 比较两种测量猪下颌骨的方法,即使用锥形束计算机断层扫描摄影 (CBCT) 进行的线性测量及体外直接测量。材料和方法: 通过充填有古塔胶的孔洞来标记出 7 个下颌骨中的 6 个骨横截面。使用 CT 设备扫描下颌骨,随后使用带锯沿着古塔胶标记点进行截面。接下来,使用手持数字卡尺对每一个骨界面进行 4 次直接测量 (DIR),古塔胶标记点作为参考点。随后,使用专门软件来测量相对应的横截面的放射影像 (RAD)。一共测量 168 个位点。分别计算每对 RAD 和 DIR 测量值之间的差别 [Δ (RAD-DIR)]。结果: Δ (RAD-DIR) 平均值为 -0.17 ± 0.53 mm (范围为 $-1.42\sim1.09$ mm)。在 36%的位点中,CBCT 值要高于直接测量值:8%的位点(95%可信区间,3.8% \sim 12.2%)表现出 +0.5mm 及 +1mm 的误差,1.8%的位点(95%可信区间, $-0.2\%\sim3.9\%$)表现出超过 +1mm 的误差。结论:CBCT 和直接测量值之间有良好的相关性。然而,有相当大比例位点的误差至少高出 0.5mm,这表明当使用 CBCT来设计手术方案,例如口腔种植治疗时,必须预留出安全余量。

关键词 精确度;锥形束计算机断层扫描;种植牙;尺寸测量;体外

译者单位 烟台市口腔医院

山东省烟台市芝罘区北大街 142号 264008

1 引言

锥形束计算机断层扫描(CBCT)广泛用于协助制定口腔种植治疗的术前计划。CBCT提供了牙槽骨的三维(3D)影像并能够评估其结构和尺寸以及明确骨缺损和解剖结构,如下颌神经管。

CBCT用于制定口腔种植计划,特别是用于测量牙槽骨宽度及测量牙槽嵴顶到下颌神经管或上颌窦底的距离。然而,这些放射学解剖结构在手术中是不可见的。因此,外科医师需要依靠对CBCT图像进行二维上的测量来决定种植体的适当位置。

在 CBCT 图像上进行测量,其精度受到许多因素影响: CBCT 系统和软件,扫描过程中患者是否移动及临床医师的读片技巧。这些能够影响精确度的因素尚未彻底研究明确。

有研究曾对 CBCT 构建可靠 3D 影像的精确度进行评估,对放射影像上的线性测量和直接测量进行比较。许多研究使用人类干头骨,另外在招募的患者中直接体内测量。直接测量和 CBCT 测量值的平均差异在 -0.23mm 和 0.47mm(负值及正值分别表示 CBCT 测量值低于或高于直接测量值)。一些学者发现在 CBCT 图像中存在整体轻微压缩,而其他学者则发现图像放大。此外还发现,CBCT 的诊断精度在前牙区较后牙区更差。大多数研究的主要缺点是缺少一个能够将在真实骨组织内进行的直接测量和在相应的 CBCT 图像上的测量相匹配的系统。

因此,本实验在猪下颌模型上进行体外直接测量,并通过比较来评估 CBCT 图像放射学线性测量的精度。

2 材料和方法

从体重150kg的雌性家猪上获取7个新鲜的下颌骨用于本实验(Marsel Brothers)。选择6个测量位点:2个位于下颌前牙区(如前牙到尖牙)及4个位于下颌后牙区(后牙到尖牙)。通过6个横截面来确定测量位点。通过预备的标志点来确定每个平面,标志点包括3个3mm深的孔洞,由高度涡轮机和0.8mm直径的碳化钨外科钻头(Zekrya E0151,28mm,DENTSPLY)来制备。这些孔洞充满阻射性的古塔胶(Roeko gutta—percha points,size 80,Coltene Whaledent)。颌骨上所预备出的孔洞虚构建成一个横截面,其位于①颊侧皮质骨,②舌侧皮质骨,以及③边缘嵴秆面,位于

先前两个孔洞冠方的两颗牙齿之间(图1)。接下来, 将下颌骨固定在聚苯乙烯平台上并使用 CBCT 扫 描 (iCAT, Imaging Sciences International), 操 作参数为120kVp, 3~8mA以及0.5mm额定焦 斑尺寸。将数据输入到种植设计软件中 (Med3D, med3D)。接下来,使用 0.6mm 带锯的切片机 (Paul KOLBE) 将下颌骨按照6个标记平面切开。每一 个横截面样本都直接用肉眼检查,并且使用设计软 件在 CBCT 图像上确定相应的放射平面。横截面图 像转移到图像存储及分析系统 (Med3D) 并使用种 植设计软件参考测量线来校准(图2)。在新鲜样本 及各自的放射学影像上确定标记点。新鲜下颌骨上 的标记点间的距离使用数显卡尺 (Planmeca Oy) 来测量, 其精度为 ±0.001 英寸 (DIR)。在放射影 像上,使用图像存储及测量软件中的工具测量各自 的距离 (RAD)。

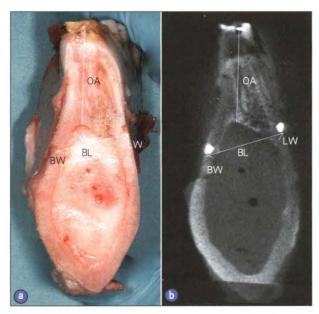


图 1 一个横截面上有 3 个古塔胶孔。a. 新鲜下颌骨上粉红色的古塔胶;b. CBCT 图像上,古塔胶的阻射影像。白线表示 4 次线性测量记录: 颊侧皮质骨宽度 (BW),舌侧皮质骨宽度 (LW),颊舌侧宽度 (BL) 及从牙边缘嵴到下颌神经管上缘间的冠根向距离 (OA)



图 2 测量校准。使用种植设计软件参考测量线来进行校准。 使用已知的 10mm 距离来比对间距

的,通过划线来测量OA,从古塔胶标记点下缘开始, 垂直于下颌神经管上缘。

DIR 和 RAD 的测量由一位经验丰富的牙周医师(JH)及一位牙周科中专门训练分析 CBCT 数据的研究生(MHS)来实行,并重复 2 次,共产生 4 次测量数值。标记点的位置得到两位操作者的共同确认。测量值差异若超过 0.5mm 则需重新测定,直到差异小于 0.5mm。这一过程使得检查者每次检查及不同检查者之间的误差限定在最高 0.5mm。

评估 RAD 和 DIR 测量值之间的差异。零假设为 RAD 和 DIR 之间的测量值差异不超过0.5±0.5mm[平均值±标准差(SD)]。数据进一步划分为小测量值(BW、LW),大测量值(BL、OA)以及前牙区、后牙区测量值。

本报告遵守报告可靠性及协议研究的指导原则及研究报告诊断准确性的 STARD 检查单。数据包括 4 部分测量值(每位检查者有两部分数值)并制成表单(Excel 2007, Microsoft)。

计算检查者本人及不同检查者的 RAD 和 DIR 变量值并设定离散增量 ± 0.1 , ± 0.2 , ± 0.3 , ± 0.4 和 ± 0.5 mm。计算 RAD 和 DIR 测量值间(方法间)的差异。通过重复性系数(CR)和变异系数(CV)来描述计算变量。

将两位检查者 4 次重复测量值的平均数作为每一个 RAD 和 DIR 测量值的参考值。计算每一个线性距离的平均值 ± 标准差。计算 RAD 和 DIR 测量值之间的差异 [Δ (RAD-DIR)] 及其绝对值 [[Δ (RAD-DIR)]] 并表示为平均值 ± 标准差。差异

记录为正负数,分别表示过低估计及过高估计。

 Δ (RAD-DIR) 值分为 6 组(-1.5 ~ -1mm, -1 ~ -0.5mm, -0.5 ~ 0mm, 0 ~ +0.5mm, +0.5 ~ +1mm 及 +1 ~ +1.5mm) 并计算相应的 95% 可信区间(CIs)。同样的, $|\Delta$ (RAD-DIR)|值分为 3 组(±0.5,±1 及 ±1.5mm),并计算相应的 95% 可信区间。使用配对 t 检验来评估测量组间的差异(RAD-DIR)。

数据进一步分为亚组,包括小测量值(BW、LW)组,大测量值(BL、OA)组及前牙、后牙测量组。在每一个亚组中,计算 Δ (RAD-DIR)和 Δ (RAD-DIR),确定离散范围,并作比较。同样计算相应的 95% 可信区间。

使用 Kruskal—Wallis 检测来评估大小测量值组及前后牙区测量值组之间 Δ (RAD—DIR) 和 $|\Delta$ (RAD—DIR)|的差异。使用 Mann—Whitney 检验评估 BW 和 LW 及 BL 和 OA 之间的 Δ (RAD—DIR) 的分布差异。双侧 P 值 \leq 0.05 定义为具有统计学意义。

使用 SPSS 统计 软件 (version 18.0 for Windows, SPSS Inc)来进行统计分析。在3个下颌骨的预实验中进行单一比例的样本大小计算,来确定检验零假设所需的位点数目。基于95%可信区间及3.4%估计误差得来的预实验参数表明,需要158个测量值。因此,使用7个下颌骨(包括168个测量值)。有6个测量值被排除,因为它们在同一检查者/不同检查者之间的差异大于0.5mm。因此,结果中有162个测量值被纳入用来进行统计学分析。

3 结果

 $|\Delta(\text{RAD-DIR})|$ (±SD)平均值为 0.45 ± 0.33 mm (范围 $0\sim1.42$ mm)。 Δ (RAD-DIR) 平均值为 -0.17 ± 0.53 mm (范围为 $-1.42\sim1.09$ mm),这通常表明,CBCT 测量值轻微偏低(表 1)。数值 ±0.5 mm 被认为处于同一位检查者及不同检查者测量值之间的差异限定范围内;因此,只有当数值超过 ±0.5 mm 或低于 ±0.5 mm 对能反映真实差异。然而, ±0.5 mm 或低于 ±0.5 mm 对能反映真实差异。然而, ±0.5 mm (图 ±0.5 mm)。 ±0.5 mm, ±0.5 mm ±0.5 m

量值显示出 $+0.5 \sim +1$ mm 的误差,1.8% 的误差 超过 1mm。没有 Δ (RAD-DIR) 值低于 -1.5mm 或高于 +1.5mm。剩下 64.8% 的 Δ (RAD-DIR) 值在 $-0.5 \sim +0.5$ mm 之间(图 3)。

在小测量值组中,距离范围为1.76~15.3mm,平均距离为4.3mm。在大测量值组中,范围为4.4~39.7mm,平均为21.7mm。小测量值组和大测量值组中的 $|\Delta$ (RAD-DIR)|值分别为0.37±0.29mm和0.52±0.36 mm(表1)。差异具有统计学意义(P=0.001)。

在小测量值组, 18.3% 的 Δ (RAD-DIR) 值在 $-0.5 \sim -1.0$ mm, 2.4% 低于 -1mm (图 4), 24% 的测量值过高, 其中 6.1% 的值在 $0.5 \sim 1$ mm, 没有超过 1mm 的。在大测量值组, 21.3% 的 Δ (RAD-DIR) 值在 $-0.5 \sim -1.0$ mm, 8.8% 的数值低于 -1mm (图 5), 49% 的测量值偏高, 其中

10% 在 0.5~1.0mm 之间, 3.8% 超过 1mm。

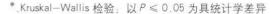
当检查 Δ (RAD-DIR) OA 值分布, 43.6% 的数 值 低于 -0.5mm 及 15.4% 低于 -1mm, 显示数值偏低(图 6)。10.3%的 Δ (RAD-DIR) 值在 $+0.5 \sim 1$ mm, 5.1% 高于 +1mm, 表现出数值偏高。

前牙及后牙区的 $|\Delta$ (RAD-DIR) | 值也类似 (分别为 0.45 ± 0.29 mm 及 0.44 ± 0.36 mm) (P=0.634) (表 1)。在前牙和后牙区测量值中,58.8%和67.6%的 $|\Delta$ (RAD-DIR) | 值分别在 ± 0.5 mm 范围内。

对同一检查者及不同检查者的测量值差异也进行评估。反复测量,差异超过 0.5mm 的即被淘汰。在 RAD 的测量值中,同一检查者 JH 和 MHS 的测量数值差异的绝对值分别为 0.17±0.13mm 及 0.19±0.14mm。JH 和 MHS 的 CRs 分别为 0.26mm 和 0.28mm。JH 和 MHS 的 CVs 分别为 2.9% 和

TO THE OWNER	Δ (RAD-DIR)			Δ (RAD-DIR)		
位置	平均值 ± 标准差 (mm)	范围 (mm)	P*	平均值 ± 标准差 (mm)	范围 (mm)	P*
总	0.45 ± 0.33	0 ~ 1.42		-0.17 ± 0.53	$-1.42 \sim 1.09$	
小数值 (BW,LW)	0.37±0.29	0 ~ 1.39	0.001	-0.22 ± 0.42	$-1.39 \sim 0.97$	0.01
大数值 (BL,OA)	$\textbf{0.52} \pm \textbf{0.36}$	0.01 ~ 1.42		-0.11 ± 0.62	$-1.42 \sim 1.09$	
前牙	0,45±0.29	0.02 ~ 1.14	0.634	-0.26 ± 0.47	$-1.14 \sim 1.07$	0.284
后牙	0.44 ± 0.36	0 ~ 1.42		-0.12 ± 0.55	$-1.42 \sim 1.09$	

表 1 RAD 和 DIR 测量值之间的平均值差异



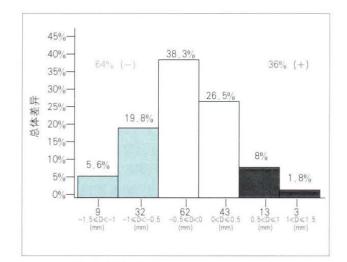


图 3 RAD 和 DIR 测量值之间的总体差异分布。根据 0.5mm 增量将 Δ (RAD-DIR) (%) 分为 6 组: $-1.5 \sim -1$ mm, $-1 \sim -0.5$ mm, $-0.5 \sim 0$ mm, $0 \sim +0.5$ mm, $+0.5 \sim +1$ nm 及 $+1 \sim +1.5$ mm。柱状图底下的数字代表不同分类中测量组的编号

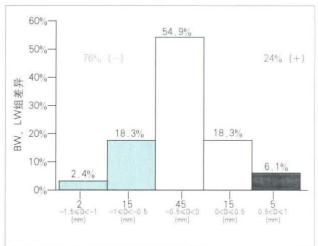


图 4 小测量值组中 RAD 和 DIR 测量值的差异分布。小测量值组中 Δ (RAD-DIR) 值 % 以 0.5mm 增量分为 6 组: $-1.5\sim -1$ mm, $-1\sim -0.5$ mm, $-0.5\sim 0$ mm, $0\sim +0.5$ mm, $+0.5\sim +1$ mm 及 $+1\sim +1.5$ mm

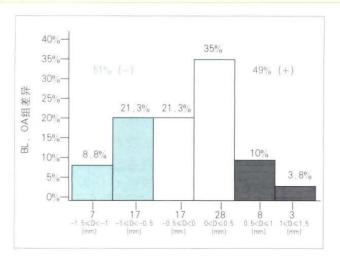


图 5 大测量值组中、RAD和DIR的差异分布。大测量值组 Δ (RAD-DIR)值(%)按0.5mm增量分为6组: $-1.5\sim-1$ mm, $-1\sim-0.5$ mm, $-0.5\sim0$ mm, $0\sim+0.5$ mm, $+0.5\sim+1$ mm Δ +1 $\sim+1.5$ mm

3.4%。在 DIR 测量组,JH 和 MHS 的平均差异分别为 0.18 ± 0.12 mm 和 0.18 ± 0.13 mm。JH 和 MHS 的 CRs 分别为 0.24mm 和 0.25mm。JH 和 MHS 的 CVs 分别为 3% 和 2.9%。在 RAD 的测量中,不同检查者间的差异绝对值为 0.16 ± 0.11 mm,CR 为 0.22mm,CV 为 3.1%。在 DIR 测量组,不同检查者间的差异绝对值为 0.17 ± 0.12 mm,CR 为 0.23mm,CV 为 2.6%。

当检查不同方法间的差异时,可以看到两种测量方法(RAD和DIR)具有良好的统一性。平均差异的绝对值为0.4±0.3mm,CR为0.65mm及CV为7%(存储资料)。

4 讨论

本实验评估相对于直接测量,基于 CBCT 的线性测量的精确性。本研究中使用的模型能够在颌骨上进行直接测量以获得真实距离,这在人类身上不可能实现,还用于放射学测量,并且比较这两种方法。放射学及直接测量的平均差异为 -0.17mm,表明 CBCT 的测量值低于真实距离。本研究中,尽管使用了和以往研究不同的实验方法,但也验证了先前的发现,即 CBCT 的数值偏低。那些研究在人类干颅骨或患者身上,分析基于 CBCT 的测量和直接测量之间的关联。Mol 和 Balasundaram 在评估牙周骨丧失中,比较了基于 CBCT 的测量和直接测量,发现 CBCT 的测量值平均偏低 0.23mm。Loubele 等和 Waltrick 等也发现相似的结果。

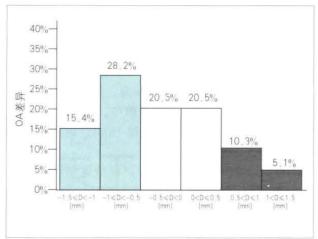


图 6 RAD 和 DIR OA 测量值的差异分布。OA Δ (RAD-DIR) 值 (%) 按 0.5mm 增 量 分 为 6 组: -1.5 ~ -1mm, -1 ~ -0.5mm, -0.5 ~ 0mm, 0 ~ +0.5mm, +0.5 ~ +1mm 及 +1 ~ +1.5mm

Berco 等及 Stratemann 等分别发现, 平均差异 为-0.01mm 及-0.19mm, 差异较小, 且没有统 计学差异。Lascala 等报道了 CBCT 的数值有较大 的偏低(-6.59mm),并在颅底而不是口腔颌面部 结构上的测量中发现统计学上的显著差异。他们认 为, CBCT 的精确性仅限于口腔颌面结构。相反的, 一些文章报道基于 CBCT 的测量数值偏高。Misch 等报道差异没有统计学意义,这可能是同一检查者 和不同检查者之间差异的结果。并且, 3 位术者使 用牙周探针进行两次直接测量可能会扭曲样本结 果。本研究中的影像学测量通过构建 1mm 的横截 面来实行,从而限定住影像学及直接检查的相关精 确性。Chen等发现在人类试验中数值偏高,直达 8mm。许多因素可能会影响到这样过高的偏差。第 一,放射学测量和直接测量不是通过一种方式获得; CBCT 扫描通过颌骨放射学影像指导获得,而直接 测量不需要影像学引导,而直接外科暴露骨组织后 进行测量。第二,在患者上直接测量较难实现,由 于可行性及外科条件的固有困难,这就导致放射学 测量及直接测量之间潜在的矛盾。此外, 因为研究 在患者身上进行,评估牙槽骨垂直范围的 CBCT 可 靠性不能确定。

本研究中,下颌前牙及后牙区的 $|\Delta$ (RADDIR) | 值之间没有统计学差异(P=0.634)。和本研究结果相反,Mol 和 Balasundaram 发现相对于颌骨后牙区(前磨牙和磨牙),前牙区(尖牙之间)的CBCT 测量精度不如直接测量。这一结果可能是使

用早期的 CBCT 扫描所导致的。小和大测量值组的 Δ (RAD-DIR) 值之间的差异具有统计学意义,但是在临床上却很小(0.15mm)。

尽管本实验中 CBCT 的平均测量值偏小,但有一部分(36%)测量值却偏高,最大的差异达到 1.09mm。在大约 10% 的测量值中, Δ (RAD-DIR) 超过 0.5mm,并且有 2% 超过 1mm。这表示在临床上有很大的误差。

当 CBCT 用来种植设计,根据可能存在的测量误差制定安全范围,在种植体和关键结构之间,防止损伤重要解剖结构。安全区的整体大小可能使用不同方法来确定。例如,可能使用 1.09mm 的最大偏差,因此只有偏高的测量值可能会导致对重要解剖结构的潜在危险。或者,使用影像测量和直接测量间最大的绝对差值 [|Δ (RAD-DIR)|]。本实验中为 1.42mm。可以分别在水平及垂直方向计算安全区的大小,包括下颌骨宽度及颊舌侧皮质骨板厚度,以及牙边缘嵴到下齿槽神经管上缘的距离。基于这一方法,可以建议最大的水平向及垂直向 |Δ (RAD-DIR)| 误差分别为 1.39mm 和 1.42mm。

一个更为严格的方法可能需要使 SD 翻 3 倍。这一统计方法通常在牙科中使用,并且还能用来定义附着丧失和骨丧失的阈值。根据这一方案,建议安全边界的整体范围约为1.6mm(0.53×3=1.59mm)及垂直安全边界为1.83mm(0.61×3=1.83mm)。当在体外实验中比较牙科种植体的最终位置和术前设定的位置时,Horwitz等也建议此方法。本实验中,计算出1.14m的安全区。其他作者提出比较建议:基于曲面断层片,Buser和 von Arx 以及 Greenstein和 Tarnow建议维持稍大一点的 2mm 的安全距离。

本研究中的方法学,不能带来能导致误差的额外因素。最主要的是,在CBCT扫描时,不能有患者的移动。

本实验在新鲜的下颌骨上进行, 以尽可能模仿

临床扫描。此外,在领骨二维横截面平面上进行影像学及直接测量。然而, Δ (RAD-DIR)平均值显示,测量值偏低,差异分布显示某些测量值偏高,这就强调需要设定安全范围。

本实验中需要考虑许多限制条件。本研究在失活的猪下颌骨上,并不是在活体动物上进行。这可能会影响最终的放射学影像以及对相应的真实临床状况的发现。此外,卡尺和样本的反复直接接触可能会损伤样本,影响结果并改变 Δ (RAD-DIR)。尽管数据显示较低的 CV 7%,影响偏低的因素不能被忽略。在较小程度上,RAD测量会导致偏差,尽管 CR 为 0.22mm,这主要归因于人体组织转化成影像及标记点的确定。最后,本实验中没有列入患者相关的因素,这可能会导致额外的未知大小的误差。这些因素要求确定更大的安全范围。

5 结论

与直接测量相比,大部分测量值都表明影像学测量值偏低,有相当大部分的锥形束断层扫描也显示测量值偏高,这表明真实的线性距离可能小于影像测量值。在种植临床实践中,这可能会导致种植体对邻近的关键解剖结构的损伤。为此,在口腔种植设计时,建议设定安全范围。

需要进一步的研究来明确患者移动及临床干预 对锥形束计算机断层扫描精确性的影响。

6 致谢

作者特别感谢Tanya Mashiach女士, Rambam Health Care Campus Statistical Unit 所做的统计分析。同时感谢David Manor先生, Doron Manor先生和供应样本的Marsel Brothers butchery的工作人员以及Igal Ganot先生, Panolight所进行的CBCT扫描。最后,作者要感谢Rina Elimelech博士在摄影方面的帮助。作者与本研究没有利益冲突。