



Biomet 3i 的编码 Robocast 印模技术与传统种植印模技术精确性比较

Comparison of the Accuracy of Biomet 3i Encode Robocast Technology and Conventional Implant Impression Techniques

Kent J. Howell, Edwin A. McGlumphy, Carl Drago, Gregory Knapik

原载 Int J Oral Maxillofac Implants, 2013, 28: 228-240. (英文)

戴文雍 译 汤春波 审

摘要

目的: 比较使用Biomet 3i 编码Robocast 技术和传统印模技术(闭窗式和开窗式)制取的工作模型的精确性。
材料和方法: 使用3D 打印技术(stereolithographic)翻制一位下颌牙列肯氏Ⅰ类缺损患者的模型用作主模型,在双侧后牙区(第二前磨牙和第二磨牙)植入种植体,其中一侧的两颗种植体相互平行(P),而另一侧两颗种植体不平行(NP)。对主模型制取印模,分别使用编码愈合基台、开窗和闭窗式印模帽进行取模操作。灌制石膏模型后,在每个种植体替代体上安装相同的金属球,并对石膏模型进行数字化扫描。测量球体中心的距离,并与主模型上的球体中心距离进行比较。数据分为P, NP 和单个位点组,并进行统计学分析($\alpha=0.05$)。**结果:** 在NP 区域,使用编码愈合基台制取的模型准确度不及开窗式取模。在P 区域,编码技术准确度不及开窗式与闭窗式取模。在编码技术取模的各组中, NP 区的取模准确性不及P 区。在下颌右侧第二前磨牙位点,编码技术取模的准确度不如开窗及闭窗式取模技术。在用编码技术取模的各组中,下颌左侧第二前磨牙工作模的准确性低于下颌右侧第二磨牙位点工作模。**结论:** 在该实验研究和分析的方法下,编码Robocast 技术制取的工作模的准确性低于传统的开窗式或闭窗式取模技术。要获得临床上更准确的判断还需进一步研究。

关键词

数字化扫描; 编码; 种植体印模; Robocasts

译者单位 南京医科大学附属口腔医院种植修复科
江苏省南京市汉中路136号 210029

1 引言

修复医师和技师通常通过取模、灌模、上殆架、制作蜡型、铸造金属支架等步骤来制作出兼具功能和美观的牙修复体。通常认为,技工室加工(间接方法)的环境没有唾液和其他污染物的干扰,这一方法制作的修复体比口内直接制作的修复体更为优良。传统的间接法修复体是在工作模型(主模型)上进行制作,工作模的准确性是许多研究的热点,也和多种因素相关,包括水粉比、混合方式(真空还是手调),人造石的类型及其与印模材料的匹配度,印模材料本身,印模托盘的种类和取模的技术。这一过程的每一步都可能导致潜在的人为和(或)材料上的误差。每一步做到精确,将误差最小化,可以帮助临床医师和牙科技师制作准确和优良的修复体,而这些都建立在有一个准确的印模基础上。

牙种植学为修复学带来了独有的挑战。大量关于种植牙印模材料准确性、转移体设计、种植印模转移技术的研究已经有报道。印模产品和部件的改进帮助世界范围内的临床医师制作出更为准确和精密的修复体。

修复治疗的成功高度依赖于准确地将种植体的位置从口内转移至印模,最终转移至工作模型。关于不同印模材料的准确性和不同种植体角度的取模准确性的研究很多。Lee的一篇比较闭窗式取模和开窗式取模的综述中,有5篇文献都报道开窗式取模的方法更为准确,2篇文献持相反观点,而7篇文献报道在准确度上这两种方法没有差异。亦有学者针对种植体角度的影响进行了研究,印模帽在托盘内的脱位道将会影响印模最终的准确度。种植体厂商已经制造出各个品牌自有的不同设计、形状、尺寸的印模帽,以帮助临床医师针对不同患者的情况做出正确的选择。不论哪种取模技术,印模帽都要在种植修复平台上进行安装和拆卸。一些研究假定种植体冠方的软硬组织会因为这一过程中愈合基台的拆卸和替换而受到不利影响。据此认为减少基台取戴的频率可以有利于维护种植体周围骨高度、维持足够的软组织质量。

2004年,一种独特的印模系统问世。它的愈合基台为两部分组装式特殊设计,可以通过激光扫描识别其中的咬合密码,之后可启动计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)程序来制作个性化的研磨钛基台,上部粘结固位(Encode, Biomet 3i)。这一系统的独特性在于它利用CAD/CAM技术完成个

性化钛基台,临床医师无需在取模过程中取下愈合基台。

最近,这一印模系统得到改进,机器人可以利用扫描获得的数据将种植体替代体放入模型,无需再制取种植体水平的印模,这样制备出的模型被称为Robocasts。已有一些文献报道了这种技术。Eliasson和Ortorp最近发表文章比较了CAD/CAM-编码愈合基台技术取模和传统开窗式取模的准确度。该研究对一副下牙弓双侧后牙区缺损的模型(丙烯酸树脂制作)一侧使用开窗式取模,另一侧使用CAD/CAM-编码愈合基台技术取模,共取15个印模。激光测量工作模x-、y-、z-轴上种植体替代体的中心点数据;同时测量每个替代体中轴线的角度方向、抗旋六角的位置。他们得出统计学结论,传统取模和robotic技术中种植体替代体都仅有轻度移位,robotic技术的精确性相对较低,但相差不大。两种技术对于单冠修复和短跨度的种植体固定局部义齿(FPDs)来说都足以准确。值得注意的是,测试的种植体都是垂直骨面(相互平行)植入。而Tellemann等、Drago和Peterson等也发表临床报告,成功使用了CAD/CAM-愈合基台印模系统。

本研究目的是按照厂商说明(Encode System, Biomet 3i)使用Robocast技术,或使用传统种植印模技术,即闭窗式和开窗式印模技术,制取带有种植体替代体的工作模型,比较3种方法下工作模型的准确性。其中特别比较了平行种植体与不平行种植体以及单个位点取模的准确性。

2 材料和方法

2.1 主模型的制作

选取一位下颌肯氏I类牙列缺损患者作为研究对象,从已有的CBCT(I-Cat, Imaging Sciences)扫描数据中提取数据,3D打印技术制作下颌主模型(Materialise),模型上双侧第一前磨牙之前的牙齿保留。具体过程为:使用SimPlant软件(Materialise)对种植体位置进行设计,在每侧第二前磨牙和第二磨牙处共虚拟植入4颗4.0mm×10mm种植体(Full OSSEOTITE Certain, Biomet 3i),支持3单位FPDs。在左下颌缺牙区,每颗种植体方向与垂直方向呈15°,且两颗种植体倾斜方向相反:第二磨牙处种植体向舌侧倾斜,第二前磨牙向颊侧倾斜,因此两种植体的交角有30°。在软件中安装15°基台,并让基

台上部互相平行, 来确定种植体倾斜的角度; 这样使得种植体的交角为 30° (图1)。右下颌缺牙区, 种植体相互平行。虚拟种植设计完成后, 数据传送给 Materialise 公司, 在那里完成 3D 打印制作的主模型。

在实体模型上对应种植体放置的位置, 钻出直径约 5mm 的孔 (图2), 并在根尖端延伸出更小直径的孔道并穿通模型底部。这些孔道可以使树脂从基底下注入固定种植体。同时, Materialise 利用同一数据制作了外科手术导板 (图2)。导板用于放置种植体, 整个过程类似计算机导航下在患者口中植牙。

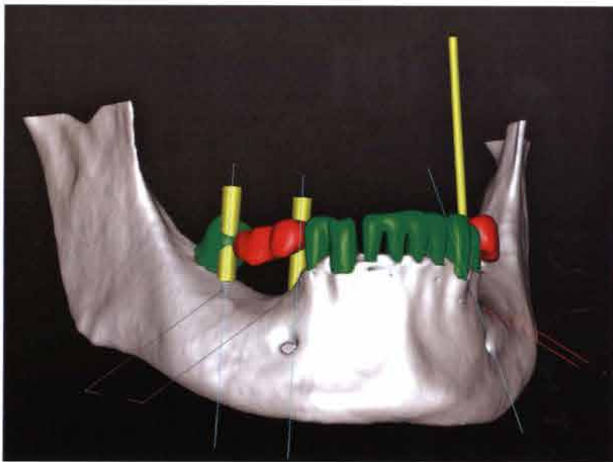


图1 Materialise 软件对主模型进行的数字化设计, 可见平行种植体侧和不平行种植体侧。依照数字化设计制作外科手术导板, 将种植体放入主模型



借助 Navigator 系统 (Biomet 3i) 在导航下将种植体植入模型。流动光固化树脂 (Triad Gel, Dentsply Friadent) 从模型底部的开口注射进种植体周围 (图3)。按照厂家的说明, 树脂光固化 10min (Enterra, Dentsply Friadent)。

设计并研磨 8mm 直径不锈钢球 (Biomet 3i) 用作外部参考 (图4)。舌体位置中央钻一个孔, 此孔略小于球体直径。在与球体相连的圆柱侧面制备出固位沟槽, 使得球体可固定在树脂模型上 (图4)。钢球放置于模型舌体中央的已备好的底座上, 恰好低于球体的外形最高点。类似固定种植体的方式, Triad Gel 从孔道的下方开口注入并且光固化。中央球成为丙烯酸树脂模型上的一个恒定参考点。同样方法将钢球放置在种植体替代体顶端。最终已接受种植的主模型 (图5)。通过在印模中复制球体的倒凹, 同样的球体即可嵌进印模, 并在灌制模型时固定住, 此过程类似于闭窗式印模技术 (图6)。因为球体为对称形态, 它们无论被石膏包埋多少, 其中心点都保持在主模型中同样的位置。每一个钢球的中心点由电脑程序确定, 用于测量球体到种植体 / 种植体替代体的距离。

2.2 种植体水平印模 / 模型制备

对于每一种印模技术, 根据厂商说明, 使用成品塑料托盘 (Cbite DDS, Impress Tray) 和聚硅氧烷弹性印模材 (Aquasil Ultra, Dentsply Caulk) 制备 4 个主模型的印模。在主模型的最远中颊面制备刻痕, 同时前牙区制作就位指示 (Triad Custom Tray Material, Dentsply) 以供托盘前牙



图2 a. Materialise 制作的外科导板; b. 使用 3D 打印技术、通过数据制作的主模型。在种植体植入位置钻孔, 并在舌体位置亦钻孔供容纳参考钢球

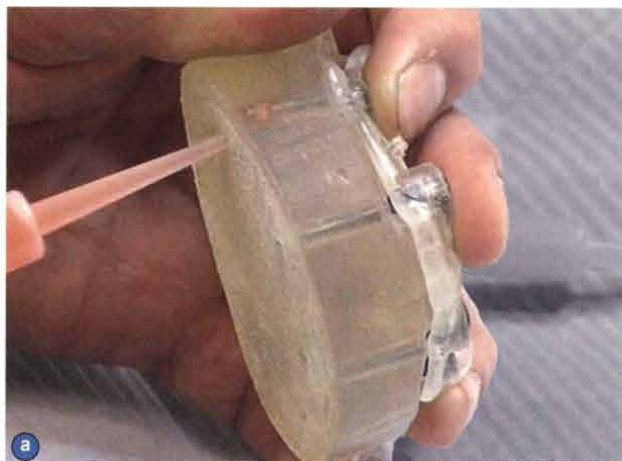


图3 a. Triad Gel 通过模型底部的开口注入并流经种植体周围; b. 模型内材料光固化

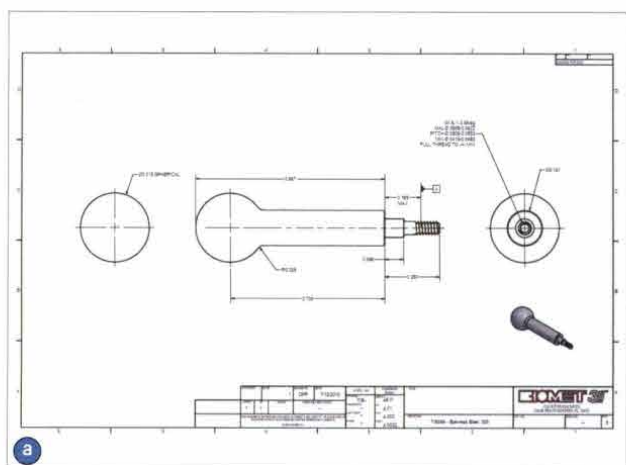


图4 a. Biomet 3i 计算机辅助设计不锈钢球; b. 在转移到主模型舌体部位的参考钢球上制作固位沟



图5 种植完成后的主模型和放置上中央参考球之后的主模型

边缘就位(图7)。这一技术保证每次制备印模时印模托盘都就位一致,每一次取模都可以直视印模托盘在主模型前牙指示处就位。所有印模都根据厂家建议使用真空混合(Resin Rock, Whip Mix)的人造石灌制。

进行标准的开窗和闭窗上部修复印模过程(图8)。使用编码印模技术的模型被送往扫描/研磨中心(Biomet 3i)制作Robocast。

模型上全可调殆架(Stratos, Ivoclar Vivadent),使用特定装配平台(Adesso Split-Plate, Baumann Dental);根据编码技术的规定,技工用putty(Lab-Putty, Coltene/Whaledent)制作安装标记,引导每一个模型的下颌切牙切缘对应殆架指示针的中点。人造石膏(Mounting Plaster, Whip Mix)上殆架。

2.3 扫描和计算机辅助设计

在每个种植位点的替代体上旋入特制的钢球,每个位点上的钢球即被转移至同一种植位点,在表面薄薄地喷粉(Spot-Check, Magnaflux),以保证均匀一致的扫描。全部模型按照厂家推荐的方法用数字化扫描仪(3Shape)进行扫描(图9)。喷粉完成后,模型和装配平台即被放进扫描仪的磁性平台,在取出之前分别扫描3次。12个研究模型和主模型以同样的方法由本文的第一作者操作扫描,共生成39个扫描文件。

2.4 测量评估

用Rapidform XOR CAD软件(INUS Technology)

评估和分析每一个模型的扫描数据,电脑识别每个钢球中心位置。测量石膏模型每个种植体替代体上的球体中心到舌侧区钢球中心的距离(实验组),将其与主模型上的对应距离(对照组)相比较(图10)。记录每一位点差值的绝对值用于分析,精确到0.0001mm。使用重复测量混合线性模型和Tukey检测来分析计算的差值。分析数据采用对数转换后的数据以标准化。设置非定向alpha风险指数为0.05,并且假设标准差为0.0356mm,4次试验为样本,检验差值为 $\pm 100\mu\text{m}$,强度 > 0.90 。



图6 聚硅氧烷印模,中间为不锈钢球体,以此模型灌制石膏模型



图7 为使取模时托盘位置一致,主模型须做相应处理:在模型的远中颊侧制备刻痕,前牙区用Triad个性化托盘材料制作就位印记

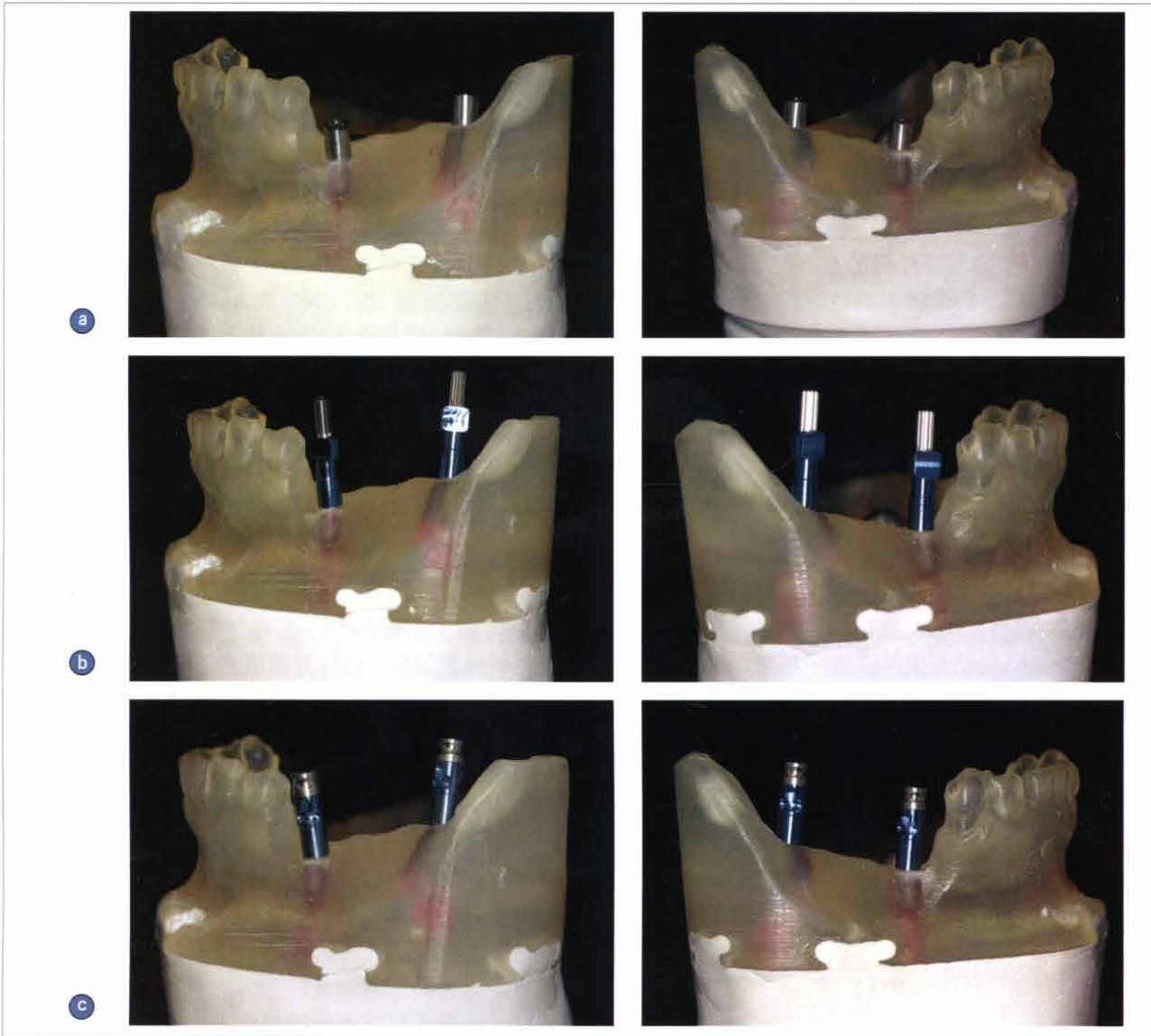


图8 图示为3种取模方法(3组测试组)的对应印模帽安装。a. 编码印模技术; b. 开窗式; c. 闭窗式

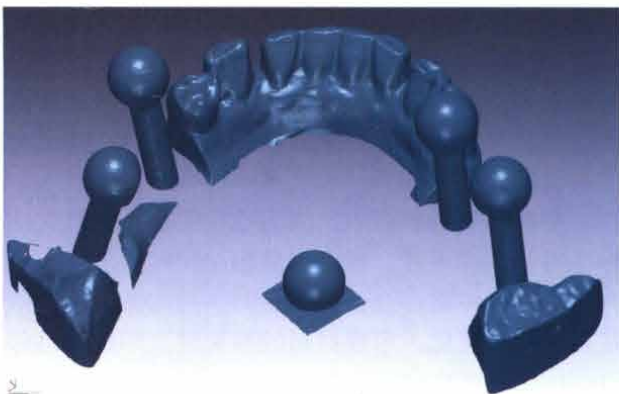


图9 用3Shape扫描的研究模型

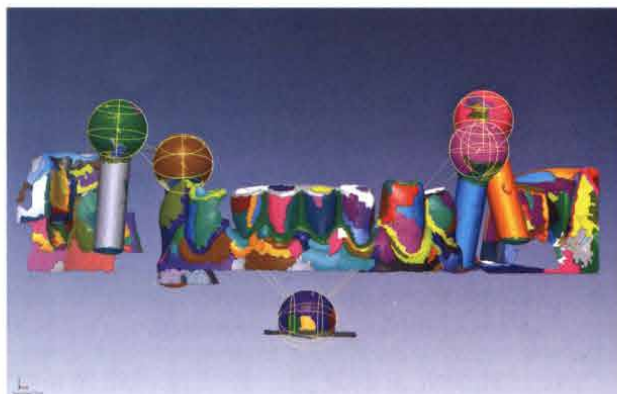


图10 扫描数据导入Rapidform XOR软件,形状识别软件可以确定球体的中心用于测量。记录每个球体到中央球体之间的距离,与主模型上对应的距离进行比较

3 结果

3.1 可靠性检验

在主模型和实验模型上,每一个种植体钢球距离中央参考钢球的距离见表1。本研究分析使用对模型3次扫描的数据来计算组内相关系数。可靠性分析检测结果产生了一个较好1.0系数,证明3Shape的扫描结果具有理想的一致性,这使得不同组之间比较钢球的位置成为可能。每个模型的3次扫描数据求得的平均值作为每个钢球的位置数据,这些均值用于比较实验模型与主模型的钢球位置,计算每一位置差异的绝对值。每一组数据均显示在表2中。

3.2 不平行对比平行种植体

计算出的取模误差被分为平行组和不平行组进行分析;所有3组模型(开窗,闭窗,编码取模)均被比较。不平行位点为左侧第二磨牙和第二前磨牙,而平行位点是右侧第二磨牙和第二前磨牙。使用方差分析和Tukey检测来比较计算出误差的平均值。结果显示在表3。

在不平行种植体组,编码印模/模型组比开窗取模组的准确性要低($P < 0.05$);与闭窗取模组无显著性差异。平行种植体组,编码印模/模型组比开窗取模和闭窗取模组的准确性都要低($P < 0.05$)。在编码印模组内,平行与不平行的种植体取模的准确性也有显著性差异;不平行组的取模准确性显著低于平行组($P < 0.05$)。

3.3 单位点种植体

使用同样的统计分析方法对3组之间每一个种植位点计算出的取模误差进行了分析和比较,结果如表4所示。右下第二前磨牙处的取模具有统计学差异。在这个位点,编码取模组的准确性低于闭窗式取模法,而并不比开窗取模组误差更大($P < 0.05$)。在编码取模组中,左侧第二前磨牙位置和右侧第二磨牙位置的取模误差亦发现具有显著性差异;左侧第二前磨牙的取模准确度低于右下第二磨牙($P < 0.05$)。

4 讨论

设计此研究目的是为了评估编码印模系统Robocast技术相对于传统开窗或闭窗式取模准确安装种植体替代体的能力。由于编码印模系统在牙科市场中历史较短,目前仅有为数不多的相关

研究发表,但是已有数篇关于该项取模系统的临床报道。本研究与其他研究的不同在于:①所有的测量均为虚拟测量(Rapidform XOR, INUS Technology);②测量靠近殆平面而非种植体平台水平;③没有制作出种植体的上部结构来测量支架的适合度。

牙科修复体要求高准确度和精确性。随着新技术被引进牙科市场,关于数字化牙科技术的准确性被反复强调。CAD/CAM钛研磨杆和传统铸造杆(分段焊接)的准确性已经被测试。2003年,Ortorp等发现CAD/CAM纯钛杆就位的准确性显著高于分段再焊接金合金铸造杆,铸造杆的适合度有43~180 μm 的偏差,而研磨杆偏差为10~47 μm 。第一套CAD/CAM系统被认为在临床上可研磨出边缘缝隙为50~100 μm 的冠或套管,这一边缘缝隙会被树脂粘固剂填满。Christensen等在一项经典研究中报道,临床允许的金嵌体最大边缘缝隙为39 μm 。目前对全覆盖CAD/CAM修复体的研究证明,边缘缝隙值在系统之间存在差异,大小范围为24~112 μm 和89~95 μm 。值得注意的是,这些报道出的边缘缝隙值,在临床上都是可以接受的。

本研究报道的开窗和闭窗式取模的误差分别为2.4~161.9 μm 和6.9~183.7 μm 。这一结果与其他研究开窗和闭窗式种植印模技术的结果相似。本研究中报道的编码印模组的误差为35~242 μm ;但是所有这些值代表的是近远中向和殆向接触点的误差,因为误差的测量位于钢球水平而不是种植体水平。由于本研究中的测量位于咬合水平,可以假设这样的误差很有可能是被放大了,取决种植体替代体的误差是角度上的、或线性的、还是二者的结合。本研究并没有研究方向上的误差,如果是固有角度上的误差,如图11,则种植体平台水平上的误差则有可能接近于以往关于CAD/CAM研磨技术的误差。有必要进行更多的研究来确定种植体平台上的误差值。

在被测试的3组中,编码取模组显示出最大的标准差和整体误差。潜在误差包括机器人加工、将种植体替代体黏合在石膏模型时所用的氰基丙烯酸盐粘合剂的变化、印模材料的准确性、印模帽与邻近结构的距离和编码系统基台的高度。

目前使用在编码印模方法中的机器人是第二代机器人,设计放置公差为100 μm ,与第一代机器人的200 μm 公差已有显著提升。为了创造更稳定的

表1 每个种植体钢球和中央钢球的距离 (mm)

模型/ 扫描编号	位置			
	L2PM	L2M	R2PM	R2M
闭窗式取模				
闭窗 1-1	37.0501	34.9385	28.1411	36.8309
闭窗 1-2	37.0565	34.9435	28.1390	36.8308
闭窗 1-3	37.0368	34.9320	28.1384	36.8223
闭窗 2-1	36.8938	34.9496	28.1552	36.8690
闭窗 2-2	36.8891	34.9280	28.1481	36.8633
闭窗 2-3	36.8789	34.9308	28.1566	36.8758
闭窗 3-1	37.0720	34.9233	28.1992	36.8736
闭窗 3-2	37.0810	34.9297	28.2005	36.8750
闭窗 3-3	37.0807	34.9284	28.2023	36.8797
闭窗 4-1	37.0259	34.8562	28.1453	36.7858
闭窗 4-2	37.0143	34.8595	28.1434	36.7932
闭窗 4-3	37.0202	34.8592	28.1469	36.7841
编码取模模型				
编码 1-1	37.2808	34.7979	28.0357	36.7730
编码 1-2	37.2528	34.7922	28.0311	36.7653
编码 1-3	37.2657	34.7928	28.0328	36.7636
编码 2-1	37.1730	34.8943	27.9316	36.8303
编码 2-2	37.1673	34.8858	27.9270	36.8214
编码 2-3	37.1723	34.8840	27.9235	36.8152
编码 3-1	37.1093	34.7735	28.0676	36.7339
编码 3-2	37.1152	34.7757	28.0629	36.7203
编码 3-3	37.0933	34.7817	28.0674	36.7263
编码 4-1	37.2469	34.8955	28.1256	36.8274
编码 4-2	37.2450	34.8981	28.1220	36.8458
编码 4-3	37.2511	34.8982	28.1235	36.8428
开窗式取模				
开窗 1-1	37.0845	34.8948	28.1834	36.8245
开窗 1-2	37.0956	34.9061	28.1854	36.8336
开窗 1-3	37.0953	34.8929	28.1855	36.8296
开窗 2-1	37.0664	34.9769	28.1608	36.7945
开窗 2-2	37.0640	34.9589	28.1665	36.7995
开窗 2-3	37.0730	34.9687	28.1719	36.7978
开窗 3-1	37.1859	34.9492	28.1064	36.8150
开窗 3-2	37.1800	34.9476	28.1151	36.8106
开窗 3-3	37.1764	34.9573	28.0997	36.8016
开窗 4-1	36.9049	34.9427	28.1531	36.7718
开窗 4-2	36.9076	34.9269	28.1624	36.7753
开窗 4-3	36.9148	34.9318	28.1646	36.7799
主模型				
主 1-1	37.0584	34.9584	28.1690	36.8035
主 1-2	37.0832	34.9570	28.1620	36.8065
主 1-3	37.0714	34.9590	28.1755	36.8001

L, 左; R, 右; 2PM, 第二前磨牙; 2M, 第二磨牙

表2 每一种植位点距中心的平均距离, 平均值与对应主模型数值的差异

模型 / 扫描编号	平均距离 (mm)				与主模型差异 (mm)			
	L2PM	L2M	R2PM	R2M	L2PM	L2M	R2PM	R2M
闭窗 1	37.0478	34.9380	28.1395	36.8280	0.0232	0.0201	0.0293	0.0246
闭窗 2	36.8873	34.9361	28.1533	36.8694	0.1837	0.0220	0.0155	0.0660
闭窗 3	37.0779	34.9271	28.2007	36.8761	0.0069	0.0310	0.0318	0.0727
闭窗 4	37.0201	34.8583	28.1452	36.7877	0.0509	0.0998	0.0236	0.0157
编码 1	37.2664	34.7943	28.0332	36.7673	0.1954	0.1638	0.1356	0.0361
编码 2	37.1709	34.8880	27.9274	36.8223	0.0999	0.0701	0.2415	0.0189
编码 3	37.1059	34.7770	28.0660	36.7268	0.0349	0.1812	0.1029	0.0765
编码 4	34.2477	34.8973	28.1237	36.8387	0.1767	0.0609	0.0451	0.0353
开窗 1	37.0918	34.8979	28.1848	36.8292	0.0208	0.0602	0.0159	0.0259
开窗 2	37.0678	34.9682	28.1664	36.7973	0.0032	0.0100	0.0024	0.0061
开窗 3	37.1808	34.9514	28.1071	36.8091	0.1098	0.0068	0.0618	0.0057
开窗 4	36.9091	34.9338	28.1600	36.7757	0.1619	0.0243	0.0088	0.0277
主模型	37.0710	34.9581	28.1688	36.8034	-	-	-	-

L. 左; R. 右; 2PM. 第二前磨牙; 2M. 第二磨牙

表3 平行和不平行种植体数据

	闭窗取模		编码取模		开窗取模	
	平均差 (mm)	SD	平均差 (mm)	SD	平均差 (mm)	SD
不平行	0.0547 ^{A,B,a}	0.0595	0.1229 ^{A,a}	0.0634	0.0496 ^{B,a}	0.0578
平行	0.0349 ^{A,a}	0.0221	0.0865 ^{B,b}	0.0739	0.0193 ^{A,a}	0.0196

SD= 标准差。

同一行的具有同样大写字母的平均值没有显著性差异; 同一列具有同样小写字母的平均值没有显著性差异

表4 按照种植体位点比较

种植位点	闭窗式取模		编码取模		开窗取模	
	平均差 (mm)	SD	平均差 (mm)	SD	平均差 (mm)	SD
L2M	0.0662 ^{A,a}	0.0804	0.1267 ^{A,a,b}	0.0739	0.0739 ^{A,a}	0.0749
L2PM	0.0432 ^{A,a}	0.0380	0.1190 ^{A,a}	0.0623	0.0253 ^{A,a}	0.0245
R2PM	0.0251 ^{A,a}	0.0072	0.1313 ^{B,a,b}	0.0825	0.0222 ^{A,B,a}	0.0270
R2M	0.0448 ^{A,a}	0.0288	0.0417 ^{A,b}	0.0245	0.0164 ^{A,a}	0.0121

L. 左; R. 右; 2PM. 第二前磨牙; 2M. 第二磨牙; SD. 标准差

同一行中具有相同大写字母的均值不具有显著性差异; 同一列中具有相同小写字母的均值不具有统计学差异

Robocast 产品, 对于替代体放置的准确性还有待进一步提高。

造成本研究中编码技术取模准确性下降的另一可能的解释是用在模型中固定种植体替代体的粘合剂。制作 Robocast 时用于固定种植体替代体的是中等黏度的工业氰基丙烯酸盐粘合剂 (Scotch Weld PR600, 3M)。Biomet 3i 为本文第一作者提供的数据中, 种植体替代体与人造石模型上预备洞之间的缝隙不能超过 0.4mm。而该粘合剂产

品聚合时的尺寸变化厂商并没有给出 (个人联系, 3M, 2011)。本文作者认为, 编码印模方法与传统种植体印模技术相比, 替代体周围缝隙宽窄不一使得粘合剂厚度不均匀, 可能造成准确度下降。同样地, 粘合剂中催化剂引发聚合直至完成反应, 这一过程的准确性亦不得而知。本文作者对这一过程的可靠性和准确性质疑, 并且聚合过程与孔洞的大小、种植体替代体的直径、在任何特定一天技工室的相对湿度以及对每个替代体使用催化剂的计量等因素



图11 图解种植体替代体放置过程中产生的角度误差,会导致在殆面的误差大于根尖处误差

关系尚未明确。另外,误差还可能与不同的催化剂/粘合剂比例有关。传统的种植体印模技术在制作工作模型时都无须使用任何形式的粘合剂。本文未提出的局限或未知因素都有可能影响本研究测出的结果。

印模材料的准确性在本研究中也非常重要,正如它对于那些使用编码印模系统的临床医师的重要性一样。前文已述,本研究中使用成品塑料托盘配合就位指示。个性化印模托盘因为限制了印模材料的用量,可以更有效地提供准确的种植体印模。本研究中,不同组两两进行比较,因而保证统一放置印模托盘、每次使用等量的印模材料非常重要。不过本研究的作者觉得在组与组之间使用同样的成品托盘和就位指示剂就可以保证模型的一致,因为每一组使用同样的托盘和就位位置,则印模材料产生的相对误差变为恒定。但是,这一误差可能在口内扫描技术中被完全消除。Biomet 3i最近得到批准可以在编码印模系统中使用3M Lava COS口内扫描仪。拥有该项技术后,编码愈合基台可以在口内进行扫描,数字化信息被直接传送至Biomet 3i用于基台设计和制造。这一技术很新,还需进一步的探索和确证。

在虚拟牙科领域,有一些特定水平的误差需要得到接受。本研究中确定3Shape扫描仪的可靠性是非常重要的,测试方法为保持扫描仪门关闭情况下连续扫描每个模型3次,原始数据可靠性测试达到完美的1.0。基于这一结果,作者才有信心比较各组扫描测试值。

对平行(垂直骨面)和不平行(15° 偏离垂直线)

种植体的评估中,编码系统被证明在平行种植体取模中的准确性低于其他两种方法。在本研究的条件限制内,开窗和闭窗技术在种植体角度变化时(平行 vs 不平行)体现不出显著性差异,但是应记住,种植体相互平行时,不论开窗还是闭窗式取模,准确性都得到改善。这一发现与其他一些讨论种植体角度对取模准确性影响的报道一致。Assunção等评估了开窗取模与闭窗式取模的准确性(其中种植体的角度最多与垂直方向呈 25°),报道称随着角度从 90° (即垂直)开始增大,无论用何种方法,印模的准确性均降低。反过来,当种植体越接近垂直时,无论用何种方法,印模均准确。他们报道大角度的种植体加上闭窗式取模方法可造成最大的误差。本文比较3组中单个种植位点上的误差后,亦有类似发现。在这一患者的模型上,右下第二磨牙位点是最为准确的种植体替代体/工作模位点,但对比其他种植体位点并无统计学差异;且这一种植体位于平行种植体区域。这一特别的区域周围有最开放的空间;无邻牙或其他结构阻挡印模的脱位道。相反的,在左侧第二磨牙区,种植体 15° 向舌侧倾斜,其取模准确度在三组中最低,但仍无统计学差异。

与本研究结果相反,Eliasson和Ortorp报道CAD/CAM对比闭窗式取模,二者差异很小。但注意到他们研究的是垂直的、相对平行的种植体。而本研究发现CAD/CAM-编码印模翻制的工作模型相对于传统取模方法准确度较低,在种植体并不垂直、不平行时,明显地出现了更多的误差。本文作者认为Eliasson和Ortorp的研究如果涉及不平行种植体的话,他们可以得到与本文类似的结论。另一影响种植体取模准确度的因素是邻牙与种植体的靠近的程度。在右下第二前磨牙位置,邻牙靠得太近导致印模材料流入间隙的量不足,当印模脱离时,这一间隙内印模材的回弹不同于没有邻接关系时材料的回弹。这一发现也在临床种植学中有推广,距离较近的种植体(间隙 $< 3\text{mm}$)要求使用调改后的印模帽来达到互不干扰且完全就位。这一技术使得印模材料厚度不一,这是提高印模准确度方面值得改进之处。

本研究亦有许多局限性。样本量并没有足够大到可以去检测 $< \pm 100\ \mu\text{m}$ 的差异。已知光学激光扫描仪有一些限制,根据Biomet 3i的要求,需要在钢球上喷洒一薄层喷粉来达到光学上的准确度。如果使用一种无需对扫描过程进行改进的材料制作这

些球体,则可以去除人为喷洒造成球体表面喷涂厚度不一致的因素。喷洒厚度的不同可影响每一次扫描的准确性,进而影响测量的准确性。

另一潜在的误差还和舌体中央参考球的转移相关。研究设计做出改进的一点是每个样品上加上了一个固定的参考点,但得在取模的区域之外可能更为理想,这样就不需要将钢球转移到每一个模型上。在转移时使用相同的球体而不是将它包含在印模中再灌模,可以消除这一潜在误差。因为转移时使用同样的钢球,所有的测量点均在同样材料的相同对象上进行,以此为基础,均一的喷涂厚度和扫描精度才有意义。

正如前文讨论所言,修复过程是一套多步骤的程序,每一步都要尽可能精准。前述的误差会快速混合在一起,在数字化牙科中也是如此。每个系统都有其自身容许的误差,并且,临床医师和技师都有责任来解读这些误差、判断误差对期望临床结果的影响。编码印模系统是利用相关技术来创造一种新的种植体位置转移方法的一次大胆尝试。本研究中,CAD/CAM-编码愈合基台已成功商品化,种植体厂商每月销售呈连续增长(个人渠道获得信息,Biomet 3i,2010)。一些文献报道了该系统在临床上的高效性。

尽管本研究中编码系统的准确性是最低的,但自该系统问世以来,全世界的临床医师都成功地开展了这一技术,仅有少量问题报道。基于本研究的结果,在多单位修复体设计中使用 Robocast 技术可能潜在地会导致支架就位上的问题,相对于传统印模方法可能有失精确。在这样的病例中,临床医师聪明的做法是金属基底支架的试戴,确认模型是否精确或在制作金属支架前做适当形式的确

认标记。还需要更多的实验室或临床研究来评估 Robocast 制作多单位修复体的就位精度,并将其与传统种植印模制作的修复体精度进行比较。

5 结论

使用 3Shape 扫描仪对模型进行的数字化扫描被证明具有相当高的可靠性,同时也是一种有效的测量方法。以此为基础,才可进行本研究中三组印模方式及工作模型 $\pm 100 \mu\text{m}$ 以内的比较。在本实验室研究中,使用编码印模系统、Robocast 技术放置种植体替代体的方法被证明是三组被测组中准确度最差的。尤其基于本实验分析的局限性,可总结如下:

1. 在不平行种植体区域,编码印模/模型的准确度低于开窗印模/取模组 ($P < 0.05$)。
2. 在平行种植体区域,编码印模/模型的准确度低于开窗、闭窗印模/取模组 ($P < 0.05$)。
3. 编码印模/模型的准确度在平行种植体区的取模精度高于不平行种植体取模区 ($P < 0.05$)。
4. 在右下第二前磨牙位点,编码印模/模型的准确度低于开窗和闭窗印模/取模组 ($P < 0.05$)。
5. 在编码印模/模型组内,左下第二前磨牙位点的取模准确度低于右下第二磨牙位点的取模准确度 ($P < 0.05$)。

6 致谢

作者感谢以下赞助者和贡献者: Biomet 3i, 俄亥俄州 Biodynamics 实验室, Roe 牙科技工所, Cbite 博士, Michael Beck 医生, Nancy Clelland 医生和 Barry Franzen 医生。作者在本研究中没有相关的利益冲突。