译文

微笑重建修复的数字化牙科工作流程

Digital Dental Workflow for A Smile Makeover Restoration

Alessandro Agnini, Roberto Apponi, Simone Maffei, Andrea Agnini

原载 Int J Esthet Dent. 2020; 15(4):374-389.（英文）

马 驰 译 林 东 审

摘 要

本文描述了数字化时代治疗计划和实施的新理念。所展示的工作流程的目的是为了完全通过数字化技术来设计、计划、交流、执行、制作、转移和重塑微笑修复。跨学科治疗计划贯穿设计、诊断饰面（mock-up）到最终修复。在数字化设计中，临床医生和技术人员看到的牙齿形态和牙齿形状由计算机转化为三维几何数字模型。通过调整牙齿的几何形状，使临床医生可以自由制定治疗计划，这样的数字化方式贯穿于整个治疗过程中。此外，结合计算机辅助设计技术使用的新型陶瓷材料极大地拓宽了口腔医师的选择范围，使可达到的效果更加理想。(Int J Esthet Dent 2020;15:374–389)。

介绍

牙科治疗的主要目标之一是根据每个患者的个性化需求，模仿天然牙齿并以最自然和美观的方式设计微笑。在过去的十年中，由于技术的快速发展、众多新的治疗方式以及美学牙科材料的不断强大，实现这一目标的可能性已大大提高。[1] 更具体地说，牙科陶瓷和粘接技术领域的进步，使得改变前牙的形态或色泽从而改善牙齿美学和功能的治疗方法变得更加保守。

传统上，牙科团队需要进行数次患者咨询，以收集制定美学治疗计划所需的所有信息，这需要修复医师团队花费大量时间和精力来制作诊断蜡型（wax-up）和制定治疗计划。[2] 当今，数字化牙科技术从不同的角度展现了更多的优势，以满足患者的审美需求，这在一定程度上是由当前的趋势决定的。在这方面，特别令人关注的是数字化方法所允许的更加便利的交流。例如，当获得了口腔内扫描和数字化图像的数据后，医师团队与技师团队可以通过软件程序来对修复体的设计进行交流，然后通过在患者口内试戴的方式进行确认，这个完整的流

译者单位 山东大学口腔医院
山东省济南市历下区文化西路 44-1 号 250012

程将促成数字化修复体的最终制作。

为了响应临床医生能够使用创新的更加简化和优化的工作流程，以实现修复体规划、设计和制作程序的诸多需求，我们已设计了几种全新的数字化应用程序。[3]

得益于最新一代的口腔内扫描仪和诸如数字化微笑设计（DSD）软件之类的创新应用程序，所有收集到的数据都可以以三维方式进行数字化拟合，以制定治疗计划。[4] 通过对上下牙弓以及咬合记录的数字化扫描生成 STL（standard tessellation language）文件，拍摄根尖周的数字化 X 线片，签署照片 – 视频协议，并使用面部扫描仪对患者的初始情况进行三维面部分析，[5] 这样就可以获得数字化的医疗和牙科记录。这些数据组合在一起就可以生成一个“虚拟患者”，从而避免了患者与各科专家进行多次治疗计划预约的需要，以免延误治疗。[6]

这样的“虚拟患者”可以在修复医师团队和技师团队之间以数字化方式（Dropbox、Cloud）“共享”，然后他们可以通过专用的 CAD 软件进行实时协作，从而创建一个同时在美学和功能上都理想的治疗计划。这意味着修复医师、牙科技师、牙周医师、正畸医师和其他专家之间不再有界限，从而

可以实现治疗计划、工作流程和修复体转移的高效协同。[7]

大自然创造的每一颗牙齿都是独一无二的。评估和恢复患者的自然牙列可能需要许多可能的牙齿设计和排列。将数字化扫描仪与专用的 3D 软件结合起来，可以根据患者的天然牙的特点，为他们创造崭新的微笑。

设计和规划阶段 – 美学尝试

在开始任何治疗之前，建议根据牙齿修复的基本原则收集患者的信息，以评估风险概况（全身、牙周、牙髓病变、生物力学和美观）（图 1 至 7）

对新的微笑进行数字化设计和可视化预期是必要且有利的，这是与患者沟通、制定诊疗方案的最佳方

图 1　展示的是高笑线的患者，需改善她的微笑美学。牙齿中线向左偏斜，脸部稍微向右偏斜，上颌切牙切缘平坦

图 2　患者担心自己切牙上的复合树脂贴面脱落。她微笑时暴露 10 颗牙齿。牙齿色泽均匀，但是 11 牙比相邻的牙齿颜色暗。树脂和牙齿之间的交界线暴露很明显

图 3 至 5　口内，牙龈缘不对称。该患者的 25 牙修复体存在比例失调、与牙槽嵴黏膜分离以及体积较大的情况。11 牙的唇侧被复合树脂覆盖，充填效果不理想。覆盖为 2.5 毫米，覆殆为 1.5 毫米。还显示出化学腐蚀、机械磨损和局限性牙龈炎的迹象

图 6a 至 f X 线片显示：较理想的牙槽骨水平、两颗已行根管治疗的牙齿、左上后牙有一个单端固定桥，该患者的牙髓病变风险为中等

图 7 在 12 点钟方向的照片评估中， 注意到根据下唇的特征，微笑曲线不正确。需考虑改变牙齿的唇腭向位置

式，数字化模型是与患者进行交流的理想工具。[8]

最初的二维设计是从面部信息的角度开始进行的，允许接受来自修复团队的实时反馈。DSD 软件可提供多种牙齿形状，一旦根据软件的指示选定，就可以在要修复的区域放置最合适的牙齿形状。然后使用“微笑框架”工具设计微笑（图 8）。如果再扫描了患者的牙弓（图 9），三维的牙弓可与二维的患者图像重叠起来（图 10）。[9]

这种重叠可以随时通过软件进行预览，一旦确定了新笑容的诊断性设计，就可以把“术前”和“术后”的图像展示给患者看。随后，可以将最终的 STL 文件导出用于 3D 打印以生成模型（图 11）。临床医生可以通过制作硅橡胶指示阴模（index），轻松地将这些设计转移到患者的口腔。[10] 使用的硅橡胶越硬，转移就越精确，可以复制所有的细节（例如理想牙齿形状的线角、表面的纹理等），同时，它还可以消除那些溢出的多余材料。[11]

为了可以让患者评估美学效果并同意所提出的治疗方案，数字化诊断饰面（mock-up）是必不可少的步骤（图 12），与传统的石膏模型不同，数字化模型不易损坏，并且可以很容易地恢复和共享[12, 13]。

诊断性微笑设计是在患者现有微笑的基础上生成的，因此诊断饰面（mock-up）是使用加法的（它被放置在现有牙齿的唇面），患者可能会觉得它有点笨重。因此，应事先告知患者诊断饰面（mock-up）和最终修复体之间的区别。同时，还建议在将诊断饰面（mock-up）放入口腔内之前和之后分别给患者拍摄正面照片和（或）视频。[14]

只有患者接受了这样的诊断饰面（mock-up）并对治疗计划签署正式书面知情同意书后，跨学科团队才能参与进来。

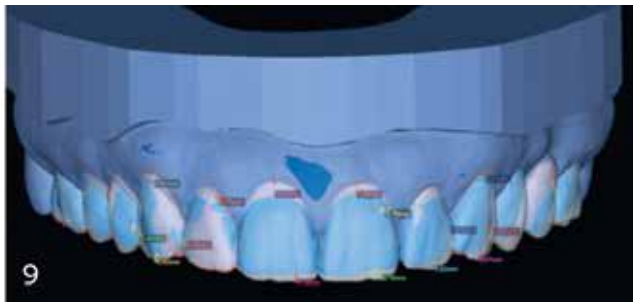

图 8 在功能上，患者由于早接触而发生下颌前移，在重建初始，开始建立稳定的正中殆关系之前，早接触已被消除。在这一点上，使用 iTero Element 2 扫描仪的修复模式获得数字化印模，该扫描仪可以产生一个开放的 STL 格式文件，该文件可以立即与视频和照片集一起发送到 DSD 设计中心进行三维的数字化设计

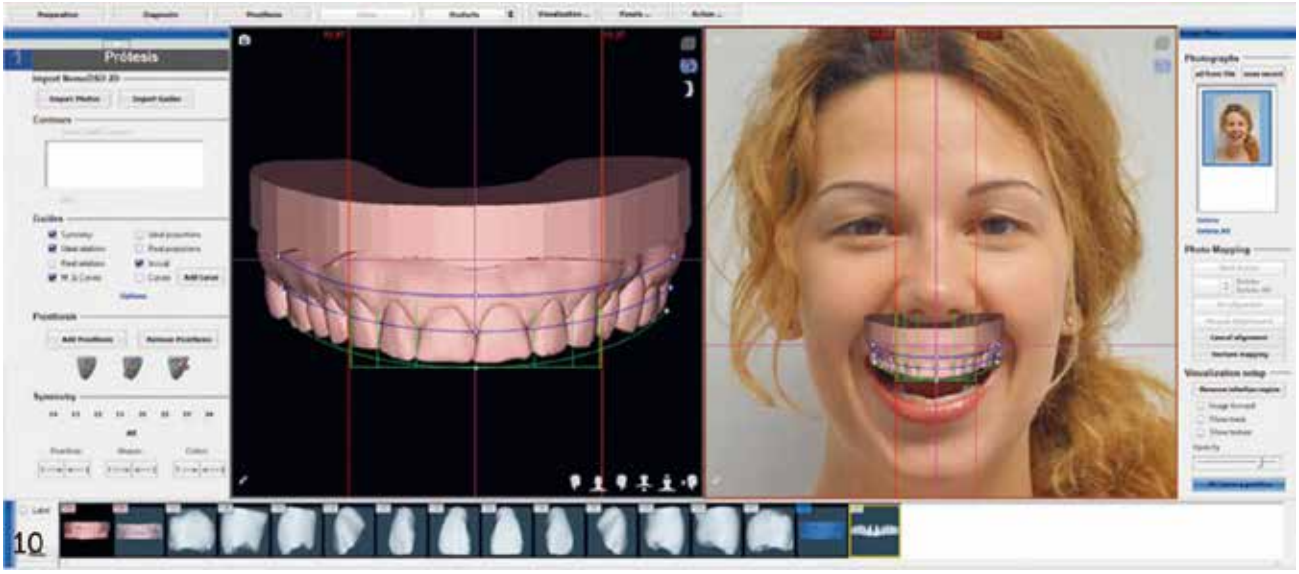

图 9 和 10 Nemotec 软件可以将二维设计与三维模型相结合，可以选择牙齿形状、改善比例、重建恰当的功能，并以面部作为起始的评估后设计出新的笑容。需要强调的是，整个牙科团队可用的信息都需要是准确的

图 11 得益于 3D 打印技术，使我们可以创建可靠且稳定的模型，从而帮助临床医生通过诊断饰面（mock–up）向患者展示微笑设计。如今，可以将此过程外包给第三方（本病例是外包给了马德里的 DSD 虚拟实验室），或者使用 3D 打印机自己生产模型

图 12 眼见为实 – 视觉冲击的力量。诊断饰面（mock–up）是与患者交流的理想工具，患者可以通过这种方式体验新的微笑。借助硅橡胶指示阴模（index），可以轻松地将数字化设计转移到患者的口腔中

从计划到治疗

微笑重建修复中最大的挑战之一就是如何准确地再现已经经过了数字化设计、可视化预期并已经呈现给过患者的结果。例如，在一个需要重塑牙龈轮廓的病例中，挑战是进行牙龈切除术时（或者按照生物学宽度的评估），如何准确地将牙冠延长到设计的位置。

诸如 Nemotec 之类的专用 3D 软件程序可简化三维诊断饰面（mock–up）的设计流程，它可以用于设计牙龈切除导板，并通过 3D 打印方式生产。本导板使手术可以完全按照设计进行，因为它可以贴合切缘和咬合面，保证手术过程中的稳定性（图 13）。

在软组织愈合之后，治疗重点就转移到最终修复体设计上，并保持与三维诊断饰面（mock–up）完全相同的几何形状，唯一的区别是最终设计的几何形状会在预备好的牙齿上进行修改。因此，只在矢状向上与诊断性设计有不同，因为在软组织重塑和牙齿预备之后，最终的数字化设计可以在腭侧重新定位，并修改出牙齿轮廓。

诊断饰面（mock–up）可以作为获得患者同意进行治疗的一种工具，也可以作为制作手术模板的导板，同时，牙龈切除术后，理想的诊断饰面（mock–up）对于牙齿预备和临时修复极为重要。

图 13 得益于专用的 3D 软件，还可以利用三维数字化诊断饰面（mock–up）通过 3D 打印机设计和制作牙龈切除术导板，以准确地在计划的地方进行手术。该导板可安装在切缘和咬合面上，确保手术过程中的稳定性。这就是所谓的数字化牙科的完美例子

牙齿预备

在开始预备牙齿之前，患者必须签署知情同意书，表明对理想的牙龈手术后的诊断饰面（mock-up）所设计的牙齿美学、形状和定位的认可。

预备时，需在诊断饰面（mock-up）上做最微创的磨除，以确保最大程度地保护牙齿硬组织（图 14）。[15]

牙齿预备应基于对牙齿表面、牙齿排列、角度、基牙颜色的综合评估，并需要为陶瓷贴面创建共同就位道。在这个病例中，基牙的颜色是有利的，没有裂纹需要处理。因此，可以按照二硅酸锂陶瓷的参数进行最小量的牙齿预备。[16]

这样做的目的是微创并尽可能多的保留牙釉质，因为树脂与牙本质粘接的界面容易发生水解和酶降解，随着时间的流逝可能导致边缘变色、继发龋和贴面脱落。[17] 此外，限制在牙釉质范围内的预备可以将成功率提高到 98.8%，与之相比，过多的牙齿磨除会造成大量的牙本质暴露，或预备范围扩大到了牙根表面，成功率则降低到 68%。[18]

正是出于这些原因，需要通过美学临时预评估 (APT) 技术来预备牙齿。在这种情况下，使用两种不同大小的圆钻，一种用于牙颈缘部分，另一种用于牙体长轴部分，配合一种锥形钻完成预备（图 15 和 16)。APT 是深度指示沟非常可靠的参考，这不仅将为牙科技师提供最佳的修复体空间，而且还使

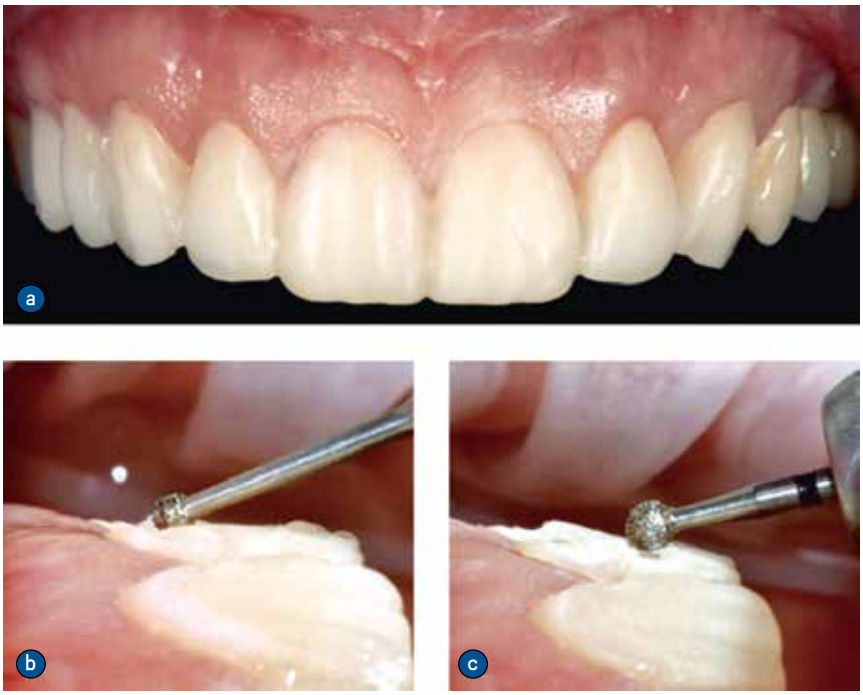

图 14 通过诊断饰面（mock-up）(a) 进行微创预备，以确保最大限度地保留牙釉质，使用两个不同大小的圆钻，一个用于牙颈缘部分 (b)（1.2mm，工作直径 0.3mm），另一个用于牙体长轴部分 (c)（1.8mm，工作直径 0.6mm）

图 15a 至 c APT 技术为深度指示沟提供了非常可靠的参考。它为牙科技师提供最佳的修复体空间，并有助于进行微创预备。只有在必要的时候才能做一些小的改变，并且牙齿的磨除应尽可能少，整个预备过程都应保持在釉质范围内

图 16 牙齿具有良好的色泽、正确的位置和角度，只需要在釉质范围内下重新勾画轮廓。在牙齿颈部根据牙龈轮廓进行最少量的颈部边缘线预备

得临床医生能够进行微创预备。[16]

在牙齿预备完成后，应对预备体进行抛光，以确保最大程度地提高数字化印模的精确度。

数字化印模阶段

用 iTero Element 2 扫描仪执行的扫描计划（图 17），如下：

■ 在诊断饰面（mock-up）就位的情况下进行上颌牙弓扫描。

■ 下颌牙弓扫描。

■ 咬合记录扫描。

■ 对预备好的牙齿所在的上颌牙弓扫描。

■ 高分辨率（通过共聚焦显微镜技术，每秒 8000 帧）下检查预备体边缘的细节。

为了充分利用每个系统的所具有的特定功能和优点，应考虑最佳扫描策略，这取决于系统本身的优势和操作员的经验。此外，不是所有数字化系统都具有相同的精度；有些系统在某些临床情况下比在其他情况下表现得更好。这就是为什么掌握扫描路径是至关重要的，这意味着必须根据特定的扫描顺序来使用口腔扫描仪，以最大程度地提高虚拟模型的准确性。[9]

对于 iTero Element 2 扫描仪，建议执行以下操作：

（1）从一侧的第三磨牙开始，扫描整个咬合面。

（2）翻转到腭侧 / 舌侧，扫描整个腭侧 / 舌侧。

（3）翻转至颊侧，从磨牙扫描至中线。

（4）移至另一侧的第三磨牙并扫描至中线以完成颊侧扫描。

（5）通过在前牙上翻转来完成整个牙弓的扫描。从侧切牙和尖牙后方的舌侧区域开始，再到颊侧。在另一侧的尖牙和侧切牙上重复这一步骤。

（6）对每颗预备好的牙齿进行高分辨率扫描。

数字化工作流程中的主要挑战之一是扫描配准。缺乏准确的配准可能会产生错误，从而使过程更加繁琐和复杂。手动配准也很复杂，结果可能并不准确。由于 iTero 软件具有后台处理功能，因此可以配准不同的扫描，这减少了犯错误的可能性。

在数字化工作流程中，在扫描仪的 iRecord 模式下对同一区域进行多次不同的扫描（初始扫描、牙周手术后的扫描、诊断饰面（mock-up）设计和最终就位的修复体的扫描）是很常见的。由于具有延时软件功能，这些又都是免费的 STL 格式文件，可以随时重叠配准。重叠扫描有助于牙科团队在治疗计划期间进行质量控制，因为它们允许根据所计划的临床情况对规划好的设计进行调整。重叠扫描在协议阶段也有帮助，因为它们可以有效地向患者显示口腔中发生的任何细微变化。

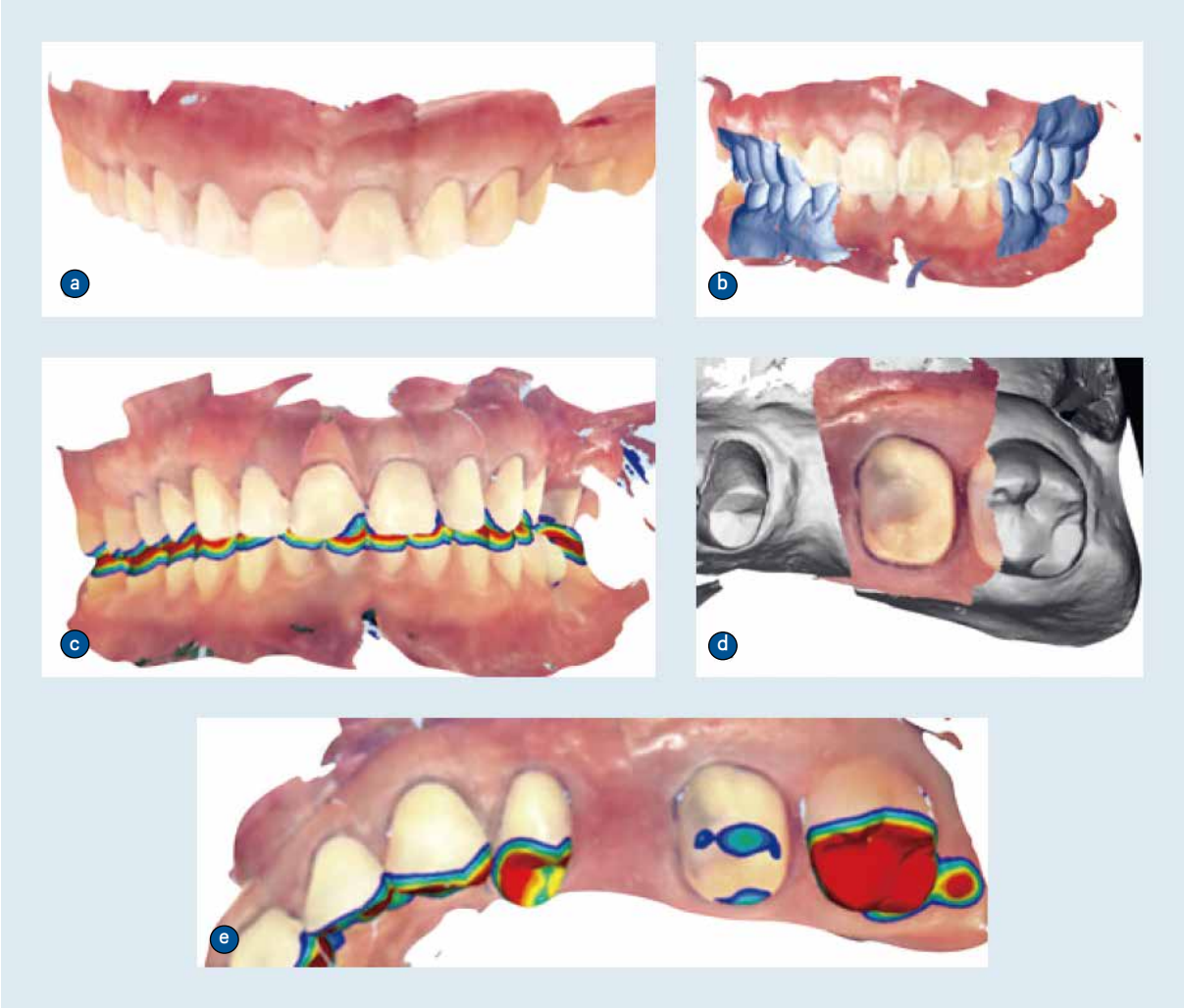

图 17a 至 e 牙齿预备后，应将预备体抛光并使其圆钝，以确保更好的口腔内扫描效果。在该病例中，计划是扫描诊断饰面（mock-up）就位后的上颌牙弓、下颌牙弓、咬合记录、预备好的牙齿所在的上颌牙弓，用高分辨率图像检查（借助共聚焦显微镜技术，每秒 8000 帧）。这是使用 iTero Element 2 扫描仪修复模式操作的。需要注意的是扫描仪如何读取两条终止线：水平方向扫描用于贴面，垂直方向扫描用于上颌左侧固定桥

聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）模型

在牙齿预备和数字化印模阶段之后，技师设计【根据诊断饰面（mock-up）的指示】并生产 PMMA 模型，以“测试”美学、功能和患者的看法（图 18）。PMMA 制成的修复体是双丙烯酸临时修复体的极佳替代品，因为它们具有出众的边缘适合性和使用寿命，PMMA 是一种具有优异机械和化学性能的工业材料。此外，它们还可以让患者有机会评估最终改善的结果。

此时，获取患者的数字化印模，有助于将数字化模拟与原模型上的最终设计进行比较，由于几何形状相同，因此两个版本看起来应该相似。诊断和最终设计之间矢状轴的变化表现为近中间隙的增加和适当突出的侧貌，患者通常不会察觉到这些细节。

如果 PMMA 测试模型的任何细节需要修改，或者患者要求的任何更改，则需要改进设计，此后有必要再次扫描该区域，以便技师可以将其复制并粘贴到 CAD 软件中进行最终修复体的设计。

数字化模型制作与材料选择

在该病例中，数字化牙弓模型是通过口腔内扫描使用模型生成器软件创建的（图 19），模具和底座可以分别使用不同的颜色，可以使用数字化 3D

图 18 根据数字化印模数据，制作了 PMMA 模型，以测试美学、功能和患者的看法。值得注意的是，由于采用了新的修复体设计并在该区域进行了牙周成形术，25 牙较突的情况得到了改善

图 19a 和 b 使用模型生成器软件从口腔内扫描创建数字化牙弓模型。使用数字化 3D 打印机（Sheraprint 40）打印模型。注意在打印模型中复制了的牙齿预备的细节

打印机 (Sheraprint 40) 打印该模型。先进的 3D 打印技术缩短了生产周期，降低了成本，并可以打印结构复杂的模型。3D 打印的精度平均在 25 μ m 左右，可以作为一个准确的工作模型。3D 打印模型的制作需要可以进行咬合、接触点、表面纹理、边缘的调整，以及染色和抛光（图 20 和 21）。

如今，陶瓷材料的不断改进拓宽了选择和应用范围，为在具有挑战性的情况下实现极高的美学效果提供了可能性。随着时间的推移，陶瓷与口腔的最佳相容性和生物稳定性使其具有很高的成功率。

在该病例中，使用二硅酸锂 (IPS Empress e.max CAD；Ivoclar Vivadent) 制作厚度 0.2 mm 的超薄 CAD/CAM 贴面。基于四方相氧化锆的抗折强度和韧性，可用于上颌左侧局部固定义齿 (FPD)。

CAD e.max 陶瓷块的研磨相对容易，因为它们是在生坯阶段研磨的。如果需要 0.2 或 0.3 mm 的边缘，则应将陶瓷块留得更厚，然后在第三个打印模型上进行调整。3D 打印模型上的贴面在结晶前应进行表面纹理的修饰。使用超薄陶瓷修复体的主要优点是最大程度地保留了牙釉质，从而确保了修复治疗的长期成功。

二硅酸锂的优点之一是其出色的软组织活性。在体外，这种材料表现出很高的生物相容性，不仅因为它的菌斑附着率低，而且还因为人上皮细胞和人牙龈成纤维细胞的黏附和增殖，特别是在表面抛光的情况下。

在磨耗和磨损性方面，二硅酸锂显示出相当良好的性能，这在很大程度上取决于修复体的表面特性。此外，它的磨损性能接近于牙釉质，并且表现

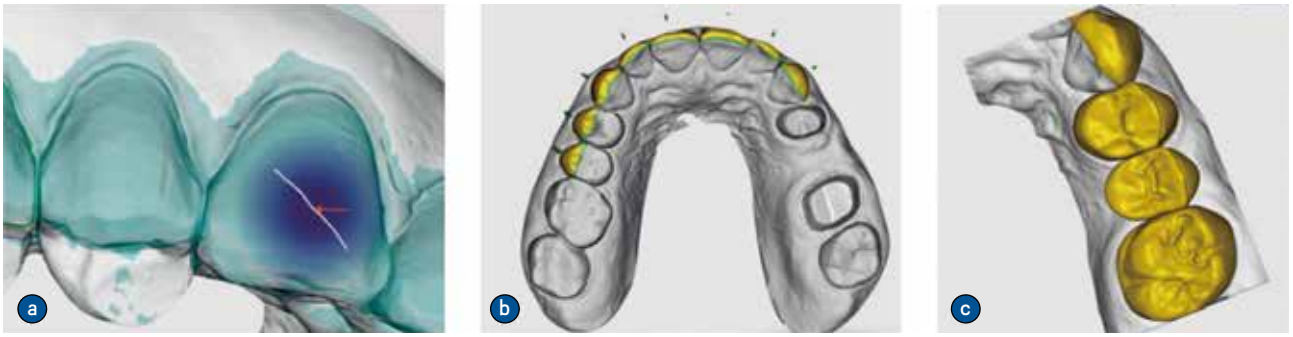

图 20a 到 c CAD 精细化设计策略遵循了牙科的基本原理，并整合到了最新一代软件允许的质量和参数控制范围。对于三单位的氧化锆固定局部义齿，第二磨牙的𬌗面和腭侧面选择了全氧化锆设计

图 21 3D 打印模型上厚度为 0.2mm 的超薄贴面

出非常好的美学特征，特别是在半透明性方面，比常规氧化锆高出约 30%。

粘接阶段

这一步骤对修复体的寿命和可预期效果起着关键性的作用，取决于所选的材料。粘接剂将修复体和牙齿表面粘接在一起并使其稳固。[19]

在这个病例中，是按照一定的顺序分步在贴面上进行粘接的。在隔离前，使用与专用粘接剂相同色调的试色糊剂进行美学试戴。然后，用橡皮障隔离手术区域，以防止粘接过程中受到龈沟液的污染。使用橡皮障夹夹住橡皮障，暴露出预备体边缘，相邻的牙齿用透明的薄膜进行隔离保护（图 22）。[20]

用甘氨酸粉清洁牙齿表面，粘接步骤必须按照粘接系统的设计要求进行。在这个病例中，使用全酸蚀三步法粘接系统。用蒸汽喷雾清洁贴面的组织面，以去除试色糊剂和其他碎屑，所有贴面均用 4.5% 氢氟酸（Porcelain Etch；Ultradent）酸蚀 20s，在流动水下冲洗 60s，然后用 35% 磷酸（Ultra-Etch；Ultradent）清洁 60s，以除去积聚在微孔中的晶体沉淀物。[21]

将贴面组织面吹干，使用一种通用于处理微晶玻璃修复体的预处理剂（Monobond Plus；Ivoclar Vivadent）涂抹组织面两到三次，持续 60s。剩余的预处理剂用强大的气流吹均匀，在不进行光固化的情况下进行粘接。[22]

采用低流动度的光固化树脂水门汀进行粘接，以保证修复体的就位不受干扰。贴面就位后，用小毛刷清除多余的水门汀，然后对每个表面进行光固化 60 秒（图 22）。[23]

下一步是在边缘线粘接界面上涂一层甘油凝胶，以防止树脂水门汀产生氧阻聚层，然后对每个表面进行 60 秒的最终光固化。冲洗掉甘油凝胶后，使用外科手术刀片清除边缘所有残留的水门汀。[24,25]

最后使用硅橡胶车针进行边缘抛光，然后用陶瓷抛光工具抛光修复体。

图 22a 至 c 按照一定的顺序分步在贴面上进行粘接。用橡皮障隔离手术区域，以防止粘接过程中受到龈沟液的污染。使用橡皮障夹夹住橡皮障，暴露出预备体边缘，相邻的牙齿用透明的薄膜进行隔离保护

对于氧化锆固定局部义齿，因基牙有良好的固位力，只需涂抹预处理剂 20s，然后用 Katana Cleaner(Kuraray Dental) 清洁固定局部义齿，涂氧化锆预处理剂后放置 60s，再用 Panavia V5(Kuraray Dental) 粘接。

粘接完成后，应进行仔细的咬合调整，包括静态咬合和动态咬合。

总结

成功的微笑重建对患者的生活产生积极、深远的和潜移默化的影响，这应该是任何牙齿修复的目标 (图 23 至 25)。仔细规划、使用微创方法进行牙齿预备、正确选择修复体和粘接的材料，是确保成功和长期修复效果的关键。

图 23 粘接一周后的微笑牙列照片

图 24 通过全数字化工作流程制作的戴有夜磨牙殆垫的口内照片

图 25 患者 2 年后的微笑特写

尽管计算机可以将现有的各种数据连接起来，并且比人类更擅长做复制工作，但它从来不会自己做设计，设计环节蕴含着牙科医师和技师们的创造力。在目前的情况下，临床医生和牙科技师必须特别有创造性，才能与它们的步骤和程序保持一致，如基牙预备、贴面设计、研磨和三维模型的打印制作。但是，诸如制作牙齿表面的颗粒及纹理、染色以及调整咬合和调整边缘适合性之类的技术步骤必须手动完成。因此，即使在完全数字化的工作流程中，人的作用也无可替代，要释放数字化牙科的真正力量，我们需要教会自己在数字化工作流程中以独特的方式看待设计过程。

得益于“复制—粘贴”牙科解决方案和数字化牙科的强大功能，捕捉美丽成为可能，包括永不重复的形态和形状，并且设计方案、材料选择可以以无限次数的方式进行存储和复制。让患者参与其中的每一步，并提供非常接近数字化设计的最终修复体。