译文

用隐适美矫治器进行正畸治疗时的牙齿漂白

Dental bleaching during orthodontic treatment with aligners

Luca Levrini, Luigi Paracchini, Renata Bakaj, Andrada Diaconu, Sofia Cortese

原载　Int J Esthet Dent 2020; 15: 44-54.（英文）

吴慧竞　译　　郑树国　审

摘　要

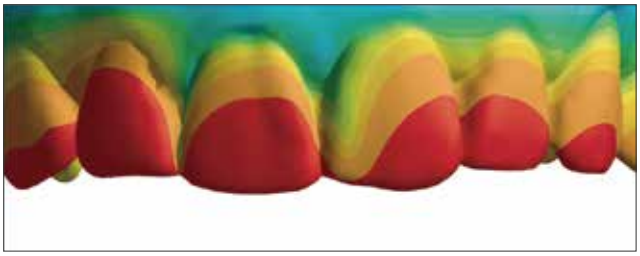
目的：本研究旨在确定无储槽托盘（将隐适美矫治器或 Vivera 保持器用作漂白托盘）的牙齿美白效果，先对数据进行有限元分析，随后采用分光光度法进行临床研究。**材料和方法：**研究采用有限元分析技术确定漂白凝胶在牙齿和矫治器之间（体外实验）的理想分布。分别分析了上颌中切牙上应用凝胶的三个样本区域（切端、中部和龈缘）。由于与有限元分析的结果有关，研究采用分光光度法确定漂白凝胶的临床效果。具体来说就是对漂白凝胶作用在对照组（下颌右侧中切牙和下颌左侧侧切牙，有储槽）与在实验组（下颌左侧中切牙和下颌右侧侧切牙，没有储槽）上分别获得的色度变化进行比较。**结果：**有限元分析结果表明，当 2mm^3 的凝胶施加到托盘中牙齿唇／颊面的中心时达到最佳凝胶分布。就临床研究而言，实验组和对照组之间的美白效果没有显著的差异。两组的美白均有效并且患者对此也十分满意。**结论：**患者在使用隐适美矫治器进行正畸治疗期间接受牙齿美白的优势是显而易见的，该方法省时省钱。需要进一步的临床研究来评估该方法的有效性。

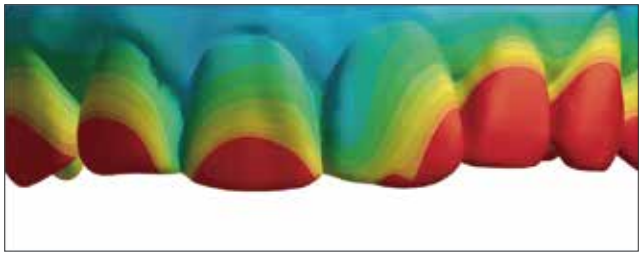
1　引言

为了获得更好的美学效果，牙齿漂白通常在正畸治疗过程中作为辅助程序进行。文献表明，约有 90% 的患者要求进行牙齿美白，而 76% 的正畸医生推荐了美白操作。然而只有三分之一（33%）的正畸医生提供了诊室美白，而近三分之二（66%）将患者推荐给了其他牙科医生。

如今为了获得最佳的美学效果，常常将牙齿美白作为最终的治疗结束步骤。然而这个办法不仅耗时、影响治疗的持续时间，患者的花费也更高（因

译者单位　同济大学附属口腔医院
上海市静安区延长中路 399 号　200000





为在正畸治疗后需要购买额外的定制托盘来进行牙齿美白）。而与正畸治疗后再进行美白相比，将正畸矫治器或保持器作为美白托盘一方面可以节省时间，另一方面患者也只需支付漂白凝胶的费用，无需支付额外费用。同时整个美白过程可以由正畸医生在每次复诊时进行把控。

牙齿美白有多种方法，包括诊室美白和家庭美白。前者见效迅速显著，并且由于是在诊室这个监测仔细的环境下操作，确保了使用相对高浓度的漂白凝胶的安全无痛。后者是由患者在家中用低剂量漂白剂进行美白，而此时牙医有必要仔细监测牙齿和龈缘的状况。因为含有漂白凝胶容器的乙烯基托盘是定制的，目的是将漂白凝胶密封在内部，从而防止刺激和唾液与凝胶混合。这种方法最常见的缺点就是牙齿和牙龈敏感，这是由于患者想要快速见效，从而长期进行了无法控制的自主治疗。

目前最常用的产品是过氧化脲（10% 或 16%）和过氧化氢（10%）。归功于较厚的过氧化物凝胶（它不像以前的凝胶那样渗入牙齿）和硝酸钾、氟化物等脱敏剂的使用，近来牙龈和牙齿的敏感性得到了更好的控制。因此，许多牙医建议在家中用低浓度的漂白剂进行牙齿美白，这种漂白剂可以在牙齿上保存更长时间。

如今，更先进的正畸矫治器在正畸医生和患者中受到了极大的欢迎。尽管在过去隐适美矫治器主要用于轻度错殆畸形的成年患者，但现在它们变得更加有效并且也可以用于治疗重度错殆畸形。因此在治疗过程中将牙齿漂白和正畸过程整合似乎是适宜的。患者只需在治疗过程中使用他们定制的不带附件的矫治器，而无需购买额外的仅用于漂白的托盘。此外他们也可以在正畸治疗后使用他们最终的保持器（Essix 或 Vivera）作为漂白托盘。

就牙齿美白而言，没有证据表明通常使用的带有储槽的托盘优于隐适美矫治器或保持器。尽管带储槽的是目前患者最常使用的漂白托盘，但一些研究认为储槽是不必要的。必须强调的是，这些研究没有说明方法方案、使用的凝胶类型（数量和物理特征）和其在托盘中的位置以及托盘本身的物理特征。

如果本研究的方法证明对患者有效和安全，隐适美矫治器可以集功能性和美学治疗为一体，即患者可以使用隐适美矫治器排齐并美白牙齿，而不需要额外的花费和治疗时间。然而应该把重点放在酸性漂白凝胶可能对牙龈造成的损害上，尽管这种暂时的酸性条件并不比习惯性的、长期的不良口腔卫生或高酸性饮食更有害。这方面的具体研究也需要进行。此外，一些临床医生认为酸与矫治器托盘的接触可能会降低其效率。

考虑到这些因素，我们假设主动矫治器或保持器是管理正畸患者牙齿美白的有效工具，因此本研究进行了两个平行的过程。首先是虚拟流体动力学研究，采用有限元分析（FEA）来研究在没有储槽的托盘中同时考虑托盘材料和凝胶类型的情况下如何获得最佳的凝胶分布。第二项是临床研究，主要关注带储槽的漂白托盘（金标准）和不带储槽的托盘（隐适美矫治器或 Vivera 保持器）之间的效果差异。

2　材料与方法

2.1　有限元分析（FEA）

研究采用有限元分析系统进行凝胶（负责牙齿美白）化学和物理性能的虚拟模拟，凝胶被放置在隐适美矫治器或 Vivera 保持器和牙齿之间。有限元分析是一种使用有限元方法来分析材料或物体，以确定应力将如何影响材料或设计的程序。首先根据分析对象的形状创建一个点网格，该网格包含关于每个分析点处的材料和对象的信息。为此研究设计了一个简化的系统，只考虑上颌中的八颗牙齿，并对其进行三维模型有限元分析。为了进一步完善有限元分析，模型被简化为只考虑上颌中切牙部位的凝胶和上颌结构。模拟涉及牙齿的三个不同区域：切缘、中部和龈缘。

首先，使用口内扫描仪（iTero Element）获取患者印模的 3D 文件。然后用 Geomagic （3D 系统）处理 iTero 扫描的 STL 文件，以获得牙齿印模的 3D 文件和牙齿的 3D 文件（图 1 和 2）。牙托的内表面与病人印模的外表面相差 1mm（图 3）。一旦从扫描的牙齿二维（2D）表面获得 3D 文件，通过 Windows 7 SP1 中的 SolidWorks 2014 SP4（Dassault Systèmes）重新进行一系列组装和匹配，以进行有限元分析的最后阶段。3D 矫治器是根据牙齿的外表面创建的（图 4）。在有限元分析过程中，使用了两种不同的实体元素对简化的系统进行网格划分：10 节点的四面体实体和 20 节点的六面体实体。此外，接触单元用于模拟所有部件之间的连接点。模拟扩展到材料的化学物理特征、负载条件（在八颗牙齿上使用 300N 的单个负载，这是咀嚼过程中复杂负载的平均值，如图 5 所示）和约束条件，特别关注了多面体的几何形状。关于凝胶，模拟将其视为非牛顿流体（其位置如图 6 所示）。所有有限元分析都是在 Windows 7_x64 SP1 下通过 NeiFusion 1.2–9.1 NEiNastran 进行的，其中考虑了 113483 个节点和 85686 个元素（图 5 和图 6）。

2.2　分光光度法

选择 10 名患者进行临床研究。对于每个患者，对照组牙齿（下颌右侧中切牙和下颌左侧侧切牙）采用家庭漂白的金标准托盘，实验组牙齿（下颌左侧中切牙和下颌右侧侧切牙，没有储槽）采用隐适美矫治器。

招募患者的入选标准为：1）年龄在 18–50 岁之间；2）最近 24 个月没有漂白处理；3）探诊（BOP）无出血；4）良好的全身和口腔健康；5）良好的口腔健康状况，无菌斑。排除标准为：1）任何药物治疗；2）口腔粘膜上有切口、伤口或溃疡；3）对使用的

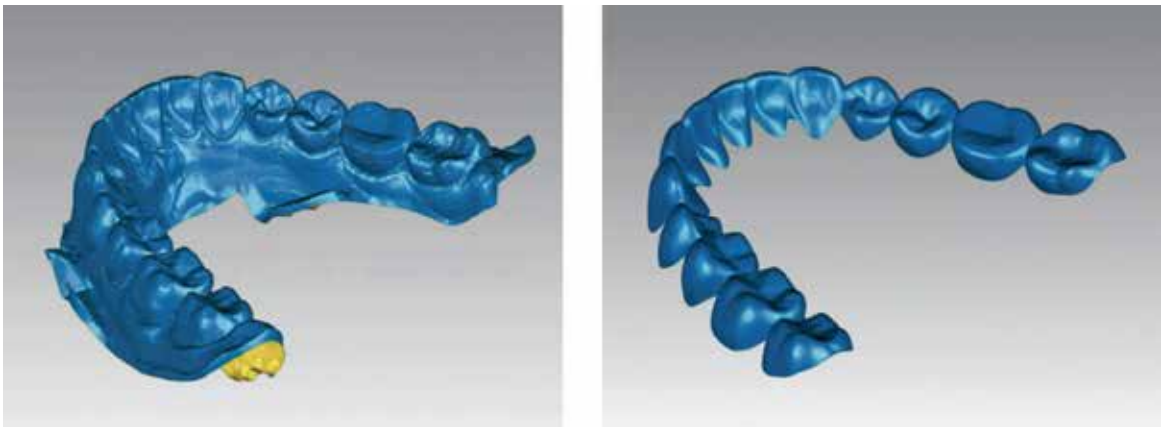


图 1 和 2　使用 iTero Element 口腔内扫描仪获得的患者的 3D 模型

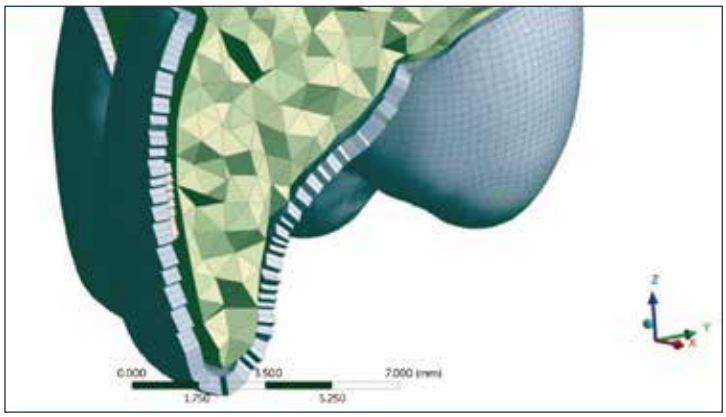


图 3　用于有限元分析的三维多面体网格，中切牙的一部分

图 4　下颌和上颌牙列的 3D 模型（灰色）和托盘 / 隐适美矫治器（蓝色 / 粉色）

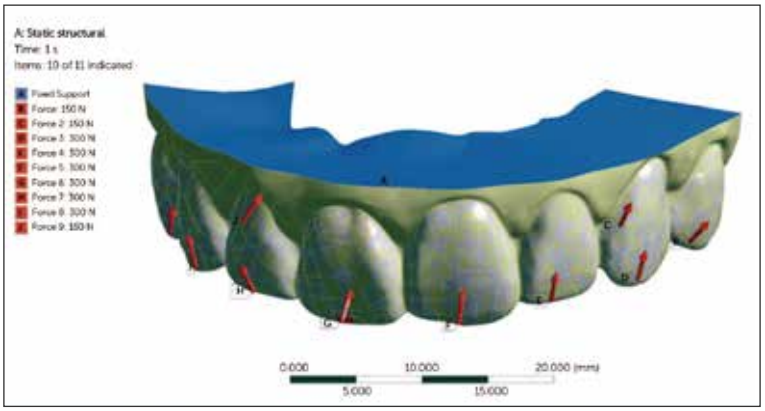


图 5　有限元分析模拟中的力（红色箭头）和支撑（蓝色表面）

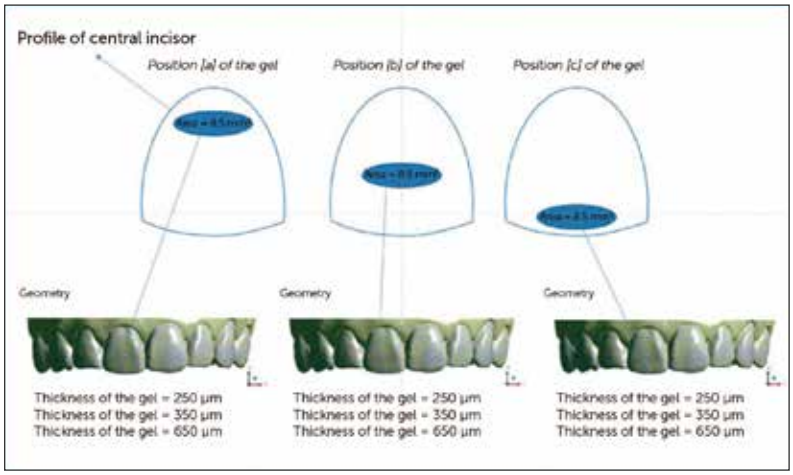


图 6　进行有限元模拟的中切牙。图像中添加了以下内容：（1）凝胶位置（在定义为高位 [a]、中央位置 [b] 和低位 [c] 的区域中）；（2）凝胶的分布面积（面积 =8.5mm^2）；（3）凝胶的厚度（第一厚度为 250 微米，第二厚度为 350 微米，第三厚度为 650 微米），这与分布面积一起是确定体积（厚度 * 分布面积 = 体积）

漂白剂的活性成分过敏；4）口内存在固定正畸或修复装置；5）下颌左侧中切牙、下颌左侧侧切牙、下颌右侧中切牙、下颌右侧侧切牙上有洞或保护性修复；6）牙齿异常；7）每天吸烟超过 10 支。所有正畸托盘和牙齿之间匹配不完美的病例都被排除在研究之外。

研究采用 Opalescence PF 牙齿美白系统作为漂白剂（过氧化氢含量为 10%），系统为 4 个 1.2ml（1.50 克）的注射器包装产品。产品含有硝酸钾和氟（110pmm），可降低龋齿和牙本质过敏的风险。它还含有水（20%），可防止牙齿脱水和复发变色。

用于漂白的托盘是用加热夹改良，以在下颌右侧中切牙和下颌左侧侧切牙的牙位上形成储槽（图 7）的隐适美矫治器。随后采用分光光度计进行颜色检测，包括颜色的一般评估和扇形评估，以及牙齿表面的详细牙本质映射以分析其半透明性。

在向患者展示了如何正确利用托盘漂白后，让他们将凝胶放在矫治器中牙齿的唇 / 颊面的中心，对下颌左侧中切牙和下颌右侧侧切牙使用约 2mm^3 的产品，对下颌右侧中切牙和下颌左侧侧切牙使用约 4mm^3 的产品。患者需在连续 10 天的睡眠时（约 8 小时）佩戴美白托盘。10 天后（治疗结束时），进行颜色检测并拍摄照片。

颜色由分光光度计检测。该设备采用 LED 技术，采集牙齿图像并在显示器上呈现，从而分析牙齿的总体颜色。同时参考牙齿的切缘、中部和龈缘进行色彩地图描绘。通过产生整个可见光谱的光源获得颜色或测量值。照明区域的图像被反射到位于光学系统末端的黑白传感器电荷耦合器件上，该电荷耦合器件可以记录 400 ～ 700nm 的可见光谱数

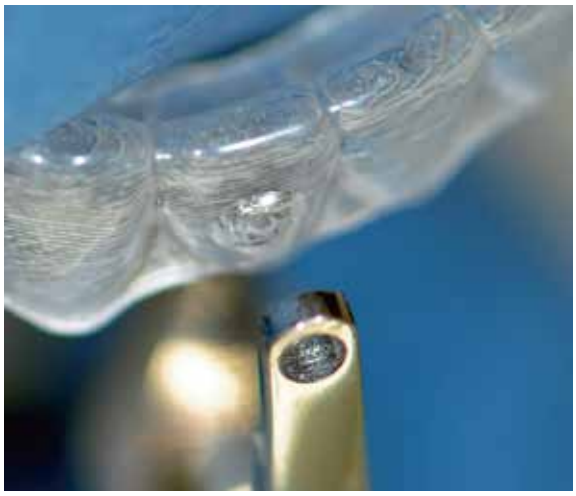


图 7　在对照组（下颌右侧中切牙和下颌左侧侧切牙）和实验组（下颌左侧中切牙和下颌右侧侧切牙）的隐适美矫治器上用加热夹做出储槽

据。CIE 系统 L^*、a^*、b^* 用于计算获得的色度数据，其中 L^* 表示从 1（黑色）到 100（白色）范围内的明度；a^* 表示从负（绿色）到正（红色）范围内的绿色和红色的量，代表红绿色度；b^* 表示从负（蓝色）到正（黄色）范围内的蓝色和黄色的数量，代表黄蓝色度。使用以下公式，可以计算分光光度计获得的两种元素的色差 $\Delta E=(\Delta L^2+\Delta a^2+\Delta b^2)^{1/2}$，其中 ΔL 是两个 L 值之差；Δa 是两个 a 值之差；Δb 是两个 b 值之差。ΔE 表示两个样本的总体颜色的差，并表示为颜色空间中两点的距离，因此是客观的评价。在 T^0（美白治疗前）和 T^1（美白治疗后 10 天）时应用 CIE LAB 系统对牙齿切缘、中间和龈缘的颜色进行分析。对数据进行双侧 t 检验，以验证漂白效果并比较研究中使用的两种技术。置信区间设置在 98.5%。

3　结果

3.1　FEA

体外有限元分析的结果显示了三种不同情况下的总凝胶变形情况。最佳条件是在托盘中每颗牙齿的中心放置 $2mm^3$ 的凝胶。此时漂白凝胶均匀地流过托盘并分布在牙齿表面，同时防止了凝胶从托盘边缘中流出而引起牙龈过敏。其次是将 $6mm^3$ 的凝胶体积放入托盘的切缘，此时存在凝胶不受控制地扩散到整个托盘中的风险。在龈缘放置 $2mm^3$ 凝胶的变形结果最差，因为没有获得牙齿表面的均匀分布；此外凝胶溢出到牙龈上引起过敏的风险很高，从而降低了漂白效果（图 8）。

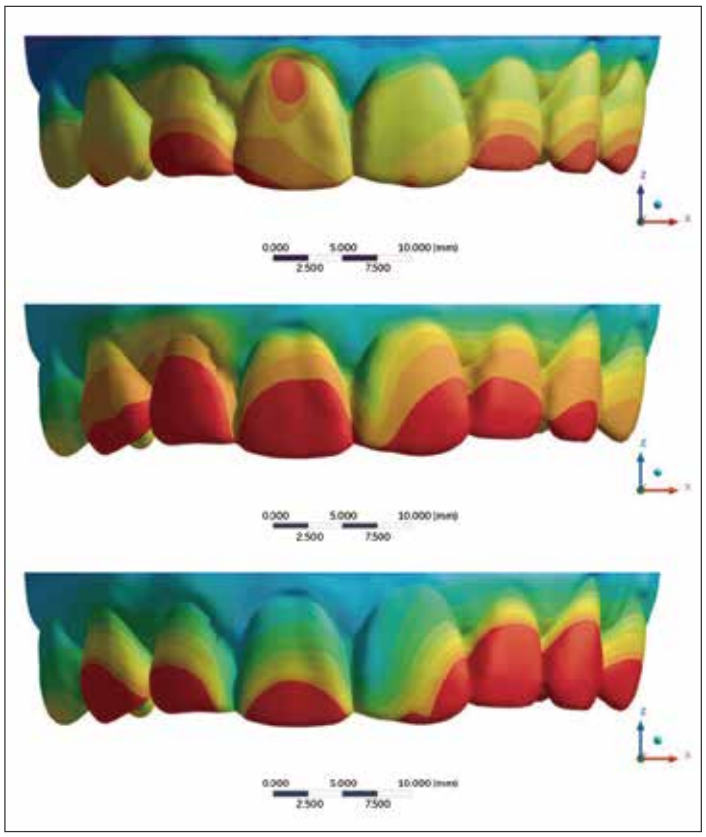


图 8　根据非牛顿流体理论，应力分布在上颌牙齿的唇／颊面。这种分布取决于凝胶的位置和数量（用体积表示的量，如图 6 所示）

3.2　分光光度法

除了一些过敏和味觉障碍（可自行恢复）的病例外，漂白治疗对任何患者都没有副作用，在任何情况下都无需中断治疗。表 1 和表 2 显示了在有和没有储槽的情况下，从牙齿上的分光光度测定中获得的 L^*、a^*、b^* 的结果。两种技术都导致了 b^* 色调的显著降低，这一点与牙齿色调的变化相一致。根据文献，患者对所产生的增白效果非常满意。对照组与实验组的牙齿明度都有所提高（L^*），a 值也在降低。表 3 显示了 T^0（漂白前）和 T^1（漂白处理结束时）之间的颜色或差异的测量值。对照组 ΔE 值的平均值为 4，实验组 ΔE 值的平均值为 3.5。就漂白效果而言，两种方法都被证明是有效的，因为 ΔE 可以用肉眼观察到。

当比较这两种方法时，实验组与对照组 ΔE 值的差值为 0.5，但数据没有统计学意义。

4　讨论

对利用隐适美或固定矫治器治疗的患者，可以通过两种基本方式进行专业牙齿美白：在牙科诊所使用高浓度的过氧化氢（35%），或者在对牙列制取额外的印模后在家中使用带有储槽和低浓度凝胶（10% 过氧化脲）的美白托盘。两种情况都需花费额外的材料和就诊时间，因为当患者在治疗结束需要进行牙齿美白时，正畸医生会取两个牙齿印模：一个用于制作保持器，一个用于制作美白托盘。

建议在正畸治疗和后续治疗期间，通过在牙齿—托盘界面中使用中等浓度的家庭牙齿美白凝胶，将隐适美矫治器或 Vivera 保持器用作牙齿美白的工具。此前的临床研究显示，这种方法可以保证牙齿美白的效果，与家庭专业美白套装中的带储槽的托盘（金标准）相比也毫不逊色，二者同样有效、安全和价廉。

如果这种方法是安全的并且不损伤牙龈，那么它一定有效。因为患者可以在家时刻观察牙齿的美白水平，直到达到他所期待的颜色。与此同时，正畸医生在定期的复诊中也能为这个过程提供专业的把控。值得一提的是，这种方法十分便宜，因为患者不需要购买额外的托盘，他们只需要购买含有漂白凝胶的注射器。

表 1　对照组（牙齿 41 和 32）美白处理前后的 L^*、a^*、和 b^* 值

带储槽的对照组	L^*	a^*	b^*
前	71.2	3.6	16.0
后	73.9	2.8	13.1
差值	+2.7	−0.8	−2.9
显著性（t 检验）	0.007	0.08	0.001
可信度	99.3	92%	100%

表 2　实验组（牙齿 41 和 32）美白处理前后的 L^*、a^*、和 b^* 值

不带储槽的实验组	L^*	a^*	b^*
前	71.8	3.2	16.2
后	74.0	2.8	13.8
差值	+2.2	−0.4	−2.4
显著性（t 检验）	0.005	0.243	0.014
可信度	99.5	75.6%	99.9%

表 3　两个样本之间的 ΔE 总体颜色差异

对照组	4.0
实验组	3.5
差值	−0.5
显著性（t 检验）	0.1133
可信度	88.7

目前的研究表明，尽管使用隐适美矫治器有更多的优势，但两种方法的有效性在临床上没有差异。使用隐适美矫治器的美白技术节约了口腔保健医师和患者双方的时间，因此费用更低。同时它所使用的漂白凝胶（没有储槽）更少，已经表明在矫治器的牙齿中心放置 $2mm^3$ 的凝胶就足以扩散到整个牙面上，并且不会溢出导致牙龈过敏。此外，在正畸治疗期间进行牙齿美白可以提升患者的自信，并提供心理和社会效益，研究期间进行的调查显示了这一点。

在体外研究中发现，一般的凝胶变形是由于施加在托盘上的压力不同；考虑的是力函数的强度、作用点和力的方向。这些力来自咀嚼过程和上下颌骨之间的相互作用。可以说，主动矫治器中的压力点可以改变这种力系统，从而影响凝胶的变形和分布。虽然这一论点是合理的，但目前的临床研究表明，主动矫治器和普通（被动）带储槽的托盘在美白效果上没有差异。因此可以说凝胶分布主要受其化学和物理特性、体积、厚度和托盘上的应用点的影响。其他影响因素包括牙齿类型、牙齿的表面几何形状以及托盘构成材料的化学 – 物理特性。

当牙齿拥挤时，不建议在正畸治疗开始时使用带有漂白凝胶的隐适美矫治器，因为拥挤会影响托盘的贴合性。此外，建议不要使用带有附件的矫治器，因为它们会妨碍牙齿表面的最佳凝胶分布。如果牙齿上有附件，那么这个方法就不可行了，因为它们会在牙釉质和漂白凝胶之间形成阻碍，导致牙齿表面的增白效果不同。因此，只有在用不需要附件的矫治器（如第一副或最后一副）进行正畸治疗时，在移除附件后或用 Vivera 保持器进行牙齿漂白时，才能用这种方法。

正确执行该程序需要考虑的一个重要因素是牙齿在矫治器中的合适位置。牙齿的所有区域都应该与矫治器直接接触，尤其是龈缘。在进行治疗结束的牙齿漂白时，应考虑到这一点。

当临床医生提供舌侧保持器以避免复发时，可以在移除保持器和矫治器之间的接触区域之前，使用最后一副正畸矫治器进行牙齿美白。甚至在正畸治疗结束后的几年中，都可以使用下颌牙列的最后一个隐适美矫治器和上颌牙列的最后一个 Vivera 保持器来进行牙齿美白。

在建议使用这种牙齿美白方法之前，临床医生必须验证正畸托槽与牙齿以及龈缘的良好契合。

在使用隐适美矫治器或 Vivera 保持器时，可以使用其他材料来代替漂白凝胶，以满足患者的需求和美容要求。例如可以在正畸治疗期间进行氟化物或酪蛋白疗法，以降低牙齿脱钙的风险，并改善整体治疗状况。需要进一步研究以确定这些物质最佳分布的最佳条件。

应遵循一些临床预防措施，以防止牙齿和牙龈过敏，例如使用中等浓度的过氧化氢，并在漂白治疗后 7 ~ 10 天内使用脱敏物质。

总之，本研究描述了一种技术以确定漂白凝胶的最小用量及其在用作美白托盘的隐适美矫治器中的最佳位置。这种技术也可以用于其他具有临床用途的物质。该研究还表明，带储槽的美白托盘（金标准）在美白方面并不比定制的矫治器更有效。作者建议使用这种方法来减少牙科诊所和患者双方的时间和费用，同时减少治疗时间，保证更好的整体正畸治疗效果。

5　临床相关性

使用透明矫治器进行牙齿漂白是有效的，并且减少了牙科诊所和患者的治疗时间和费用。用透明矫治器进行牙齿漂白可以保证更好的整体正畸治疗。