

微型种植体辅助快速扩弓器的数字化流程

一 病例报告

背景: 非手术微型种植体辅助上腭快速扩弓术（或称面中部骨扩张术）是近年来正畸领域的一种突破性概念，其应用拓展了成年患者横向正畸移动的边界。尽管在快速扩弓器上增加微螺钉并不复杂，但准确、成功的扩弓治疗有赖于扩弓装置的位置及其与颌面复合体抗力结构之间的关系。

病例展示: 本文介绍了如何在整合 CBCT 的口扫文件中确定面中部骨性扩弓器（MSE）理想位置的数字化工作流程，描述了在装置制作过程中如何使用合适大小的带环将 MSE 转移至口内，并详细介绍了 MSE 制作的完整数字化流程及其在正颌外科 III 类病例中的应用。

结论: 本病例报告描述了 MSE 的全数字化工作流程。通过该流程，我们可以根据上颌骨基骨的方向和形态实现对 MSE 装置的准确定位，这一点对于成人的上颌扩弓治疗至关重要。

关键词: MSE（中部骨性扩弓器），MARPE，上颌扩弓术

背景

上腭快速扩弓术（RPE）是治疗儿童和青少年上颌骨狭窄或水平向发育不足的有效方法。最早在 100 多年前该技术使用的是牙支持式装置，后来进一步发展出各种不同形式，包括带环及粘结式扩弓器¹⁻⁴，以及可摘式扩弓器，如 Schwarz 扩弓器^{5,6}。RPE 的治疗效果也得到了深入研究⁷⁻⁹。根据腭中缝关闭程度的不同与其他上颌骨缝的阻力，无论是使用 Haas 型扩弓器还是其他类型的 RPE，上颌骨基骨（即上颌的骨骼成分）的扩张量仅占总扩张量的 20-50%^{10,11}。此外，扩弓有相当程度的复发情况。因此对于传统的牙支持式 RPE 矫治器而言，过度矫治和维持较长的治疗后保持期以利于骨化这两点至关重要¹¹⁻¹⁴。

微螺钉辅助的上腭快速扩弓术，或称面中部骨骼扩张术（MARPE/MSE）这一概念是十多年前出现的¹⁵⁻¹⁸。在 MARPE/MSE 设计中，微螺钉代替牙齿作为主要支抗来承受扩张力，将力量传导至下方的骨骼结构中，并在骨性桥接形成过程中保持双侧上颌骨扩张的位置。在扩弓后，发生代偿的牙可以通过去代偿排列到一个更符合生理学要求的位置。据报道，在成人患者中，各种不同设计 MARPE 的骨扩弓量为 40-95%¹⁸⁻²⁰，其差异范围较大的原因可能在于不同的 MARPE 设计导致了不同的结果。一部分装置是真正的骨支持式，但有些装置是混合支持式，有明显的牙移位情况。MSE 的设计包含了两个带环粘接的牙齿，用于在扩弓过程中稳定螺旋扩弓器的位置，但带环与螺旋扩弓器之间的连接臂为软合金材料，因此传递到牙齿上的扩张力很小。MARPE 所产生的力矢量与力的大小也会影响扩弓的模式和质量。在正确使用 MARPE 的情况下，无论对于患者年龄还是疗效方面来说均能够获得突破性的成果。

然而，MARPE 具有技术敏感性，微螺钉的位置会对该类装置的成功率和扩弓方式产生显著的影响。植入微螺钉前应当仔细检查上颌骨厚度²¹及周围的解剖结构。在确定要使用的 MARPE 类别之前，必须考虑到两个相互竞争的概念：骨骼驱动系统和阻抗驱动系统。骨驱动系统中，微型种植体可植入较大的骨块区域内（通常位于上腭前部），较为有利。这种植入方式将产生一种前向力矢量，由此导致“V”形的扩弓效果和有限的后部骨扩张效果^{22,23}。而 MSE 是一种阻抗驱动系统，其力矢量的产生直接源于阻抗结构，这种阻力结构多位于上腭后部。上腭后部的力矢量是实现后鼻棘²⁴的良好分裂与平行扩弓的必要条件。然而，上腭后部骨板较前部更薄，因此微种植体必须直接植入到腭中缝两侧，此处骨密度和骨体积更大²⁵。双皮

Li-Fang Hsu（中国台湾）
国立台湾大学医学院附设医院新竹台大分院，牙科；
台北国立台湾大学牙医专业学院，
临床牙医学研究所

Won Moon
美国福赛斯研究所
韩国亚洲大学医学院

Shih-Chin Chen（美）
加州大学洛杉矶分校，健康科学
中心牙科学院正畸系

Kelvin Wen-Chung Chang
（中国台湾）
新竹微风专科联合牙医诊所

通讯作者：
Kelvin Wen-Chung
Changkelvinwccchang@gmail.com

质固位微种植体是 MSE 装置的重要组成部分，它可以尽可能地扩张骨骼成分并降低种植体失败风险²⁶。微种植体随意植入可能导致不良后遗症，如微种植体跨过腭中缝、穿入鼻中隔、单皮质骨固位、装置倾斜和下鼻甲受刺激等。Li 等人对双皮质植入或前后植入的 MSE 是否影响其成功率进行了研究，发现双皮质植入和后期植入 MSE 的扩弓效果更好²⁶。微螺钉位置不佳或忽视解剖因素（如腭中缝偏斜、腭穹隆倾斜等）会导致扩弓效果不尽人意^{24,27}。另一方面，如果单侧的微螺钉由于位置不佳而失败，那么失败侧的矫治器将变为牙支持式。这将对粘接带环的第一磨牙这侧产生不良影响，往往导致扩弓失败。

为解决这一问题，近年来部分研究引入了数字化辅助的设计流程²⁸⁻³⁰。Cantarella 等人首先利用商品化软件确定了 MSE 的理想位置，然后在石膏模型上打印了微螺钉植入的导板²⁸。Giudice 等人使用 Dolphin 软件导入了 MSE 装置的阴模，从而确定了扩弓器和微螺钉的位置，然后打印上颌骨模型并与 MSE 翻模进行焊接²⁹。这两种方法展示了虚拟微螺钉植入的概念。然而，二者仍然需要选择带环和预约取模，因为需要制作用于焊接的石膏模型。因此，这两种工作流程并非全数字化。

本文旨在提出一套结合了多种面中部骨骼扩弓器 II (MSE II, BioMaterials Korea 公司, 韩国) 所适用的商品化软件包含从微螺钉定位到精准选择磨牙带环全流程的全数字化解决方案，并通过一例 III 类正颌手术病例报告进一步展示该数字化工作流程。

数字化工作流程

软件

Autodesk Meshmixer (Autodesk 公司, 美国), 3Shape Implant Studio (3Shape 公司, 丹麦), 3Shape Dental System (3Shape 公司)。

材料准备

上牙列的数字化模型，上颌锥形束 CT (CBCT) 图像，MSE 螺钉的 STL 文件 (通过逆向工程获取)，MSE II 扩弓器的 STL 文件 (利用桌面扫描仪获取) (图 1)。

操作过程

步骤 1: 初步戴入

所有的 STL 文件信息都可以在 Autodesk Meshmixer 开源软件中自由导入和移动。根据解剖结构及临床偏好，虚拟安放 MSE 扩弓器并植入 4 枚螺钉。我们同时检查了 MSE 装置体部到上腭之间的距离 (应尽可能接近)。接下来，我们将 MSE 扩弓器、4 枚螺钉与牙列模型进行组合，另存为一个文

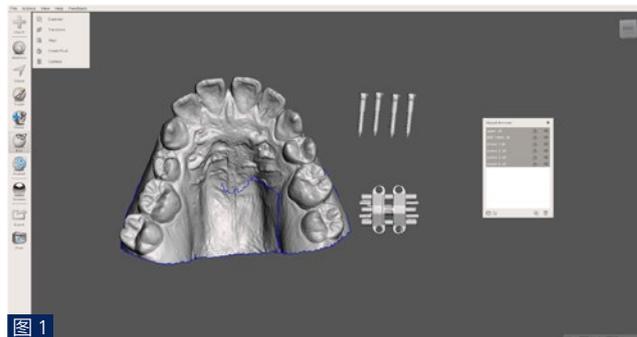


图 1: 扫描获得的牙列模型、微螺钉和 MSE 装置模型。

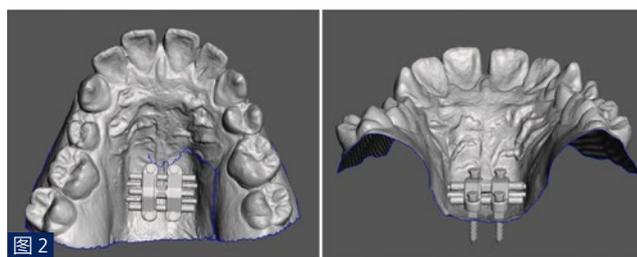


图 2: 合并后的模型及装置的定位情况。

件，并导出至 3Shape Implant Studio 软件当中 (图 2)。

步骤 2: MSE 位置的验证

在 3Shape Implant Studio 中导入 CBCT 图像并与步骤 1 中的模型整合，以此验证 MSE 和微种植体与解剖结构 (腭中缝、鼻中隔、腭板、颧骨支柱、下鼻甲、鼻底皮质骨) 之间的位置关系是否合适 (图 3)。

否则，我们必须返回到步骤 1 修改 MSE 位置，然后重复步骤 2 进行再次验证。一旦 MSE 的位置确定，我们就可以根据 MSE 到鼻底的距离，测量并确定在双侧颧骨支柱之间相对的上腭区域植入双皮质固位的微螺钉的长度。

步骤 3: 上颌第一磨牙的分离

使用 3Shape Dental System 软件的模型构建器模式，将两侧的上颌第一磨牙从上牙列分离出来。可以应用固定桥模式，以确保两颗磨牙的插入路径相互平行 (图 4)。

步骤 4: 全部信息的虚拟整合

将步骤 3 的模型与步骤 1 的模型进行整合，将 MSE、上颌模型和第一磨牙模型整合至软件中。然后将模型导出至 Meshmixer 软件中，以便设计装置戴入的导板。

步骤 5: MSE 戴入导板的设计及模型打印

提供了多种戴入导板的设计方法 (图 5): (1) “螺丝孔”型，预先在 3DP 树脂模型中构建内螺纹。采用这种设计，MSE 扩弓器就可以通过真正的微螺钉实现与 3DP 树脂模型的牢固、紧密连接。(2) “螺钉导板”型，MSE 扩弓器可通过螺钉导板与 3DP 树脂模型进行连接。通常而言，选择两个呈对角的标记点就足以实现定位，但当扩弓器的螺钉就位道