



# 摩擦力与正畸牙齿移动——MLF托槽

姜若萍 许天民\*

在错殆矫治中，移动牙齿的技术可以归纳为两大矫治理念：一种为控制的牙齿整体移动；另一种为非控制的牙齿自由倾斜移动。前者以经典方丝弓技术为代表，所有牙齿的移动都要在正畸医师的控制下完成，因此对正畸医师手工弯制弓丝的精准度要求最高；后者以经典 Begg 技术为代表，其单点接触式托槽允许牙齿自由倾斜移动，因此初期牙齿移动效果明显，只是后期如果要移动牙根，则移动速度明显不如移动牙冠时的速度。前期的快和后期的慢中和之后，与方丝弓整体移动的矫正速度基本相同；但对于部分骨性畸形，进行牙代偿性矫治时，经常可以省略切牙控根这一步，因而缩短了最后一期的疗程，所以更适合于骨性畸形的矫治。

无论是哪种正畸理念，在牙齿移动的各种形式中，牙齿沿弓丝滑动的情形最为常见。按照经典力学的理论，托槽沿弓丝滑动的阻力主要以摩擦力的形式存在，经典摩擦力的大小 = 正压力 × 摩擦系数。

自锁托槽因其操作便捷、能降低矫治系统中的摩擦力等，被认为是当代最先进的固定矫正器。它的结构基本上是在托槽上增加了滑盖或翻盖，当用这些盖板取代常规结扎丝、结扎圈后，对矫正弓丝的约束减小，正压力减小，弓丝与槽沟间的摩擦力因而降低。相当多的自锁托槽还设计了减小的近远中宽度，因此在第二序列方向给予牙齿更大的自由度，类似 Begg 矫治器，允许牙齿有更多的自由倾斜移动，从而提高牙齿移动效率。

因此在临床中，正畸医师确实发现在矫正初期牙齿严重拥挤不齐时，自锁托槽能减少牙齿沿矫正弓丝滑动的阻力；同时由于矫正初期用非常细的镍钛圆丝放在  $0.022 \times 0.027\text{in}$  或  $0.022 \times 0.028\text{in}$  的槽沟中，加之稍窄一些的托槽宽度，实际上允许牙齿在三维方向的自由倾斜移动，因此在解除拥挤阶段具有类似于 Begg 第一期的矫治效率。但对于牙齿的扭正来说，特别是被动自锁托槽，由于余隙较大的原因，如果沿用传统结扎托槽的弓丝序列，则效率会明显降低，需要改变以往的弓丝使用习惯，比如第二根丝即更换为  $0.014 \times 0.025\text{in}$  镍钛方丝，迅速减小弓丝在槽沟中唇舌向的余隙以帮助纠正扭转，并在后续的治疗过程中尽可能一直使用方丝保

作者单位 北京大学口腔医学院·口腔医院 正畸科  
北京市海淀区中关村南大街 22 号 100081

通讯作者 \*tmxuortho@163.com

电 话 010-82195268

持治疗的效果。遗憾的是, 这样会失去不锈钢圆丝的一些优势, 因为正畸牙齿移动并不总需要方丝带来的力矩, 对于只需要单纯力的牙齿移动类型, 圆丝更加高效。另外, 在被动自锁托槽中, 即便使用了方丝, 自锁托槽的盖板对矫正弓丝的约束较结扎丝或结扎圈而言依然是减小的, 因此弓丝对牙位精准控制的能力减弱。

综上所述, 滑动与牙位控制是一对矛盾。如何平衡这两者的关系才能既减小滑动阻力, 又不影响牙齿矫正的效率呢?

美国北卡罗来纳大学的生物医学工程系及正畸系联合教授 Kusy 是这一研究领域的权威专家。他将托槽在弓丝上的滑动阻力分为经典摩擦力、约束阻力和刻痕阻力 3 种。其中, 经典摩擦力指托槽在无弯曲的弓丝上滑动时的阻力, 其大小由正压力和摩擦系数决定; 约束阻力指弓丝与槽沟的夹角 ( $\theta$ ) 大到让弓丝发生弹性变形后的滑动阻力, 从经典摩擦力进入约束阻力的那个弓丝—槽沟临界角用  $\theta_c$  表示; 而刻痕阻力指弓丝与槽沟中的夹角  $\theta$  大到让弓丝发生塑性变形后的阻力, 从约束阻力进入刻痕阻力的那个弓丝—槽沟临界角用  $\theta_z$  表示。这三种情况下的弓丝—槽沟成角  $\theta$  与滑动阻力的大小关系可用图 1 来表示。

从这个分类可见, 当弓丝在槽沟中的余隙角越

大时, 经典摩擦力的范围就越大, 进入约束阻力阶段就越晚; 而弓丝越不容易发生塑性变形, 从约束阻力进入刻痕阻力的阶段就越晚。所以粗略地看来, 在槽沟尺寸固定时, 弓丝越细, 滑动阻力通常就会越小。由于被动自锁托槽槽沟管腔与弓丝之间的余隙是最大的, 滑动阻力似乎应该是最小的 (图 2)。然而, Kusy 的研究同时指出, 弓丝与槽沟的余隙大, 虽然从摩擦力角度是有利的, 但从矫正效率的角度却是不利的, 会导致治疗周期的延长, 最终影响医师的接诊量。或者换一个角度来看, 在弓丝没有发生形变的直丝情况下, 滑动阻力最小, 但如果弓丝没有弹性变形, 对牙齿的矫正力也减小为零, 则会降低排齐牙齿的效率; 而弓丝变形越大, 牙齿受到的矫正力量就越大, 同时滑动阻力就会越大, 此时又会降低滑动的效率! 主动自锁托槽采用了不同于被动自锁托槽的槽沟及外盖设计, 其金属盖片增加了弹性及弧度, 改变了龈嵴向槽沟侧壁的高度, 相当于在被动自锁托槽的槽沟中增加了一个台阶, 使弹性盖片可以接触到较大尺寸的圆丝或方丝, 这种通过弹性盖片减小或消除余隙的方法, 让粗圆丝或方丝入槽后牙齿能受到更大的矫正力量, 可以增强对牙位的精准控制能力 (图 3), 当然阻碍牙齿滑动的摩擦力也同时增大了。

面对这一矛盾, Kusy 教授明确指出: 只有当丝

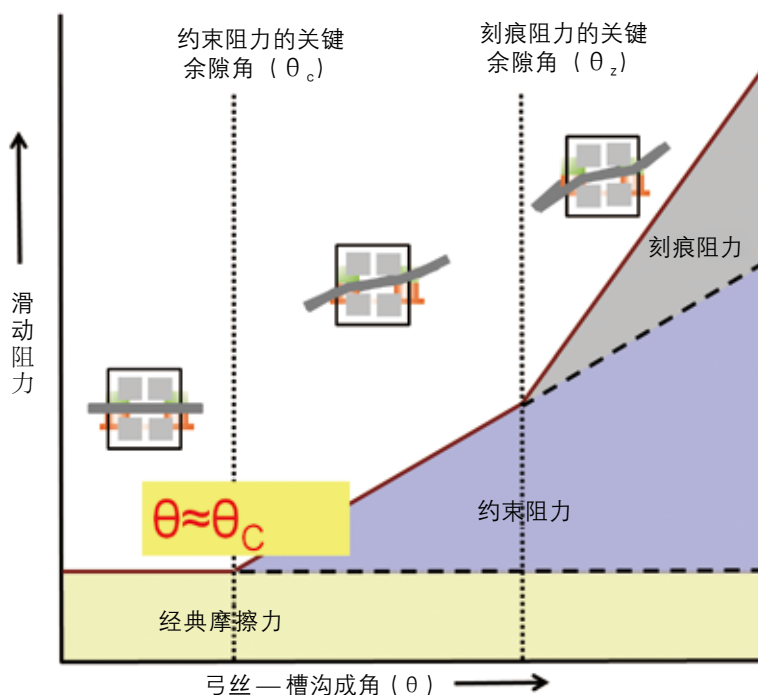


图 1 弓丝—槽沟角度与滑动阻力的关系

槽成角  $\theta \approx$  约束阻力临界角  $\theta_c$  时, 才能同时兼顾滑动阻力与矫正力, 使低摩擦托槽发挥最佳的效果。但无论是被动自锁还是主动自锁, 矫治过程中弓丝与槽沟在唇舌方向的余隙角, 基本上都是由牙齿的扭转程度决定的: 扭转越大的牙齿, 弓丝—槽沟角超过约束阻力临界角  $\theta_c$  的程度越大, 矫正力越大, 滑动阻力也越大; 而对于扭转小的牙齿, 弓丝几乎没有扭正牙齿的力; 正畸医师除了把弓丝锁到槽沟里之外, 就再没什么主动调节摩擦力的能力了。

然而, 患者牙齿的不齐程度不是订制的, 如果把牙齿的扭转程度简化为大、中、小3档, 一根细镍钛圆丝 (0.012 ~ 0.014in) 入被动自锁托槽的



图2 被动自锁托槽无论使用圆丝还是方丝, 其弓丝与槽沟的余隙角均比较大

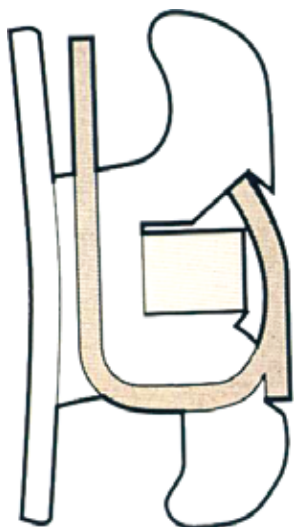


图3 主动自锁的金属盖片增加了弹性, 槽沟比被动自锁托槽的槽沟多了一个台阶, 当方丝的尺寸超过台阶高度时, 弹性盖板对弓丝主动施力, 以减小方丝入槽后的余隙, 提高对牙位的精准控制能力

槽沟, 可能只在扭转度最大的牙齿上产生了矫正牙齿的力量, 在扭转程度为中或小的牙齿上, 弓丝也许没有什么让牙齿扭正的变形力 (力矩), 因此滑动阻力虽然很小, 但矫正牙齿的力量也几乎没有; 因此被动自锁托槽技术的第二根矫正弓丝立即换为镍钛方丝 (0.014 × 0.025in), 其扭正牙齿的弓丝唇舌径从 0.013in 陡增至 0.025in, 因此它在大的扭转牙槽沟中第一序列方向的丝—槽角  $\theta$  有可能远大于  $\theta_c$  而接近  $\theta_z$ , 矫正牙齿的力量陡增, 但滑动阻力也陡增, 低摩擦特点在这颗牙齿上已不复存在, 也许仅仅在初始扭转度小的牙齿上滑动阻力会低于常规结扎托槽。主动自锁托槽用增加一个台阶的方法从力学角度应该有利于缓解扭转度大的牙齿和扭转度小的牙齿在滑动阻力与排齐力量之间的矛盾。但实际患者牙齿的扭转程度有可能远多于大、中、小3档。因此弓丝与槽沟之间的余隙角如果能根据医师的主观意愿而不断调整变化, 始终让  $\theta \approx \theta_c$ , 才是最佳的解决方案。

PASS 系统里使用的 MLF (Multi-level Low Friction) 多水平低摩擦托槽恰恰能够满足这一要求。MLF 托槽以建筑学上著名的“少就是多”的原则, 将普通双翼托槽 (图 4a) 结扎翼下方外壁去除少许材料 (图 4b), 使其变成一个斜坡, 这时用结扎丝结扎时, 结扎丝将沿此斜坡上滑至结扎翼的根部, 因而离开了对矫正弓丝的束缚, 形成了一个类似自锁托槽的空腔 (图 4c)。当我们换的弓丝越来越粗的时候, 或我们用的结扎丝越来越粗的时候, 这个管腔就会越来越小, 弓丝与槽沟之间的余隙角就会越来越小, 直至换到方丝时, 余隙几乎为零 (图 5)。

以临床上常用的镍钛圆丝为例, 如果我们根据牙齿初始扭转的程度从 0.012in 换到 0.014in、0.016in、0.018in, 而选用临床最常用的 0.020mm、0.025mm 结扎丝以及结扎圈这 3 种不同直径的结扎材料时, 就可以排列组合成 12 种丝—槽余隙角, 再加上方丝这种几乎没有余隙的状态, 如果再考虑镍钛丝与不锈钢丝发生弹性变形的临界角, 还可以通过有选择性地近远中翼的单翼结扎等, 理论上可以达到对不同扭转程度的每一颗牙齿都能尽量让  $\theta \approx \theta_c$ 。这是目前任何一款自锁托槽都不具备的力学优势。

从牙齿滑动与牙位控制平衡的角度来看, 如果矫治的第一根弓丝是 0.014in 的镍钛丝配 0.020mm 的结扎丝, 扭转最严重的牙齿会开始扭正, 当牙齿



图4 普通托槽与MLF托槽的差别。MLF托槽两侧切掉部分钢材制成导斜面



图5 不同粗细的弓丝与不同粗细的结扎丝在MLF托槽上可以形成大小不同的余隙

矫正到0.014in的镍钛丝与槽沟在0.020mm结扎丝形成的管腔中弓丝与槽沟的成角小于余隙角时，牙齿受到的矫治力减弱，移动减速；这时如果换0.016in的镍钛丝，配合0.020mm或0.025mm的结扎丝，弓丝与槽沟之间的余隙角又超过了余隙角，牙齿回到最佳滑动状态，待牙齿进一步排齐后，丝—槽成角又小于等于余隙角，牙齿受力减弱；这时换用0.018in镍钛丝配合0.025mm结扎丝或者结扎圈，丝—槽角重新超过余隙角，确保了最佳滑动状态和对牙位的控制能力（图6）。但自锁托槽在第一根细圆丝后要立即换成方丝，才能控制扭转，此时丝—槽角度有可能远大于 $\theta_c$ ，接近出现刻痕阻力的 $\theta_z$ ，则约束阻力明显加大。由此可见，从滑动阻力分析，MLF托槽可以让弓丝与槽沟的夹角始终在临界角 $\theta_c$ 附近徘徊，从而成为最好的平衡滑动与牙位控制的托槽！

在MLF托槽体系，正畸医师在同一根弓丝上可以通过选择性的使用0.20mm、0.25mm结扎丝或结扎圈来调节弓丝与槽沟之间的余隙角，摩擦力不再只是由错殆程度和弓丝尺寸决定，而是正畸医师可以在一根弓丝上主动调节摩擦力和矫正力，因此MLF托槽又被称为“自主低摩擦托槽”。

另外，从患者舒适性角度看，如果从力量最小的0.012in镍钛丝开始逐渐换到0.014in、0.016in、0.018in的镍钛丝，每次只有0.002in的加力幅度，即使跳一档更换弓丝，增力幅度也只有0.004in；与自锁托槽从0.013in圆丝到0.025in方丝的唇舌

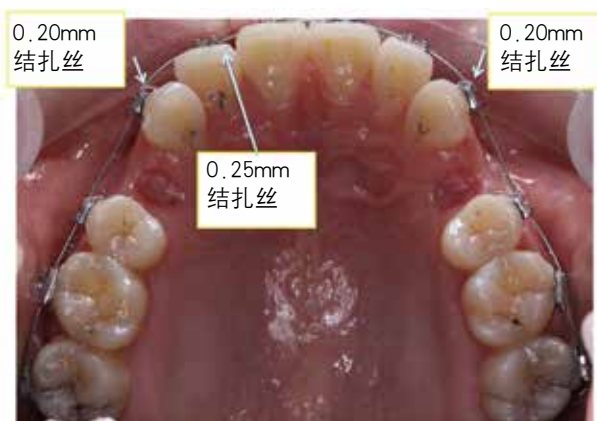


图6 MLF托槽可以在圆丝阶段按照正畸医师的需要高效矫正扭转：当右上侧切牙轻度扭转时，可以在0.016~0.018in的镍钛圆丝上用0.25mm结扎丝单翼结扎其近中翼，此时我们希望尖牙低摩擦，因此可以用0.20mm结扎丝单翼结扎尖牙远中翼，使右上侧切牙和尖牙形成类似于Begg矫正器的单点接触式低摩擦托槽

径增幅达到0.012in相比，可以减少3~6倍的加力幅度，应该有助于减少加力幅度过大引起的疼痛感。所以如果要比较MLF托槽与自锁托槽，MLF托槽的力学性能更好，所以牙齿移动的效率应该更高，而患者感受到的力值变化幅度会更小，理论上会有助于减轻疼痛感；而自锁托槽的优势更多体现在医师操作的便利性及口腔卫生的维护上，在确保开关质量不会因反复使用而损坏的前提下，能节省患者在诊疗椅上的时间。

## 参考文献

- [1] 姜若萍, 傅民魁. 自锁托槽矫治器的临床应用特点(一). 口腔正畸学杂志, 2006, 13(4): 186-189.
- [2] 姜若萍, 傅民魁. 自锁托槽矫治器的临床应用特点(二). 口腔正畸学杂志, 2007, 14(1): 45-48.
- [3] Kusy RP, Whitley JQ. Friction between different wire-bracket configurations and materials. Semin Ortho, 1997, 3(3):166-177.
- [4] Kusy RP. Ongoing innovations in biomechanics and materials for the new millennium. The Angle Orthodontist, 2000, 70(5): 366-376.