

文章编号:1004-7220(2023)05-0851-03

· 述 评 ·

口腔生物力学专栏评述

赵志河

(口腔疾病防治全国重点实验室;国家口腔疾病临床医学研究中心;四川大学华西口腔医院 正畸科,成都 610041)

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.05.001

随着人民生活水平的日渐提高,口腔健康也越发受到重视。口腔医学领域的研究囊括了牙、颌骨及肌肉黏膜等软组织在内的多种复杂成分,力在口颌系统的建立和正常发育中起到了关键作用。无论是唇颊肌、咀嚼肌对颌骨发育的“塑形”作用,还是正畸力对牙槽骨的改建作用,力都是维持口腔健康的关键一环。研究口腔生物力学,就是要对施加于口颌系统的力进行模拟,对其产生的效应进行分析和评估,进而通过数据的支持来指导口颌系统健康的维护。《医用生物力学》本期口腔生物力学专栏共发表了7篇相关研究论文,涵盖骨缺损修复中个性化钛网的优化力学设计、个性化下颌骨植入物固定板的力学性能探究、球面托槽与传统托槽对口腔黏膜的生物力学效应比较、正畸牙移动骨改建过程的有限元模拟及验证、超声无损检测牙体内部不同缺陷类型的效果比较、使用力学传感系统研究无托槽隐形矫治生物力学的误差分析,以及牵张力刺激下牙周膜细胞外泌体的成骨作用机制探索。这些研究代表了国内学者在口腔生物力学领域的前沿工作。

1 评述

颌骨缺损患者的精确修复不仅需要恢复患者外貌的完整美观性,更应使修复后能正常地行使功能。3D打印钛合金具有高度个性化、轻便、机械性能和生物相容性佳等特点,近年来受到了越来越多的关注。但目前3D打印的个性化钛网在手术过程中还存在例如稳定性不佳、精准就位困难的问题,

需要进一步改进以满足临床手术的要求。张佳园等^[1]自主设计了一种两端带有定位翼的自就位钛网,通过响应面法优化其尺寸及构型,并模拟临床植入操作加力,对其适用性进行探究。结果表明,使用40 N垂直力按压钛网主体就位过程中产生了合适的应力分布和应变,而对定位翼游离端施加10 N、45°弯折力时超过断裂应变且断面均匀平整,表明优化设计的钛网有能精确植入、定位翼易于移除的优点。每个患者的颌骨缺损情况各不相同,植入物的设计不能一成不变,该研究提供了一种通过响应面法设计和有限元验证性能的设计思路,未来有望能在临床上实现个性化、性能优、可操作性强的钛网修复。

理想的缺损修复材料和连接材料应该与骨的机械性能完全匹配,最大程度上使应力分布均匀,减少不良的力学效应。精确设计的3D打印能精确调控金属的机械性能,魏波等^[2]针对下磨牙区的颌骨缺损,在模拟闭口肌咬合加载的条件下利用拓扑优化分析设计出一种仅在大应力单元处固定的个性化固定板,设计其为承载能力佳的面心单元多孔结构,并通过Gibson-Ashby模型优化孔隙率,使之弹性模量与骨相同。有限元分析表明,在闭口肌肌力加载下,此固定板系统的应力峰值均低于常规固定板系统,且低于疲劳极限,符合临床使用的基本要求。同时,这种固定板能通过3D打印技术被实际生产。该研究在理论层面分析了个性化固定板系统的机械性能,未来应该进一步对3D打印成品进行体内外的力学分析,模拟术中和术后的应力环

收稿日期:2023-10-15; 修回日期:2023-10-16

通信作者:赵志河,教授,博士生导师,主任医师,E-mail:zhzhao@scu.edu.cn

境,探究其临床应用可行性。

在固定矫治的过程中,传统金属托槽会对患者的唇颊黏膜产生机械刺激,严重时形成糜烂或溃疡,影响患者进食和生活。许多正畸医生认为球面托槽能够更好地减少食物残渣滞留和口腔黏膜刺激,但目前缺少数据支持。郭龙妹等^[3]通过三维有限元分析,比较了上中切牙的球面金属托槽和传统金属托槽对上唇黏膜的生物力学作用。该研究模拟了中切牙不同的近远中向扭转和唇舌向倾斜场景,发现在中切牙水平向和唇舌向错位的情况下,球面托槽对唇黏膜产生的机械刺激更小。究其原因,可能是圆弧外形能更好地分散应力,而传统托槽的边缘和尖角在牙错位情况下更容易与黏膜接触,造成应力集中。但在中切牙排列整齐的情况下,球面托槽产生的最大应力更大,并集中于开启孔结构处,可能是因为球面托槽具有更大厚度;可以嘱患者在正畸结束阶段使用黏膜保护蜡等措施,防止黏膜受损。本文数据有力地支持了错合畸形矫治过程中球面托槽能减轻黏膜刺激的论点,具有可靠的参考价值。

目前正畸领域探索牙移动相关生物力学的有限元分析研究大多仅着眼于初始牙移动(牙周膜发生应变,但未发生骨改建),因为骨改建过程涉及成骨和破骨的生物学过程,难以通过软件精确模拟,这限制了生物力学研究的准确性。李慧等^[4]利用ABAQUS的自适应网格技术(ALE)和UMESHMOTION子程序,模拟了位移控制和衰减力控制下的牙槽骨重建,在模拟移动迭代计算后判定牙周膜的绝对值最大主应变,若其不为0则根据主应变方向计算下一步改建方向和量,直到绝对值最大主应变变为0,表明牙周膜达到新平衡,牙槽骨完成重建。模拟结果也显示,牙槽骨在压缩侧发生了吸收,而在牵拉侧发生了沉积,符合生物学效应。虽然该研究中牙周膜材料学性能为简化的线弹性,可能造成应力计算结果与实际情况间的差异,但其为后续正畸牙移动的有限元分析提供了骨改建精准模拟的方法学基础。

除有限元分析外,力学传感系统测力分析也是目前主要的正畸牙移动生物力学研究手段。隐形矫治器通过矫治器和牙列的不匹配产生正畸力,而在生物力学分析过程中,可能由于矫治器生产和牙

列模型组装的问题,导致正畸初始阶段未设计位移的矫治器也对模型产生了力,影响了分析准确性。张佳徐等^[5]分别利用初始研究模型和组装于传感器上的初始牙列模型作为模板制造了隐形矫治器,并与传感器上的初始牙列进行组装。结果发现,基于组装后模型生产的无位移矫治器对牙列产生的力更小,但并非零加力,推测原因为膜片材料在热压成型过程中发生了收缩,导致与模型不匹配。该结果提示后续基于传感系统的生物力学研究都应利用组装后模型生产矫治器以减小误差,而为了进一步精确控制牙移动,膜片材料的物理性质还应继续优化。

龋坏或隐裂牙在进行牙体固定修复之后,会有继发龋或隐裂进一步发展的可能性,但其发展隐匿于牙体内部,无法通过视诊直接发现,而通过影像学手段又可能因高密度影像或金属伪影而干扰了对病灶的判断。张翠平等^[6]提出了可以使用超声对牙体内部缺陷进行无损分析。该研究利用高斯线声源作为超声波发射形式,通过有限元分析手段,研究和比较了超声从多角度检测牙体内部不同缺陷类型的所需时间和信号强度。结果表明,超声检测时间不超过16 μs ,尺寸大、裂纹规则内敛时超声检出信号强,同时信号强度也和裂纹方向密切相关。该结果提示,可以通过调整超声的发射角度和分析回收信号强度来确定牙体内部缺损的主要方向朝向和大致形态。此技术未来或许可以结合口内扫描仪的建模原理,还原牙体内部缺损的真实构造。

外泌体是可携带核酸、蛋白质、脂质、氨基酸和各种代谢物等多种成分的胞外囊泡,它能介导广泛的细胞间交流,调控多种生理病理过程。牙周膜能精细感受力学刺激并发生改建,但力学刺激下牙周膜细胞能否通过外泌体调控成骨过程尚不清楚。张轶凡等^[7]通过周期性牵张力刺激人牙周膜细胞,发现牙周膜细胞能促进成骨;通过对力学刺激过程中的牙周膜外泌体进行鉴定,发现miR-181d-5p上调了107倍,其高表达明显促进细胞的成骨向分化,最终揭示了牵张力刺激下牙周膜细胞释放miR-181d-5p外泌体的成骨通路。这一结果为牙槽骨再生的研究和牙槽骨缺损的治疗提供了新思路。

2 结语

口颌系统处于一个复杂的力学环境中,开展口腔生物力学研究,能够更好地阐明口颌系统的生物力学效应,为临床现象及原理提供解释;这也是实现各种口腔新技术、新材料、新理论临床应用的重要一环。研究口腔生物力学的方法多种多样,它涵盖了基于实体模型的实验应力分析法和以有限元分析为代表的理论应力分析法。但需要注意的是,无论使用何种分析方法,都是对实际情况的简化和理想化分析,最终还是需要通过临床的实际观察和研究来证明其结果真实性和应用可行性。本期口腔生物力学专栏以有限元分析的研究手段为主,有限元分析目前多采用线弹性、均质性和各向同性的性质来模拟软硬组织,但真实情况下各种结构的物理机械性能更加复杂,个体间的解剖结构也有一定差异,故用于定量分析还不够准确。后续研究可以在解剖学上进一步还原整个口颌系统,优化物理机械参数使其更符合实际情况。本期口腔生物力学专栏的研究结果表明,通过生物力学分析,口腔医生能优化骨缺损修复材料的机械性能,实现个性化且稳定的修复;能预见牙移动形式和应力分布,指导精准化正畸;能改进牙体疾病诊断方法,提高疾病检测效率;还能从分子层面探索成骨机制,为牙周健康和组织再生修复打下理论基础。未来,口腔生物力学研究应该继续以口腔临床需求为导向,解决实际问题,最终为优化口腔诊疗效果服务。

参考文献:

[1] 张佳园,魏凌飞,冀敏,等. 自就位个性化钛网连接体的优化设计 [J]. 医用生物力学, 2023, 38(6): 874-881.

ZHANG JY, WEI LF, JI M, *et al.* Optimization design of individualized self-positioning titanium mesh connectome [J]. *J Med Biomech*, 2023, 38(6): 874-881.

[2] 魏波,刘仁顺,阎汉生. 基于 SLM 成形的下颌骨植入物固定板力学性能 [J]. 医用生物力学, 2023, 38(5): 882-887.

WEI B, LIU RS, YAN HS. Mechanical properties of mandibular implant fixation plate based on selective laser melting [J]. *J Med Biomech*, 2023, 38(5): 882-887.

[3] 郭龙妹,吉利,陈太聪,等. 球面托槽和传统托槽作用下口腔黏膜的生物力学研究 [J]. 医用生物力学, 2023, 38(6): 888-893.

GUO LM, JI L, CHEN TC, *et al.* Biomechanical study of oral mucosa under the effect of spherical and conventional brackets [J]. *J Med Biomech*, 2023, 38(6): 888-893.

[4] 李慧,张栋梁. 基于自适应网格技术方法的牙齿移动骨改建过程模拟 [J]. 医用生物力学, 2023, 38(6): 894-898.

LI H, ZHANG DL. Simulation of tooth movement and bone remodeling process using adaptive mesh technology [J]. *J Med Biomech*, 2023, 38(6): 894-898.

[5] 张佳徐,胡炜. 无托槽隐形矫治器力学平台测量系统的误差分析 [J]. 医用生物力学, 2023, 38(6): 899-904.

ZHANG JX, HU W. Error analysis on force measurement system for clear Aligners [J]. *J Med Biomech*, 2023, 38(6): 899-904.

[6] 张翠平,许小婷. 牙齿无损探伤有限元分析 [J]. 医用生物力学, 2023, 38(6): 904-909.

ZHANG CP, XU XT. Finite element analysis on non-destructive testing of dental defects [J]. *J Med Biomech*, 2023, 38(6): 904-909.

[7] 张轶凡,瞿方,王莹莹,等. 牵张刺激下牙周膜细胞外泌体 miR-181d-5p 在调控成骨细胞分化中的作用 [J]. 医用生物力学, 2023, 38(5): 910-916.

ZHANG YF, QU F, WANG YY, *et al.* The Role of Exosome miR-181d-5p secreted by periodontal ligament cells under stretch loading in the regulation of osteoblast differentiation [J]. *J Med Biomech*, 2023, 38(5): 910-916.