

文章编号: 1004-7220(2022)06-0990-03

眼生物力学专栏论著评述

陈维毅

(太原理工大学 生物医学工程学院, 太原 030024)

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.06.002

眼睛是人体最重要的感觉器官之一,眼科学的持续进步是医学科学发展的重要分支,在这一过程中,眼生物力学研究日益受到人们的重视,并在眼科疾病的诊疗中发挥着越来越重要的作用。《医用生物力学》本期眼生物力学专栏共发表了7篇眼生物力学相关的论文,涉及小梁网组织力学特性测试、眼外肌黏附特性研究、角膜夹持器设计、角膜黏弹性对喷气试验的影响、眼后段药物缓释建模分析、激光治疗近视眼手术效果分析、超声乳化白内障吸除术治疗老年闭角型青光眼。这些研究成果对眼球运动疾病治疗、角膜手术的安全性、眼科给药、青光眼的发病机制及诊疗等都具有理论意义和临床价值。

1 评述

在开角型青光眼中,小梁网组织的力学特性与其滤过能力及对房水外流的调控功能之间关联密切。常金龙等^[1]用原子力显微镜(atomic force microscope, AFM)压痕实验对SD大鼠的小梁网组织力学特性进行测试并开展有限元模拟,发现各向异性小梁网力学模型可以较好地模拟压痕实验结果。该结果说明,各向异性力学模型可用来描述小梁网的力学特性。同时,这一发现也解释了单轴拉伸与AFM压痕实验获得的小梁网组织弹性模量之间为什么会有3个数量级的差别。该结果也提示,在用AFM压痕实验对生物软组织进行力学特性测试时,一定要考虑组织的各向异性力学特性。

何静等^[2]用刚性球形压头对暴露在空气中的离体猪眼外肌进行压痕-分离实验,发现JKR理论能较好描述眼外肌的黏附行为。尽管该研究所用的钢球与眼外肌的黏附实验还不能等同于生理状态下眼球运动时巩膜与眼外肌的黏附,但对眼外肌黏附特性的初步了解及分析方法可为将来进一步开展生理状态的实验分析提供参考。眼外肌黏附行为会对眼球运动会造成一定的影响,是该研究的一个新思想。对眼球运动疾患手术设计等所需要的眼球运动模型而言,考虑眼外肌黏附行为可能会带来计算精确的提高。

符志谋等^[3]设计了一种用于角膜缝合手术的负压吸附式角膜夹持器,利用流固耦模型对吸附参数开展仿真研究,并与离体猪眼球吸附实验进行对照;通过对被夹持角膜的应力分析,评估了该角膜夹持器的操作安全性。该方案采用负压将角膜吸附提升至合适的缝合高度后再用直针进行缝合,可克服传统夹持方法使用的带齿镊子易损伤组织、且用弯针缝合深度不易控制的缺点。该研究所提出的角膜夹持器为改善角膜缝合操作稳定性与安全性,以及精确调控缝合深度提供了一种可行方案,具有一定的临床推广价值。

角膜生物力学特性是角膜疾病诊疗的重要参考指标之一。目前,眼科医生在临床上采用眼反应分析仪(ocular response analyzer, ORA)和可视化角膜生物力学分析仪(Corvis ST)在体测量角膜的黏弹性响应来指导早期圆锥角膜的诊断、手术方案的

收稿日期:2022-11-28; 修回日期:2022-12-01

通信作者:陈维毅,教授, E-mail: chenweiyi@tyut.edu.cn

设计及术后风险的评估,但这种方法不能直接得到角膜的材料力学特性。研究者多通过建模分析与实验进行对比的反分析法来获得。林鲁超等^[4]基于患者的个性化全眼几何模型,使用层流模型模拟眼房水、湍流模型模拟气体的喷射过程来模拟喷气试验,分析眼内压、角膜刚度、巩膜刚度对线弹性角膜模型和黏弹性角膜模型计算的喷气结果的影响。结果表明,当眼内压、巩膜刚度和角膜刚度在一定范围内变化时,选用线弹性与黏弹性材料模型的角膜顶点最大位移的变化差异微小。因此,在临床上采用喷气法评估角膜生物力学响应时可忽略角膜黏弹性的影响。需要说明的是,对该研究所述的喷气试验而言,由于角膜变形在毫秒级,速度较快,这时对变形影响的主要参数是角膜黏弹性中的瞬态模量,而临床上角膜扩张病变是一个长期过程,主要与角膜黏弹性中的稳态模量有关,故临床诊断和分析中参考上述结果时需要注意到这一点。

有限元分析方法在药物动力学的分析过程中多有应用。竹鑫裕等^[5]建立了三维眼后段药物传递模型。该模型耦合了水凝胶载体降解过程、视网膜色素上皮细胞主动吸收引起的对流作用、眼内压差引起的渗透过程,结合考虑各组织中药物的扩散能力和吸收清除作用,基于流场与浓度场的耦合反应,分析药物在整个眼后段中的流动和扩散过程。模型分析表明,可降解水凝胶能通过防止药物中心移动和限制凝胶内部药物扩散的方式延长药物在眼后段的停留时间,合理调整水凝胶注射位置和降解性能参数能有效提高其治疗效果。

目前,飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE)矫正屈光不正已在我国得到普遍应用,年手术量达百万例,而SMILE术后医源性角膜扩张的病例也有报道。通过生物力学分析对SMILE术的安全性进行研究变得十分必要。肖策文等^[6]采用有限元方法模拟分析SMILE手术参数对角膜生物力学行为的影响,并采用交联强度梯度分布的超弹性模型表征角膜的生物力学性能,探究核黄素紫外线角膜胶原交联手术对SMILE术后角膜的生物力学性能的影响。结果表明,优化SMILE手术参数可改善术后角膜的生物力学行为,SMILE术联合角膜交联术有助于提高术后角膜的生物力学强度。

以往临床上多通过传统小梁切除手术治疗青光眼,但该手术极易引发角膜水肿、虹膜萎缩等多种并发症。目前,超声乳化白内障吸除术在临床中的应用越来越普遍,该手术不仅可以使患者眼压得到改善,还能进一步恢复房水循环。龚媛媛等^[7]对两组闭角青光眼老年患者分别行小梁切除(对照组)和超声乳化白内障吸除手术(干预组)治疗,观察患者的眼压、视力、并发症发生率、前房深度、房角粘连闭合、血液流变学等指标。结果发现,治疗前上述各项指标均没有显著性差异;治疗后,与对照组相比,干预组眼压、并发症发生率、血液流变学指标(血浆黏度、红细胞压积及血小板黏附率)均明显降低;视力、前房深度及房角粘连闭合度均得到更明显的改善。该结果说明,老年闭角型青光眼患者接受超声乳化白内障吸除术治疗可有效增强疗效,且能降低并发症发生率,故超声乳化白内障吸除术可在老年青光眼治疗中推广使用。但该研究对为什么前述两种眼科术式会引起血液流变学特性改变的原因没有说明,而关于眼科手术会带来人体血液流变学特性改变的研究也鲜见报道。因此,该论文的这一观察结果还需要进一步的考察或其他佐证支持。

2 结语

生命离不开运动,运动就要受力。目前生物力学研究方兴未艾,在医学诊疗和健康领域中的作用越来越受到重视。作为生物力学重要分支的眼生物力学近年来也发展迅速,尤其是在近视、圆锥角膜、青光眼、视网膜脱落等眼疾的发病机制及诊疗中已经发挥着不可或缺的作用。我国的许多眼科医生已经与生物力学研究者密切合作,涉及眼科手术的安全性、新型手术的可行性、眼科疾病发生的力学生物学机制、新型眼科诊疗设备的研制等方面,也都需要眼生物力学研究者的继续深度参与。眼生物力学的理论和临床研究成果正不断涌现,相信在不远的将来,诸如临床上还暂无有效或常规手段解决的病理性近视等眼疾问题,也会在眼生物力学研究者和眼科界的共同努力下得到有效解决。

参考文献:

- [1] 常金龙,王川,李坦,等.小梁网组织表面力学特性及其各

- 向异性模型[J]. 医用生物力学, 2022, 37(6): 1000-1005.
- CHANG JL, WANG C, LI T, *et al.* The surface mechanical property of trabecular meshwork and its anisotropic model [J]. J Med Biomech, 2022, 37(6): 1000-1005.
- [2] 何静, 高志鹏, 张晨曦, 等. 眼外肌黏附行为对眼球运动的影响[J]. 医用生物力学, 2022, 37(6): 1006-1013.
- HE J, GAO ZP, ZHANG CX, *et al.* Effects of adhesion behavior of extraocular muscles on eye motion [J]. J Med Biomech, 2022, 37(6): 1006-1013.
- [3] 符志谋, 郑昱, 广晨韩, 等. 负压吸附式角膜夹持器设计与吸附参数仿真研究 [J]. 医用生物力学, 2022, 37(6): 1014-1019.
- FU ZM, ZHENG Y, GUANG CH, *et al.* [J]. Design of corneal holder based on negative pressure suction and simulation of suction parameters [J]. J Med Biomech, 2022, 37(6): 1014-1019.
- [4] 林鲁超, 陶兴明, 宋银宇, 等. 角膜黏弹性对喷气试验的影响[J]. 医用生物力学, 2022, 37(6): 1020-1025.
- LIN LC, TAO XM, SONG YY, *et al.* Effects of corneal viscoelasticity on air-puff test [J]. J Med Biomech, 2022, 37(6): 1020-1025.
- [5] 竹鑫裕, 段春争, 李红霞, 等. 可降解载药原位水凝胶在眼后段药物缓释的有限元分析[J]. 医用生物力学, 2022, 37(6): 1026-1031.
- ZHU XY, DUAN CZ, LI HX, *et al.* Finite element analysis on biodegradable drug-loaded *in-situ* hydrogels for sustained release of drugs in posterior eye [J]. J Med Biomech, 2022, 37(6): 1026-1031.
- [6] 肖策文, 肖厦子, 文丹, 等. 基于角膜生物力学对小切口角膜基质透镜取出手术优化及联合角膜胶原交联手术的效果分析[J]. 医用生物力学, 2022, 37(6): 1032-1038.
- XIAO CW, XIAO XZ, WEN D, *et al.* Parameter optimization of small incision lenticule extraction and analysis on surgical effect of corneal cross-linking based on corneal mechanical properties[J]. J Med Biomech, 2022, 37(6): 1032-1038.
- [7] 龚媛媛, 徐旭亚, 王丹丹. 超声乳化白内障吸除术对老年闭角型青光眼患者血液流变学的影响[J]. 医用生物力学, 2022, 37(6): 1039-1043.
- GONG YY, XU XY, WANG DD. Effects of phacoemulsification and cataract extraction on hemorheology in patients with senile angle-closure glaucoma [J]. J Med Biomech, 2022, 37(6): 1039-1043.