

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2021.09.043

· 专论与综述 ·

角膜生物力学的测量及临床应用进展*

代智敏¹ 谷浩^{1Δ} 莫云飞² 喻露¹ 侯莉娜¹

(1 贵州医科大学 贵州 贵阳 550004; 2 济宁任城爱尔眼科医院 山东 济宁 272000)

摘要:角膜是重要的屈光间质,约占眼光学系统总屈光力的70%;因其特殊的生理结构,可表现出复杂的生物力学性质。随着近年来科学技术的进步,用于测量角膜生物力学的方法也在不断更新,获得的生物力学参数也更加精确。越来越多的国内外研究团队将对角膜生物力学的研究同临床相结合,发现当角膜形态发生变化时,其生物力学参数也会发生相应的改变。因此,可以通过对患者角膜生物力学的测量来判断病变的发展程度,也可以根据所测得的力学参数来进行手术设计,甚至可以初判患者的愈后情况。但在角膜生物力学方面的研究仍缺乏深度,对其与部分临床疾病的联系仍缺乏充分的认知,仍需探讨如何将角膜生物力学检查更好地服务于临床。本文将对角膜生物力学的离体、活体测量方法及其目前在圆锥角膜、青光眼、翼状胬肉、屈光不正及屈光不正的矫正等临床方面的应用研究作一综述。

关键词:角膜;生物力学;测量方法;临床应用

中图分类号:R772.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2021)09-1796-05

Progress in Measurement and Clinical Application of Corneal Biomechanics*

DAI Zhi-min¹, GU Hao^{1Δ}, MO Yun-fei², YU Lu¹, HOU Li-na¹

(1 DGuizhou Medical University, Guiyang, Guizhou, 550004, China;

2 Jining Rencheng Aier Eye Hospital, Ji'ning, Shandong, 272000, China)

ABSTRACT: The corneal is an important refractive stroma, which accounts for 70% of the refractive power of the eye optical system. The complex biomechanical properties can be shown because of its special physiological structure. With the progress of technology in recent years, the methods used to measure corneal biomechanics are constantly updated, and the biomechanical parameters obtained are more accurate. More and more research teams at home and abroad combine the research on corneal biology with clinic, and find that when the corneal morphology changes, the biomechanical parameters will change accordingly. Therefore, we can judge the development of the disease by measuring the corneal biomechanics of the patients, and can also design the operation according to the measured mechanical parameters, and even preliminarily judge the prognosis of the patients. However, researches on corneal biomechanics are still lack of depth, and still lack sufficient understanding of its relationship with some clinical diseases. It is still need to explore how to better serve the clinical practice of corneal biomechanical examination. In this article, the measurement methods of corneal biomechanics in vitro and in vivo, and the recent researches on clinical applications of corneal biomechanics, like keratoconus, glaucoma, pterygium, ametropia and correction of ametropia are briefly reviewed.

Key words: Corneal; Biomechanics; Measurement; Clinical application

Chinese Library Classification(CLC): R772.2 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2021)09-1796-05

引言

角膜是组成眼球壁外层的主要结构,对眼球内容物起到了一定的保护作用,任何形式的外力都有可能致角膜受损,从而影响角膜的形态、结构及功能^[1]。本文将角膜在承受外界压力时的反应和变形方式称为角膜生物力学。由于角膜主要是由致密排列的胶原纤维束和细胞外基质组成^[2],这些组织结构决定

了最主要的角膜生物力学性能:黏弹性、非线性、各向异性和不可压缩性等^[3]。通过对角膜的生物力学进行检测,有助于了解整个角膜的生物力学特性,在疾病的诊断和治疗方面具有较大的临床意义。

1 角膜生物力学的测量方法

1.1 离体测量

* 基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合(2016)支撑 2825 号)

作者简介:代智敏(1991-),女,硕士研究生,从事角膜、屈光不正方向的研究,E-mail: dzm1192251512@163.com

Δ 通讯作者:谷浩(1969-),男,硕士,教授,从事角膜、屈光不正方向的研究,E-mail: 13765135577@139.com

(收稿日期:2020-12-28 接受日期:2021-01-23)

目前对角膜生物力学的测量主要包括离体测量和活体测量两大方面。离体测量主要包括轴向拉伸试验、角膜膨胀试验。

1.1.1 轴向拉伸试验 轴向拉伸试验是离体测量角膜生物力学中最常用也是最经典的一种方法。操作过程是将离体的角膜材料切成条形,将其固定在轴向拉伸仪上,通过对其进行拉伸试验使得角膜发生形变,从而获得相应的角膜生物力学参数。该方法的优点是操作便捷,但是因为对所取角膜材料施加的拉伸力方式与角膜本身在正常生理环境中所受力的方式不同、角膜材料本身的生理形状被破坏,所测得的结果即不同,误差较大。

1.1.2 角膜膨胀试验 (1)简单离体角膜膨胀试验 取完整分离出并附带有部分巩膜缘的角膜组织材料,将其固定在注满液体的前房模拟装置中,以其给离体角膜材料施加的压力来模拟眼内压,通过一些非接触的光电设备仪器来测量记录角膜形变过程。此测量方法是在薄壳理论的基础上,通过推导出相应的计算公式得出角膜的生物力学参数。该试验方法的优点是所取角膜材料结构相对完整,模拟装置环境及施加压力的方式更接近于角膜本身的生理状态;但因其仍然在一定程度上破坏了连续的角巩膜结构,且该试验方法建立在假设角膜为一厚度均匀、具有均质性生物力学特性的球形结构的基础上,降低了测量结果的准确性。

(2)离体角膜膨胀试验 通过逆向建模技术构建相应的角膜生物力学模型,模拟角膜在眼内压作用下的整个形变过程,并记录角膜前顶点的前突位移值,运用反复迭代运算的方法,计算角膜的应力、应变、正切模量值等生物力学参数。此方法具有良好的精确性和可重复性,但是因离体取材,难以模拟出角膜在体时的生理状态,加压时压力难以精确控制、加压过程中空气易进入液体,这些都会使测量结果的准确性受到一定的影响。

(3)离体全眼球膨胀试验 以离体的整体眼球作为研究对象,对其进行膨胀试验,从而研究角膜生物力学特性的方法。该方法尽可能的维持了角膜生理状态,但仍面临整个操作过程中仪器设备操作繁杂、难以提供接近生理状态的眼球支撑方式、无法消除巩膜对试验结果的影响等技术难题。

1.2 活体测量

1.2.1 眼反应分析仪(ocular response analyzer, ORA) ORA 是一种新型非接触式喷气式眼压计,同时也是一种最早应用于临床的在体测量角膜生物力学的仪器^[4,5]。该仪器通过非接触的动态双向压平原理,一方面可以测得眼内压(intraocular pressure, IOP),另一方面,还可以测出反应角膜生物力学特性的指标:角膜滞后量(corneal hysteresis, CH)和角膜阻力因子(corneal resistance factor, CRF)^[6,7]。ORA 通过空气泵向角膜投射一个快速空气脉冲,使角膜受到一个向内的压力从而产生向内运动;此时,中央角膜被压平并产生向内凹陷,称为角膜经历的第一次压平(P1)。之后空气脉冲压力逐渐减小,角膜因自身弹性由最大凹陷状态逐渐回复至原先自然状态,在此过程中,角膜会经历第二次压平(P2)。两个压力的差值称为角膜滞后量(CH)。角膜的黏性不同,所测出的两次压力值不同,即该测量值可反应出角膜的黏性阻力。有研究表明,CH 测量值与正常角膜厚度呈正相关性^[8]。角膜阻力因子(CRF=P1-kP2, k为常数)主要反映角膜受到气流压力产生形变时的阻力累积效应^[9],代表了角膜对施加外力的抵抗力之和,其与角膜中央厚度也呈显著的正相关性。

ORA 在测量眼压时排除了中央角膜厚度和硬度的影响,其测量结果受角膜厚度等角膜特性的影响较小,准确性较高。但因其未建立出测量参数与生物力学参数间的关系,无法直接展示角膜生物力学特性。

1.2.2 可视化角膜生物力学分析仪 (corneal visualization scheimpflug technology, Corvis ST) Corvis ST 是另一种非接触式喷气式眼压计,主要由下颌托、测压头、Scheimpflug 高速相机、信号处理分析及显示等部分构成。该设备通过喷出恒定的脉冲气流,使角膜发生压陷形变,Scheimpflug 高速相机将整个角膜动态形变过程记录下来,经系统软件分析将其结果显示在控制面板上。根据角膜的整个形变过程,可以获得如下参数:第一压平时间(1st-A time,即角膜自初始状态至第一压平状态的时间)、第二压平时间(2nd-A time,即角膜自初始状态至第二次压平状态的时间)、第一压平长度(1st-A length,即角膜自初始状态至第一次压平状态角膜水平截面压平长度)、第二压平长度(2nd-A length,即角膜自初始状态至第二次压平状态角膜水平截面压平长度)、第一压平速度(V_{in},即第一压平状态时角膜顶点的瞬时速率)、第二压平速度(V_{out},即第二压平状态时角膜顶点的瞬时速率)、最大压陷时间(HC time,即角膜自初始状态至最大压陷状态的时间)、最大压陷时角膜曲率半径(HC radius,即达最大压陷状态时角膜反向曲率半径)、最大压陷时两峰间距(PD,即最大压陷状态时角膜两个屈膝峰之间的距离)、最大压陷深度(DA,即达最大压陷状态时角膜顶点间的垂直距离)^[10]。此外,Corvis ST 还可根据角膜初始状态中央水平截面图测量出该截面角膜中央点的厚度(Central Corneal Thickness, CCT)、根据角膜形变过程和第一压平状态计算出眼内压(Intraocular Pressure, IOP)。目前新型 Corvis ST 还可通过综合各测量参数生成新型的圆锥角膜生物力学指数(corneal biomechanical index, CBI),该指数在圆锥角膜的诊断过程中起到重要作用。

参数测量是否具有重复性和一致性是评估一个设备应用是否可靠的重要指标。在一些研究中发现 CCT 是 Corvis ST 所测参数中重复性最好的,DA、A-time1 和 IOP 次之,其余参数重复性均较差。原因可能是角膜粘弹性、各向异性等生物力学特性不同导致角膜每次受压形变情况不同,也有可能是因为外界条件对部分力学参数的获取影响较大,因难以精确计算使获得的数据出现偏差。有研究表明,年龄、IOP、CCT、屈光手术等都会影响到参数测量的准确性^[11-13]。

Corvis ST 对许多疾病的检测都具有较好的重复性^[14],这有益于临床中对一些疾病的诊断。但因其测量过程中仅记录了角膜横断面发生的形变,忽略了角膜其他方向上的形变过程,使得该检查方式在一些特殊疾病的检测过程中出现误差。此外,当角膜因疾病或者手术后发生混浊水肿时,Scheimpflug 高速相机因成像技术的有限性,无法采集到清晰的图像,无法较为准确的记录角膜生物力学参数。

2 角膜生物力学的临床应用

2.1 圆锥角膜

圆锥角膜(keratoconus, KC)是一种双侧进行性非炎症性角膜扩张病变,以角膜中央或旁中央变薄向前凸起为特征,可导致高度不规则散光、视力下降并致盲^[15-17]。现用于诊断圆锥角膜

的方法主要有 Orbscan 角膜地形图、Pentacam 眼前节测量分析仪、共聚焦显微镜、眼反应分析仪等,目前认为角膜生物力学性能下降是导致圆锥角膜发生的主要原因之一,即在角膜形态发生改变之前,角膜生物力学已发生了变化。吴元等^[18,19]人通过研究发现,利用 Corvis ST 对角膜生物力学状态进行检测,可区分出圆锥角膜、亚临床期圆锥角膜及正常角膜,且多项生物力学参数指标与正常人相比差异均具有统计学意义,其中以 CCT、HCR 这两项指标最为敏感。在一项利用 Corvis ST 对圆锥角膜的诊断进行预测性分析的研究中^[20],通过对角膜生物力学指数(CBI)、综合偏差分析指标(BAD)及综合风险指数(TBI)的相关性进行分析,肯定了 Corvis ST 在圆锥角膜诊断中的参考价值。

目前用于治疗圆锥角膜的手术方式主要有:角膜胶原交联(corneal collagen cross-linking, CXL)、穿透性角膜成形术(penetrating keratoplasty, PK)、角膜基质环植入术(ICRS)、深层前板层角膜成形术(DALK)、传导性角膜成形术、人工晶状体植入术(PIOLs)、前弹力层移植术及基因治疗等^[21]。其中,穿透性角膜成形术(PK)是最传统的一种角膜移植手术方式,但圆锥角膜患者行 PK 术后角膜生物力学特性变化的研究结果却不一致:有研究表明,圆锥角膜患者 CH、CRF 的降低程度随病变程度的加重而加重,也有学者通过 Corvis ST 检测发现病程不同、病变程度不同的圆锥角膜患者角膜生物力学参数变化无明显差异^[22],但大部分研究结果仍可证实:通过 Corvis ST 检测可发现圆锥角膜患者的检测结果同正常对照组比较具有明显差异,且第一压平时间(A1T)可能是在诊断圆锥角膜过程中最具有价值的参数。

角膜胶原交联术(corneal collagen cross-linking, CXL)是目前治疗圆锥角膜的有效手术方式之一^[23,24]。通过 370 nm 波长的紫外光照射滴加了核黄素的角膜,角膜胶原纤维的氨基间发生化学交联反应,产生共价连接键,从而增加角膜生物力学的稳定性,在一定程度上阻止圆锥角膜的进展。通过 Corvis ST 测量发现,接受 CXL 术后的圆锥角膜患者最大压陷时角膜曲率半径(HC-radius)明显增大,最大压陷深度(DA)明显下降^[25],这也从一定程度上证实了 CXL 可进一步增加角膜的刚度。

2.2 青光眼

青光眼是一组以视神经萎缩及视野缺损为特征的病变,病理性眼压升高是其主要的危险因素,因此眼压(IOP)测量在青光眼的诊断及治疗过程中占有重要的地位,获取准确的 IOP 值至关重要^[26,27]。Corvis ST 可通过对角膜厚度、年龄、生物力学等因素进行校正,测量出生物力学校正眼压(bIOP),该眼压值可较为真实的反应眼内压力情况^[28]。目前研究表明,角膜厚度及角膜生物力学参数均会影响 IOP 的测量,而 Corvis ST 对 IOP 及 CCT 的测量均具有较好的可重复性^[29]。此外,杜绍林等^[30]通过研究发现视神经筛板的生物力学特性与角膜生物力学特性相关,存在利用角膜生物力学初步评估视盘生物力学性能的可能。因此,通过对角膜生物力学的研究可以进一步了解视神经损坏的情况,对青光眼患者的诊断及治疗具有一定的帮助。

2.3 翼状胬肉

翼状胬肉是眼科的常见眼表疾病,以睑裂区球结膜下组织增生肥厚、呈三角形翼状长入角膜为特征,其病理学基础是纤维组织增生和新生血管的形成^[31,32]。随着病情进展,翼状胬肉可

对角膜产生牵拉作用,角膜曲率及形态发生变化,导致患者出现散光、视力低下等,患者的视觉质量严重下降。现阶段在翼状胬肉对角膜生物力学特性影响方面的研究较少。赵静等^[33]在一项利用 Reichert 眼反应分析仪(ORA)对 40 例诊断为单眼鼻侧单纯翼状胬肉患者检测的研究中发现:该类患者的角膜阻力因子(CRF)和角膜滞后量(CH)低于正常眼;角膜水平曲率及垂直曲率均较正常眼降低,并以水平角膜曲率降低为重;因角膜曲率发生变化,角膜散光值也随之发生改变。由此可知,可以通过对翼状胬肉患者的角膜生物力学进行测定,发现其对角膜的影响程度,这对确定患者治疗方案具有一定的指导意义。

2.4 屈光不正

在眼调节静止时,如果来自 5m 外的平行光线通过眼的屈光系统无法聚焦在视网膜黄斑中心凹,即不能产生清晰的图像,称之为屈光不正,其中包括近视、远视、散光及屈光参差。无论是对于青少年还是成人,角膜生物力学参数与屈光度均具有一定的相关性,且近视眼角膜比正视眼或远视眼角膜更容易发生变形^[34,35]。

对于近视眼及远视眼来说,二者的区别主要在于等效球镜、角膜屈光力及眼轴的拉伸程度。眼轴延长可导致不可逆的视觉损害及眼底病变,同时对眼球壁的硬度及巩膜的厚度也会带来一定的影响。近视眼患者的巩膜 I 型胶原蛋白合成减少,巩膜外层的胶原蛋白直径减少,这些变化使巩膜的硬度降低,从而使视网膜神经纤维层(Retinal nerve fiber layer, RNFL)变薄。沈如月^[36]等人通过对 53 例高度近视患者应用 Corvis ST 测量角膜生物力学参数发现,高度近视患者的角膜容易发生变形,且以下方角膜的 RNFL 受累较严重。因此,可以通过对近视患者进行角膜生物力学特性的研究,尽早发现 RNFL 的受累情况,及时进行干预,以防视功能进一步损害。

在既往的研究中发现近视性屈光参差患者双眼间的眼压、角膜厚度、角膜屈光力、角膜阻力因子量(CRF)和角膜滞后量(CH)具有高度一致性,其中双眼间角膜生物力学参数及眼压无明显差异,CRF 与 CH 随角膜厚度及角膜屈光力的增大而增大,CH 随眼内压的增高而降低。导致这一结果的原因可能和眼轴的增加及后巩膜拉长有关。

2.5 屈光不正的矫正

屈光不正的矫正方法分为非手术及手术两大类。其中非手术主要是指通过佩戴角膜塑形镜、软性角膜接触镜或框架眼镜等进行视力矫正的方法。角膜塑形镜是一种高透氧材料制作的、新型的夜戴型硬性角膜接触镜,通过反几何的设计,暂时改变角膜表面形态,降低角膜表面曲率,从而达到矫正屈光不正的目的。该方法属于物理矫形,不会改变角膜本身结构,现已广泛应用于青少年的视力矫正。

国内外均有研究团队利用眼反应分析仪(ORA)测量角膜生物力学特性,从而对角膜塑形效果进行评估,但在角膜生物力学属性是否会影响角膜塑形镜的矫正效果方面仍存在争议:有国外研究团队认为二者存在一定的相关性,且 CH 值越高,塑形过程中角膜曲率变化越慢,摘镜后恢复速度也越慢^[37];而周佳奇等^[38]通过研究并未发现二者之间的相关性,即未能证实角膜生物力学参数 CRF、CH 值在角膜塑形镜使用过程中所起到的作用。因此,仍需通过优化测量研究方案、尽可能排除干扰

因素,进一步探讨角膜生物力学参数是否能够预测角膜塑形术的治疗效果。

目前,准分子激光术、飞秒激光微切口透镜取出术(Small incision lenticule extraction, SMILE)、有晶状体眼后房人工晶状体(Implantable Contact Lens, ICL)植入术等是屈光矫正的常用手术方法。准分子激光原位角膜磨镶术(laser in situ keratomileusis, LASIK)也称为自动板层角膜成形联合准分子激光角膜切削术,随着飞秒激光技术应用于临床,为了能够更精确、更安全的制作角膜瓣,飞秒激光辅助的准分子激光原位角膜磨镶术(femtosecond laser in situ keratomileusis, FS-LASIK)应运而生。刘春生等^[29]通过对接受 LASIK 手术患者的手术前后角膜刚度与角膜厚度、眼内压与角膜厚度变化等相关性的研究,推导出手术后角膜刚度的预测公式: $S_{术前} = 1.055bIOP_{术前} + 0.015CCT_{术前}$, $S_{术后} = 0.937S_{术前} + 0.019CCT_{术后}$ 。该公式可以帮助术者进一步了解患者术后角膜变形情况,为确定手术角膜的切削量起到指导作用。

SMILE 手术是利用飞秒激光精准聚焦于角膜基质层,根据患者的屈光度分别在角膜相对浅层面及相对深层面切割两个界面,形成一个光学透镜,并从小切口将其取出^[40,41]。该手术方式一方面因可以较精确的对角膜进行切削,降低手术风险;另一方面因无需制作角膜瓣,可有效保留角膜前弹力层及较硬的浅基质层,使术后角膜仍具有良好的生物力学特性。目前已有多个研究团队通过研究发现 SMILE 手术后角膜生物力学的稳定性优于 LASIK 手术^[42,43],但也有研究表明 SMILE 和 LASIK 术后角膜生物力学参数不具有明显的差异^[44]。

ICL 植入术无需对角膜进行切削,手术过程不会破坏角膜中央光学区,保留了自身晶状体的调节作用和光学放大作用,且具有良好的生物相容性及可逆性,是目前矫正屈光不正的主要手术方式之一。现阶段对该手术方式的研究方向主要集中在其对视觉质量的影响及术后并发症方面,而在角膜生物力学方面的研究仍较欠缺。

3 小结与展望

随着科学技术的进步,角膜生物力学测量的仪器日益更新,所测得的数据也更加精确,这有益于对疾病的认知以及手术方式的选择,但目前仍对较多眼科疾病的角膜生物力学研究存在空缺及争议,这需要更多的临床工作者不断改进研究方法、扩大研究样本量,以完善其在临床应用研究方面的不足之处。

参考文献(References)

- [1] 薛超,向尧齐,王雁,等.人眼角膜基质生物力学特性研究[J].眼科新进展, 2019, 39(11): 1009-1013
- [2] 包芳军,邓曼丽,王勤美.角膜生物力学性能测量技术的研究进展[J].中华眼科杂志, 2015, 51(11): 875-880
- [3] 汪倩,王琳琳,张妍,等.角膜生物力学特性的测量方法研究现状[J].国际眼科杂志, 2016, 16(10): 1840-1846
- [4] Zimmermann M, Pitz S, Schmidtman I, Pfeiffer N, et al. The Relationship between the Waveform Parameters from the Ocular Response Analyzer and the Progression of Glaucoma [J]. Ophthalmol Glaucoma, 2018, 1(2): 123-131
- [5] Qin X, Yu M, Zhang H, et al. Tonographic Effect of Ocular Response Analyzer in Comparison to Goldmann Applanation Tonometry [J]. PLoS One, 2017, 12(1): e0169438
- [6] Okafor KC, Brandt JD. Measuring intraocular pressure [J]. Curr Opin Ophthalmol, 2015, 26(2): 103-109
- [7] Yuksel N, Duru N, Uz E, et al. Evaluation of Intraocular Pressure by Ocular Response Analyzer in Patients Undergoing Hemodialysis [J]. J Glaucoma, 2016, 25(4): e355-e358
- [8] Carbonaro F, Hysi PG, Fahy SJ, et al. Optic disc planimetry, corneal hysteresis, central corneal thickness, and intraocular pressure as risk factors for glaucoma [J]. Am J Ophthalmol, 2014, 157(2): 441-446
- [9] 许雅利,邵雪丽,金婉卿,等.角膜生物力学测量方法及临床应用[J].国际眼科杂志, 2018, 18(6): 1055-1058
- [10] 陈昕妍,秦晓,张海霞,等.可视化角膜生物力学分析仪在眼科临床中的应用[J].中国医疗设备, 2018, 33(7): 101-106
- [11] Bao F, Deng M, Wang Q, et al. Evaluation of the relationship of corneal biomechanical metrics with physical intraocular pressure and central corneal thickness in ex vivo rabbit eye globes [J]. Exp Eye Res, 2015, 137: 11-17
- [12] Frings A, Linke SJ, Bauer EL, et al. Effects of laser in situ keratomileusis (LASIK) on corneal biomechanical measurements with the Corvis ST tonometer [J]. Clin Ophthalmol, 2015, 9: 305-311
- [13] Kato Y, Nakakura S, Asaoka R, et al. Ocular Biomechanics Study Group. Cataract surgery causes biomechanical alterations to the eye detectable by Corvis ST tonometry [J]. PLoS One, 2017, 12(2): e0171941
- [14] Martínez-Abad A, Piñero DP. New perspectives on the detection and progression of keratoconus [J]. J Cataract Refract Surg, 2017, 43(9): 1213-1227
- [15] 中国圆锥角膜诊断和治疗专家共识(2019年)[J].中华眼科杂志, 2019, (12): 891-892-893-894-895
- [16] Imbornoni LM, McGhee CNJ, Belin MW. Evolution of Keratoconus: From Diagnosis to Therapeutic [J]. Klin Monbl Augenheilkd, 2018, 235(6): 680-688
- [17] Mukhtar S, Ambati BK. Pediatric keratoconus: a review of the literature [J]. Int Ophthalmol, 2018, 38(5): 2257-2266
- [18] 吴元,李晓丽,杨松霖,等.应用 CorVis ST 对圆锥角膜及亚临床期圆锥角膜生物力学特性的研究及判别标准分析[J].北京大学学报(医学版), 2019, 51(5): 881-886
- [19] 吴元,李晓丽,晏晓明,等.基于 Corvis ST 的角膜生物力学参数在圆锥角膜诊断中的价值[J].中华实验眼科杂志, 2018, 36(2): 130-134
- [20] 冯熠,贺瑞,马秋霞,等.不同眼压及角膜厚度下屈光不正眼 Pentacam 和 Corvis ST 圆锥角膜综合筛查指数的相关性研究[J].临床眼科杂志, 2020, 28(04): 337-340
- [21] Shetty R, Kaweri L, Pahuja N, et al. Current review and a simplified "five-point management algorithm" for keratoconus [J]. Indian J Ophthalmol, 2015, 63(1): 46-53
- [22] Elham R, Jafarzadehpour E, Hashemi H, et al. Keratoconus diagnosis using Corvis ST measured biomechanical parameters [J]. J Curr Ophthalmol, 2017, 29(3): 175-181
- [23] Evangelista CB, Hatch KM. Corneal Collagen Cross-Linking Complications [J]. Semin Ophthalmol, 2018, 33(1): 29-35
- [24] Sachdev GS, Sachdev M. Recent advances in corneal collagen cross-linking [J]. Indian J Ophthalmol, 2017, 65(9): 787-796

- [25] Bekesi N, Gallego-Muñoz P, Ibarés-Frías L, et al. Biomechanical Changes After In Vivo Collagen Cross-Linking With Rose Bengal-Green Light and Riboflavin-UVA [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(3): 1612-1620
- [26] 刘雯婷,沈念慈,朱力,等.高血压症及原发性开角型青光眼患者的24 h眼压波动规律[J].*中国眼耳鼻喉科杂志*, 2020, 20(5): 369-374
- [27] 钱朝旭,黄永健. Corvis ST 测量青光眼患者眼压及中央角膜厚度的准确性研究 [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2017, 19(6): 345-349
- [28] Vinciguerra R, Ambrósio R Jr, Elsheikh A, et al. Detection of Keratoconus With a New Biomechanical Index [J]. *J Refract Surg*, 2016, 32(12):803-810
- [29] 钱朝旭,黄永健. Corvis ST 角膜生物力学分析仪在青光眼患者中的可重复性研究[J].*齐齐哈尔医学院学报*, 2016, 37(35): 4417-4419
- [30] 杜绍林,郑文凯,董秀清,等.青光眼角膜生物力学与视盘生物力学的关系[J].*中山大学学报(医学版)*, 2019, 40(6): 938-945
- [31] 陈静,李威.翼状胬肉的发病机制及治疗进展[J].*现代中西医结合杂志*, 2020, 29(12): 1364-1368
- [32] 孙振蕊,丁琳,闫璐,等.翼状胬肉的发病机制及治疗的现状与进展[J].*现代生物医学进展*, 2018, 18(3): 577-580
- [33] 赵静,张宗端,郝继国,等.翼状胬肉对角膜生物力学特性的影响[J].*中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2013, (5): 283-286
- [34] 龙文,李周越,胡音,等.角膜生物力学及校正眼压与青少年屈光状态的相关性 [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2020, 22(9): 652-658
- [35] Miki A, Maeda N, Ikuno Y, et al. Factors Associated With Corneal Deformation Responses Measured With a Dynamic Scheimpflug Analyzer[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(1): 538-544
- [36] 沈如月,叶聪,梁远波,等. Corvis ST 评估高度近视患者角膜生物力学参数及其相关因素[J].*中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2019, (3): 193-199
- [37] José Manuel González-Meijome, César Villa-Collar, António Queirós, et al. Pilot Study on the Influence of Corneal Biomechanical Properties Over the Short Term in Response to Corneal Refractive Therapy for Myopia[J]. *Cornea*, 2008, 27(4): 421-426
- [38] 周佳奇,李梅,钟元园,等.角膜生物力学性能对角膜塑形术早期疗效的影响[J].*中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2014, 16(5): 287-290
- [39] 刘春生,赵科超,王晓君,等. LASIK 手术对人眼角膜生物力学性能的影响[J].*医用生物力学*, 2020, 35(3): 304-310
- [40] Ganesh S, Brar S, Arra RR. Refractive lenticule extraction small incision lenticule extraction: A new refractive surgery paradigm[J]. *Indian J Ophthalmol*, 2018, 66(1): 10-19
- [41] Miao H, Han T, Tian M, et al. Visual Quality After Femtosecond Laser Small Incision Lenticule Extraction [J]. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2017, 6(5): 465-468
- [42] 王海荣,肖海华,严宗辉.小切口角膜基质内微透镜摘除术与飞秒激光制瓣准分子激光原位角膜磨镶术后角膜生物力学比较研究[J].*泰山医学院学报*, 2020, 41(8): 561-563
- [43] 邢星,李世洋,赵爱红,等.小切口角膜基质透镜取出术与飞秒激光辅助准分子激光原位角膜磨镶术对角膜生物力学特性影响的对比分析[J].*眼科新进展*, 2018, 38(12): 1161-1164
- [44] Sefat SM, Wiltfang R, Bechmann M, et al. Evaluation of Changes in Human Corneas After Femtosecond Laser-Assisted LASIK and Small-Incision Lenticule Extraction (SMILE) Using Non-Contact Tonometry and Ultra-High-Speed Camera (Corvis ST)[J]. *Curr Eye Res*, 2016, 41(7): 917-922

(上接第 1762 页)

- [22] Kaur S, Sharma N, Nehru B. Anti-inflammatory effects of Ginkgo biloba extract against trimethyltin-induced hippocampal neuronal injury[J]. *Inflammopharmacology*, 2018, 26(1): 87-104
- [23] Chong PZ, Ng HY, Tai JT, et al. Efficacy and Safety of Ginkgo biloba in Patients with Acute Ischemic Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Am J Chin Med*, 2020, 48(3): 513-534
- [24] Cui Y, Wu H, Liu M, et al. Effect of Ginkgo biloba leaf extract on cerebral cortex amino acid levels in cerebral ischemia model rats[J]. *J Tradit Chin Med*, 2018, 38(5): 676-684
- [25] Zeng K, Li M, Hu J, et al. Ginkgo biloba Extract EGb761 Attenuates Hyperhomocysteinemia-induced AD Like Tau Hyperphosphorylation and Cognitive Impairment in Rats [J]. *Curr Alzheimer Res*, 2018, 15(1): 89-99
- [26] 卜渊,陈洁,耿德勤.银杏叶提取物对 β -淀粉样蛋白致阿尔茨海默病模型大鼠学习记忆的影响及其作用机制研究[J].*现代生物医学进展*, 2010, (6): 57-61
- [27] 李琼.血栓通注射液治疗急性脑梗死的效果及对血清hs-CRP及IL-6的影响[J].*临床研究*, 2019, 27(1): P92-P93