

Pentacam 在白内障手术中的应用

周琳,张健

作者单位:(100053)中国北京市,首都医科大学宣武医院眼科
作者简介:周琳,女,首都医科大学在读硕士研究生,研究方向:
白内障及角膜病。
通讯作者:张健,毕业于首都医科大学,硕士,主任医师,副教授,
硕士研究生导师,研究方向:白内障及角膜病。drzhangjian@vip.
163.com
收稿日期:2015-05-06 修回日期:2015-07-07

关键词: Pentacam; 白内障; 人工晶状体; 角膜; 人工晶状体
度数计算; 超声乳化手术

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2015.8.13

引用:周琳,张健. Pentacam 在白内障手术中的应用. 国际眼科
杂志 2015;15(8):1358-1362

Application of Pentacam in the cataract surgery

Lin Zhou, Jian Zhang

Department of Ophthalmology, Xuanwu Hospital, Capital Medical
University, Beijing 100053, China

Correspondence to: Jian Zhang. Department of Ophthalmology,
Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053,
China. drzhangjian@vip.163.com

Received:2015-05-06 Accepted:2015-07-07

Abstract

• With the improvement of cataract operation, the cataract surgery has become increasingly perfect. The cataract patients show greater expectation for the result of cataract operation. As a result, refractive cataract surgery has become the main trend. Detailed investigations of corneal diseases, lens density, corneal topography, preferable intraocular lens (IOL) choice, and IOL power calculation can help us get a better knowledge of preoperative conditions on patients, which can be conducted with pentacam. So we can have a better forecast of post-operative outcome and improve the quality of vision for cataract patients after surgery.

• **KEYWORDS:** Pentacam; cataract; IOL; corneal; IOL power calculation; phacoemulsification

Citation: Zhou L, Zhang J. Application of pentacam in the cataract surgery. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2015;15(8):1358-1362

摘要

目前白内障手术已日趋成熟,人们对白内障术后视觉质量的要求越来越高,屈光性质的白内障手术已经日渐成为主流。利用 Pentacam 在术前对患者进行详细的角膜疾病排查、晶状体密度测量、角膜地形图的采集,利用角膜地形图进行人工晶状体的优选以及人工晶状体度数的计算等,可以帮助我们更好地明确患者术前情况,从而更好地提高白内障患者术后的视觉质量。

0 引言

Pentacam 眼前节全景仪运用两个摄像头来获得眼前节的图像,中央摄像头用来监测固视点 and 测量瞳孔,另外一个摄像头用于拍摄眼前节的图像^[1]。Pentacam 眼前节全景仪基于 Scheimpflug 成像原理。Scheimpflug 定律为:当镜头平面的延长线和被摄对象平面及胶片平面的延长线在某点相交时,则整个被摄对象平面记录在胶片平面上的影像是清晰的。与镜头和胶卷共轴的传统摄像头相比,Scheimpflug 摄像头所获取的图像有更好的空间准确性。Pentacam 通过围绕一个固定点旋转扫描,减少在摄像过程中由于微小移动而产生的假象^[2]。Pentacam 对眼前节进行断层扫描,产生三维立体图,计算角膜、前房和晶状体的各种测量值并以彩色图形显示结果,同时具有三维立体动态重现功能^[3]。

传统的基于 Placido 盘原理的角膜地形图仪,其原理为利用 Placido 盘投射系统将 25 ~ 34 个同心圆环均匀地投射到角膜表面,其产生的全部环形图像经检测系统进行实时摄像,并经计算机分析处理后将各部分分析结果用数字和伪彩色图像显示在荧光屏^[4]。Placido 盘测量基于角膜的前表面进行。而 Pentacam 直接测量角膜表面高度数据,将其与最佳拟合参考面对比后得到相对高度数据,用以表达角膜形态,可以显示角膜微小的病变。Pentacam 并不是第一个基于高度原理或利用光学界面进行角膜分析的系统,在 1991 年便有报道指出基于高度的系统优于使用 Placido 原理的系统^[5]。Pentacam 系统有两个整合的摄像机,第 1 个摄像机在中心,监测瞳孔的大小和位置,控制定位,同时监视眼球的运动并进行内部校正。第 2 个摄像机安装在旋转轮子上,摄取眼前节的图像^[6]。

Pentacam 所测量的角膜地形图可以作为早期圆锥角膜筛查的依据,此种方法已经在屈光手术中广泛应用。同时 Pentacam 也可以对晶状体密度、术后晶状体位置等相关方面进行测量,其在白内障术前以及术后的使用目前并无系统的论述,我们将从白内障术前以及术后两个大方向概述 Pentacam 在白内障手术中的应用。

1 Pentacam 在白内障术前的应用

白内障术前模块解析:白内障术前模块包括 3 幅地形图、1 幅 Scheimpflug 图和 1 个数据框。第一幅地形图是使用传统的角膜前表面数据和屈光指数($n=1.3375$)计算得

到的轴向屈光力地形图。第二幅地形图是全角膜屈光力地形图,其计算采用光路追踪法,考虑了角膜前后表面以及各自的平面影响等因素。第三幅是角膜厚度图,可以客观的评价角膜的厚度。Scheimpflug图可以用于观察眼前节的整体形态,白内障密度和前房情况等。数据框包括了全角膜屈光力、角膜不规则散光(总高阶相差)、角膜球差和角膜散光,白到白距离(WTW distance, white-to-white distance)、Sim-K值、前房深度、瞳孔直径和角膜厚度等。下面将从四个方面叙述 Pentacam 在白内障术前方面的应用:使用 Pentacam 测量角膜散光,根据 Pentacam 优选高端人工晶状体,使用 Pentacam 计算角膜屈力,测量白内障术前晶状体密度。

1.1 使用 Pentacam 测量角膜散光 目前白内障手术的目的不仅是复明,更重要的是术后综合视觉质量的提高。约 95.8% 的年龄相关性白内障患者常合并不同程度的角膜散光,>1.50D 的角膜散光仅占白内障患者的 15%~20%,大部分白内障患者合并低度角膜散光(0.50~1.50D)^[7]。目前矫正术前存在的角膜散光途径有很多种:角膜散光松解矫正手术,准分子激光矫正术和植入复曲面 IOL 等^[8]。因此,科学评估患者术前的散光情况非常重要。

Pentacam 所测量的角膜散光及角膜曲率与其他仪器相比,有相同之处也有不同之处。相较于手动角膜曲率仪、全自动角膜曲率仪、IOL Master 以及角膜地形图等,其角膜前表面的测量并无明显差别,Pentacam 的不同在于可以测量角膜的后表面,并得出角膜的真实净屈光力(true net power)用于计算。对于 Pentacam 在散光的测量中是否有超越其他设备的优势,不同的研究者提出了不同的看法。在 Gonen 等^[9]的研究中显示,将 Pentacam 测量的 Sim-K 值和平均角膜散光值同全自动测量仪、基于 Placido 原理的测量仪相比较,因为由于 Pentacam 测量值分布范围广和存在极端的异常值,在角膜散光切除术中应谨慎使用该数据。而 Ho 等^[10]的研究证明,存在 1.00D 以上散光的眼睛,有 10% 前表面散光和全角膜散光的大小存在 0.50D 以上的差异,轴位存在 10° 以上的差异,因此在这些眼中,散光值的测量需要考虑到角膜后表面。相较于手动角膜曲率仪、IOL Master、全自动角膜曲率仪,因 Pentacam 在测量的过程中使用了角膜的真实净屈光力,考虑了角膜前后表面的曲率,其测量结果在计算复曲面人工晶状体度数上较其他方法更加准确^[11]。

1.2 根据 Pentacam 优选高端人工晶状体 由于角膜的质量受损以及术后的不规则散光会影响术后眼的视觉质量,所以在白内障术前详细的了解患者需手术眼有无器质性病变以及角膜的视觉质量是非常重要的。目前市场上出现了许多高端型人工晶状体,例如多焦 IOL、非球面 IOL、环曲面 IOL,以及组合式 IOL,其使用正在临床中逐步推广。选择更加适合患者的人工晶状体成了术后提高患者视觉质量的关键。下面将概述高端型人工晶状体的筛选过程:根据 Pentacam 测量的角膜地形图进行角膜光学质量的评估。

角膜的视觉质量评估共分为四步:(1)角膜不规则散光的评估。不规则散光会影响术后视觉质量^[12]。根据屈光地形图定性评估角膜的不规则散光,根据高阶像差定量

评估角膜的不规则散光。高阶像差会影响多焦 IOL 植入后的视觉质量,目前对于 4mm 光学区的角膜总高阶像差界定值为:轻度不规则散光 0.3mm,中度不规则散光 0.5mm。而我们在选取多焦 IOL 时,高阶像差在 0.3mm 以下适用,高阶像差在 0.5mm 以上者需告知患者并征得患者同意。(2)检查异常的角膜形态。根据轴屈光地形图来定性评价角膜形态,根据前后表面曲率比值定量检测角膜形态,决定使用常规或特殊方法计算人工晶状体度数。近年来,LASIK 手术已经成为了矫正屈光的一种方法,这些患者对白内障术后的视觉敏感度要求较高,我们植入使用常规的人工晶状体计算公式所得的人工晶状体会产生术后的远视漂移,从而影响术后的视觉质量。所以在术前明确角膜的异常形态对人工晶状体的计算有着非常重要的意义,对于 LASIK 术后的人工晶状体度数计算我们会在后面详细叙述,而且全角膜屈光力地形图在这里可以起到一定的作用。(3)角膜球差的评估。目前对于 6mm 光学区的角膜球差临界值为 0.1 μ m,球差在 0.1 μ m 以下选择球面 IOL,球差在 0.1 μ m 以上选择非球面 IOL。现在非球面 IOL 已经被广泛用来矫正角膜球差,调查研究表明,在正常人眼中存在着一定的角膜球差,在近视眼 LASIK 术后存在较高的正球差,以及远视眼 LASIK 术后存在高度数的负球差^[13],为了更好的提高术后的光学质量,明确术前的角膜球差是非常必要的。在 Yagci 等^[14]的研究中显示,与结构(平台和材料)类似的球面人工晶状体相比,非球面人工晶体很大程度上降低了高阶像差,并在适应光线的条件下有更好的对比敏感度。随着非球面人工晶状体优势的逐步展现,其在白内障超声乳化联合人工晶状体植入术中的应用正在逐渐普及中。而对于不同类型的非球面人工晶状体所抵消的球差也不尽相同,有报道显示根据术前角膜球差的不同,选择相应的非球面人工晶状体,当角膜球差小于+0.1 μ m 时,选择 Adapt AO,角膜球差在+0.1~+0.235 μ m 之间时,选择 Acry sof IQ,角膜球差大于+0.235 μ m 时,选择 Tecnis ZA9003,可以减小术后患者全眼球差,使其更接近 0 球差的预设值^[15,16]。但在 Al-Sayyari 等^[17]的研究中指出,对比植入根据术前角膜球差进行选择的非球面人工晶状体与不根据术前角膜球差进行选择的非球面人工晶状体的术后视觉质量等,植入根据术前角膜球差进行选择的非球面人工晶状体后视觉质量并无明显的优势。目前在球面以及非球面人工晶状体的选择中主要是依据术前角膜球差,但实际上除了角膜球差影响非球面人工晶状体的选择,瞳孔的大小在一定程度上也影响非球面人工晶状体植入术后的视觉质量,在 Eom 等^[18]的研究中显示,当患者的瞳孔直径小于 3.4mm 时植入 Tecnis ZCB00 型非球面人工晶状体和当患者瞳孔直径小于 3.7mm 时植入 HOYA NY-60 型非球面人工晶状体,其非球面所起到的修正角膜球差基本是无效的。而大约 10% 的眼睛在暗条件下瞳孔呈现的直径比最低有限直径要小,故在人工晶状体类型的优选中应该考虑患者在基础状态下的瞳孔直径。(4)角膜规则散光的评估。在术前存在规则散光的患者,应该在白内障手术的同时矫正角膜散光以获得最佳的裸眼视力。在植入复曲面人工晶状体手术中,不仅要测量散光度数,还要精确测量散光的轴向,

因为轴位偏差 10° 降低 $1/3$ 左右矫正效果,偏差 20° 会降低 $2/3$ 左右矫正效果,偏差 $>30^\circ$ 会增加术后散光^[19],而复曲面 IOL 只能矫正规则角膜散光,对于存在明显不规则角膜散光的患者,最好选择波前像差引导的激光手术或两者的联合治疗。

1.3 根据 Pentacam 计算角膜屈光力

1.3.1 根据 Pentacam 计算角膜屈光术后角膜屈光力

目前 LASIK 手术以其良好的稳定性、有效性、可预测性成为矫正近视的理想手术,但是术后用现行的角膜曲率计测量角膜屈光力不准确,导致该类患者白内障手术时人工晶状体度数计算出现远视的偏差。人工晶状体度数出现偏差很大一部分原因在于 LASIK 术后角膜屈光力的错误估计。以往的角膜曲率计计算角膜屈光力有以下几点不足:(1)角膜曲率计仅测量角膜旁中央4个点(常为3.0mm直径范围),忽视了角膜屈光手术使前角膜中央区域变得更加平坦;(2)角膜曲率计将测量获得的角膜前表面曲率转换成整个角膜屈光力,这当中使用的标准角膜折射系数为1.3375,而且该转换公式基于两个假设:角膜厚度为 Gullstrand 模型眼中描述的 $500\mu\text{m}$,角膜前后表面曲率之比为常数(正常角膜约为0.82),而在 LASIK 术后其角膜厚度以及前表面曲率发生变化、后表面曲率没有任何变化^[20],依据原有的公式计算角膜屈光力则会出现明显的误差;(3)而且有研究显示角膜准分子屈光术后角膜折射率也发生了变化^[21],不能再使用1.3375来进行计算。

使用 Pentacam 测得角膜前后表面的曲率以及角膜厚度,然后根据高斯公式(GOF)可以计算出“真实净角膜屈光力”。临床上将 Pentacam 测得的前后表面曲率及角膜厚度联合高斯计算公式计算角膜屈光力(用 IOL Master 修正后的角膜屈光力)与临床病史法计算所得的角膜屈光力进行比较,其中用临床病史法测得的角膜屈光力为 $37.9930\pm 2.2911\text{D}$,利用 Pentacam 联合高斯光学公式所得的角膜屈光力为 $37.8571\pm 2.3063\text{D}$,与临床病史法之间的差异为 $0.0670\pm 0.5825\text{D}$,两者之间差异无统计学意义^[22]。

全角膜屈光力地形图在考虑了以往角膜曲率计不足的基础上还同时考虑了中心法则平面位置,并且利用了 Pentacam 拥有的光路追踪计算方法计算角膜屈光力,显示的结果值最为真实。但是与常规 Sim-K 值相比会有偏差,因此并不能用于以往的人工晶状体度数计算公式中。

1.3.2 常规 K 值计算 在目前的白内障手术中,我们常规使用 IOL Master 测量所得的 K 值,将其带入相应的公式得到所需的人工晶状体度数。关于 K 读数,在 Saad 等^[23]的研究中表明使用 Pentacam 测量角膜前表面散光图(sagittal corneal front, KF),角膜净屈光力图(true net power, KTNP)以及全角膜屈光力地形图(total refractive power, KRP)的2,3,4,5mm“K”读数,将其测量值与 IOL Master 测量的 K 值相比较,发现角膜前表面散光图所测得的 K 值与 IOL Master 测量的 K 值最接近,并且当瞳孔直径小于3mm时,其 K 值准确度将明显升高,故推荐使用2mm以下的 K 值作为人工晶状体度数计算。而在 Symes 等^[24]的研究中显示,较 IOL Master 相比,Pentacam 在 K 值的测量上并无明显优势,但是对于角膜不规则散光较大的患者,其 Scheimpflug 所测得 K 值准确度较高。

1.4 白内障术前晶状体密度测量 白内障的发生是老年人晶状体的一种退行性改变。定量的测量白内障是研究白内障发生因素、白内障进展、明确手术指征、指导白内障手术的重要手段^[25]。目前白内障的分级方法主要有两种,一种为主观分级法,另一种为客观测量法,其中应用最广泛的主观分级法是晶状体混浊分级系统(lens opacities classification system, LOCS) III,其根据白内障患者的晶状体核混浊(nuclear opacity, NO)及其颜色(nuclear color, NC)、皮质(cortical, C)和后囊下(posterior subcapsular, P)混浊程度的标准图片进行分级。但这种主观分级方法有一定的局限性,我们无法量化白内障的混浊程度。

1.4.1 Pentacam 评估白内障的进展程度 Pentacam 人工晶状体密度测量可以分析晶状体的混浊程度。其密度是基于反射原理,通过分析光反射从而得出晶状体密度。晶状体密度(相对光学密度)=最大可能灰度级/测得的灰度级。根据其灰度级将晶状体密度分为1~100。我们可以测量任意平面上的晶状体密度,选定区域的晶状体密度,晶状体核密度以及晶状体的平均密度。大量的临床试验研究表明,Pentacam 测量的核型白内障的晶状体密度值与 NO 评分值之间存在很好的一致性,与 NC 评分值之间亦有较好的相关性,且晶状体密度值较 NO 评分值和 NC 评分值更能反映核型白内障患者的视力下降程度;皮质型白内障患者的晶状体密度值与 NC 评分值存在一定程度的相关性,与视力无相关性;后囊下型白内障患者的晶状体密度值与 P 评分值和视力之间均无相关性^[26]。Smith 等^[27]报道核型白内障 NO 和 NC 评分值与体内和体外测量的晶状体核的密度值和硬度值均有良好的相关性。这些结果表明晶状体密度客观地反映了核型白内障晶状体混浊的程度。随着白内障的进展,前房深度和容积处于动态变化中。研究结果显示,皮质型白内障患者的中央前房深度和前房容积变化与晶状体密度值呈负相关,随着晶状体密度的增加,中央前房深度和前房容积逐渐减小。这些表明晶状体密度联合中央前房深度和前房容积的测量,可用于评价皮质型白内障的进展程度^[28]。

1.4.2 Pentacam 对晶状体的 PNS 分级调节术中能量应用 Pentacam 将白内障混浊程度分为0~5级, Kim 等^[29]和 Nixon^[30]发现 Scheimpflug 测量的晶状体核密度与超声乳化中的累计消耗能量、扭动幅度和时间成正相关,同时发现超声乳化能量和白内障相对分级呈线性相关。Nixon 发现使用 PNS 分级白内障后,将其与手术相结合时,其所用的超声乳化能量较前有所减少。我们可以术前明确白内障晶状体密度从而在术前预调超声乳化参数和选择合适的超声乳化针头,优化手术技能,提高手术的安全性,从而可以减少超声乳化的能量以及手术的时间,有助于减少角膜内皮细胞的损伤,减少术中及术后并发症的发生。

2 Pentacam 在白内障术后应用

2.1 Pentacam 评估术后角膜内皮损伤情况 目前白内障手术过程中超声乳化能量的大小,患者自身角膜条件以及术者手术的熟练程度都会在很大程度上影响术后患者的角膜情况。研究表明,白内障手术后角膜内皮细胞密度的

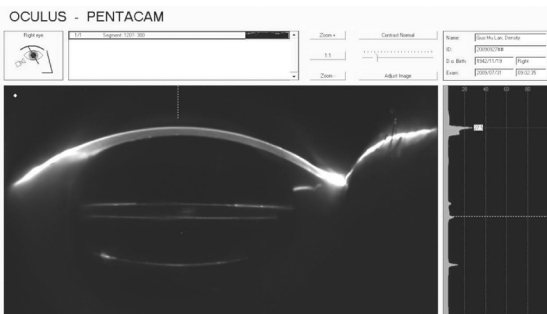


图1 囊袋阻滞综合征未行后囊切开术前可见后囊积存大量液体,使后囊膜向后移位。

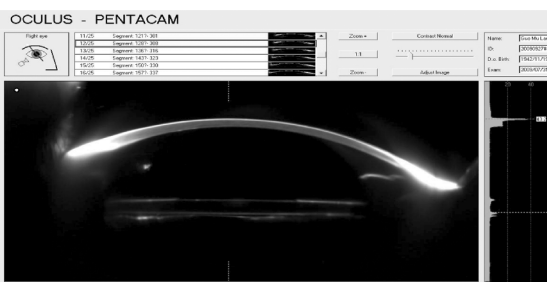


图2 囊袋阻滞综合征行后囊切开后可见后囊积存液体消失,后囊与晶状体后表面基本贴合。

变化不显著,而且利用角膜内皮镜所测得的角膜内皮数在范围上有一定的限制,不能很好体现整体角膜的情况。但角膜水肿会随着时间的推移而消退,利用 Pentacam 中央 3,10mm 直径角膜体积计算出容积压力指数(VSI)。用 VSI 来评价白内障术后角膜内皮细胞功能非常有价值^[31]。

2.2 Pentacam 诊断囊袋阻滞综合征及后发性白内障 囊袋阻滞综合征(capsular block syndrome, CBS)是一种罕见的白内障手术后并发症,其典型临床表现为晶状体向前移位和近视,部分可以出现继发性青光眼。一般发生在手术中间或者术后的早期,但迟发型 CBS 近些年来也曾有过报道,有些并不伴有近视或者晶状体移位^[32]。Pentacam 成像可以记录并测量后囊的扩张情况、液体的积存情况、人工晶状体的位置等(图1),通过 Pentacam 成像对人工晶状体的检查可以发现并量化早期的 CBS,也可以监测后囊切开后后囊扩张程度减弱(图2)。

后发性白内障也逐渐成为影响白内障术后视力的一大因素,Pentacam 可以通过密度分析,量化后发性白内障。断层摄像是由 50 幅 Scheimpflug 图重组而成,可以创建与裂隙灯后照法图像平面一致的图像,但是 Pentacam 不受观察者的影响,较裂隙灯图像分析更为客观。目前国内已有相关方面动物实验及临床试验,通过测量兔眼后囊膜混浊的厚度(使用 Pentacam 测得的囊厚度可视图数据),与光镜扫描结果汇总相比较,结果证明 Pentacam 后囊膜厚度可视图与光镜扫描后发性白内障的晶状体后囊厚度是相一致的,可以应用于临床数据检查^[33]。

2.3 白内障术后人工晶状体位置评估 白内障术后视力提高不理想与很多因素有关,其中一点就是人工晶状体的偏心和倾斜对其光学功能的影响导致术后光学质量受损。理想的居中的 IOL 是不现实的,IOL 的光轴与视轴并非完全重合。所以术后人工晶状体位置的评估对不可以解释

的光学质量下降有很大的功用。在 Pentacam 所测量的 Scheimpflug 图像中会有几何失真,这些是由于物体、透镜、像平面倾斜所致;同时也存在光学失真,是由于测量的光线通过眼前节各个折射率不同的表面所致。我们利用光路追踪技术,在测量的过程中通过一些公式对其进行矫正,在 Scheimpflug 图像上可以直接获得可靠的几何表面数据^[34]。

我们测量人工晶状体的偏心以及倾斜时,需要对 Pentacam 所得的单张 Scheimpflug 图像进行分析^[35](使用 image-pro 图形分析软件);Scheimpflug 图像清楚显示了角膜前后表面、前房、虹膜、IOL。具体分析如下:(1)用最佳拟合的方法分别画出 IOL 前后表面。画出两圆交点所在的直线,确定 IOL 的中心。(2)用最佳拟合法确定虹膜平面所在的直线,确定瞳孔中心。(3)IOL 倾斜角度为 IOL 光学轴与瞳孔轴所成的夹角。(4)IOL 偏心值为 IOL 的中心到瞳孔轴的垂直距离。两幅图像中取偏心或倾斜的最大值作为该患者的最终结果。

使用 Pentacam 测量白内障术后人工晶状体的偏心及倾斜已经开始在科研中以及临床中使用,从而明确其是否引起视觉质量的偏差以及其形成因素。在测量过程中不同的研究者对于其平面基线的选择有着不同的意见,上文仅选择其中一种进行了概述。

3 总结

Pentacam 眼前节照相在检查时无需表面麻醉和接触角膜,为对眼前段解剖结构进行活体、定时、定量的观察分析提供了一种非接触性的、操作简便和准确的重要工具。其兼具角膜地形图、角膜测厚仪、晶状体密度测量仪等多方面功能,已经成为了目前屈光手术术前检查的首选仪器。其在白内障手术方面的应用还在进一步的挖掘以及发展中,有望成为指导白内障手术的必不可少的仪器。

参考文献

- Swartz T, Marten L, Wang M. Measuring the cornea: the latest developments in corneal topography. *Curr Opin Ophthalmol* 2007; 18(4):325-333
- Wegener A, Laser H. Image analysis and Scheimpflug photography of anterior segment of the eye—a review. *Klin Monbl Augenheikd* 2001; 218(2):67-77
- Oliveira CM, Ribeiro C, Franco S. Corneal imaging with slit-scanning and Scheimpflug imaging techniques. *Clin Exp Optometry* 2011; 94(1): 33-42
- 段宝萍, 黄磊, 胡琦. 角膜形态学评价的方式及其在 LASIK 中作用. *临床眼科杂志* 2010; 18(6):576-579
- Belin MW, Litoff D, Strods SJ, et al. The PAR Technology Corneal Topography System. *Refract Corneal Surg* 1992; 8(1):88-96
- Konstantopoulos A, Hossain P, Anderson DF. Recent advances in ophthalmic anterior segment imaging: a new era for ophthalmic diagnosis? *Br J Ophthalmol* 2007; 1(4):551-557
- 陈星, 于建春, 周丹英, 等. 角膜地形图引导的个性化切口对白内障超声乳化手术的疗效分析. *临床眼科杂志* 2013; 21(6):503-505
- 徐力, 郑丹莹, 林英, 等. 白内障患者散光的矫正. *中国实用眼科杂志* 2010; 28(5):436-440
- Gonen T, Cosar CB, Sener B, et al. Comparison of keratometric data obtained by automated keratometer, Dicon CT 200, Allegro Topolyzer, and Pentacam. *J Refract Surg* 2012; 28(8):557-561

- 10 Ho JD, Tsai CY, Liou SW. Accuracy of corneal astigmatism estimation by neglecting the posterior corneal surface measurement. *Am J Ophthalmol* 2009;147(5):788-795
- 11 李嘉文, 刘玺, 李付亮, 等. 多种角膜曲率测量方法对 Toric 人工晶体植入术后角膜散光矫正的影响. *重庆医学* 2014;1:55-57
- 12 Martinez CE, Klyce SD. Corneal topography in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 1996;7(1):31-38
- 13 Marcos S, Barbero S, Llorente L, et al. Optical response to LASIK surgery for myopia from total and corneal aberration measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;42(13):3349-3356
- 14 Yagci R, Uzun F, Acer S, et al. Comparison of visual quality between aspheric and spherical IOLs. *Eur J Ophthalmol* 2014;24(5):688-692
- 15 Lian HF, Tang X, Song H. The influence of preoperative corneal spherical aberration on relatively personalized implantation of aspheric intraocular lens. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2010;46(5):410-414
- 16 牛勇毅, 郭海科, 金海鹰, 等. 基于角膜球差的个体化非球面 IOL 植入效果和可行性研究. *实用临床医药杂志* 2012;11:22-26
- 17 Al - Sayyari TM, Fawzy SM, Al - Saleh AA. Corneal spherical aberration and its impact on choosing an intraocular lens for cataract surgery. *Saudi J Ophthalmol* 2014;28(4):274-280
- 18 Eom Y, Yoo E, Kang SY, et al. Change in efficiency of aspheric intraocular lenses based on pupil diameter. *Am J Ophthalmol* 2013;155(3):492-498
- 19 赵俊伟, 王平. Toric IOL 的研究进展. *国际眼科杂志* 2011;11(1):79-81
- 20 Ciolino J, Belin MW. Changes in the posterior cornea after laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 2006;32(9):1426-1431
- 21 Patel S, Alio JL, Perez - Santonja JJ. Refractive index change in bovine and human corneal stroma before and after LASIK: a study of untreated and re-treated corneas implicating stromal hydration. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45(10):3523-3530
- 22 郑秀云, 王东林, 葛金玲, 等. 应用 Pentacam 及高斯光学公式计算 Lasik 术后角膜屈力. *中国实用眼科杂志* 2011;29(4):324-326
- 23 Saad E, Shammas MC, Shammas HJ, et al. Scheimpflug corneal power measurements for intraocular lens power calculation in cataract surgery. *Am J Ophthalmol* 2013;156(3):460-467
- 24 Symes RJ, Say MJ, Ursell PG, et al. Scheimpflug keratometry versus conventional automated keratometry in routine cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(7):1107-1114
- 25 Wegener A, Laser-Junga H. Photography of the anterior eye segment according to Scheimpflug's principle: options and limitations - a review. *Clin Exp Ophthalmol* 2009;37(1):144-154
- 26 Pei X, Bao Y, Chen Y, et al. Correlation of lens density measured using the Pentacam Scheimpflug system with the lens opacities classification system III grading score and visual acuity in age-related nuclear cataract. *Br J Ophthalmol* 2008;92(11):1471-1475
- 27 Smith JM, El-Brawany M, Nassiri D, et al. The relationship between nuclear color and opalescence on the LOCS III scale and physical characteristics of cataract nuclei. *Eye* 2002;16(5):543-551
- 28 裴雪婷, 鲍永珍, 黎晓新. 晶状体密度测量在年龄相关性白内障诊断中的价值探讨. *眼科研究* 2009;27(1):49-54
- 29 Kim JS, Chung SH, Joo CK. Clinical application of a Scheimpflug system for lens density measurements in phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(7):1204-1209
- 30 Nixon DR. Preoperative cataract grading by Scheimpflug imaging and effect on operative fluidics and phacoemulsification energy. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(2):242-246
- 31 Suzuki H, Oki K, Takahashi K, et al. Functional evaluation of corneal endothelium by combined measurement of corneal volume alteration and cell density after phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2007;33(12):2077-2082
- 32 Bao YZ, Pei XT, Li XX, et al. Late postoperative capsular block syndrome versus liquefied after-cataract. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(10):1799-1802
- 33 刘先利, 郑桂花. 眼前段分析仪对后发性白内障晶状体囊的分析. *中华眼外伤职业眼病杂志* 2013;35(9):658-661
- 34 Coppens JE, van den Berg TJ, Budo CJ. Biometry of phakic intraocular lens using Scheimpflug photography. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(10):1904-1914
- 35 方艳文, 卢奕, 汪琳. 折叠式人工晶状体囊袋内植入后偏心与倾斜的临床研究. *眼视光学杂志* 2008;10(4):252-255, 258