

# 圆锥角膜患者角膜地形图形态学特征

隋文婕 宋鹏 刘明娜 李素霞 贾艳妮 高华

**【摘要】** **目的** 观察圆锥角膜患者角膜地形图形态学特征,为临床早期诊断和筛查圆锥角膜及分析圆锥角膜发病机制提供依据。**方法** 回顾性病例对照研究。选取临床完成期圆锥角膜患者 62 例(66 眼)、初期圆锥角膜患者 57 例(57 眼)及正常对照者 35 例(70 眼)行三维眼前节分析仪(ALLEGRO Oculyzer)检查。角膜后表面高度图形态分为岛型、不完全岛型、桥型递增型、桥型递减型、不完全桥型及不规则型 6 种。分析各组角膜后表面高度图形态学特点及角膜最薄点与顶点及瞳孔中心之间位置关系,数据采用单因素方差分析和非参数秩和检验进行分析。**结果** 正常对照组角膜后表面高度图形态以不完全桥型(61%)和桥型递减型(26%)为主,初期圆锥角膜组以桥型递增型(40%)和不完全岛型(25%)为主,完成期圆锥角膜组以不完全岛型(33%)和岛型(56%)为主。正常对照组、初期圆锥角膜组、完成期圆锥角膜组角膜最薄点位于顶点颞下方比例分别为 81%、86%、76%,最薄点与顶点距离分别为(0.59±0.20)mm、(0.77±0.27)mm、(0.66±0.32)mm,3 组比较差异有统计学意义( $F=6.903, P<0.01$ );最薄点偏离顶点颞下方角度分别为:(41.96±17.30)°、(49.14±18.83)°、(49.40±16.77)°,3 组比较差异有统计学意义( $F=3.112, P<0.05$ )。**结论** 可疑圆锥角膜患者角膜后表面由不完全桥型向桥型递增型发展,角膜最薄点偏离顶点距离增加要警惕圆锥角膜的可能。

**【关键词】** 角膜地形图; 圆锥角膜; 后表面形态; 最薄点

## Study of the clinical characteristics of corneal topography in patients with keratoconus

Sui Wenjie\*, Song peng, Liu Mingna, Li Suxia, Jia Yanni, Gao Hua. \* Shandong Eye Institute, School of Medicine and Life Sciences, University of Jinan-Shandong Academy of Medical Sciences, Jinan 250022, China

Corresponding author: Gao Hua, Email: gaohua100@126.com

**【Abstract】** **Objective** To observe the morphological characteristics of corneal topography in patients with keratoconus using the ALLEGRO Oculyzer for measurements; to provide data for early diagnosis and screening of keratoconus and an analysis of the pathogenesis of keratoconus. **Methods** This was a retrospective case control study. Sixty-two clinical keratoconus patients (66 eyes), 57 subclinical keratoconus patients (57 eyes) and 35 healthy people (70 eyes) were enrolled in this research. All of them were examined using the Oculyzer for measurements. Posterior surface topography classifications for elevation were divided into 6 types: island, incomplete island, increasing bridge, decreasing bridge, incomplete bridge and irregular type. The morphological features of the elevation pattern maps and the position of the cornea at the thinnest point were studied by observing the pachometer apex and the pupil center. The collected data were analyzed with one-way ANOVA and a nonparametric test. **Results** The types of topography of the posterior surface in the normal eyes (group 1) were mainly an incomplete bridge (61%) and decreasing bridge (26%), the topography of the subclinical keratoconus eyes (group 2) were mainly an increasing bridge (40%) and an incomplete island (25%), and the clinical keratoconus eyes (group 3) were mainly an incomplete island (33%) and island (56%). The thinnest points were located in the inferior temporal region in 81%, 86%, and 76%, respectively. The distance between the thinnest point and corneal apex in groups 1, 2,

DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2014.02.012

基金项目:山东省自然科学基金(ZR2011HM015);山东省医药卫生科技发展计划(2011WSA18021);山东泰山学者计划(20081148);山东省优秀创新团队“角膜病的临床及应用基础研究”项目

作者单位:250022 济南大学 山东省医学科学院医学与生命科学学院 山东省眼科研究所(隋文婕、宋鹏); 250021 济南,山东省眼科研究所 山东省眼科医院(刘明娜、李素霞、贾艳妮、高华)

通信作者:高华,Email:gaohua100@126.com

and 3 were  $0.59 \pm 0.20$  mm,  $0.77 \pm 0.27$  mm,  $0.66 \pm 0.32$  mm, respectively, and the differences were statistically significant ( $F=6.903$ ,  $P<0.01$ ). The angles in the inferior temporal region in groups 1, 2, and 3 were  $(41.96 \pm 17.30)^\circ$ ,  $(49.14 \pm 18.83)^\circ$ ,  $(49.40 \pm 16.77)^\circ$ , respectively, and the differences were statistically significant ( $F=3.112$ ,  $P<0.05$ ). **Conclusion** The posterior surface of the cornea in patients at risk for keratoconus ranged from the development of an incomplete bridge type to an incremental type. Moreover, the increases in distance between the thinnest corneal position and the corneal apex are related to the development of keratoconus. More attention should be paid to this condition.

**[Key words]** Corneal topography; Keratoconus; Posterior surface topography; The thinnest point

圆锥角膜是一种以角膜局部扩张为特征,致角膜变薄前突成圆锥形并产生高度不规则散光的致盲性角膜病变<sup>[1]</sup>。本病早期诊断困难,容易耽误临床治疗。角膜地形图检查为临床早期筛查圆锥角膜的主要辅助手段。ALLEGRO Oculyzer 三维眼前节分析仪同 Pentacam 系统均基于 Scheimpflug 原理,360° 旋转扫描,可产生 25 000 个真实高度点,所得数据比传统的 OrbscanII 系统测量结果更精确<sup>[2-3]</sup>,更接近角膜真实形状。圆锥角膜进展过程中角膜后表面也逐渐发生改变,发展到晚期常表现为角膜中央偏颞下方前突最明显<sup>[1]</sup>。圆锥角膜前突最明显处常偏离角膜中央的原因目前仍不清楚,近来研究发现正常人角膜最薄点多位于角膜颞下方<sup>[4-5]</sup>。因此本研究小组应用 Oculyzer 三维眼前节分析仪对圆锥角膜不同时期角膜地形图形态特征以及角膜最薄点分布特点进行观察,为临床早期诊断圆锥角膜及推断其发病机制提供一定依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

完成期和初期圆锥角膜患者纳入标准参照谢立信和史伟云<sup>[1]</sup>以及 Rabinowitz<sup>[6]</sup>的诊断标准。

完成期圆锥角膜:①临床有视力下降,伴散光,戴镜矫正视力不提高。②裂隙灯检查至少出现以下 1 项阳性体征:角膜中央锥形前突、角膜中央变薄、munson 征(+)、Vogt 线(+)、费氏环(+)、角膜瘢痕。③角膜地形图示角膜前表面中央区屈光度 $>47$  D;角膜中心上方 3 mm 和下方 3 mm 处屈光度差值 $>3$  D;角膜中央前表面屈光度双眼差值 $>1$  D。初期圆锥角膜:①以屈光不正为主,临床行裂隙灯显微镜检查等无明显临床体征。②角膜地形图示角膜中央区屈光度常在 46~50 D 之间,角膜中心上方 3 mm 和下方 3 mm 处屈光度差值 $>1.26$  D;同一患者双眼角膜屈光度差值 $>0.92$  D。

选取 2010 年 1 月至 2012 年 12 月在山东省眼科医院就诊的圆锥角膜患者,根据诊断标准将患者

分为:完成期组 62 例(66 眼),男 48 例,女 14 例,年龄 $(20.6 \pm 4.6)$ 岁;初期组 57 例(57 眼),男 45 例,女 12 例,年龄 $(21.2 \pm 5.2)$ 岁。随机选取于我院角膜屈光手术门诊就诊的有近视、散光病史的相对正常患者 35 例(70 眼)作为正常对照组,男 25 例,女 10 例,年龄 $(21.7 \pm 4.5)$ 岁。各组患者间年龄差异无统计学意义( $F=0.889$ ,  $P>0.05$ )。所有纳入患者均排除患有眼部其他疾病如角结膜炎、眼外伤史及手术史、青光眼家族史等,且停止配戴软性角膜接触镜 1 周、硬性角膜接触镜 3 周及以上。

### 1.2 检查方法

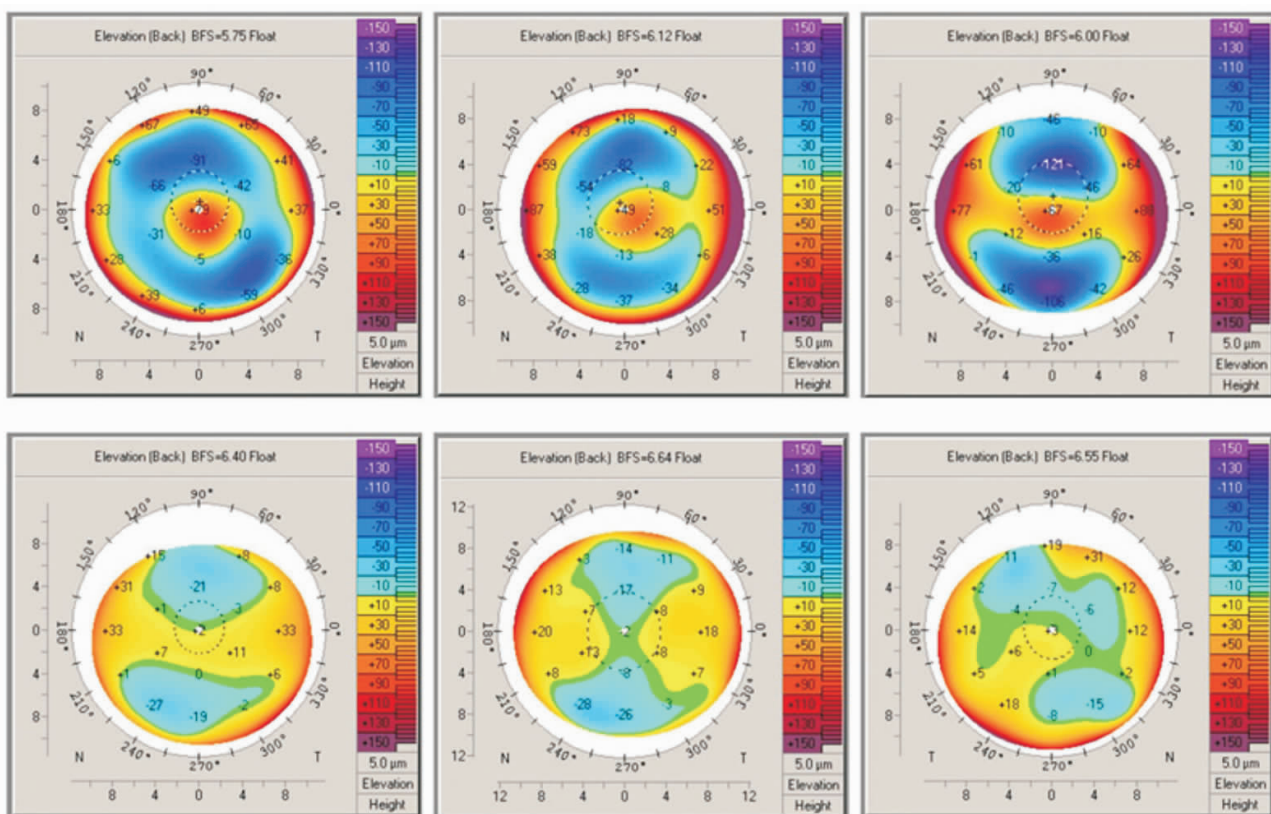
采用 ALLEGRO Oculyzer 三维眼前节分析仪(德国 WaveLight 公司)进行检测,检查均由我院操作熟练的技术人员完成。统一在暗室环境下进行。连续 3 次检查,取图像范围和配合度最佳的图像进行分析。

### 1.3 分析内容

1.3.1 各组角膜后表面高度图形态分类 角膜后表面高度图形态根据角膜后表面高度高出最佳拟合球面(best fit surface, BFS)的变化趋势分型,选取高度图平坦子午线方向上角膜周边到中央 5 mm 光学区域,参考国内杜显丽等<sup>[3]</sup>和王秀先等<sup>[7]</sup>对 Pentacam 地形图形态分类,将角膜后表面高度图形态大体分为 6 型:A,岛型(中央显著增高);B,不完全岛型(形似字母 c,接近岛型);C,桥形递增型(从周边到中央高度递增);D,桥形递减型(从周边到中央高度递减);E,不完全桥型(从周边到中央高度变化不连续);F,不规则型(高度变化不规则)。其中 ABC 3 型后表面高度从周边到中央均属逐渐递增,D 和 E 型高度从周边到中央均属逐渐递减。见图 1。

### 1.3.2 角膜最薄点与顶点及瞳孔中心之间的位置关系

三维眼前节分析仪系统中以角膜顶点为参照点(0,0),所有坐标参照 Cartesian 坐标系,各点位置以(x,y)表示。坐标 X 为正值/负值左眼表示位于顶点颞侧/鼻侧,右眼 X 值与左眼代表方向相反。Y 轴为正值/负值表示位于顶点上方/下方。为使双眼坐



上排从左到右依次为:岛型、不完全岛型、桥型递增型,下排从左到右依次为:桥型递减型、不完全桥型、不规则型

图1 角膜后表面高度图形态学分类(ALLEGRO Oculyzer)

标正负值代表方向一致,将右眼坐标(x,y)统一转换为(-x,y),采用SPSS 17.0软件计算:任意两点(x1,y1)和(x2,y2)间距离  $d = \sqrt{(x1-x2)^2 + (y1-y2)^2}$ ,最薄点偏移参照点角度( $\theta$ ): $\theta = (180/\pi) \times \text{Arctan}(|y/x|)$ (规定以x轴正轴为0°,y轴负轴为90°)。

1.4 统计学方法

回顾性病例对照研究。采用SPSS 17.0软件分析。使用K-S检验对各组参数进行正态性检验,计量资料若符合正态分布,描述采用均数±标准差,检验采用单因素方差分析,组间多重比较采用LSD检验。若不符合正态分布,描述采用中位数(M)和四分位间距(Q),检验采用多个独立样本Kruskal Wallis秩和检验,组间比较采用两独立样本的Wilcoxon秩和检验进行统计学分析。以P<0.05为差异有统计学

意义。以坐标点(x,y)绘制散点图。

2 结果

2.1 各组患者一般屈光参数资料

正常对照组、初期圆锥角膜组及完成期圆锥角膜组的球镜度、柱镜度、前表面曲率最小值(Kmin)、曲率最大值(Kmax)及中央区5 mm范围内后表面高出BFS的最大高度值均依次递增。完成期组与其余2组各参数差异均有统计学意义。初期组仅球镜度与正常对照组差异无统计学意义,柱镜度、曲率值(Kmin和Kmax)及后表面最大高度与正常对照组差异均有显著统计学意义。各组患者的平均球镜度和柱镜度、Kmin、Kmax及后表面最大高度列于表1。

表1 各组患者一般屈光参数资料[M(Q)]

组别	眼数	球镜度(D)	柱镜度(D)	Kmin(D)	Kmax(D)	后表面最大高度(mm)
正常对照	70	-3.75(1.50)	-0.50(0.75)	42.65(1.40)	43.70(1.80)	12.00(3.00)
初期组	57	-4.00(3.38)	-1.50(1.38) <sup>a</sup>	44.10(2.60) <sup>a</sup>	45.70(3.55) <sup>a</sup>	25.00(19.00) <sup>a</sup>
完成期组	66	-5.75(5.00) <sup>ab</sup>	-4.25(3.06) <sup>ab</sup>	51.15(13.15) <sup>ab</sup>	55.95(14.20) <sup>ab</sup>	73.50(75.00) <sup>ab</sup>
$\chi^2$		10.49	97.06	117.26	138.97	141.12
P值		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注:M(Q)值代表中位数(四分位间距);与正常对照组比较,<sup>a</sup> P<0.01,与初期组比较,<sup>b</sup> P<0.01



2.2 正常对照组、初期组及完成期圆锥角膜组角膜后表面高度图形态

2.2.1 角膜地形图后表面高度图形态分布 角膜后表面形态正常对照组以不完全桥型(61%)和桥型递减型(26%)为主, 初期圆锥角膜组以桥型递增型(40%)和不完全岛型(25%)为主, 完成期圆锥角膜组以不完全岛型(33%)和岛型(56%)为主。正常组、初期圆锥角膜组、完成期圆锥角膜组后表面高度图形态从不完全桥型到岛型分布比例呈阶梯状递增。见表2。正常对照组、初期组及完成期组患者典型角膜地形图见图2。

2.2.2 完成期圆锥角膜锥体位置主要分布 观察完成期圆锥角膜组锥体位置(中央显著增高区域):以瞳孔区(图1各图中央区黑白相间圆形区域)为参照, 统计如下: 颞下方43眼(65%), 下方10眼(15%), 角膜中央6眼(9%), 水平颞侧4眼(6%), 鼻

下方3眼(5%), 上方区域(包括鼻上及颞上)0例。锥体位于角膜颞下方比例最高。

2.3 角膜最薄点与顶点及瞳孔中心3点位置分布

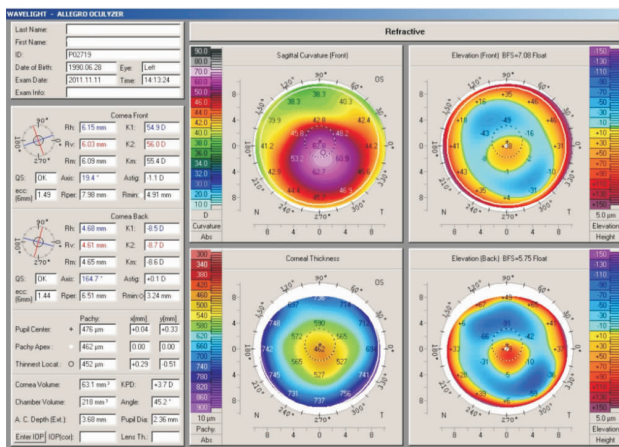
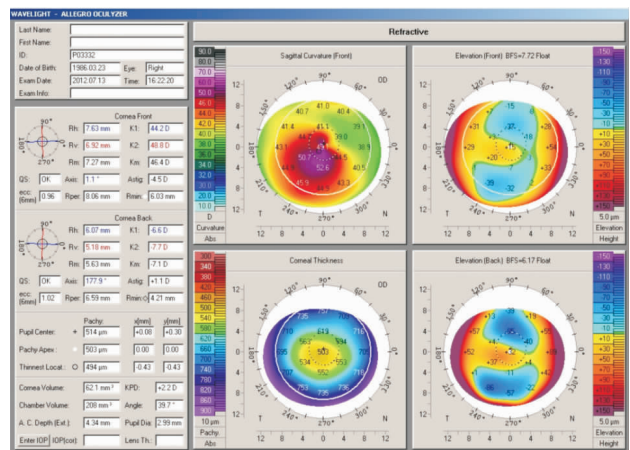
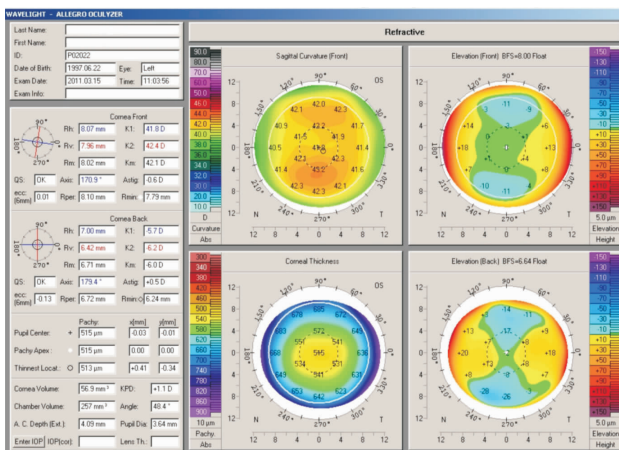
2.3.1 各组角膜最薄点分布区域 正常对照组、初期组及完成期组角膜最薄点分别有81%(57眼)、86%(49眼)、76%(50眼)位于角膜顶点颞下方(见表3), 提示各组角膜最薄点均主要位于顶点颞下方。以角膜顶点为原点(0,0)绘制各点散点图。见图3。

表3 以角膜顶点为原点的角膜最薄点位置分布[眼(%)]

组别	眼数	颞上	颞下	鼻下	鼻上	坐标轴
正常对照	70	0(0)	57(81)	6(9)	1(1)	6(9)
初期组	57	0(0)	49(86)	4(7)	1(2)	3(5)
完成期组	66	4(6)	50(76)	6(9)	2(3)	4(6)

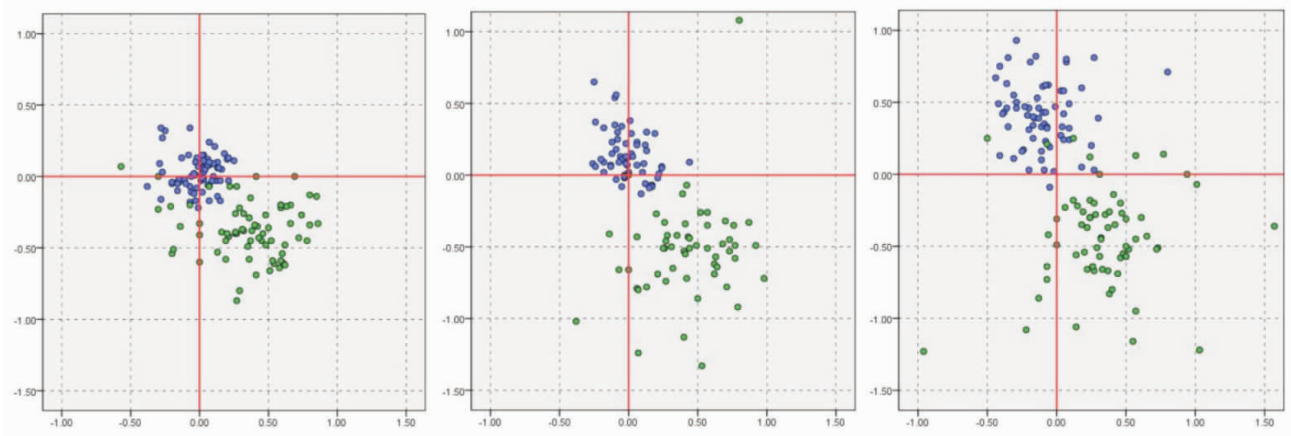
表2 各组角膜地形图后表面高度图形态分布及所占比例[眼(%)]

组别	眼数	岛型	不完全岛型	桥型递增型	桥型递减型	不完全桥型	不规则型
正常对照	70	0(0)	0(0)	2(3)	18(26)	43(61)	7(10)
初期组	57	4(7)	14(25)	23(40)	7(12)	4(7)	5(9)
完成期组	66	37(56)	22(33)	7(11)	0(0)	0(0)	0(0)



上排左图为正常对照组角膜地形图, 后表面高度图形态为不完全桥型; 右图为初期圆锥角膜患者地形图, 后表面高度图形态为桥型递增型; 下排为完成期圆锥角膜患者地形图, 后表面高度图形态为岛型

图2 正常眼、初期圆锥角膜及完成期圆锥角膜患者典型角膜地形图



该图从左到右依次为正常对照组(70眼)、初期组(57眼)及完成期组(66眼),蓝色点为瞳孔中心,绿色点为角膜最薄点,红色十字交叉点为角膜顶点,水平红线表示x轴,刻度负值表示顶点鼻侧,正值表示顶点颞侧,垂直红线表示y轴(单位mm),刻度负值表示顶点下方,正值表示顶点上方。

图3 各组角膜最薄点及对应瞳孔中心位置分布(以顶点为原点)

2.3.2 各组角膜最薄点、顶点及瞳孔中心任意2点间距离 3组角膜顶点均近瞳孔中心而远离最薄点,最薄点与瞳孔中心之间距离最远。完成期组顶点与瞳孔中心距离明显大于其余2组,差异均有统计学意义( $F=68.806, P<0.01$ );初期组与正常对照组差异无统计学意义( $P>0.05$ )。初期组顶点与最薄点距离明显大于其余2组,差异均有统计学意义( $F=6.903, P<0.05$ );完成期组与正常对照组差异无统计学意义( $P>0.05$ )。正常对照组、初期组及完成期圆锥角膜组角膜最薄点距瞳孔中心距离依次增大,组间差异均有统计学意义( $F=39.860, P<0.01$ )。见表4。

表4 各组间任意2点间距离比较(mm,  $\bar{x}\pm s$ )

组别	眼数	顶点-瞳孔中心	最薄点-顶点	最薄点-瞳孔中心
正常对照	70	0.17±0.10	0.59±0.20	0.61±0.18
初期组	57	0.22±0.13	0.77±0.27 <sup>a</sup>	0.86±0.29 <sup>a</sup>
完成期组	66	0.48±0.23 <sup>ac</sup>	0.66±0.32 <sup>b</sup>	1.04±0.37 <sup>ac</sup>
F值		68.806	6.903	39.860
P值		<0.01	<0.01	<0.01

注:与正常对照组比较:<sup>a</sup>  $P<0.01$ ;初期组比较:<sup>a</sup>  $P<0.05$ ,<sup>b</sup>  $P<0.01$

2.3.3 角膜最薄点分别与顶点和瞳孔中心连线与x轴正轴的夹角,即角膜最薄点颞下方偏移角度(规定x轴正轴为0°,y轴负轴为90°) 正常对照组、初期组及完成期圆锥角膜组的最薄点分别有81%(57眼)、86%(49眼)和76%(50眼)位于顶点颞下方( $x>0, y<0$ ),见表3。3组最薄点偏离瞳孔中心角度均大于偏离角膜顶点角度,完成期组与初期圆锥角膜组角膜最薄点偏离顶点角度及偏离瞳孔中心角度差异均无统计学意义,正常对照组两者角度均为最小,与其余2组差异均有统计学意义( $F_{\text{最薄点-顶点}}=3.112, P<0.05, F_{\text{最薄点-瞳孔中心}}=12.850, P<0.01$ )。见表5。

表5 角膜最薄点分别偏离顶点及瞳孔中心颞下方角度分布及比较(°,  $\bar{x}\pm s$ )

组别	眼数	最薄点-顶点	最薄点-瞳孔中心
正常对照	57	41.96±17.30	42.53±17.13
初期组	49	49.14±18.83 <sup>a</sup>	54.59±16.76 <sup>b</sup>
完成期组	50	49.40±16.77 <sup>a</sup>	58.59±17.59 <sup>b</sup>
F值		3.112	12.850
P值		<0.05	<0.01

注:与正常对照组比较:<sup>a</sup>  $P<0.05$ ,<sup>b</sup>  $P<0.01$

### 3 讨论

圆锥角膜主要临床症状为角膜进行性扩张变薄,导致角膜中央或旁中央区变形前突呈锥形。圆锥角膜进展过程中,角膜后表面高度也逐渐发生改变。本研究发现不同时期圆锥角膜与正常对照组的角膜地形图后表面高度形态也具有一定的差异及特点,可为临床早期诊断圆锥角膜提供形态学参考。参照杜显丽等<sup>[3]</sup>及王秀先等<sup>[7]</sup>对Pentacam系统角膜地形图后表面形态的分型,本课题组对不同时期的圆锥角膜后表面形态进行了观察。观察结果显示:正常组、初期圆锥角膜组、完成期圆锥角膜组角膜后表面形态按照不完全桥型或桥型递减型、桥型递增型或不完全岛型、不完全岛型或岛型逐渐过渡。表明从正常角膜进展到圆锥角膜过程中,角膜后表面高度逐渐升高。初期圆锥角膜临床并未发现角膜明显变薄前突,后表面高度仍表现出明显递增。提示观察角膜地形图后表面形态可以为临床早期发现圆锥角膜提供依据,亦可观察圆锥角膜进展过程中的动态演变,同时也有助于临床早期发现后圆锥型圆锥角膜。

近来有研究显示正常人角膜顶点并非为角膜最薄处,角膜最薄点更多位于顶点颞下方<sup>[4-5]</sup>。临床发

现圆锥角膜锥体也多分布于角膜颞下方<sup>[1]</sup>, 本研究小组通过观察角膜地形图形态时也发现了这一现象(锥体位于颞下方比例约65%)。探讨圆锥角膜最薄点位置变化可能对分析圆锥角膜发病机制起到一定作用。Oculus的坐标系统中左右眼水平x轴正负值代表方向相反。Prakash等<sup>[9]</sup>发现双眼角膜最薄点多呈垂直轴对称分布, 因此本研究为忽略左右眼因例数差异较大对统计分析带来的干扰, 对坐标轴进行了方向一致的统一转换, 简化了计算, 便于分析角膜最薄点分布规律。

本研究对正常人角膜最薄点、顶点及瞳孔中心3点位置关系进行了观察, 结果发现正常人瞳孔中心主要围绕在顶点周围0.25 mm区域内, 鼻上方相对较少, 其余象限近似平均分布。角膜最薄点明显远离顶点及瞳孔中心, 但最薄点距其余2点距离和偏移角度几乎相等, 提示正常人瞳孔中心多可认为与角膜顶点重合。最薄点距顶点约(0.59±0.20)mm, 与Prakash等<sup>[9]</sup>研究结果相近。最薄点距顶点或瞳孔中心颞下方偏移角度均约为42°, 表明正常人最薄点略向水平颞侧偏移。以上数据为正常角膜3点的正常位置关系提供了一定的参考数据。

本研究还发现正常组、初期组、完成期组角膜最薄点逐渐远离瞳孔中心。初期组角膜顶点与瞳孔中心距离接近正常组(但初期组角膜顶点更多位于瞳孔中心下方), 而与最薄点距离为3组中最远。与之相反完成期组角膜顶点距瞳孔中心为3组中最远, 而与最薄点距离接近正常组。以上提示圆锥角膜早期角膜最薄点最先发生位置改变, 远离顶点及瞳孔中心, 顶点位置改变明显滞后于最薄点。

圆锥角膜进展过程中角膜最薄点先于顶点最先发生位置改变, 本研究分析这种现象可能与圆锥角膜生物力学改变有关。Johnson等<sup>[8]</sup>和Shah等<sup>[9]</sup>均发现圆锥角膜的角膜滞后量及角膜阻力因子量较正常角膜明显减小, 表明圆锥角膜的生物力学强度减弱, 导致其抵抗机械张力的能力下降, 容易发生角膜扩张。因此本研究分析角膜最薄点所在区域为角膜最薄弱区, 抵抗眼压等压力的能力最弱, 可能最早于此处发生角膜扩张变薄。当厚度减小至无法抗衡眼内压等所带来的压力时, 遂发生角膜变形前突呈锥形, 此时角膜重新形成新的角膜顶点。本研究还发现初期及完成期圆锥角膜最薄点偏移顶点或瞳孔中心角度均高度一致, 因此最薄点的位置可能还决定了圆锥角膜锥顶的偏移方向。

而圆锥角膜患者最薄点偏移角度均较正常人

大, 提示在圆锥角膜进展过程中, 最薄点垂直下方位移较水平方向更明显。有学者<sup>[10]</sup>推测可能由于上方角膜常受上睑保护可对抗眼压而下方角膜常处暴露状态, 承受压力较大, 角膜扩张更多向下方发展。本研究推测也可能由于人常处坐位或立位, 在圆锥角膜前突过程中房水产生的重力作用使角膜下方比上方和水平方向受力更大, 导致垂直下方扩张明显。但以上现象在圆锥角膜动态演变过程是否具有普遍规律, 其可能的发生机制及相关依据还有待进一步分析。

本研究结果表明, 对于临床可疑圆锥角膜患者需定期随访其角膜地形图变化, 若发现角膜后表面由不完全桥型或桥型递减型向桥型递增型甚至岛型发展, 或角膜最薄点偏离顶点距离增加要高度警惕圆锥角膜的可能。正常人与圆锥角膜患者角膜最薄点均偏离顶点颞下方, 提示生物力学改变可能在圆锥角膜进展过程中发挥了重要作用。

#### 参考文献:

- [1] 谢立信, 史伟云. 角膜病学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2007: 360-368.
- [2] Hashemi H, Mehravaran S. Day to day clinically relevant corneal elevation, thickness, and curvature parameters using the Orbscan II scanning slit Topographer and the Pentacam Scheimpflug imaging device[J]. Middle East Afr J Ophthalmol, 2010, 17: 44-55.
- [3] 杜显丽, 陈敏, 马玲, 等. Pentacam及Orbscan II角膜地形图在可疑圆锥角膜的诊断特点分析[J]. 中华眼科杂志, 2012, 48: 323-329.
- [4] Keech A, Simpson T, Jones L. Repeatability of pachymetry and thinnest point localization using a fourier-domain optical coherence tomographer[J]. Optom Vis Sci, 2010, 87: 736-741.
- [5] Prakash G, Ashok K D, Agarwal A, et al. Evaluation of bilateral minimum thickness of normal corneas based on Fourier-domain optical coherence tomography [J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36: 1365-1372.
- [6] Rabinowitz YS. Videokeratographic indices to aid in screening for keratoconus[J]. J Refract Surg, 1995, 11: 371-379.
- [7] 王秀先, 杜显丽, 高华, 等. Pentacam对准分子激光原位角膜磨镶术后角膜后表面的临床分析[J]. 临床眼科杂志, 2011, 19: 481-485.
- [8] Johnson RD, Nguyen MT, Lee N, et al. Corneal biomechanical properties in normal, forme fruste keratoconus, and manifest keratoconus after statistical correction for potentially confounding factors[J]. Cornea, 2011, 30: 516-523.
- [9] Shah S, Laiquzzaman M, Bhowani R, et al. Assessment of the biomechanical properties of the cornea with the ocular response analyzer in normal and keratoconic eyes[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2007, 48: 3026-3031.
- [10] Avitabile T, Franco L, Ortisi E, et al. Keratoconus staging: a computer-assisted ultrabiomicroscopic method compared with videokeratographic analysis[J]. Cornea, 2004, 23: 655-660.

(收稿日期: 2013-10-18)

(本文编辑: 季魏红, 毛文明)