

Pentacam 眼前节分析系统在圆锥角膜早期诊断中的应用

张雪 胡琦 崔静 康杨 李雪 王珂萌

【摘要】 目的 探讨临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜与正常角膜的形态变化以及 Pentacam 眼前节分析系统在圆锥角膜早期诊断中的意义。方法 病例对照研究。根据 Rabinowitz 诊断标准将 35 例圆锥角膜患者分成临床期圆锥角膜组 16 例(16 眼)、亚临床期圆锥角膜组 19 例(19 眼),并选取有近视散光的患者 29 例(29 眼)作为正常对照组。应用 Pentacam 眼前节分析系统检测 3 组患者的角膜前表面形态学参数:表面变异指数(ISV)、垂直不对称指数(IVA)、圆锥角膜指数(KI)、中央圆锥角膜指数(CKI)、高度不对称性指数(IHA)、高度离心指数(IHD)、最小曲率半径(Rmin)和不规则指数(ABR)。利用方差分析、Dunnett-*t* 检验和受检者工作特征曲线(ROC 曲线)分析方法对各参数进行比较研究,最终利用偏最小二乘(Partial Least Squares, PLS)方法构建临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜的早期诊断模型。**结果** 角膜前表面形态学参数在临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组和正常对照组之间存在差异。ROC 曲线分析结果显示临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组中各参数的曲线下面积(AUC)均接近于 1,说明其诊断准确性较高,并且分别得出临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜的诊断界值:ISV 为 39 和 22.4, Rmin 为 6.765 和 7.11, KI 为 1.085 和 1.045。应用 PLS 方法构建临床期圆锥角膜的早期诊断模型: $\hat{Y} = 8.231 + 0.006 \text{ ISV} + 0.843 \text{ IVA} + 0.869 \text{ KI} - 3.186 \text{ CKI} - 0.010 \text{ IHA} + 0.679 \text{ IHD} - 0.649 \text{ Rmin} - 0.057 \text{ ABR}$ 。亚临床期圆锥角膜早期诊断的 PLS 模型: $\hat{Y} = 7.861 - 0.563 \text{ Rmin} + 0.018 \text{ ISV} + 0.390 \text{ IVA} - 3.281 \text{ KI} + 0.571 \text{ CKI} - 0.010 \text{ IHA} + 0.727 \text{ IHD} - 0.009 \text{ ABR}$ 。**结论** Pentacam 眼前节分析系统对临床期圆锥角膜及亚临床期圆锥角膜的早期诊断有重要作用。

【关键词】 圆锥角膜; Pentacam; 角膜前表面; 形态学参数

Application of Pentacam in the early diagnosis of keratoconus

ZHANG Xue, HU Qi,

CUI Jing, KANG Yang, LI Xue, WANG Ke-meng. Department of Ophthalmology, the Center of Optometry of the First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150001, China

Corresponding author: HU Qi, Email: huqi5115@sina.com

【Abstract】 Objective To investigate the change in morphologic parameters using the Pentacam to discriminate between clinical keratoconus eyes, subclinical keratoconus eyes and normal eyes for early diagnosis. **Methods** This was a case control study. Adopting the Rabinowitz diagnosis standards, we divided 35 patients with keratoconus into 2 subgroups: 16 patients (16 eyes) with clinical keratoconus and 19 patients (19 eyes) with subclinical keratoconus. Twenty-nine patients (29 eyes) with myopic astigmatism were used as a control group. The following morphologic parameters of the anterior corneal surface provided by Pentacam in the clinical keratoconus group, subclinical keratoconus group and control group were recorded: index of surface variance (ISV), index of vertical asymmetry (IVA), keratoconus index (KI), central keratoconus index (CKI), index of highest asymmetry (IHA), index of highest decentration (IHD), minimum sagittal curvature (Rmin) and aberration coefficient (ABR). An analysis of variance, Dunnett-*t* test and receiver operating characteristic (ROC) curves were used for analysis and partial least squares (PLS) was used to construct models with corneal morphologic parameters of the anterior corneal surface for early diagnosis. **Results** There were significant differences between the clinical keratoconus group, subclinical keratoconus group and control group. The values of the area under the curve (AUC) were

DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2013.03.008

基金项目:哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目(2011RFXY051)

作者单位:150001 哈尔滨医科大学附属第一医院眼科视光学中心

通信作者:胡琦, Email: huqi5115@sina.com

all close to 1, and the diagnosis accuracy was high. The optimum cutoff points of the ISV for clinical keratoconus and subclinical keratoconus were 39 and 22.4, Rmin was 6.765 and 7.11, and KI was 1.085 and 1.045. The PLS model of clinical keratoconus was $\hat{Y} = 8.231 + 0.006 \times \text{ISV} + 0.843 \times \text{IVA} + 0.869 \times \text{KI} - 3.186 \times \text{CKI} - 0.010 \times \text{IHA} + 0.679 \times \text{IHD} - 0.649 \times \text{Rmin} - 0.057 \times \text{ABR}$, and the PLS model of subclinical keratoconus was $\hat{Y} = 7.861 - 0.563 \times \text{Rmin} + 0.018 \times \text{ISV} + 0.390 \times \text{IVA} - 3.281 \times \text{KI} + 0.571 \times \text{CKI} - 0.010 \times \text{IHA} + 0.727 \times \text{IHD} - 0.009 \times \text{ABR}$. **Conclusion** Pentacam is important in the early diagnosis of clinical keratoconus eyes and subclinical keratoconus.

【Key words】 Keratoconus; Pentacam; Anterior corneal surface; Morphological parameter

圆锥角膜是一种表现为局限性的角膜圆锥样突起,伴突起区角膜基质进行性变薄的先天性发育异常。一般在青春前期后双眼发病,引起不规则近视散光和不同程度矫正视力下降。因此,早期发现圆锥角膜并提供及时合理的治疗,可以延缓病程进展^[1-4]。目前,诊断圆锥角膜的方法主要是角膜地形图检查,但是因其容易受到泪膜、眼表疾病及配戴角膜接触镜等因素的影响,对于早期圆锥角膜的诊断具有一定的局限性^[5]。Pentacam 是以德国 Oculus 公司生产的世界上第一种旋转 Scheimflug 摄像机为基础,集角膜测厚、角膜前后表面地形测量、Scheimflug 眼前节图像显示、白内障分析和三维眼前房分析 5 种功能于一身的眼前节分析系统,并且可以提供多个角膜形态学参数。本研究探讨其中 8 个角膜前表面形态学参数与临床期圆锥角膜、亚临床期圆锥角膜的关系及在圆锥角膜早期诊断中的应用。

1 对象与方法

1.1 对象

诊断标准:临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜的诊断参照 Rabinowitz 诊断标准^[6]。临床期圆锥角膜:有近视、散光病史;视力下降;矫正视力 <1.0 ;裂隙灯检查中以下体征至少 1 项阳性:角膜基质变薄、锥状向前膨隆、Fleischer 环、Vogt 线、上皮或上皮下角痕。角膜地形图检查示角膜前表面中央屈光度 >47 D;角膜中心下方 3 mm 处与上方 3 mm 处屈光度差值 >3 D;双眼角膜中央前表面屈光度差值 >1 D。亚临床期圆锥角膜诊断标准为不满足临床期圆锥角膜诊断标准但符合以下标准:角膜中央的屈光度 >46.5 D;下方 3 mm 处与上方 3 mm 处角膜屈光度差值 >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 2011 年 12 月在哈尔滨医科大学第一临床医学院眼科医院就诊的圆锥角膜患者,根据 Rabinowitz^[6]诊断标准进行分组,其中临床期圆锥角膜组患者 16 例(16 眼),亚临床期圆锥角膜组患者 19 例(19 眼),并选取 29 例(29 眼)有近视、散光史的正常眼作为正常对照组,球镜度 <7.00 D,

柱镜度 <4.00 D,无角膜接触镜配戴史。每例患者选取一只眼,排除有眼部手术史、外伤史、其他角膜病史、青光眼家族史等患者。所有入选者均为黄种人,汉族,主要来自中国东北地区。所有入选者均签署了知情同意书。

1.2 方法

常规进行视力、裂隙灯显微镜、综合验光、角膜地形图检查,操作均由同一位医师完成。

应用 Pentacam 三维眼前节分析系统(德国 Oculus 公司)分别对临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组和正常对照组进行检测,每眼重复检测 3 次,选取重复性较好的结果作为最终检测结果。选取 8 个角膜前表面形态学参数进行分析,该 8 个角膜前表面形态学参数分别为表面变异指数(index of surface variance, ISV)、垂直不对称指数(index of vertical asymmetry, IVA)、圆锥角膜指数(keratoconus index, KI)、中央圆锥角膜指数(central keratoconus index, CKI)、高度不对称性指数(index of highest asymmetry, IHA)、高度离心指数(index of highest decentration, IHD)、最小曲率半径(minimum sagittal curvature, Rmin) 和不规则指数(aberration coefficient, ABR)。

1.3 统计学方法

病例对照研究。使用 SAS 9.1.3 统计软件进行数据处理。对临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组和正常对照组做 3 组间的方差分析,存在差异时再采用 Dunnett-*t* 方法进一步对临床期圆锥角膜组与正常对照组、亚临床期圆锥角膜组与正常对照组的比较,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。对所有变量作单变量 ROC 曲线分析,计算角膜前表面形态学各参数的曲线下面积(area under curve, AUC),并且确定这些变量在区分临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组与正常对照组患者时的诊断界值以及对应的灵敏度和特异度。初步排除上述两种方法均不显著的变量,对剩余所有变量进行偏最小二乘(Partial Least Squares, PLS)分析,选择变量投影重要性(Variable Importance In Projection, VIP)得

分 ≥ 0.9 的变量构造最终 PLS 模型,并作出可视化示意图,其中横轴与纵轴分别代表通过 PLS 模型提取的两个综合成分,若提取的成分可以将不同组的数据区分开,则说明构建的 PLS 模型具有较好的区分与预测性能。

2 结果

2.1 临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组和正常对照组 8 个角膜前表面形态学参数的比较研究

将临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组和正常对照组的 8 个角膜前表面形态学参数进行方差分析,提示差异均有统计学意义。将临床期圆锥角膜组与正常对照组、亚临床期圆锥角膜组与正常对照组的 8 个角膜前表面形态学参数进行组间的差异 Dunnett-t 检验,均提示差异有统计学意义(见表 1)。

表 1 临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组和正常对照组 8 个角膜前表面形态学参数的比较研究

参数	临床期圆锥	亚临床期圆锥	正常对照组	F 值	P 值
	角膜组(16 眼)	角膜组(19 眼)	(29 眼)		
ISV	88.31±19.84	49.42±16.51	14.04±3.13	159.52	<0.05
IVA	0.93±0.24	0.52±0.28	0.10±0.04	98.38	<0.05
KI	1.22±0.07	1.09±0.08	1.02±0.02	74.93	<0.05
CKI	1.08±0.04	1.02±0.02	1.00±0.01	67.05	<0.05
IHA	27.73±26	21.60±20.15	2.63±2.01	13.62	<0.05
IHD	0.09±0.03	0.04±0.03	0.01±0.00	95.80	<0.05
Rmin	5.99±0.26	6.77±0.22	7.66±0.21	304.26	<0.05
ABR	2.49±0.48	1.96±0.52	1.10±0.60	35.93	<0.05

注:临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组与正常对照组的比较, P 均<0.05

2.2 角膜前表面形态学参数的 ROC 曲线分析

2.2.1 在临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜中的诊断准确性 利用 ROC 曲线方法分别对临床期圆锥角膜组与正常对照组、亚临床期圆锥角膜组与正常对照组的角膜前表面形态学参数进行分析,评估所有变量的曲线下面积(AUC)。在临床期圆锥角膜组与正常对照组的比较研究中除 IHA、ABR 外的角膜前表面形态学各参数均有较高的 AUC。在亚临床期圆锥角膜组与正常对照组的比较研究中,ISV、Rmin 有较高的 AUC,其余参数 AUC 由高到低依次为 IVA、IHD、IHA、ABR、CKI、KI(见表 2)。

2.2.2 在临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜中的诊断界值及其灵敏度和特异度 利用 ROC 曲线方法分析临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组与正常对照组的角膜前表面形态学各参数变化,得出该参数在临床期圆锥角膜与亚临床期圆锥角膜诊断中的界值及对应的灵敏度与特异度(见表 3)。

表 2 角膜前表面形态学参数在临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组与正常对照组中的 AUC

参数	临床期圆锥角膜组		亚临床期圆锥角膜组	
	vs 正常对照组		vs 正常对照组	
	AUC	95%CI*	AUC	95%CI*
ISV	1	1,1	1	1,1
IVA	1	1,1	0.995	0.983,1.006
KI	1	1,1	0.855	0.708,1.002
CKI	1	1,1	0.867	0.734,0.999
IHA	0.884	0.751,1.016	0.941	0.864,1.018
IHD	1	1,1	0.978	0.939,1.017
Rmin	1	1,1	1	1,1
ABR	0.998	0.993,1.003	0.888	0.792,0.983

注:*95%CI 为 95%的置信区间

表 3 利用 ROC 曲线分析方法确定角膜前表面形态学参数在临床期圆锥角膜组、亚临床期圆锥角膜组中的诊断界值及其灵敏度和特异度

参数	临床期圆锥角膜组			亚临床期圆锥角膜组		
	vs 正常对照组			vs 正常对照组		
	诊断界值	灵敏度	特异度	诊断界值	灵敏度	特异度
ISV	39	1	1	22.5	1	1
IVA	0.395	1	1	0.235	0.947	1
KI	1.085	1	1	1.045	0.79	1
CKI	1.025	1	1	1.015	0.737	0.966
IHA	7.3	0.813	0.966	4.25	0.947	0.897
IHD	0.027	1	1	0.0135	0.895	1
Rmin	6.765	1	1	7.11	1	1
ABR	1.75	0.938	1	1.75	0.684	1

2.3 利用 PLS 方法构建临床期圆锥角膜与亚临床期圆锥角膜早期诊断的模型

2.3.1 筛选构建 PLS 模型有效的角膜前表面形态学参数 利用 PLS 方法筛选区分临床期圆锥角膜组和亚临床期圆锥角膜组与正常对照组有效的角膜前表面形态学参数(VIP 得分 ≥ 0.9),结果显示 ISV、IVA、KI、CKI、IHA、IHD、Rmin 和 ABR 的 VIP 得分均 ≥ 0.9 。

2.3.2 利用 PLS 方法构建临床期圆锥角膜早期诊断的模型 利用 PLS 方法构建临床期圆锥角膜的早期诊断模型: $\hat{Y} = 8.231 + 0.006 \times ISV + 0.843 \times IVA + 0.869 \times KI - 3.186 \times CKI - 0.010 \times IHA + 0.679 \times IHD - 0.649 \times Rmin - 0.057 \times ABR$, 当 $\hat{Y} \geq 0.998$ 时判为临床期圆锥角膜,否则判为正常;该模型的灵敏度为 1.000,特异度为 1.000(见图 1)。

2.3.3 利用 PLS 方法构建亚临床期圆锥角膜早期诊断的模型 利用 PLS 方法构建亚临床期圆锥角膜早期诊断模型: $\hat{Y} = 7.861 - 0.563 \times Rmin + 0.018 \times$

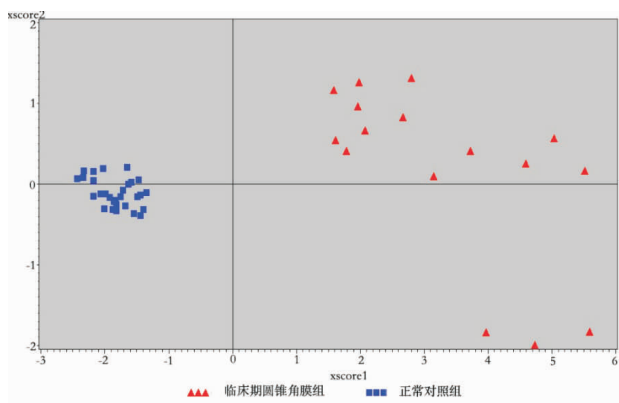


图 1 临床期圆锥角膜早期诊断的 PLS 模型可视化示意图

$ISV + 0.390 \times IVA - 3.281 \times KI + 0.571 \times CKI - 0.010 \times IHA + 0.727 \times IHD - 0.009 \times ABR$, 当 $\hat{Y} \geq 0.972$ 时判为亚临床期圆锥角膜, 否则判为正常, 该模型的灵敏度为 1.000, 特异度为 1.000 (见图 2)。

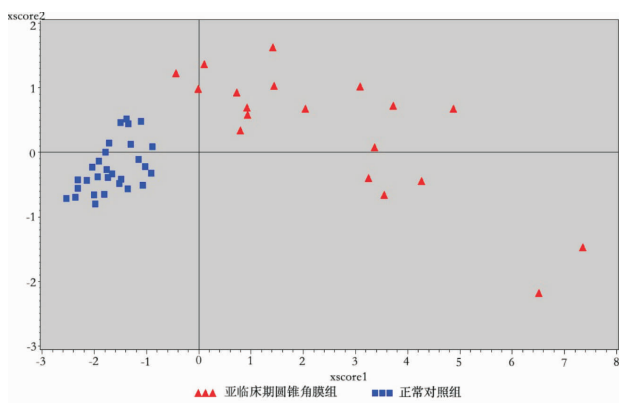


图 2 亚临床期圆锥角膜早期诊断的 PLS 模型可视化示意图

3 讨论

圆锥角膜是一种致盲性眼病。它的早期阶段表现为近视进行性加深和不规则散光, 可以通过配戴硬性角膜接触镜来治疗。当疾病发展到晚期阶段, 往往需要进行角膜移植, 但是由于供体角膜的匮乏和角膜移植后的免疫排斥反应, 该病的预后不甚理想^[7]。因此, 圆锥角膜的早期诊断非常重要。

计算机辅助的角膜地形图为圆锥角膜的早期诊断及分期提供了相对可靠的指标。但是传统的角膜地形图仪在测量时, 假设测量眼的视轴、角膜顶点与测量仪器的参照面共轴, 而实际上角膜顶点与视轴往往并不相符, 结果可能产生一定误差^[8]。Pentacam 眼前节分析系统能够将 25 000 个真实的高度测量点合成眼前节的三维模型, 计算和描述角膜前后表面的图形, 并且能够对角膜的一些数据进行计算,

形成多个角膜形态学参数^[9-10]。本研究通过 Pentacam 眼前节分析系统检测临床期圆锥角膜、亚临床期圆锥角膜和正常角膜的前表面形态学参数如: ISV 为表面变异指数; IVA 为垂直不对称指数, 给出水平子午线作为反射轴时的角膜半径的对称度数, 在斜轴散光, 圆锥角膜和角膜缘膨出时升高; KI 为圆锥角膜指数; CKI 为中央圆锥角膜指数, 在中央圆锥角膜中升高; IHA 为高度不对称性指数, 是以水平子午线作为反射轴时的高度数据的对称度数, 与 IVA 相似, 只不过在某些情况下更灵敏; IHD 为高度离心指数, 是通过高度数据的傅立叶分析得到, 这个指数给出了垂直方向的离心度数, 在圆锥角膜中升高; Rmin 为最小曲率半径; ABR 为不规则指数, 是通过 zernike 分析计算得到, 如果角膜没有不规则, ABR 为 0, 否则为 1 或更高, 由不规则程度决定。通过以上参数来探讨 Pentacam 眼前节分析系统对圆锥角膜早期诊断的意义。

ROC 曲线分析可以评估角膜前表面形态学参数在圆锥角膜诊断中的准确性。AUC 是 ROC 曲线评价统计量。当 $AUC > 0.5$ 时, AUC 越接近于 1, 说明诊断准确性越高。AUC=0.5 时, 说明诊断方法完全不起作用, 无诊断价值。AUC<0.5 不符合真实情况, 在实际中极少出现。AUC 越大, 说明该参数的准确性越高。本研究中临床期圆锥角膜组和亚临床期圆锥角膜组的角膜前表面形态学各参数的 ROC 曲线下面积均接近于 1, 说明本研究中的参数在圆锥角膜诊断中具有较高的准确性。应用 ROC 曲线分析分别得出角膜前表面形态学各参数的诊断界值及其灵敏度和特异度。本研究得出临床期圆锥角膜组与正常对照组、亚临床期圆锥角膜组与正常对照组灵敏度和特异度较好的参数为 ISV、Rmin 和 KI。ISV 为表面变异指数, 是个体角膜半径与平均值间的差异, 在角膜表面不规则的情况下升高 (如瘢痕、散光、接触镜、圆锥角膜等引起的变形)。目前, 国内外对于 Pentacam 眼前节分析系统检测的前表面形态学参数研究并不深入, 仅 Ömür Ö. Uçakhan 等^[11]对其做了一些初步探讨, 提出临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜的 ISV 诊断界值、灵敏度、特异度分别为 59、84.1%、90.5% 和 24.5、86.4%、66%。本研究显示临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜的 ISV 诊断界值分别为 39 和 22.4, 灵敏度和特异度均为 100%; 而 Pentacam 眼前节分析系统本身给出的临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜诊断界值为 41 和 37。Rmin 为最小曲率半径, Rmin 越小说明圆锥角膜顶突出程度越大。Ömür Ö. Uçakhan 等^[11]提出临床

期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜的 Rmin 诊断界值、灵敏度、特异度分别为 6.545、95.2%、63.6% 和 7.275、69.8%、61.4%。本研究显示临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜的 Rmin 诊断界值分别为 6.765 和 7.11, 灵敏度和特异度均为 100%; 而 Pentacam 眼前节分析系统本身给出的临床期和亚临床期圆锥角膜诊断界值均为 6.71。KI 为圆锥角膜指数, Ömür Ö. Uçakhan 等^[11]提出临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜 KI 的诊断界值、灵敏度、特异度分别为 1.125、86.4%、85.7% 和 1.05、86.4%、63.5%。本研究显示临床期圆锥角膜和亚临床期圆锥角膜的 KI 诊断界值、灵敏度、特异度分别为 1.085、100%、100% 和 1.045、79%、100%。而 Pentacam 眼前节分析系统本身给出的临床期和亚临床期圆锥角膜诊断界值均为 1.07。本研究和 Ömür Ö. Uçakhan 等^[11]的研究应用的 Pentacam 为相同型号, 诊断界值的差异可能是由于人群不同或是样本量大小的不同所致, 临床眼科医生在对圆锥角膜诊断时可以将这些参数结合临床症状做出进一步的判断。

PLS 是一种新型的多元统计数据分析方法, 它主要研究的是多因变量对多自变量的回归建模, 特别当各变量内部高度线性相关时, 用偏最小二乘回归法更有效。另外, 偏最小二乘回归也能够较好地解决样本个数少于变量个数等问题, 因此本研究采用 PLS 方法进行变量筛选并建立最终模型。我们利用 PLS 方法筛选的有效参数为 ISV、IVA、KI、CKI、IHA、IHD、Rmin 和 ABR, 临床期圆锥角膜的 PLS 模型为: $\hat{Y} = 8.231 + 0.006 \times ISV + 0.843 \times IVA + 0.869 \times KI - 3.186 \times CKI - 0.010 \times IHA + 0.679 \times IHD - 0.649 \times Rmin - 0.057 \times ABR$, 当 $\hat{Y} \geq 0.998$ 时判为临床期圆锥角膜, 否则判为正常眼; 亚临床期圆锥角膜的 PLS 模型为: $\hat{Y} = 7.861 - 0.563 \times Rmin + 0.018 \times ISV + 0.390 \times IVA - 3.281 \times KI + 0.571 \times CKI - 0.010 \times IHA + 0.727 \times IHD - 0.009 \times ABR$, 当 $\hat{Y} \geq 0.972$ 时判为亚临床期圆锥角膜, 否则判为正常眼。单个角膜前表面形态学参数只能反映角膜形态的某一局部变化, 对于圆锥角膜的诊断有一定的局限性, 而构建这两个模型可以帮助临床眼科医生从整体的角度对圆锥角

膜进行早期筛查。

本项研究发现 Pentacam 眼前节分析系统检测的某些角膜前表面形态学参数能够帮助我们进行圆锥角膜的早期筛查, 其中比较重要的参数是 ISV、Rmin 和 KI。利用这些参数获得区别正常角膜和圆锥角膜的诊断界值, 并且构建圆锥角膜早期诊断的模型。本研究仍存在一些不足之处, 虽然收集了两年的圆锥角膜患者的门诊数据, 但样本量仍偏小, 今后会继续完善相关病例, 得出更有意义的研究结果。

参考文献:

- [1] Rabinowitz YS. Keratoconus. *Surv Ophthalmol*, 1998, 42: 297-319.
- [2] Amols SP, Deist MB, Gous P, et al. Iatrogenic keratectasia after laser in situ keratomileusis for less than -4.0 to -7.0 diopters of myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2000, 26: 967-977.
- [3] Binder PS, Lindstrom RL, Stulting RD, et al. Keratoconus and corneal ectasia after LASIK. *J Cataract Refract Surg*, 2005, 31: 2035-2038.
- [4] Randleman JB, Russell B, Ward MA, et al. Risk factors and prognosis for corneal ectasia after LASIK. *Ophthalmology*, 2003, 110: 267-275.
- [5] Randleman JB, Woodward M, Lynn MJ, et al. Risk assessment for ectasia after corneal refractive surgery. *Ophthalmology*, 2008, 115: 37-50.
- [6] Rabinowitz YS. Corneal topography//Bennett ES, Weissman BA, eds. *Clinical contact lens practice*. Philadelphia: Lippincott, 2005: 215-232.
- [7] 王志昕, 谢培英. 高透氧性硬性透气性角膜接触镜矫正高度与特殊类型屈光不正. *眼视光学杂志*, 2008, 10: 212-214.
- [8] Roberts C. Characterization of the inherent error in a spherically biased corneal topography system in mapping a radially aspheric surface. *J Refract Corneal Surg*, 1994, 10: 103-111.
- [9] Quisling S, Sjöberg S, Zimmerman B, et al. Comparison of Pentacam and Orbscan II on posterior curvature topography measurements in keratoconus eyes. *Ophthalmology*, 2006, 113: 1629-1632.
- [10] Barkana Y, Gerber Y, Elbaz U, et al. Central corneal thickness measurement with the pentacam scheimpflug system-optical low coherence reflectometry pachymeter and ultrasound pachymetry. *J Cataract Refract*, 2005, 31: 1729-1735.
- [11] Ömür Ö Uçakhan, Volkan Çetinkor, Muhip Özkan, et al. Evaluation of Scheimpflug imaging parameters in subclinical keratoconus, keratoconus, and normal eyes. *J Cataract Refract Surg*, 2011, 37: 1116-1124.

(收稿日期: 2012-05-11)

(本文编辑: 毛文明)