

# 基于不同角膜直径眼表形态学参数诊断早期圆锥角膜的临床研究

许苗,徐英男,薛劲松

引用:许苗,徐英男,薛劲松. 基于不同角膜直径眼表形态学参数诊断早期圆锥角膜的临床研究. 国际眼科杂志 2023; 23(2): 267-272

作者单位:(210029)中国江苏省南京市,南京医科大学附属眼科医院

作者简介:许苗,南京医科大学在读硕士研究生,研究方向:角膜病。

通讯作者:薛劲松,男,主任医师,硕士研究生导师,副院长,研究方向:角膜病. 25068411@qq.com

收稿日期:2022-07-12 修回日期:2023-01-11

## 摘要

目的:探讨不同角膜直径下眼表形态学参数对早期圆锥角膜的诊断价值。

方法:回顾性病例对照研究。选取2019-01/2022-03至我院就诊的患者201例201眼,分为对照组(单纯屈光不正病史的患者)135例135眼和亚临床圆锥角膜组66例66眼,均采用Pentacam眼前节分析仪检测角膜后表面3mm水平中央曲率(Kf)、垂直中央曲率(Ks)、平均曲率(Km)、I-S值、最薄点后表面高度、最佳拟合球体的最大后表面高度、最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度、角膜后表面非球面不对称指数(AAI)、角膜最薄点厚度(TCT)、角膜中央厚度(CCT)、角膜中央与最薄点厚度之差(DCT)、平均角膜厚度进展(PPIavg)、Ambrósio厚度最大变化率(ARTmax)、Belin D值。比较两组各指标的组间差异,并进行受检者工作特征(ROC)曲线分析,确定出最佳诊断界点。对照组根据角膜直径进一步分组:角膜直径 $\leq 11.0\text{mm}$ 组;  $11.1\text{mm} \leq$ 角膜直径 $\leq 11.5\text{mm}$ 组;  $11.6\text{mm} \leq$ 角膜直径 $\leq 12.0\text{mm}$ 组; 角膜直径 $\geq 12.1\text{mm}$ 组。比较不同角膜直径组间各参数差异。角膜直径与各参数相关性采用Pearson相关分析。

结果:亚临床圆锥角膜组与对照组I-S值、最薄点后表面高度、最佳拟合球体的最大后表面高度、最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度、AAI、TCT、DCT、PPIavg、ARTmax、Belin D值均有差异( $P < 0.001$ )。Belin D值、I-S值、PPIavg、AAI、最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度(AUC $\geq 0.9$ )对亚临床圆锥角膜诊断价值较高。对照组中的四组I-S值、最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度、AAI、TCT、CCT、DCT均无差异( $P > 0.05$ ),且均与角膜直径无相关性(均 $P > 0.05$ )。

结论:Pentacam眼前节分析仪获取的Belin D值、I-S值、PPIavg、AAI、最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度等参数是诊断早期圆锥角膜的敏感指标,其中I-S值、AAI、最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度等受角膜直径

影响较小,对不同角膜直径下的早期圆锥角膜诊断起着重要的临床意义。

关键词:角膜直径;亚临床圆锥角膜;Pentacam眼前节分析仪

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.2.17

## Clinical study on the diagnosis of early keratoconus based on ocular morphological parameters with different corneal diameters

Miao Xu, Ying-Nan Xu, Jin-Song Xue

The Affiliated Eye Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China

Correspondence to: Jin-Song Xue. The Affiliated Eye Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China. 25068411@qq.com

Received:2022-07-12 Accepted:2023-01-11

## Abstract

• AIM: To investigate the diagnostic value of ocular morphological parameters under different corneal diameters for early keratoconus.

• METHODS: A retrospective case-control study. A total of 201 patients (201 eyes) who were treated in our hospital from January 2019 to March 2022 were included. They were divided into 135 cases (135 eyes) in the control group (patients with history of refractive error) and 66 cases (66 eyes) in the subclinical keratoconus group. The Pentacam anterior segment analyzer was used to determine the horizontal central curvature of corneal posterior surface (Kf), posterior vertical central curvature of corneal posterior surface (Ks), average curvature of corneal posterior surface (Km), Posterior I-S ratio, corneal posterior surface height after the thinnest point (PE at the thinnest point), maximum posterior elevation from best fit sphere (MPE from BFS), maximum posterior elevation from best fit toric ellipsoid (MPE from BFTE), posterior asphericity asymmetry index (AAI), thinnest point thickness of the cornea (TCT), central corneal thickness (CCT), depressed corneal thickness (DCT), pachymetric progression index average (PPIavg), Ambrósio relational thickness maximum (ARTmax) and Belin D value. The differences of each parameter between the two groups were analyzed.

Receiver operating characteristic (ROC) curves were analyzed to determine the best diagnosis point. The control group was further divided into groups according to the corneal diameter: corneal diameter  $\leq 11.0\text{mm}$ ,  $11.1\text{mm} \leq \text{corneal diameter} \leq 11.5\text{mm}$ ,  $11.6\text{mm} \leq \text{corneal diameter} \leq 12.0\text{mm}$ , corneal diameter  $\geq 12.1\text{mm}$ . The differences of each parameter among these groups were compared. Pearson correlation analysis was used to analyze the correlation between corneal diameter and other parameters.

• **RESULTS:** There were significant differences in posterior I-S ratio, PE at the thinnest point, MPE from BFS, MPE from BFTE, posterior AAI, TCT, DCT, PPlavg, ARTmax, Belin D value between the subclinical keratoconus group and the control group ( $P < 0.05$ ). Sensitive index of Pentacam to diagnosis subclinical keratoconus were Belin D value, posterior I-S ratio, PPlavg, posterior AAI and MPE from BFTE ( $\text{AUC} \geq 0.9$ ). In the control group, there was no significant difference in posterior I-S ratio, MPE from BFTE, posterior AAI, TCT, CCT, and DCT among different corneal diameter groups ( $P > 0.05$ ), and there was no significant correlation with corneal diameter (all  $P > 0.05$ ).

• **CONCLUSION:** The Belin D value, posterior I-S ratio, PPlavg, posterior AAI, MPE from BFTE obtained by Pentacam are sensitive indicators for the diagnosis of early keratoconus, among which posterior I-S ratio, posterior AAI, MPE from BFTE are less affected by corneal diameter. They play an important role in the early diagnosis of keratoconus under different corneal diameters.

• **KEYWORDS:** corneal diameter; subclinical Keratoconus; Pentacam anterior segment analyzer

**Citation:** Xu M, Xu YN, Xue JS. Clinical study on the diagnosis of early keratoconus based on ocular morphological parameters with different corneal diameters. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023;23(2):267-272

## 0 引言

圆锥角膜(keratoconus, KC)是一种非炎性的角膜扩张疾病,表现为角膜中央或旁中央区基质层进行性变薄、向前凸出呈圆锥形,可致不规则散光、近视,甚至失明<sup>[1-2]</sup>。进展期的圆锥角膜因其裂隙灯下和角膜地形图的表现很容易被确诊,但早期圆锥角膜却是临床上诊断的难点,目前关注的焦点是角膜后表面的早期形态学变化<sup>[3]</sup>。Pentacam眼前节分析仪可以准确而快速地获得眼前节的三维立体图像及眼前段参数,对早期圆锥角膜诊断具有较强的指导意义<sup>[4]</sup>。但Pentacam测量结果易受到角膜直径<sup>[5-6]</sup>、角膜厚度<sup>[7]</sup>和角膜曲率<sup>[8]</sup>等因素的影响。因此,需要进一步寻找对早期圆锥角膜具有高度诊断价值且受角膜直径等影响较小的参数,目前此类临床研究甚少。本研究收集了正常对照组和亚临床圆锥角膜组患者的角膜后表面曲率、后表面高度、角膜厚度及BAD分析系统内置参数等数据,探讨其对早期圆锥角膜的诊断价值,并分析了角膜直径对上述参数的影响,现报道如下。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 回顾性病例对照研究。选取2019-01/2022-03至南京医科大学附属眼科医院就诊的亚临床圆锥角膜患者66例66眼,另选取同时期就诊的单纯屈光不正病史的患者135例135眼作为对照组(均纳入右眼)。亚临床圆锥角膜组纳入标准:(1)裂隙灯显微镜检查未发现Vogt条纹及角膜形态变化、未见Fleischer环,矫正视力 $\geq 0.8$ ;(2)角膜地形图符合Rabinowitz诊断标准<sup>[9]</sup>;(3)角膜中央的屈光力 $> 46.5\text{D}$ ;(4)角膜前表面中央下方与上方3mm屈光度差值 $> 1.26\text{D}$ ;(5)同一患者双眼角膜前表面屈光度差值 $> 0.92\text{D}$ 。单纯屈光不正患者无圆锥角膜及其他遗传性眼病家族史,最佳矫正视力 $\geq 0.8$ ,裂隙灯及角膜地形图无上述表现。所有患者均停戴软性角膜接触镜2wk以上,停戴硬性透气性角膜接触镜1mo以上再进行检查,且均无角膜瘢痕,无角膜外伤史、角膜手术史,无青光眼、干眼、葡萄膜炎、白内障等其他眼部疾病,排除影响视功能的全身性疾病、精神病史等。根据Pentacam测得的角膜直径对单纯屈光不正患者进一步分组:角膜直径 $\leq 11.0\text{mm}$ 组、 $11.1\text{mm} \leq \text{角膜直径} \leq 11.5\text{mm}$ 组、 $11.6\text{mm} \leq \text{角膜直径} \leq 12.0\text{mm}$ 组、角膜直径 $\geq 12.1\text{mm}$ 组。本研究经医院伦理学委员会审批,且入组患者均签署知情同意书。

## 1.2 方法

**1.2.1 检查方法** 受检者均给予主观及客观验光、眼底、裂隙灯、裸眼视力及矫正视力等常规检查。使用Pentacam眼前节分析仪(Oculus Optikgerate GmbH, Wetzlar)于暗室内,由同一名经验丰富的技师进行检查,每只眼重复拍摄3次,选择质量最佳的图像(质量规范“QS”框中显示OK)进行分析。

### 1.2.2 纳入参数

**1.2.2.1 角膜后表面曲率相关参数** 角膜后表面3mm水平中央曲率(Kf)、垂直中央曲率(Ks)、平均曲率(Km)、I-S值(I-S ratio)。I-S值为上/下角膜后表面直径6mm环间隔 $30^\circ$ 的5个点曲率平均值之差的绝对值。

**1.2.2.2 角膜后表面高度相关参数** 最薄点后表面高度(PE at the thinnest point)、最佳拟合球体的最大后表面高度(MPE from BFS)、最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度(MPE from BFTE)、角膜后表面非球面不对称指数(asphericity asymmetry index, AAI)。角膜后表面AAI为最佳拟合复曲面椭圆体(BFTE)参考面上,中心6mm直径最大高度值与最小高度值之间差值。

**1.2.2.3 角膜厚度相关参数** 角膜最薄点厚度(thinnest corneal thickness, TCT)、角膜中央厚度(central corneal thickness, CCT)、角膜中央与最薄点厚度之差(depressed corneal thickness, DCT)、平均角膜厚度进展(pachymetric progression index average, PPlavg)、Ambrósio厚度最大变化率(Ambrósio relational thickness maximum, ARTmax)。

**1.2.2.4 BAD系统相关指标** Belin D值(Belin D value)。

统计学分析:所有数据均采用SPSS 25.0统计软件分析处理并绘制结果。采用Shapiro-Wilk检验参数的正态性。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。对照组与亚临床圆锥角膜组的计量资料比较采用独立样本 $t$ 检验;不同角膜直径组的计量资料比较采用单因素方差分析。角膜直径与Pentacam参数间的相关性采用Pearson相关分

析及线性回归分析进行数据分析。以  $P < 0.05$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 一般资料** 本研究共纳入患者 201 例 201 眼。其中亚临床角膜组 66 例 66 眼,男 28 例 28 眼,女 38 例 38 眼,平均年龄  $24.34 \pm 3.42$  岁;对照组 135 例 135 眼,男 64 例 64 眼,女 71 例 71 眼,平均年龄  $25.33 \pm 2.89$  岁。对照组、亚临床圆锥角膜组受检者性别构成比、年龄,差异均无统计学意义 ( $t = 1.684, P = 0.094; \chi^2 = 4.443, P = 0.505$ )。

**2.2 两组患者 Pentacam 各参数比较** 亚临床圆锥角膜组 TCT、ARTmax 均明显低于对照组,差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),I-S 值、最薄点后表面高度、最佳拟合球体的最大后表面高度、最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度、AAI、DCT、PPIavg、Belin D 值均明显高于对照组,差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),见表 1。

**2.3 各项参数 ROC 曲线分析** 对比 Cut off 值、敏感度及特异度对亚临床圆锥角膜组和对照组具有统计学差异的 10 项参数作 ROC 曲线分析,找出诊断亚临床圆锥角膜的敏感指标。具有最高鉴别能力的参数为 Belin D 值、I-S 值、PPIavg、AAI 和最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度(曲线下面积  $AUC \geq 0.9$ ),见表 2,图 1。

**2.4 对照组中不同角膜直径组间 Pentacam 各参数比较** 对照组中,不同角膜直径组间角膜后表面曲率相关参数 Kf、Ks、Km 均有统计学意义 ( $P < 0.001$ ),I-S 值无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。后表面高度相关参数最薄点后表面高度、最佳拟合球体的最大后表面高度有差异 ( $P < 0.05$ ),最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度、AAI 无明显差异 ( $P > 0.05$ )。角膜厚度相关参数 TCT、CCT、DCT 在组间差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ),PPIavg、ARTmax 在组间差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。Belin D 值组间差异均有统计学意义 ( $P < 0.001$ ),见表 3。

**2.5 对照组角膜直径与 Pentacam 其他参数的相关性分析** 对照组中角膜后表面曲率参数 Kf、Ks、Km 与角膜直径均呈正相关 ( $r = 0.685, 0.565, 0.636$ , 均  $P < 0.001$ ),I-S 值与角膜直径无相关性 ( $r = -0.157, P = 0.108$ )。后表面高度参数最薄点后表面高度、最佳拟合球体的最大后表面高度与角膜直径均呈负相关 ( $r = -0.315, -0.373, P = 0.008, 0.02$ ),最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度、AAI 与角膜直径均无相关性 ( $r = -0.186, -0.111, P = 0.125, 0.361$ )。角膜厚度参数 TCT、CCT、DCT 与角膜直径均无相关性 ( $r = 0.098, 0.102, 0.008, P = 0.462, 0.443, 0.951$ ),PPIavg 与角膜直径呈负相关 ( $r = -0.335, P = 0.009$ ),ARTmax 与角膜直径呈正相关 ( $r = 0.299, P = 0.022$ )。Belin D 值与角膜直径呈负相关 ( $r = -0.453, P < 0.001$ ),见图 2。

## 3 讨论

早期圆锥角膜矫正视力正常,裂隙灯下无明显表现,其诊断是临床工作中的难点。目前早期圆锥角膜诊断的技术包括角膜地形图、角膜共聚焦显微镜、角膜生物力学测量和基因检测等<sup>[10-11]</sup>。Pentacam 系统被广泛应用于临床,它不仅能提供角膜前后表面曲率、高度、厚度等数据,还能基于测量结果,对角膜前后表面地形进行分级,其内

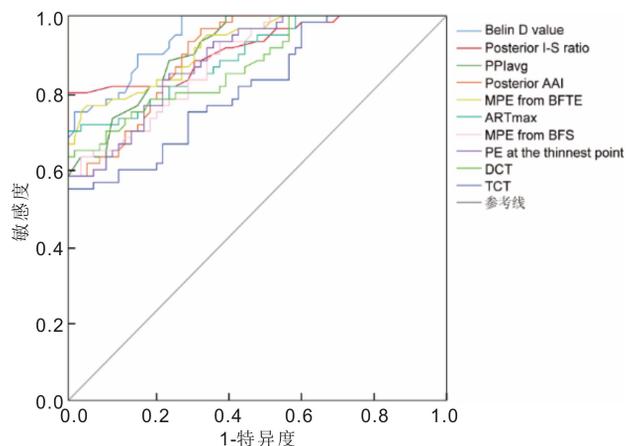


图 1 Pentacam 测量参数诊断亚临床圆锥角膜 ROC 曲线。

置的 BAD 分析程序可对所测角膜与“正常”角膜数据进行总体偏差评估,适用于早期圆锥角膜的筛查<sup>[12]</sup>。但 Pentacam 系统的检测结果受多种因素的影响,既往研究发现,多个参数与角膜直径密切相关<sup>[6]</sup>。小角膜中央角膜的直径范围偏小,在与最佳拟合球体(BFS)进行比较时,其周边部分可能也被纳入分析范围,从而出现假阳性。因此,寻找对早期圆锥角膜诊断敏感度较高,且与角膜直径相关性较低的参数是目前亟待解决的问题。

本研究对比分析了角膜后表面曲率相关参数,发现 Kf、Ks、Km 均与角膜直径均呈较强的正相关,角膜后表面曲率为负值,该结果提示角膜直径越小,后表面越为陡峭。I-S 值反映了角膜后表面上下方不对称变形的程度,对亚临床圆锥角膜的诊断界值及敏感度和特异度分别为 0.23D、95.6%、86.2%。杜显丽等<sup>[13]</sup> 研究结果表明 Pentacam 后角膜后表面 5mm I-S 值最敏感,其次为角膜后表面高度值,这与我们的研究结果相一致。此外,本研究还发现 I-S 值与角膜直径相关性较低,因此可以将 I-S 值作为早期圆锥角膜的重要诊断指标之一。

角膜后表面抬高是圆锥角膜早期最先发生的地形变化之一,Pentacam 系统中角膜后表面高度数据取决于使用的参考面,包括固定的 8mm BFS 和 BFTE 等。由于角膜表面是可变的非球面和复曲面,因此 BFTE 能更准确地模拟实际的角膜形状,兼顾两条子午线之间的曲率差异,减少光学误差引起的表面变化,凸显局部高度变化和异常扩张<sup>[14]</sup>。本研究发现最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度在后表面高度参数中对于诊断早期圆锥角膜敏感性最高。此外,研究还发现最佳拟合球体的最大后表面高度与角膜直径呈负相关,而最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度与角膜直径相关性低。与本研究结果类似,Kovacs 等<sup>[15]</sup> 通过多元回归分析得出,角膜曲率影响 BFS 参考面后表面高度值的计算,但对复曲面椭圆体无明显影响,复曲面椭圆体具有更好的拟合精度。AAI 用于量化角膜后表面的非球面不对称性,最近被证明对早期圆锥角膜具有高度鉴别力<sup>[16-17]</sup>。本研究结果显示,AAI 对于区分早期圆锥角膜的诊断界值及敏感度和特异度分别为 22 $\mu\text{m}$ 、93.2%、87.6%,且与角膜直径无显著相关性。因此,本研究认为最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度和 AAI 是诊断不同角膜直径的早期圆锥角膜的重要指标。

角膜厚度是屈光手术术前圆锥角膜筛查的重要指标,

表1 亚临床圆锥角膜组及对照组各项参数的比较

组别	眼数	角膜直径(mm)	Kf(D)	Ks(D)	Km(D)	I-S值(D)
对照组	135	11.54±0.52	-6.20±0.24	-6.56±0.24	-6.37±0.23	0.17±0.19
亚临床圆锥角膜组	66	11.55±0.59	-6.21±0.31	-6.59±0.38	-6.39±0.33	0.70±0.59
<i>t</i>		-0.085	0.440	0.629	0.464	-9.028
<i>P</i>		0.933	0.660	0.530	0.643	<0.001

组别	眼数	最薄点后 表面高度(μm)	最佳拟合球体的 最大后表面 高度(μm)	最佳拟合复曲面 椭圆体的最大后 表面高度(μm)	AAI(μm)	TCT(μm)
对照组	135	6.85±3.99	9.22±3.20	7.75±2.42	19.91±4.80	533.69±34.06
亚临床圆锥角膜组	66	10.78±4.75	14.20±5.79	10.53±2.14	29.21±10.65	520.58±41.25
<i>t</i>		-6.316	-7.503	-8.093	-8.541	2.387
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.044

组别	眼数	CCT(μm)	DCT(μm)	PPIavg	ARTmax	Belin D值
对照组	135	536.95±33.59	3.25±2.36	1.06±0.17	416.71±84.91	1.21±0.71
亚临床圆锥角膜组	66	527.76±38.13	7.18±4.63	1.30±0.20	329.97±70.62	2.42±0.98
<i>t</i>		1.741	-2.149	-8.860	7.881	-9.968
<i>P</i>		0.083	0.034	<0.001	<0.001	<0.001

注:对照组:单纯屈光不正病史的患者。

表2 Pentacam 测量亚临床圆锥角膜组的曲线下面积、cut off 值及其敏感性和特异性

参数	AUC	Cut off 值	敏感度(%)	特异度(%)
I-S 值	0.922	0.23	95.6	86.2
最薄点后表面高度	0.880	9	85.4	85.2
最佳拟合球体的最大后表面高度	0.884	12	85.4	86.5
最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度	0.905	10	86.2	96.1
AAI	0.906	22	93.2	87.6
TCT	0.834	525	85.1	77.2
DCT	0.878	6	90.5	82.6
PPIavg	0.919	1.18	87.4	96.6
ARTmax	0.896	360	89.7	86.7
Belin D 值	0.953	1.33	100	93.7

表3 对照组不同角膜直径组间各参数比较

角膜直径(mm)	眼数	角膜直径(mm)	Kf(D)	Ks(D)	Km(D)	I-S值(D)
≤11.0 组	35	10.91±0.19	-6.36±0.21	-6.72±0.20	-6.52±0.18	0.18±0.17
11.1~11.5 组	50	11.29±0.14	-6.37±0.17	-6.69±0.17	-6.54±0.17	0.15±0.12
11.6~12.0 组	50	11.80±0.14	-6.05±0.17	-6.45±0.22	-6.24±0.18	0.16±0.12
≥12.1 组	30	12.26±0.13	-5.99±0.14	-6.40±0.20	-6.37±0.16	0.17±0.11
<i>F</i>		194.503	18.093	9.367	14.686	1.924
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.116

角膜直径(mm)	眼数	最薄点后 表面高度(μm)	最佳拟合球体的 最大后表面 高度(μm)	最佳拟合复曲面 椭圆体的最大后 表面高度(μm)	AAI(μm)	TCT(μm)
≤11.0 组	35	8.79±3.43	11.43±3.85	9.00±1.80	19.44±3.62	540.47±34.25
11.1~11.5 组	50	7.67±1.67	8.77±2.31	7.85±1.01	20.69±3.61	523.2±23.71
11.6~12.0 组	50	6.25±3.23	7.38±2.97	9.57±1.66	19.00±3.79	523.6±33.55
≥12.1 组	30	5.69±3.11	6.19±4.19	8.57±0.66	18.29±2.02	550.38±39.27
<i>F</i>		3.415	3.757	1.028	1.113	1.767
<i>P</i>		0.039	0.022	0.316	0.232	0.160

角膜直径(mm)	眼数	CCT(μm)	DCT(μm)	PPIavg	ARTmax	Belin D 值
≤11.0 组	35	543.73±32.63	3.27±3.10	1.14±0.26	373.93±89.19	1.53±0.72
11.1~11.5 组	50	526.13±23.71	2.93±1.33	1.09±0.09	391.33±41.02	1.49±0.44
11.6~12.0 组	50	526.69±32.79	3.06±2.40	1.02±0.14	422.75±94.75	1.05±0.72
≥12.1 组	30	554.23±39.31	3.85±2.44	1.00±0.12	457.92±96.63	0.74±0.69
<i>F</i>		1.701	0.385	3.067	4.127	8.635
<i>P</i>		0.184	0.764	0.033	0.009	<0.001

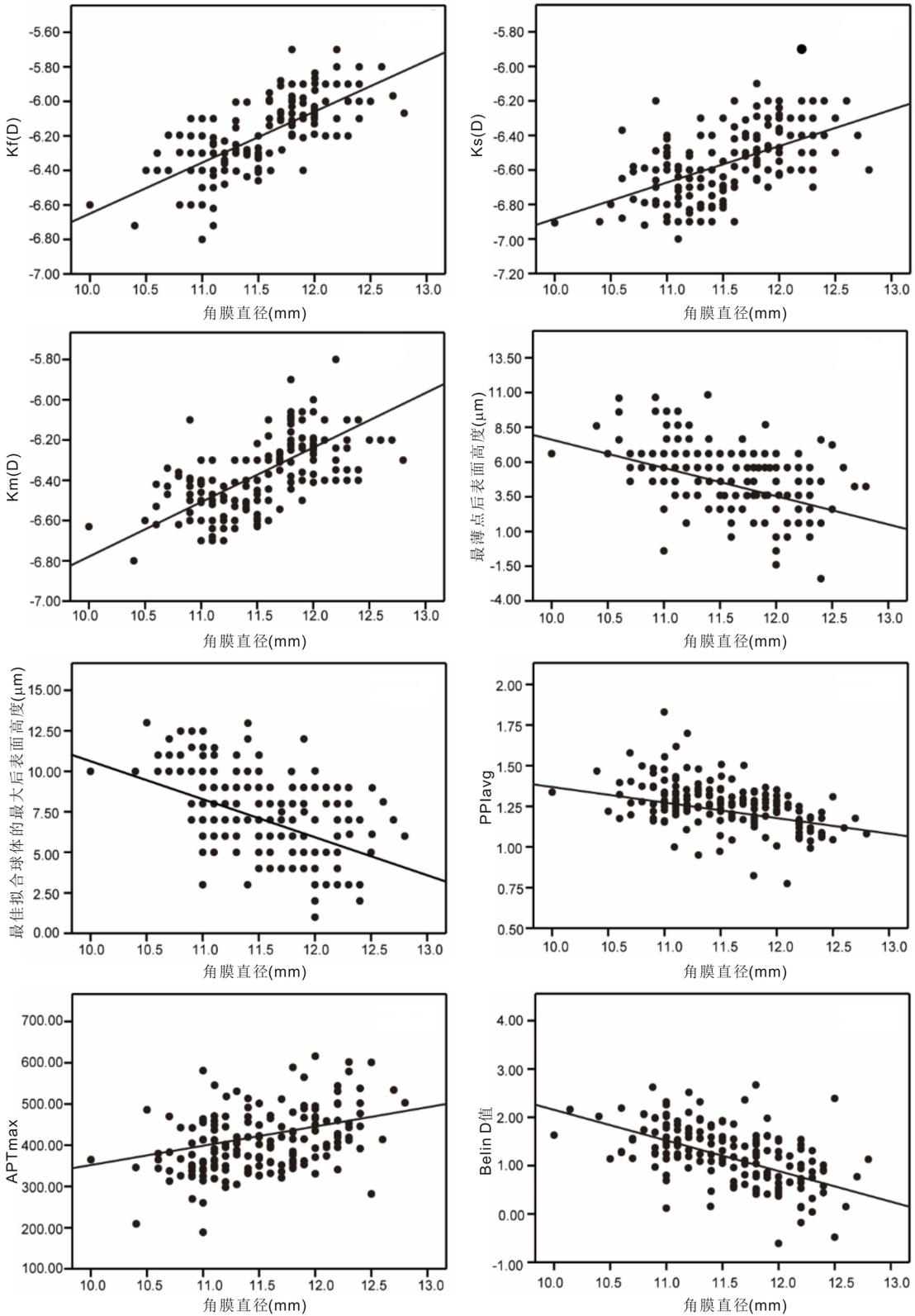


图2 对照组 Pentacam 其他参数与角膜直径相关性分析。

本研究结果显示 TCT、CCT、DCT 均与角膜直径无明显相关性。其中 DCT 对早期圆锥角膜诊断准确性最高,与潘珊珊等<sup>[18]</sup>、Cui 等<sup>[19]</sup> 研究结果相一致。角膜厚度进展参数代表了角膜厚度从最薄点到周边的变化率<sup>[20]</sup>。其中, ARTmax 与角膜直径呈正相关, PPIavg 与角膜直径呈负相关。由于小角膜最薄点到周边之间的距离更短,在相同距离内角膜厚度的变化量更大,因此角膜厚度进展参数相对较高。由此可见,角膜直径主要影响全角膜厚度变化率,

而不影响角膜中央厚度及最薄点厚度。Belin D 值在本研究纳入的所有参数中 AUC 值最大, cut off 值为 1.33,但由于角膜厚度进展值在 Belin D 值计算中占较大比重,因此 Belin D 值也与角膜直径具有显著相关性,相关系数明显高于其他敏感指标。Belin D 值作为 Pentacam 的综合指标,受到临床工作者的很大关注。因此,将角膜直径大小作为附加变量纳入 BAD 的计算中,分析角膜直径在其中的权重,这是临床医生亟待解决的问题。

综上所述,I-S值、AAI、最佳拟合复曲面椭圆体的最大后表面高度能全面评估病程中角膜后表面曲率、不对称性及高度变化,受角膜直径的影响较小,可作为早期圆锥角膜诊断的重要指标。此外,DCT虽AUC值略低于上述三项指标,但同样与角膜直径相关性低,可提示角膜厚度变化,也可以纳入辅助临床诊断指标。因此,临床医师屈光手术术前筛查可疑圆锥角膜患者时,对角膜直径过小或过大,BAD值提示异常的患者,可结合以上参数综合评估。此外,针对角膜直径不同患者,开发人工智能数据库,设置个性化分析范围,提高Pentacam系统对早期圆锥角膜诊断的敏感度与特异度,是未来深入研究的方向。

#### 参考文献

- 1 Hashemi H, Mirafteb M, Amanzadeh K, et al. Keratoconus detection by novel indices in patients with Down syndrome: a cohort population-based study. *Jpn J Ophthalmol* 2020;64(3):285-291
- 2 Aydin E, Dhar P, Gokhale M, et al. A review of emerging tear proteomics research on the ocular surface in ocular allergy. *Biology* 2022;11(2):312
- 3 Golan O, Hwang ES, Lang P, et al. Differences in posterior corneal features between normal corneas and subclinical keratoconus. *J Refract Surg* 2018;34(10):664-670
- 4 王慧宇, 赵少贞, 贺美男, 等. Pentacam眼前节分析仪检查参数对早期圆锥角膜的诊断价值. *国际眼科杂志* 2021;21(10):1812-1815
- 5 Boyd BM, Bai J, Borgstrom M, et al. Comparison of Chinese and North American tomographic parameters and the implications for refractive surgery screening. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2020;9(2):117-125
- 6 曹开伟, 刘李娜, 孙煜林, 等. 不同角膜直径对Pentacam角膜地形图中BAD系统关于角膜扩张分析结果的影响. *中华眼科杂志* 2020;56(10):761-767
- 7 Sorkin N, Ohri A, Jung H, et al. Factors affecting central corneal thickness measurement agreement between Scheimpflug imaging and ultrasound pachymetry in keratoconus. *Br J Ophthalmol* 2021;105(10):1371-1375

- 8 Hashemi H, Yekta A, Khabazkhoob M. Effect of keratoconus grades on repeatability of keratometry readings: comparison of 5 devices. *J Cataract Refract Surg* 2015;41(5):1065-1072
- 9 Rabinowitz YS, McDonnell PJ. Computer-assisted corneal topography in keratoconus. *Refract Corneal Surg* 1989;5(6):400-408
- 10 Zhang XM, Munir SZ, Sami Karim SA, et al. A review of imaging modalities for detecting early keratoconus. *Eye (Lond)* 2021;35(1):173-187
- 11 徐悦, 张晓峰. 早期圆锥角膜的诊断技术研究进展. *国际眼科杂志* 2022;22(2):235-239
- 12 Song YW, Feng Y, Qu M, et al. Analysis of the diagnostic accuracy of Belin/Ambrósio Enhanced Ectasia and Corvis ST parameters for subclinical keratoconus. *Int Ophthalmol* 2022[Online ahead of print]
- 13 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. *中华眼科杂志* 2012;35(4):323-329
- 14 Smadja D, Santhiago MR, Mello GR, et al. Influence of the reference surface shape for discriminating between normal corneas, subclinical keratoconus, and keratoconus. *J Refract Surg* 2013;29(4):274-281
- 15 Kovács I, Miháلت K, Ecsedy M, et al. The role of reference body selection in calculating posterior corneal elevation and prediction of keratoconus using rotating Scheimpflug camera. *Acta Ophthalmol* 2011;89(3):e251-e256
- 16 Bayraktar Bilen N, Hepsen IF, Arce CG. Correlation between visual function and refractive, topographic, pachymetric and aberrometric data in eyes with keratoconus. *Int J Ophthalmol* 2016;9(8):1127-1133
- 17 Smadja D, Touboul D, Cohen A, et al. Detection of subclinical keratoconus using an automated decision tree classification. *Am J Ophthalmol* 2013;156(2):237-246.e1
- 18 潘珊珊, 赵愈敏, 时世硕, 等. 角膜直径与角膜厚度及其变化率的相关性研究. *临床眼科杂志* 2021;29(1):40-44
- 19 Cui J, Zhang X, Hu Q, et al. Evaluation of corneal thickness and volume parameters of subclinical keratoconus using a pentacam scheimpflug system. *Curr Eye Res* 2016;41(7):923-926
- 20 Zhuang XH, Harthan JS, Block SS, et al. Analysis of corneal tomography in select Black and LatinX children. *Contact Lens Anterior Eye* 2022;45(6):101717