

# 双眼眼前节生物学参数的差值诊断早期圆锥角膜的临床研究

叶凡<sup>1,2</sup>, 薛劲松<sup>1</sup>

引用:叶凡,薛劲松. 双眼眼前节生物学参数的差值诊断早期圆锥角膜的临床研究. 国际眼科杂志, 2024,24(8):1285-1290.

作者单位:<sup>1</sup>(210029)中国江苏省南京市,南京医科大学附属眼科医院;<sup>2</sup>(210029)中国江苏省南京市,南京医科大学第四临床医学院

作者简介:叶凡,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,主任医师,副教授,硕士研究生导师,副院长,研究方向:角膜病. 25068411@qq.com

收稿日期:2024-01-02 修回日期:2024-06-27

## 摘要

**目的:**探讨双眼眼前节生物学参数的差值对早期圆锥角膜的诊断价值。

**方法:**回顾性对照研究。选取2022-03/2023-11在我院就诊的患者183例366眼,其中亚临床期圆锥角膜组40例80眼,临床期圆锥角膜组36例72眼,单纯屈光不正患者107例214眼作为对照组,均采用Pentacam眼前节分析仪检测双眼角膜后表面下方与上方3mm屈光力差值(I-S),角膜后表面最薄点高度(P.E.),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(AAI)、角膜中央厚度(CCT)、角膜最薄点厚度(TCT)、角膜平均厚度进展(PPIavg)、角膜厚度最大变化率(ARTmax)、Belin/Ambrósio增强扩张显示总偏差值(BAD-D),并分别计算每例患者各检测指标的双眼差值。对照组根据角膜直径进一步分为:角膜直径<11.2mm组21例42眼;11.2mm≤角膜直径≤11.8mm组54例108眼;角膜直径>11.8mm组32例64眼。

**结果:**临床期圆锥角膜组与对照组双眼I-S、P.E.、MPE from BFS、MPE from BFTE、AAI、CCT、TCT、PPIavg、ARTmax、BAD-D差值均有差异( $P<0.05$ );双眼I-S、P.E.、MPE from BFS、MPE from BFTE、AAI、CCT、TCT、PPIavg、BAD-D差值对圆锥角膜诊断价值较高( $AUC\geq 0.900$ ),其中P.E.、BAD-D诊断能力最佳,AUC分别高达0.999和0.995。亚临床期圆锥角膜组与对照组的双眼P.E.、ARTmax差值有差异( $P<0.05$ );双眼I-S、P.E.、BAD-D差值对亚临床期圆锥角膜诊断价值较高( $AUC\geq 0.900$ )。对照组患者不同角膜直径组比较双眼角膜I-S、CCT、TCT、MPE from BFS、MPE from BFTE、AAI、PPIavg、ARTmax均无差异(均 $P>0.05$ ),且均与角膜直径无相关性( $P>0.05$ );不同角膜直径组双眼P.E.、BAD-D差值比较有差异( $P=0.007,0.003$ ),而双眼P.E.差值与角膜直径无相关性( $P=0.270$ ),双眼BAD-D差值与角膜直径负相关( $r=-0.230, P=0.017$ )。

**结论:**Pentacam眼前节分析仪可以准确测量多种角膜生物学参数,双眼I-S、P.E.、BAD-D差值是诊断亚临床期圆锥角膜的敏感指标,其中双眼I-S、P.E.差值受角膜直径影响较小,对不同直径角膜的亚临床期圆锥角膜诊断有着重要的临床意义。

**关键词:**亚临床圆锥角膜;圆锥角膜;Pentacam眼前节分析仪;角膜后表面高度

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2024.8.20

## Clinical study on the difference of binocular biological parameters of the anterior segment in early diagnosis of keratoconus

Ye Fan<sup>1,2</sup>, Xue Jinsong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Affiliated Eye Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China; <sup>2</sup>The Forth School of Clinical Medicine, Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China

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

Received:2024-01-02 Accepted:2024-06-27

## Abstract

• **AIM:** To investigate the diagnostic value of the difference of binocular biological parameters of the anterior segment in early keratoconus.

• **METHODS:** Retrospective case-control study. A total of 183 patients (366 eyes) who visited our hospital from March 2022 to November 2023 were included, including 107 cases (214 eyes) in the control group (patients with simple refractive error), 40 cases (80 eyes) in the subclinical keratoconus group, and 36 cases (72 eyes) in the clinical keratoconus group. All of the patients were examined by the Pentacam anterior segment analyzer to determine the inferior-superior 3 mm of the posterior corneal surface (I-S), corneal posterior elevation of the thinnest point (P.E.), maximum posterior elevation of the best fit sphere (MPE from BFS), the maximum posterior elevation of the best fit toric ellipsoid (MPE from BFTE), posterior aspherical asymmetry index (AAI), central corneal thickness (CCT), thinnest corneal thickness (TCT), pachymetric progression index average (PPIavg), Ambrósio relational thickness maximum (ARTmax), Belin/Ambrósio enhanced ectasia display (BAD-D), and

the binocular difference of each test was calculated separately for each patient. The control group was further divided according to corneal diameter: 21 cases (42 eyes) with corneal diameter <11.2 mm in group A, 54 cases (108 eyes) with 11.2 mm ≤ corneal diameter ≤ 11.8 mm in group B, and 32 cases (64 eyes) with corneal diameter >11.8 mm in group C.

• **RESULTS:** There was significant differences in the binocular I-S, P.E., MPE from BFS, MPE from BFTE, AAI, CCT, TCT, PPIavg, ARTmax and BAD-D between the clinical keratoconus group and the control group ( $P < 0.05$ ). The difference of binocular I-S, P.E., MPE from BFS, MPE from BFTE, AAI, CCT, TCT, PPIavg, and BAD-D were of high diagnostic value ( $AUC \geq 0.900$ ), with the best diagnostic ability for P.E. and BAD-D, and an AUC as high as 0.999 and 0.995, respectively. The difference of binocular P.E. and ARTmax between the subclinical keratoconus group and the control group were statistically significant ( $P < 0.05$ ). The difference of binocular I-S, P.E. and BAD-D had high diagnostic value for subclinical keratoconus ( $AUC \geq 0.900$ ). In the control group A, B and C, there were no significant difference in binocular I-S, CCT, TCT, MPE from BFS, MPE from BFTE, AAI, PPIavg and ARTmax (all  $P > 0.05$ ), and none of them had correlation with corneal diameter ( $P > 0.05$ ); however, there were statistical significant differences in binocular P.E. and BAD-D in the control group A, B and C ( $P = 0.007, 0.003$ ), while the P.E. differences had no correlation with corneal diameter ( $P = 0.270$ ), and binocular BAD-D differences were negatively correlated with corneal diameter ( $r = -0.230, P = 0.017$ ).

• **CONCLUSION:** Pentacam anterior segment analyzer can accurately measure a variety of corneal biological parameters. Difference of binocular corneal I-S, P.E. and BAD-D are sensitive indexes for the early diagnosis of keratoconus. Among them, difference of binocular I-S and P.E. are less affected by corneal diameter, thus being significant for the early diagnosis of keratoconus with different cornea diameters.

• **KEYWORDS:** subclinical keratoconus; keratoconus; Pentacam anterior segment analyzer; corneal posterior elevation

**Citation:** Ye F, Xue JS. Clinical study on the difference of binocular biological parameters of the anterior segment in early diagnosis of keratoconus. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2024, 24(8):1285-1290.

## 0 引言

亚临床圆锥角膜的临床表现不典型,其早期诊断一直是临床工作的热点和难点。Pentacam<sup>[1]</sup>、光学相干断层扫描(OCT)<sup>[2]</sup>等仪器获得的眼前节生物学参数对圆锥角膜的早期诊断具有重要意义,我们之前的研究证明角膜厚度相关参数以及角膜高度相关参数等是诊断亚临床圆锥角膜的良好指标<sup>[3]</sup>,但其研究焦点限于单眼的角膜形态学变化对亚临床圆锥角膜的诊断价值,而圆锥角膜的进展往往具有不对称性,对双眼角膜生物学参数差值与亚临床圆锥角膜的相关性的临床研究甚少。因此,本研究旨在探究

双眼前节生物学参数的差值对亚临床期圆锥角膜的诊断价值,并考虑不同角膜直径对上述双眼参数差值的影响。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 回顾性对照研究。选取 2022-03/2023-11 在我院就诊的患者 183 例 366 眼,其中亚临床期圆锥角膜组 40 例 80 眼,纳入标准:(1)角膜地形图符合 Rabinowitz 诊断标准<sup>[4]</sup>;(2)角膜中央屈光力  $\geq 46.5$  D;(3)角膜中央下方与上方 3 mm 屈光力差值(I-S 值)  $> 1.26$  D;(4)双眼角膜屈光力差值  $> 0.92$  D;(5)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,最佳矫正视力  $\geq 0.8$ 。临床期圆锥角膜组 36 例 72 眼,纳入标准:(1)符合《中国圆锥角膜诊断和治疗专家共识(2019年)》<sup>[5]</sup>;(2)角膜中央屈光力  $> 47$  D;(3)角膜中央下方和上方 3 mm 范围内屈光度差值  $> 3$  D;(4)双眼角膜中央屈光力差值  $> 1$  D;(5)裂隙灯显微镜检查中存在以下至少一项阳性体征:Vogt 条纹、Fleischer 环、Munson 征、角膜圆锥状突起、角膜瘢痕。单纯屈光不正患者 107 例 214 眼作为对照组,纳入标准:经视力检查诊断为近视,验光视力  $< 1.0$ ,最佳矫正视力  $\geq 1.0$ ;裂隙灯下未见 Vogt 条纹及角膜形态变化、未见 Fleischer 环;无圆锥角膜或其他遗传性眼病;无眼底病变。排除标准:(1)角膜外伤或手术史;(2)眼部感染性疾病;(3)青光眼、白内障等眼部疾病;(4)影响视功能的全身性疾病。所有患者均停戴软性角膜接触镜 2 wk 以上,停戴硬性透气性角膜接触镜 4 wk 以上。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,且已通过本院伦理学委员会审核。所有患者均能良好地配合检查,均自愿签署知情同意书。

**1.2 方法** 所有患者均接受视力、验光、检眼镜、裂隙灯等常规检查,由同一检查者进行 Pentacam 眼前节分析仪检查。嘱受检者将下颌置于仪器下颌托上,额头轻贴仪器的额托,数次瞬目后睁大双眼,注视前方的固视目标。检查者通过移动操纵杆调整焦距,于 2 s 内获取角膜前后表面数据。只接受成像质量显示为“OK”的检测结果显示为“OK”的分析,每眼重复检测 3 次,选取质量最佳的影像图片。检查参数:角膜后表面 I-S 值,角膜后表面最薄点高度 (posterior elevation at the thinnest point, P.E.),最佳拟合球体的最大后表面高度 (maximum posterior elevation from best fit sphere, MPE from BFS)、最佳拟合复合曲面椭圆体的最大后表面高度 (maximum posterior elevation from best fit toric ellipsoid, MPE from BFTE)、角膜后表面非球面不对称指数 (posterior asphericity asymmetry index, AAI)、角膜中央厚度 (central corneal thickness, CCT)、角膜最薄点厚度 (thinnest corneal thickness, TCT)、角膜平均厚度进展 (pachymetric progression index average, PPIavg)、角膜厚度最大变化率 (ambrósio relational thickness maximum, ARTmax)、Belin/Ambrósio 增强扩张显示总偏差值 (BAD-D)。计算双眼各检查参数差值。

统计学分析:使用 SPSS26.0 统计软件分析数据,计量资料均符合正态分布,用均数  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示,三组间比较使用单因素方差分析,事后两两比较使用 LSD- $t$  检验。计数资料用例数表示,采用卡方检验。绘制 ROC 曲线分析诊断价值,采用 Pearson 相关分析及线性回归分析角膜直径与双眼 Pentacam 检测指标差值间的相关性。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 三组患者一般资料比较** 本研究共纳入患者 183 例

366 眼,其中对照组 107 例 214 眼,男 55 例,女 52 例,平均年龄  $20.69 \pm 4.52$  岁;亚临床期圆锥角膜组患者 40 例 80 眼,男 21 例,女 19 例,平均年龄  $19.25 \pm 4.87$  岁;临床期圆锥角膜组患者 36 例 72 眼,男 20 例,女 16 例,平均年龄  $21.50 \pm 4.38$  岁,三组患者的年龄和性别构成比比较差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

**2.2 三组患者双眼眼前节生物学参数的差值比较** 三组患者双眼 I-S、CCT、TCT、P.E.、MPE from BFS、MPE from BFTE、AAI、PPIavg、ARTmax、BAD-D 差值比较差异均有统计学意义 ( $P < 0.001$ )。临床期圆锥角膜组患者双眼 I-S、CCT、TCT、P.E.、MPE from BFS、MPE from BFTE、AAI、PPIavg、ARTmax、BAD-D 差值均明显高于亚临床圆锥角膜组与对照组,差异均具有统计学意义 ( $P < 0.05$ );亚临床圆锥角膜组患者双眼 P.E.、ARTmax 差值均高于对照组,差异具有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),见表 1。

**2.3 Pentacam 眼前节分析仪检测双眼参数差值对临床期圆锥角膜的诊断价值** 双眼 I-S、P.E.、MPE from BFS、MPE from BFTE、AAI、CCT、TCT、PPIavg、BAD-D 的差值对圆锥角膜均有较高的诊断价值 ( $AUC \geq 0.900$ ),其中 P.E.、BAD-D 诊断能力最佳, AUC 分别高达 0.999 与 0.995 (图 1,表 2)。

**2.4 Pentacam 眼前节分析仪检测双眼参数差值对亚临床期圆锥角膜的诊断价值** 双眼角膜 I-S、P.E.、BAD-D 差值对亚临床期圆锥角膜的诊断价值较高 ( $AUC \geq 0.900$ ),其中双眼 P.E.差值的诊断能力最高 ( $AUC = 0.974$ ),敏感性为 95.0%,特异性为 92.5% (图 2,表 3)。

**2.5 对照组中不同角膜直径双眼 Pentacam 参数差值比较**

对照组根据角膜直径进一步分为:角膜直径  $< 11.2$  mm 组 21 例 42 眼,平均角膜直径  $11.03 \pm 0.13$  mm;  $11.2$  mm  $\leq$  角膜直径  $\leq 11.8$  mm 组 54 例 108 眼,平均角膜直径  $11.54 \pm 0.18$  mm;角膜直径  $> 11.8$  mm 组 32 例 64 眼,平均角膜直径  $12.08 \pm 0.13$  mm。对照组中双眼 P.E.差值、BAD-D 差值在不同角膜直径组间差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),双眼 I-S、CCT、TCT、MPE from BFS、MPE from BFTE、AAI、PPIavg、ARTmax 差值在不同角膜直径组间比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ),见表 4。

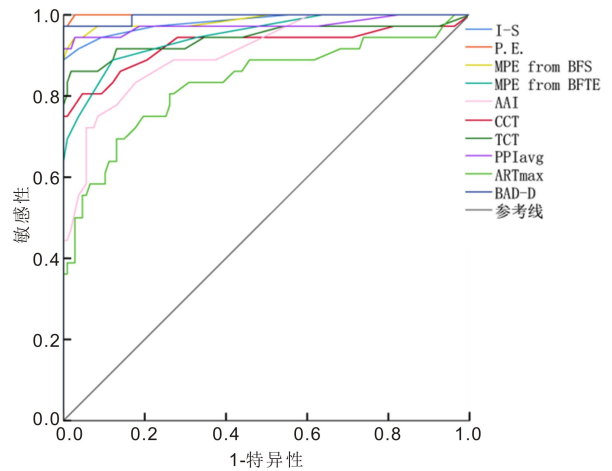


图 1 临床期圆锥角膜组患者双眼 Pentacam 参数差值 ROC 曲线分析。

表 1 三组患者双眼眼前节生物学参数的差值比较

分组	例数	I-S(D)	P.E.( $\mu\text{m}$ )	MPE from BFS( $\mu\text{m}$ )	MPE from BFTE( $\mu\text{m}$ )	AAI
临床期圆锥角膜组	36	$4.63 \pm 3.71^{a,c}$	$29.56 \pm 15.94^{a,c}$	$31.53 \pm 18.78^{a,c}$	$13.36 \pm 14.33^{a,c}$	$21.19 \pm 21.45^{a,c}$
亚临床期圆锥角膜组	40	$0.70 \pm 0.46$	$5.70 \pm 2.53^a$	$4.20 \pm 2.36$	$2.20 \pm 1.56$	$3.85 \pm 2.53$
对照组	107	$0.18 \pm 0.12$	$1.01 \pm 1.06$	$1.95 \pm 1.74$	$1.13 \pm 1.14$	$2.81 \pm 2.72$
F		99.426	215.229	170.532	50.411	49.915
P		$< 0.001$	$< 0.001$	$< 0.001$	$< 0.001$	$< 0.001$
分组	例数	CCT( $\mu\text{m}$ )	TCT( $\mu\text{m}$ )	PPIavg	ARTmax	BAD-D
临床期圆锥角膜组	36	$25.47 \pm 16.27^{a,c}$	$33.33 \pm 19.16^{a,c}$	$0.84 \pm 0.64^{a,c}$	$79.11 \pm 53.02^{a,c}$	$5.36 \pm 3.38^{a,c}$
亚临床期圆锥角膜组	40	$4.55 \pm 3.50$	$4.70 \pm 3.89$	$0.10 \pm 0.07$	$50.13 \pm 36.37^a$	$0.60 \pm 0.36$
对照组	107	$4.83 \pm 3.56$	$4.75 \pm 3.77$	$0.03 \pm 0.03$	$25.16 \pm 18.78$	$0.11 \pm 0.11$
F		100.764	142.455	112.657	39.605	169.869
P		$< 0.001$	$< 0.001$	$< 0.001$	$< 0.001$	$< 0.001$

注:对照组为屈光不正患者;<sup>a</sup> $P < 0.05$  vs 对照组;<sup>c</sup> $P < 0.05$  vs 亚临床圆锥角膜组。

表 2 临床期圆锥角膜组患者双眼 Pentacam 参数差值的诊断价值

指标	AUC	Cut off 值	敏感性(%)	特异性(%)
I-S(D)	0.982	0.65	88.9	100
CCT( $\mu\text{m}$ )	0.925	12.5	80.6	95.3
TCT( $\mu\text{m}$ )	0.944	14.5	86.1	98.1
P.E. ( $\mu\text{m}$ )	0.999	3.5	100	97.2
MPE from BFS( $\mu\text{m}$ )	0.986	6.5	94.4	97.2
MPE from BFTE( $\mu\text{m}$ )	0.948	2.5	88.9	87.9
AAI	0.907	6.5	75.0	91.6
PPIavg	0.975	0.215	91.7	100
ARTmax	0.833	44.5	69.4	86.9
BAD-D	0.995	0.605	97.2	100

表3 亚临床圆锥角膜组双眼 Pentacam 参数差值的诊断价值

指标	AUC	Cut off 值	敏感性(%)	特异性(%)
I-S(D)	0.932	0.35	85.0	90.7
P.E. (μm)	0.974	2.5	95.0	92.5
MPE from BFS(μm)	0.776	3.5	62.5	83.2
MPE from BFTE(μm)	0.701	1.5	62.5	67.3
PPIavg	0.802	0.065	65.0	86.0
ARTmax	0.710	28.5	72.5	69.2
BAD-D	0.941	0.245	87.5	88.8

表4 对照组中不同角膜直径双眼 Pentacam 参数差值比较

分组	例数	I-S(D)	P.E. (μm)	MPE from BFS(μm)	MPE from BFTE(μm)	AAI	$\bar{x} \pm s$
角膜直径<11.2 mm 组	21	0.20±0.14	1.62±1.60	2.19±2.09	1.38±1.16	3.62±3.14	
11.2 mm≤角膜直径≤11.8 mm 组	54	0.16±0.10	0.78±0.79	1.83±1.51	1.07±1.18	2.83±2.74	
角膜直径>11.8 mm 组	32	0.18±0.15	1.00±0.10	2.00±1.88	1.06±1.08	2.25±2.30	
<i>F</i>		0.713	5.141	0.331	0.624	1.632	
<i>P</i>		0.492	0.007	0.719	0.538	0.200	

分组	例数	CCT(μm)	TCT(μm)	PPIavg	ARTmax	BAD-D
角膜直径<11.2 mm 组	21	5.85±4.48	5.90±4.31	0.04±0.04	22.43±17.34	0.18±0.16
11.2 mm≤角膜直径≤11.8 mm 组	54	4.78±3.70	4.74±4.11	0.03±0.03	24.07±17.29	0.09±0.08
角膜直径>11.8 mm 组	32	4.19±2.39	4.00±2.51	0.04±0.04	28.78±21.93	0.09±0.09
<i>F</i>		1.586	1.636	1.103	0.905	6.153
<i>P</i>		0.210	0.200	0.336	0.408	0.003

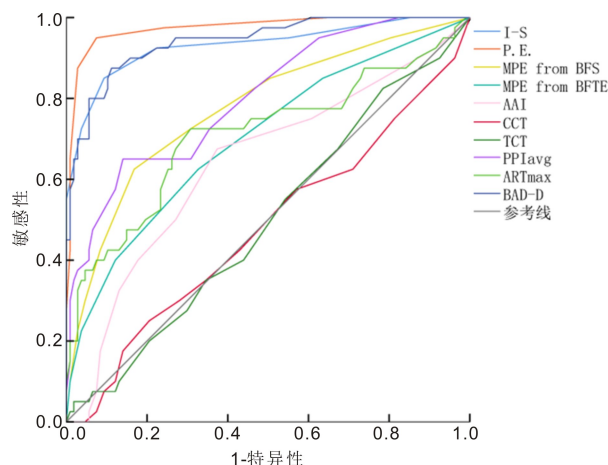


图2 亚临床期圆锥角膜组患者双眼 Pentacam 参数差值 ROC 曲线。

2.6 对照组不同角膜直径与双眼 Pentacam 参数差值的相关性分析 Pearson 相关分析结果显示,双眼 I-S 差值与角膜直径无相关( $r = -0.073, P = 0.456$ );角膜后表面高度相关参数中,双眼 P.E. 差值、MPE from BFS 差值、MPE from BFTE 差值、AAI 差值与角膜直径无相关( $r = -0.108, -0.079, -0.083, -0.173, P = 0.270, 0.418, 0.393, 0.075$ );角膜厚度相关参数中,双眼 CCT 差值、TCT 差值、PPIavg 差值、ARTmax 差值与角膜直径无相关( $r = -0.173, -0.177, 0.056, 0.089, P = 0.074, 0.068, 0.564, 0.364$ );双眼 BAD-D 差值与角膜直径负相关( $r = -0.230, P = 0.017$ ),见图 3。

### 3 讨论

圆锥角膜是常见的角膜扩张性疾病,好发于青春期,以亚洲及中东地区人群多发<sup>[6]</sup>,是青少年视力丧失的重要

原因之一。临床期圆锥角膜患者的体征较为典型,裂隙灯下可见 Fleischer 环、Vogt 线、Munson 征、角膜中央或旁中央圆锥状向前突出等<sup>[7]</sup>,但是早期圆锥角膜患者的临床体征不具有特异性,易被误诊为散光、近视或弱视,延误治疗,影响预后。目前用于筛查诊断早期圆锥角膜的主要工具包括 Pentacam 眼前节分析、OPD-Scan 系统、前段 OCT、相差测量和角膜生物力学检测等<sup>[8-9]</sup>,其中,Pentacam 眼前节分析仪以 Scheimpflug 成像系统为基础,能够准确提供角膜前后表面曲率、厚度、高度等参数,精确度高、重复性好,广泛应用于圆锥角膜的筛查与诊断<sup>[10-11]</sup>。

现有的研究主要聚焦于单眼的检测值对早期圆锥角膜的诊断价值<sup>[12-14]</sup>,值得注意的是,除单眼角膜机械损伤或长期单侧揉眼可能导致单眼发病外,圆锥角膜通常为双眼病变<sup>[5]</sup>,同时,圆锥角膜是一种非对称性疾病<sup>[15]</sup>,双眼发病顺序多有先后,病变的严重程度亦有差别。我们考虑双眼检测结果差值对于早期圆锥角膜的诊断可能有着重要意义,此前双眼的生物力学参数检测差值对早期圆锥角膜的诊断意义尚未有过研究。

我们之前的研究表明,Pentacam 眼前节分析仪获取的角膜后表面高度相关指标(P.E.、MPE from BFS、MPE from BFTE、AAI)、角膜厚度相关指标(CCT、TCT、ARTmax、PPIavg)以及角膜后表面 I-S 值、BAD-D 值等对鉴别诊断亚临床期圆锥角膜有重要意义<sup>[3]</sup>,并发现 MPE from BFTE、AAI 与角膜直径无明显相关性,是诊断不同角膜直径的亚临床期圆锥角膜的重要指标。本研究在此基础上探索双眼眼前节生物学参数的差值对亚临床期圆锥角膜的诊断价值。研究发现,临床期圆锥角膜患者的双眼各 Pentacam 眼前节分析仪检测指标差值均明显高于单纯屈

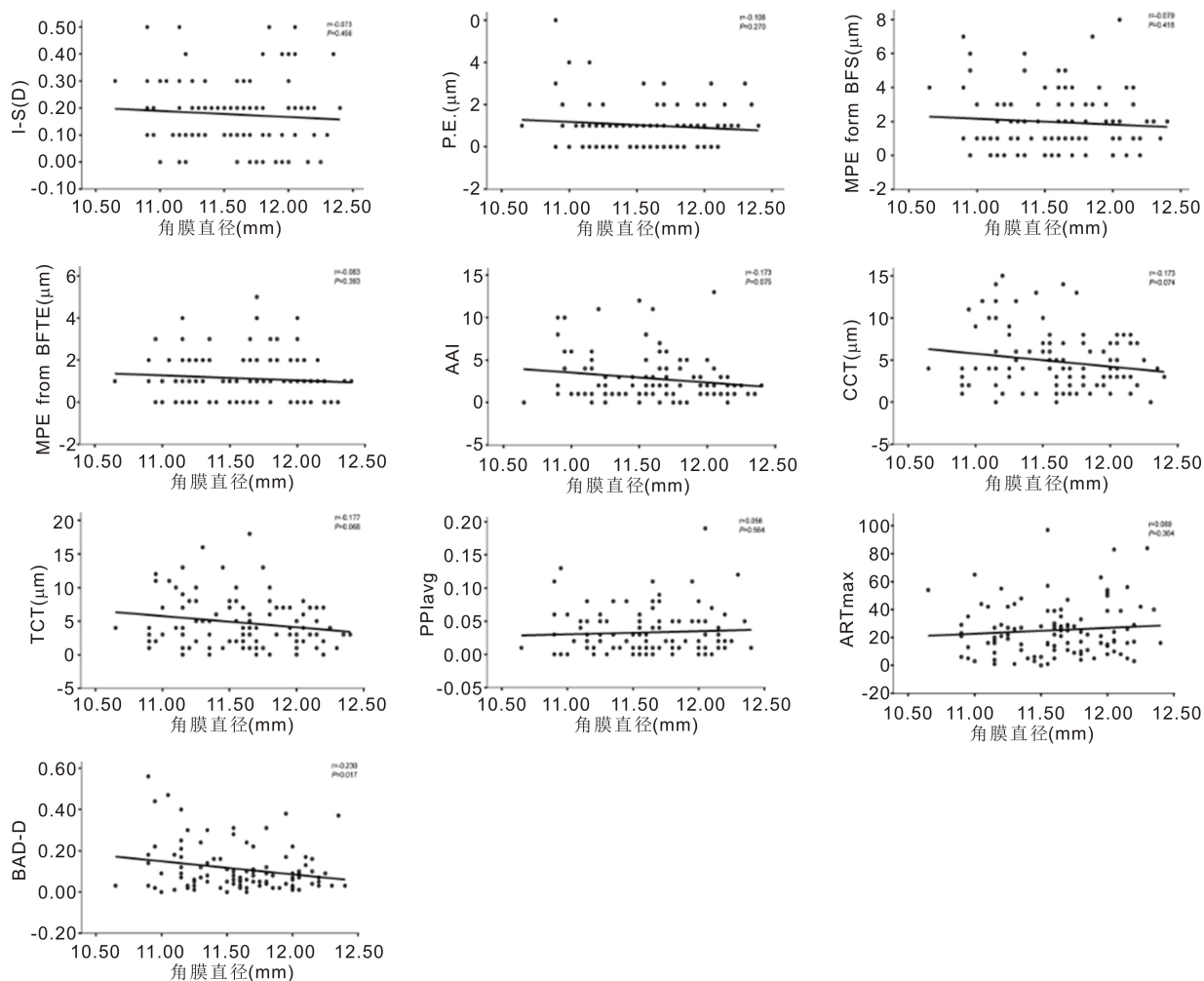


图3 对照组不同角膜直径与双眼 Pentacam 参数差值的相关性分析。

光不正患者与早期圆锥角膜患者 ( $P<0.001$ ), 与单纯屈光不正患者相比, 亚临床期圆锥角膜患者的双眼 P.E.、ARTmax 差值明显增高 ( $P<0.05$ ), 提示与单纯屈光不正患者相比, 亚临床期圆锥角膜患者的双眼眼前节生物学参数差值存在差异。

为分析各检测指标的双眼差值对亚临床期圆锥角膜的诊断价值, 我们对各眼前节生物学参数的双眼差值进行 ROC 曲线分析。研究发现, 双眼 P.E. 差值、BAD-D 差值、I-S 差值对亚临床期圆锥角膜的诊断价值较高, AUC 分别为 0.974、0.941、0.932。双眼 P.E. 差值的诊断效能最高, 敏感性为 95.0%, 特异性为 92.5%, Cut off 值为 2.5; 双眼 BAD-D 差值、I-S 差值诊断早期圆锥角膜的敏感性分别为 87.5%、85.0%, 特异性分别为 88.8%、90.7%, Cut off 值分别为 0.245、0.35, 可作为筛查诊断亚临床期圆锥角膜的参考指标。本研究进一步分析了双眼 Pentacam 参数差值与角膜直径的相关性, 研究结果显示, 双眼 I-S 差值、P.E. 差值、MPE from BFS 差值、MPE from BFTE 差值、AAI 差值、CCT 差值、TCT 差值、PPIavg 差值、ARTmax 差值均与角膜直径大小无明显相关, 双眼 BAD-D 差值与角膜直径负相关, 但是相关系数较低, 仅为 -0.230。

研究结果显示, 双眼 P.E. 差值在单纯屈光不正患者中与亚临床期圆锥角膜患者中存在显著差异, 对亚临床期圆锥角膜的诊断价值较高, 是鉴别诊断亚临床期圆锥角膜的

良好指标, 且与角膜直径无明显相关。现有的研究认为, 早期圆锥角膜主要表现为角膜后表面抬高, 角膜后表面高度相关参数, 如 P.E.<sup>[16-17]</sup>、MPE from BFTE 等<sup>[18]</sup>, 在圆锥角膜早期即发生变化, 是鉴别诊断亚临床期圆锥角膜的敏感指标, 而有研究证明 P.E. 先于其他眼前节生物学参数发生改变, 是筛查亚临床期圆锥角膜的灵敏指标<sup>[17,19]</sup>, 与我们的研究结果一致。同时, 我们在此指出, 虽然 P.E. 能够较有效地鉴别诊断亚临床期圆锥角膜, 但是不可单独将其应用于诊断亚临床期圆锥角膜, 我们建议在诊断早期圆锥角膜困难时关注角膜后表面高度相关指标的变化情况, 尤其是 P.E., P.E. 增加或者双眼 P.E. 差值增加可以支持亚临床期圆锥角膜的诊断。另外在 Awad 等<sup>[20]</sup> 以及 Ambrósio 等<sup>[21]</sup> 的研究中认为, 亚临床圆锥角膜与对照组的 ARTmax 存在显著差异, 亦与我们的研究结果相似。在本研究中, 单纯屈光不正患者与亚临床期圆锥角膜患者的双眼角膜后表面 I-S 差值、BAD-D 差值均无显著统计学差异, 但是这些指标的双眼差值对亚临床期圆锥角膜的诊断具有较高的价值, 这可能是样本量较小造成的偏差。

综上所述, Pentacam 眼前节分析仪可精确获得角膜生物学参数, 双眼 P.E. 差值对亚临床期圆锥角膜的鉴别诊断具有重要的参考价值, 且受角膜直径影响较小, 为圆锥角膜的早期诊断提供了新的依据和方向。

## 参考文献

- [1] Doctor K, Vunnavu KP, Shroff R, et al. Simplifying and understanding various topographic indices for keratoconus using Scheimpflug based topographers. *Indian J Ophthalmol*, 2020, 68(12): 2732-2743.
- [2] Yang Y, Pavlatos E, Chamberlain W, et al. Keratoconus detection using OCT corneal and epithelial thickness map parameters and patterns. *J Cataract Refract Surg*, 2021, 47(6): 759-766.
- [3] 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.
- [4] Rabinowitz YS. Corneal topography. *Curr Opin Ophthalmol*, 1993, 4(4): 68-74.
- [5] 中华医学会眼科学分会角膜病学组. 中国圆锥角膜诊断和治疗专家共识(2019年). *中华眼科杂志*, 2019, 55(12): 891-895.
- [6] Davidson AE, Hayes S, Hardcastle AJ, et al. The pathogenesis of keratoconus. *Eye (Lond)*, 2014, 28(2): 189-195.
- [7] Belin MW, Jang HS, Borgstrom M. Keratoconus: diagnosis and staging. *Cornea*, 2022, 41(1): 1-11.
- [8] Fernández Pérez J, Valero Marcos A, Martínez Peña FJ. Early diagnosis of keratoconus: what difference is it making? *Br J Ophthalmol*, 2014, 98(11): 1465-1466.
- [9] Zhang XM, Munir SZ, Sami Karim SA, et al. A review of imaging modalities for detecting early keratoconus. *Eye*, 2021, 35: 173-187.
- [10] Donoso R, Rodríguez Á, Esteffan K, et al. Analysis of OPD-scan and pentacam parameters for early keratoconus detection. *Am J Ophthalmol*, 2021, 226: 235-242.
- [11] 洗艺勇, 沈阳, 赵婧, 等. 圆锥角膜形态与力学异常早期诊断的研究进展. *复旦学报(医学版)*, 2022, 49(4): 596-605.
- [12] 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.
- [13] 陈萱, 霍炎, 李梦迪, 等. 基于中国本土人口数据构建的新角膜生物力学指数(cCBI)对中国人圆锥角膜和亚临床圆锥角膜的诊断效能. *眼科新进展*, 2023, 43(8): 608-611.
- [14] 罗毅, 侯晓燕, 黎作为. Pentacam眼前节分析仪诊断早期圆锥角膜的临床应用. *国际眼科杂志*, 2020, 20(9): 1603-1606.
- [15] Burns DM, Johnston FM, Frazer DG, et al. Keratoconus: an analysis of corneal asymmetry. *Br J Ophthalmol*, 2004, 88(10): 1252-1255.
- [16] Huseynli S, Salgado-Borges J, Alio JL. Comparative evaluation of Scheimpflug tomography parameters between thin non-keratoconic, subclinical keratoconic, and mild keratoconic corneas. *Eur J Ophthalmol*, 2018, 28(5): 521-534.
- [17] de Sanctis U, Loiacono C, Richiardi L, et al. Sensitivity and specificity of posterior corneal elevation measured by Pentacam in discriminating keratoconus/subclinical keratoconus. *Ophthalmology*, 2008, 115(9): 1534-1539.
- [18] Elkitkat RS, Charieb HM, Othman IS. Accuracy of the posterior corneal elevation values of Pentacam HR from different reference surfaces in early ectasia diagnosis. *Int Ophthalmol*, 2021, 41(2): 629-638.
- [19] de Sanctis U, Aragno V, Dalmaso P, et al. Diagnosis of subclinical keratoconus using posterior elevation measured with 2 different methods. *Cornea*, 2013, 32(7): 911-915.
- [20] Awad EA, Abou Samra WA, Torky MA, et al. Objective and subjective diagnostic parameters in the fellow eye of unilateral keratoconus. *BMC Ophthalmol*, 2017, 17(1): 186.
- [21] Ambrósio R Jr, Caiado AL, Guerra FP, et al. Novel pachymetric parameters based on corneal tomography for diagnosing keratoconus. *J Refract Surg*, 2011, 27(10): 753-758.