

不同性别 8-16 岁儿童角膜参数变化规律及双眼对称性研究

李梅, 王彪, 张芬, 张玉婷, 裴泽, 路宁, 常枫

引用: 李梅, 王彪, 张芬, 等. 不同性别 8-16 岁儿童角膜参数变化规律及双眼对称性研究. 国际眼科杂志, 2026, 26(3): 483-488.

作者单位: (430070) 中国湖北省武汉市, 中国人民解放军中部战区总医院眼科

作者简介: 李梅, 女, 本科, 住院医师, 研究方向: 眼视光。

通讯作者: 常枫, 女, 博士, 主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向: 眼视光. wuhanmaple@126.com

收稿日期: 2025-07-10 修回日期: 2026-01-26

摘要

目的: 探讨不同性别 8-16 岁儿童角膜生物学参数变化规律及双眼对称性。

方法: 回顾性病例研究。选取 2022 年 1 月至 2024 年 12 月期间于我院眼科进行视光检查的儿童。测量角膜前表面最平坦子午线曲率 (K1)、最陡峭子午线曲率 (K2)、平均曲率 (Km)、水平可见虹膜直径 (HVID)、中央角膜厚度 (CCT)、角膜内皮细胞密度 (CECD)、平均细胞面积 (ACS)、变异系数 (CV) 和六角形细胞百分比 (HEX)。比较不同性别和不同年龄段间儿童角膜生物学参数变化规律及双眼差异。

结果: 本研究共纳入儿童 621 名 1 242 眼, 其中男 284 名 568 眼, 女 337 名 674 眼, 8-12 岁儿童 528 名 1 056 眼, 13-16 岁儿童 93 例 186 眼。8-16 岁儿童中男童左眼和右眼的 K1、K2、Km、CV 以及双眼 CCT 差值均显著低于女童 (均 $P < 0.05$)。男童左眼和右眼的 HVID、HEX 和左眼 CCT 则显著高于女童 (均 $P < 0.05$)。8-12 岁儿童的左眼和右眼 K1、Km、CECD、HEX 均显著高于 13-16 岁儿童, 8-12 岁儿童的左眼和右眼 ACS 则显著低于 13-16 岁儿童 (均 $P < 0.05$)。左眼和右眼 K1、K2、Km、CECD 和 HEX 均与年龄呈负相关 (均 $P < 0.05$); 左眼和右眼 ACS 均与年龄呈正相关 (均 $P < 0.001$); 右眼的 K1 和 Km 均与右眼 CECD 呈正相关 (均 $P < 0.05$), 左眼 K1 和 CCT 均与左眼 CECD 呈正相关 (均 $P < 0.05$)。

结论: 8-16 岁儿童角膜生物学参数存在性别差异, 双眼对称性稳定。

关键词: 儿童; 角膜; 双眼对称性; 角膜厚度; 角膜曲率; 角膜内皮细胞

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.3.21

Study on the variation patterns of corneal biomechanical parameters and binocular symmetry in children of different genders aged 8 to 16 years

Li Mei, Wang Biao, Zhang Fen, Zhang Yuting, Pei Ze, Lu Ning, Chang Feng

Department of Ophthalmology, General Hospital of PLA Central Theater Command, Wuhan 430070, Hubei Province, China

Correspondence to: Chang Feng. Department of Ophthalmology, General Hospital of PLA Central Theater Command, Wuhan 430070, Hubei Province, China. wuhanmaple@126.com

Received: 2025-07-10 Accepted: 2026-01-26

Abstract

• **AIM:** To investigate variation patterns of corneal biomechanical parameters and binocular symmetry among children of different genders aged 8-16 years.

• **METHODS:** A retrospective study was conducted, and children who underwent optometric examinations at the ophthalmology department of our hospital were enrolled between January 2022 and December 2024. Measurements included the flat keratometry (K1), steep keratometry (K2), and mean curvature (Km) of the anterior corneal surface, horizontal visible iris diameter (HVID), central corneal thickness (CCT), corneal endothelial cell density (CECD), average cell size (ACS), coefficient of variation (CV), and hexagonality (HEX). Corneal parameters and binocular differences were compared between genders and across age groups.

• **RESULTS:** A total of 621 children (1 242 eyes) were enrolled in this study, including 284 males (568 eyes), 337 females (674 eyes), 528 children aged 8-12 years (1 056 eyes), and 93 children aged 13-16 years (186 eyes). In children aged 8-16 years, the K1, K2, Km and CV of both eyes, as well as the interocular CCT differences in boys were significantly lower than those in girls (all $P < 0.05$), while the HVID and HEX of both eyes, as well as the CCT of the left eye in boys were significantly higher than those in girls (all $P < 0.05$). Children aged 8-12 years had significantly higher K1, Km, CECD and HEX in both eyes, and significantly lower ACS in both eyes than those aged 13-16 years (all $P < 0.05$). K1, K2, Km, CECD and HEX in both eyes were negatively correlated with age ($P < 0.05$); ACS in both eyes was positively correlated with age ($P < 0.05$).

0.001); K1 and Km of the right eye were positively correlated with the CECD of the right eye ($P<0.05$), and K1 and CCT of the left eye were positively correlated with the CECD of the left eye ($P<0.05$).

• CONCLUSION: Significant gender differences exist in corneal parameters among children aged 8 to 16 years, while binocular symmetry remained stable.

• KEYWORDS: children; cornea; binocular symmetry; corneal thickness; corneal curvature; corneal endothelial cells

Citation: Li M, Wang B, Zhang F, et al. Study on the variation patterns of corneal biomechanical parameters and binocular symmetry in children of different genders aged 8 to 16 years. *Guoji Yanke Zazhi* (Int Eye Sci), 2026,26(3):483-488.

0 引言

近年来,近视已成为全球范围内日益严重的公共卫生问题,其患病率持续攀升且发病日趋低龄化。流行病学数据显示,东亚地区儿童青少年近视患病率高达 60% - 73%,据保守估计,至 2050 年我国该人群近视患病率将突破 84%^[1]。近视尤其是高度近视可引发一系列不可逆的眼底病变,包括特征性的豹纹状眼底改变、视盘倾斜、脉络膜进行性萎缩等病理性改变,这些病变进一步导致视网膜脱离、青光眼等严重视觉损害^[2]。在眼球发育过程中,角膜形态与眼轴长度的动态平衡对视光学稳定具有关键作用,二者相互作用的失衡是近视发生发展的重要机制^[3]。角膜作为眼球最重要的屈光介质,其生物力学特性和形态学特征的变化直接影响着屈光状态。现有研究表明,中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)、平均角膜曲率(mean keratometry, Km)等参数与屈光不正存在显著相关性,角膜内皮细胞的形态和功能状态也可能参与屈光发育的调控过程^[4-5]。然而,角膜参数的动态变化并非孤立存在,而是显著受年龄、性别等因素的影响^[6-7]。8-16 岁是儿童眼球发育和近视进展的关键阶段,但目前该年龄段角膜参数的纵向变化规律及其性别差异尚未得到系统阐明。此外,儿童时期作为眼球发育和屈光状态变化最为活跃的阶段,其双眼屈光发育的对称性特征及其与角膜参数的关系亦有待进一步探索^[8]。基于此,本研究对 8-16 岁不同性别儿童的角膜生物学参数及双眼对称性展开系统探讨,以期为近视防控提供新的理论基础和临床依据。

1 对象和方法

1.1 对象 回顾性病例研究。选取 2022 年 1 月至 2024 年 12 月期间于我院眼科进行视光检查的儿童作为研究对象。纳入标准:(1)无斜视或弱视;(2)眼睑、屈光间质及眼底检查正常;(3)年龄 8-16 岁。排除标准:(1)既往有眼部外伤或眼部手术史;(2)伴有高血压、糖尿病、心脑血管疾病等全身严重先天性疾病;(3)伴有角膜炎、白内障、青光眼、眼底病等眼部器质性病变;(4)近期有可能影响眼部情况的用药史;(5)依从性差,无法配合完成视光检查。本研究取得医学伦理委员会审查批准[批准号:[2025]222-01],所有参与者及其监护人均签署知情同意书。

1.2 方法 叮嘱儿童取坐位,下颌置于仪器颌托,额头紧贴头带,保持头部固定。启动角膜地形图仪,选择“角膜地形图”模式,校准镜头焦距。调整颌托高度使儿童外眦与仪器标记线水平对齐。嘱儿童注视镜头内闪烁的固视灯,确保角膜完全暴露。按下捕获按钮,剔除眨眼或偏位图像,重复测量直至数据稳定,获取至少 3 次高质量角膜地形图。系统自动分析并显示角膜前表面的最平坦子午线曲率(flat keratometry, K1)、最陡峭子午线曲率(steepest keratometry, K2)、Km,测量 3 次记录平均值。水平可见虹膜直径(horizontal visible iris diameter, HVID)测量由同一名熟练的医技人员在角膜地形图上手动完成。随后应用角膜内皮细胞计,选择“内皮细胞分析”模式。叮嘱儿童注视镜头内固视灯,仪器自动对焦至角膜中央。确保角膜与探头间距离符合检测要求,触发拍摄,获取清晰的内皮细胞图像。系统自动计算中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)、角膜内皮细胞密度(corneal endothelial cell density, CECD)、平均细胞面积(average cell size, ACS)、角膜内皮细胞变异系数(coefficient of variation, CV)、角膜内皮细胞六角形细胞百分比(hexagonality, HEX)。重复测量 3 次,取平均值,手动修正自动计数误差。

统计学分析:采用 SPSS 27.0 统计学软件进行分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 描述,组间左右眼各角膜参数比较采用独立样本 *t* 检验。不符合正态分布的计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 描述,两组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。计数资料以 $n(\%)$ 描述,组间比较采用 χ^2 检验。应用 Pearson 相关分析评估儿童角膜参数与年龄的相关性。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

本研究共纳入儿童 621 名 1 242 眼,其中男 284 名 568 眼,女 337 名 674 眼,8-12 岁儿童 528 名 1 056 眼,13-16 岁儿童 93 例 186 眼。

2.1 不同性别儿童屈光度和角膜生物学参数及双眼各参数差值的比较 结果显示 8-16 岁儿童中男童左眼和右眼的 K1、K2、Km、CV 以及双眼 CCT 差值均显著低于女童,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),男童左眼和右眼的 HVID、HEX 和左眼 CCT 则显著高于女童,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。其余各指标及双眼差值比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$),见表 1、2。

2.2 不同年龄段儿童屈光度和角膜生物学参数及双眼各参数差值的比较 纳入的 8-12 岁儿童的左眼和右眼 K1、Km、CECD、HEX 均显著高于 13-16 岁儿童,8-12 岁儿童的左眼和右眼 ACS 则显著低于 13-16 岁儿童,差异均具有统计学意义(均 $P<0.05$)。其余各指标及双眼差值比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$),见表 3、4。

2.3 不同眼别角膜生物学参数以及双眼参数差值与年龄的相关性 相关性分析结果显示,8-16 岁儿童的左眼和右眼 K1、K2、Km、CECD 和 HEX 均与年龄均呈负相关($P<0.05$);左眼和右眼 ACS 均与年龄呈正相关($P<0.001$);CCT、CV、HVID 以及双眼间 K1、K2、Km、CCT、CECD、ACS、CV、HVID、HEX 差值均与年龄无相关性(均 $P>0.05$),见表 5。

表 1 不同性别儿童屈光度和角膜生物学参数比较

指标		男童(<i>n</i> = 284)	女童(<i>n</i> = 337)	<i>t</i> / <i>Z</i>	<i>P</i>
屈光度[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),D]	右眼	-2.50(-3.63,-1.75)	-2.63(-3.50,-1.75)	0.307	0.759
	左眼	-2.25(-3.38,-1.38)	-2.50(-3.50,-1.69)	1.163	0.231
K1($\bar{x}\pm s$,D)	右眼	42.30±1.30	42.86±1.32	5.291	<0.001
	左眼	42.21±1.31	42.77±1.34	5.212	<0.001
K2($\bar{x}\pm s$,D)	右眼	43.42±1.47	44.05±1.45	5.377	<0.001
	左眼	43.44±1.46	44.06±1.46	5.304	<0.001
Km($\bar{x}\pm s$,D)	右眼	42.87±1.35	43.45±1.36	5.435	<0.001
	左眼	42.82±1.36	43.41±1.37	5.367	<0.001
CCT($\bar{x}\pm s$,μm)	右眼	550.40±34.51	545.37±33.60	1.836	0.067
	左眼	536.40±35.34	528.42±34.76	2.830	0.005
HVID($\bar{x}\pm s$,mm)	右眼	11.88±0.31	11.74±0.31	5.788	<0.001
	左眼	11.89±0.30	11.74±0.31	5.933	<0.001
CECD($\bar{x}\pm s$,cells/mm ²)	右眼	3 027.28±228.24	3 055.70±258.15	1.441	0.150
	左眼	3 031.59±216.63	3 053.94±263.90	1.140	0.255
ACS($\bar{x}\pm s$,μm ²)	右眼	332.25±26.50	329.68±28.84	1.148	0.251
	左眼	331.63±24.08	329.99±29.70	0.745	0.457
CV($\bar{x}\pm s$,%)	右眼	34.93±8.63	37.98±8.03	4.562	<0.001
	左眼	34.13±3.74	38.23±9.65	6.017	<0.001
HEX($\bar{x}\pm s$,%)	右眼	61.02±8.87	56.35±9.65	6.229	<0.001
	左眼	60.89±7.80	56.35±9.82	6.301	<0.001

表 2 不同性别儿童角膜生物学参数双眼间差值比较

指标	男童(<i>n</i> = 284)	女童(<i>n</i> = 337)	<i>Z</i>	<i>P</i>
双眼 K1 差值[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),D]	0.23(0.09,0.38)	0.18(0.09,0.33)	1.396	0.163
双眼 K2 差值[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),D]	0.22(0.10,0.39)	0.20(0.10,0.38)	0.488	0.626
双眼 Km 差值[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),D]	0.19(0.08,0.31)	0.16(0.07,0.29)	1.583	0.113
双眼 CCT 差值[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),μm]	15.00(7.00,24.00)	17.00(10.00,26.00)	2.178	0.029
双眼 HVID 差值[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),mm]	0.07(0.03,0.11)	0.07(0.02,0.12)	0.719	0.472
双眼 CECD 差值[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),cells/mm ²]	88.50(37.50,160.50)	91.00(39.50,169.50)	0.338	0.736
双眼 ACS 差值[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),μm ²]	9.00(4.00,17.75)	9.00(4.00,19.00)	0.426	0.670
双眼 CV 差值[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),%]	3.00(2.00,6.00)	4.00(2.00,6.50)	0.352	0.725
双眼 HEX 差值[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),%]	5.00(2.00,8.00)	5.00(2.00,9.00)	0.868	0.386

表 3 不同年龄段儿童屈光度和角膜生物学参数比较

指标		8-12 岁(<i>n</i> = 528)	13-16 岁(<i>n</i> = 93)	<i>t</i> / <i>Z</i>	<i>P</i>
屈光度[<i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅),D]	右眼	-2.50(-3.50,-1.75)	-3.00(-4.00,-1.88)	1.373	0.218
	左眼	-2.38(-3.47,-1.50)	-2.50(-4.00,-1.31)	0.107	0.915
K1($\bar{x}\pm s$,D)	右眼	42.66±1.33	42.27±1.33	2.630	0.009
	左眼	42.57±1.35	42.16±1.34	2.722	0.007
K2($\bar{x}\pm s$,D)	右眼	43.81±1.49	43.48±1.44	1.945	0.052
	左眼	43.82±1.50	43.52±1.44	1.796	0.073
Km($\bar{x}\pm s$,D)	右眼	43.23±1.39	42.87±1.36	2.309	0.021
	左眼	43.20±1.40	42.84±1.37	2.279	0.023
CCT($\bar{x}\pm s$,μm)	右眼	547.47±34.61	548.82±31.09	0.350	0.726
	左眼	532.13±35.62	531.74±33.06	0.097	0.923
HVID($\bar{x}\pm s$,mm)	右眼	11.80±0.32	11.83±0.30	0.699	0.485
	左眼	11.81±0.32	11.83±0.30	0.678	0.498
CECD($\bar{x}\pm s$,cells/mm ²)	右眼	3 060.55±246.27	2 941.37±212.95	4.386	<0.001
	左眼	3 066.05±236.44	2 916.94±245.37	5.576	<0.001
ACS($\bar{x}\pm s$,μm ²)	右眼	328.95±28.02	341.71±23.91	4.135	<0.001
	左眼	328.17±26.23	345.35±28.55	5.748	<0.001
CV($\bar{x}\pm s$,%)	右眼	36.52±8.33	36.92±9.10	0.423	0.672
	左眼	36.26±8.41	36.89±10.15	0.646	0.519
HEX($\bar{x}\pm s$,%)	右眼	58.82±9.71	56.58±8.61	2.084	0.038
	左眼	58.87±9.27	55.90±8.62	2.875	0.004

表 4 不同年龄段儿童角膜生物学参数双眼间差值比较

指标	8-12 岁 (n=528)	13-16 岁 (n=93)	Z	P
双眼 K1 差值[$M(P_{25},P_{75}),D$]	0.20(0.08,0.36)	0.19(0.10,0.37)	0.458	0.647
双眼 K2 差值[$M(P_{25},P_{75}),D$]	0.21(0.10,0.38)	0.19(0.11,0.38)	0.481	0.631
双眼 Km 差值[$M(P_{25},P_{75}),D$]	0.17(0.08,0.30)	0.19(0.08,0.28)	0.242	0.809
双眼 CCT 差值[$M(P_{25},P_{75}),\mu m$]	16.00(9.00,25.00)	18.00(9.5,29.00)	0.975	0.330
双眼 HVID 差值[$M(P_{25},P_{75}),mm$]	0.07(0.03,0.11)	0.08(0.02,0.13)	0.380	0.704
双眼 CECD 差值[$M(P_{25},P_{75}),cells/mm^2$]	90.00(40.00,162.75)	89.00(35.00,170.50)	0.234	0.815
双眼 ACS 差值[$M(P_{25},P_{75}),\mu m^2$]	9.00(4.00,18.00)	10.00(4.00,20.50)	0.845	0.398
双眼 CV 差值[$M(P_{25},P_{75}),\%$]	4.00(2.00,6.00)	3.00(1.00,7.00)	0.604	0.546
双眼 HEX 差值[$M(P_{25},P_{75}),\%$]	5.00(2.00,9.00)	5.00(2.00,7.50)	0.876	0.381

表 5 不同眼别角膜参数以及双眼参数差值与年龄的相关性

参数	年龄	
	r	P
右眼 K1	-0.133	0.001
左眼 K1	-0.152	<0.001
双眼 K1 差值	0.036	0.366
右眼 K2	-0.094	0.019
左眼 K2	-0.082	0.040
双眼 K2 差值	0.002	0.968
右眼 Km	-0.115	0.004
左眼 Km	-0.117	0.003
双眼 Km 差值	0.021	0.609
右眼 CCT	0.056	0.160
左眼 CCT	0.055	0.171
双眼 CCT 差值	0.005	0.904
右眼 HVID	0.026	0.522
左眼 HVID	0.024	0.550
双眼 HVID 差值	-0.020	0.610
右眼 CECD	-0.280	<0.001
左眼 CECD	-0.294	<0.001
双眼 CECD 差值	-0.008	0.842
右眼 ACS	0.264	<0.001
左眼 ACS	0.295	<0.001
双眼 ACS 差值	0.021	0.607
右眼 CV	0.008	0.851
左眼 CV	0.011	0.787
双眼 CV 差值	0.025	0.528
右眼 HEX	-0.100	0.012
左眼 HEX	-0.128	0.001
双眼 HEX 差值	-0.057	0.153

表 6 各眼别角膜生物学参数与 CECD 的相关性

参数	右眼 CECD		左眼 CECD	
	r	P	r	P
右眼 K1	0.113	0.005		
左眼 K1			0.082	0.040
右眼 K2	0.074	0.065		
左眼 K2			0.044	0.269
右眼 Km	0.094	0.019		
左眼 Km			0.064	0.113
右眼 CCT	0.068	0.089		
左眼 CCT			0.097	0.015
右眼 HVID	-0.007	0.870		
左眼 HVID			-0.054	0.177

的重要依据。赵玉阳等^[10]虽已证实 6-12 岁儿童角膜形态存在年龄与性别差异,但因未纳入 12 岁以上群体,无法反映青春发育后期的角膜变化特征。Chen 等^[11]研究表明早产儿童的角膜内皮细胞形态随年龄增长会发生显著改变。然而,该研究未覆盖 14 岁以上年龄段。此外,双眼角膜参数的对称性作为反映发育协调性的重要指标,在儿童群体中尚缺乏系统研究。基于上述研究空白,本研究将观察范围扩展至 8-16 岁,在评估角膜形态和功能参数的同时,创新性地整合角膜内皮细胞特征与双眼对称性分析,旨在揭示 8-16 岁儿童角膜发育过程中存在的性别二态性及其随年龄增长的变化规律。

本研究结果显示,男童双眼的角膜前表面曲率(K1、K2 及 Km)和 CV 均显著低于女童,而 HVID 和 HEX 则显著高于女童,提示 8-16 岁儿童的角膜形态特征和角膜内皮细胞的形态异质性均表现出明显的性别二态性。现有研究表明,这种情况可能与两性间性激素水平的差异密切相关。性激素受体包括雌激素受体、孕激素受体和雄激素受体,均广泛分布于角膜上皮、基质和内皮细胞^[12]。女性体内的雌激素对细胞外基质具有双向调节作用,而在角膜组织中,其可能通过与性激素受体结合并激活转化生长因子-β/Smad (transforming growth factor-β/Smad, TGF-β/Smad) 信号通路,促进角膜中细胞外基质的合成,使女童角膜更陡峭,K1、K2 及 Km 随之增大;同时也可能通过影响内皮细胞间连接导致 CV 上升,HVID 和 HEX 下降^[13-14]。受雌激素、孕激素的影响,CCT 亦可能会在两性

2.4 各眼别角膜生物学参数与 CECD 的相关性 结果显示,8-16 岁儿童右眼的 K1 和 Km 均与右眼 CECD 呈正相关($P<0.05$),左眼 K1 和 CCT 均与左眼 CECD 呈正相关($P<0.05$),其余指标均无相关性($P>0.05$),见表 6。

3 讨论

角膜作为眼球重要的屈光介质,其结构特征与功能状态直接影响视觉发育。在组织学方面,角膜内皮层通过六边形内皮细胞的屏障和泵功能可调控角膜-房水渗透压,维持角膜透明性^[9]。功能上,角膜曲率等形态参数不仅是决定屈光状态的核心指标,也是圆锥角膜等病变早期筛查

间出现差异^[15]。虽然 Marinescu 等^[16]在 18 岁以下近视人群中发现男童 CCT 普遍高于女童,但本研究仅观察到左眼 CCT 存在显著性别差异。这种差异可能与研究样本的年龄分布特征或测量方法不同有关。另外,本研究发现男童双眼 CCT 差值显著低于女童,且右眼 CCT 虽无统计学差异但数值上仍高于女童,这一现象提示男童双眼角膜发育可能具有更好的对称性。在角膜内皮细胞特征方面,本研究结果显示两性间 CECD 和 ACS 无显著差异,表明 8-16 岁期间角膜内皮细胞的增殖动力学和形态学特征可能不受性别因素显著影响。这一发现与人类角膜内皮细胞生物学特性相符,该细胞层在出生后基本丧失增殖能力,主要依靠细胞扩张和迁移来维持其功能完整性^[17]。但 Wang 等^[18]研究表明中国学龄儿童中女童的 CECD 水平高于男童,这一结果与本研究的差异可能与纳入样本的年龄分布及地域有关。此外,所有检测参数的双眼差值(包括 K1、K2、Km、CECD、ACS、CV、HVID 和 HEX)在两性间均无统计学差异,进一步证实了儿童角膜发育过程中双眼对称性模式的性别保守性。

本研究中,8-12 岁儿童较 13-16 岁儿童具有更高的双眼 K1、Km、CECD、HEX 和更低的双眼 ACS,同时儿童双眼的 K1、K2、Km、CECD 和 HEX 在 8-16 岁内随年龄增长而下降,双眼 ACS 随年龄增长而上升。这提示,8-12 岁是儿童角膜形态和角膜内皮细胞特征发生显著重塑的关键发育窗口期。对于角膜前表面曲率,基于 Zhang 等^[19]研究推测角膜前表面曲率随年龄增长的变化可能与学习阶段的推进有关。儿童在不同学段往往伴随着近视的加深,这种情况下机体的角膜前表面曲率需要适应眼轴的快速增长而变得更陡^[20]。对于角膜内皮细胞的变化,8-12 岁期间儿童角膜内皮细胞尚未随年龄自然衰减,仍保留较强的增殖潜能,细胞排列紧密,细胞形态以规则的六边形为主,因而表现出高 CECD、高 HEX 和低 ACS。随着青春期的进展(13-16 岁),内皮细胞随年龄逐渐增大,增殖能力逐渐减弱,且内皮细胞基本无再生能力,其仅通过扩大面积填补因细胞凋亡形成的空隙,这一过程可能导致细胞形态规则性下降,多形性细胞比例增加,从而使 CECD、HEX 下降,ACS 上升。另外,CCT、HVID 和 CV 在整个 8-16 岁期间保持稳定,表明这些参数可能在更早的儿童期即已基本完成发育定型,而各参数的双眼对称性与年龄无关,则提示发育协调性不受年龄影响。

本研究结果显示,8-16 岁儿童右眼 CECD 与右眼 Km 成正相关,与右眼 K2 无关联,左眼 CECD 与左眼 K2、Km 均无关联。这种眼别差异可能是由于个体发育差异、视觉使用偏好或测量误差所导致的。此外,本研究还观察到双眼 CECD 均与双眼 K1 成正相关,提示 8-16 岁儿童生长发育过程中角膜内皮细胞的排列状态可能主要受角膜的平坦度影响而不受角膜的陡峭度影响。对于双眼 CECD 与双眼 HVID 的相关性,本研究结果显示两者间无关联,提示角膜内皮功能状态与角巩膜水平尺寸的发育过程相互独立。对于 8-16 岁儿童双眼 CECD 与 CCT 的相关性,两眼间结果不一致,这可能是由于 CECD 与 CCT 相关性较

弱,易受双眼间生理差异影响。

本研究仍存在一定的不足之处:(1)所有参与者均来自单中心眼科门诊,可能存在选择偏倚,结果是否适用于其他地区或不同种族儿童仍需进一步验证。(2)本研究采用回顾性分析,仅能反映不同年龄段儿童角膜参数的差异,无法追踪同一批儿童随年龄增长的动态变化规律。未来拟通过多中心合作开展纵向研究,以更全面揭示角膜参数随年龄变化的规律、全身 BMI 指数等及其与近视发展的关联。

综上所述,8-16 岁儿童角膜发育存在显著的性别二态性和年龄依赖性特征:(1)男童表现出更平坦的角膜曲率、更高的角膜内皮细胞形态异质性及更优的双眼对称性;(2)8-16 岁为角膜形态和角膜内皮特征重塑的关键阶段;(3)角膜双眼对称性在此阶段保持相对稳定,不受年龄显著影响。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:李梅论文选题与修改,初稿撰写;王彪、张芬、张玉婷、裴泽、路宁文献检索,数据分析;常枫选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] Zhang ZR, Mu JY, Wei J, et al. Correlation between refractive errors and ocular biometric parameters in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23(1): 472.
- [2] 时雪静,郑天烁,王强.高度近视并发症眼底病变的研究进展. *眼科新进展*, 2024, 44(5): 415-420.
- [3] Wang YL, Liu YJ, Zhu XX, et al. Corneal and lenticular biometry in Chinese children with myopia. *Clin Exp Optom*, 2023, 106(8): 836-844.
- [4] Mutwaly RF, Alrasheed SH, Elmadina AEM, et al. Morphology and thickness of corneal endothelial cells in young Sudanese individuals with myopia. *J Med Life*, 2023, 16(12): 1808-1812.
- [5] Aketa N, Uchino M, Kawashima M, et al. Myopia, corneal endothelial cell density and morphology in a Japanese population-based cross-sectional study: the JPHC-NEXT Eye Study. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 6366.
- [6] 肖洁,常利涛,李佩谦,等.云南少数民族地区学龄儿童眼轴和角膜曲率半径分布及相关因素研究. *现代预防医学*, 2023, 50(16): 2957-2964.
- [7] Ono T, Mori Y, Nejima R, et al. Corneal endothelial cell density and morphology in ophthalmologically healthy young individuals in Japan: an observational study of 16842 eyes. *Sci Rep*, 2021, 11: 18224.
- [8] Sánchez-González MC, Palomo-Carrión R, De-Hita-Cantalejo C, et al. Visual system and motor development in children: a systematic review. *Acta Ophthalmol*, 2022, 100(7): e1356-e1369.
- [9] 任志超,李宗义,谢立信.人角膜内皮细胞再生的研究进展. *中华眼科杂志*, 2022, 58(10): 821-830.
- [10] 赵玉阳,魏昊东,穆继宏.学龄期儿童角膜形态 Pentacam 眼前节分析仪测量分析. *国际眼科杂志*, 2024, 24(8): 1213-1217.
- [11] Chen HC, Yang SF, Lee CY, et al. Corneal endothelial morphology and ocular biometric indexes in premature children with and without

retinopathy of prematurity. Invest Ophthalmol Vis Sci,2024,65(5):37.

[12] 崔歌, 陈迪, 李莹. 性激素在近视发生发展中的作用机制研究进展. 眼科新进展, 2023,43(1):61-65.

[13] Escandon P, Nicholas SE, Cunningham RL, et al. The role of estriol and estrone in keratoconic stromal sex hormone receptors. Int J Mol Sci, 2022,23(2):916.

[14] Choi AJ, Hefley BS, Nicholas SE, et al. Novel correlation between TGF-β1 /-β3 and hormone receptors in the human corneal stroma. Int J Mol Sci, 2023,24(17):13635.

[15] Kelly DS, Sabharwal S, Ramsey DJ, et al. The effects of female sex hormones on the human Cornea across a woman's life cycle. BMC Ophthalmol, 2023,23(1):358.

[16] Marinescu M, Dascalescu D, Constantin M, et al. Corneal biomechanical properties in myopic and emmetropic children. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2023,27(8):3580-3589.

[17] Ryu Y, Hwang JS, Noh KB, et al. Adipose mesenchymal stem cell-derived exosomes promote the regeneration of corneal endothelium through ameliorating senescence. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2023, 64(13):29.

[18] Wang ZJ, Zuo XX, Liu L, et al. Corneal endothelial cell density and its correlation with birth weight, anthropometric parameters, and ocular biometric parameters in Chinese school children. BMC Ophthalmol, 2022,22(1):334.

[19] Zhang LL, Zeng L, Ye YH, et al. Refractive and corneal astigmatism in Chinese 4-15 years old children: prevalence and risk factors. BMC Ophthalmol, 2023,23(1):449.

[20] 黄立民, 王艳, 潘臣炜, 等. 近视队列江苏省中部地区 2 年追踪调查结果. 中国学校卫生, 2022,43(9):1298-1300.

2025 版《中国科技期刊引证报告》核心版眼科学类期刊
主要指标及排名
(以综合评价总分为序)

期刊名称	核心总被引频次		核心影响因子		综合评价总分	
	数值	排名	数值	排名	数值	排名
国际眼科杂志	2278	1	1.067	2	75.3	1
中华眼科杂志	1881	2	0.961	3	73.4	2
眼科新进展	1157	4	0.947	4	72.9	3
中国中医眼科杂志	1314	3	1.114	1	50.2	4
中华实验眼科杂志	877	5	0.593	8	49.3	5
中国眼耳鼻喉科杂志	446	8	0.624	6	48.4	6
中华眼底病杂志	609	7	0.603	7	46.1	7
中华眼视光学与视觉科学杂志	767	6	0.752	5	42.2	8
临床眼科杂志	329	9	0.359	10	36.3	9
中华眼科医学杂志电子版	151	12	0.113	12	32.7	10
中国斜视与小儿眼科杂志	243	11	0.493	9	27.5	11
眼科	301	10	0.237	11	22.6	12

摘编自 2025 版《中国科技期刊引证报告》核心版