

· 调查研究 ·

3~12 岁儿童晶状体屈光力变化趋势及其影响因素分析

向棹宇¹ 林秋蓉² 许琰¹ 强俊¹ 钱昱² 邹海东^{1,2}

¹上海市眼病防治中心 上海市眼科医院 200040; ²上海交通大学附属第一人民医院眼科 200080

通信作者:邹海东, Email: zouhaidong@sjtu.edu.cn

【摘要】目的 了解上海市静安区 3~12 岁儿童晶状体屈光力(LP)的变化趋势及其影响因素。

方法 采用横断面研究方法,收集 2019 年 10 月至 2020 年 1 月在上海市眼病防治中心视光科门诊就诊的 3~12 岁儿童 131 人 131 眼。分别使用质量分数 1%硫酸阿托品眼膏对≤6 岁和 0.5%托吡卡胺滴眼液对>6 岁的受检者进行扩瞳。采用光学生物测量仪测量眼轴长度(AL)、平均角膜曲率(Km)、中央前房深度(ACD)、晶状体厚度(LT)和中央角膜厚度(CCT)。采用电脑验光仪和综合验光仪测量平均等效球镜度(SE)和平均最佳矫正视力,采用 Bennett 公式计算 LP。根据年龄不同将受检者分为 3~4 岁组 16 眼、5~6 岁组 20 眼、7~8 岁组 25 眼、9~10 岁组 33 眼和 11~12 岁组 37 眼;根据性别不同将受检者分为男性组 57 眼和女性组 74 眼;根据 SE 不同将受检者分为低度近视组 38 眼、中度近视组 12 眼、高度近视组 25 眼、正视组 11 眼、低度远视组 9 眼、中度远视组 13 眼和高度远视组 23 眼。比较不同年龄组、不同性别组、不同屈光度组眼部生物学参数测量值的差异。年龄及眼部屈光参数与 LP 的相关性采用 Pearson 线性相关分析。多个影响因素对 LP 的贡献分析采用逐步回归法建立多重线性回归模型。**结果** 3~4 岁组、5~6 岁组、7~8 岁组、9~10 岁组和 11~12 岁组儿童的平均 LP 分别为(27.35±1.88)、(24.71±1.92)、(22.92±1.87)、(21.49±1.54)和(21.25±1.55)D,随着年龄的增加,LP 值逐渐降低,3~4 岁组与 5~6 岁组、5~6 岁组与 7~8 岁组、7~8 岁组与 9~10 岁组比较,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。女性儿童的平均 LP 值高于男性儿童,差异有统计学意义($t=-3.38, P<0.01$)。高度近视组 LP 值低于正视组,中度近视、低度近视组 LP 值均低于远视组,低度远视组、中度远视组 LP 值均高于正视组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。受检者的年龄、AL、ACD、CCT 与 LP 均呈负相关($r=-0.76, -0.79, -0.38, -0.18$, 均 $P<0.05$), SE、LT 与 LP 均呈正相关($r=0.62, P<0.05; r=0.68, P<0.01$), Km 与 LP 无明显线性相关性($r=0.07, P=0.45$)。通过多重线性回归方程分析 LP 的独立影响因素,得到 $LP=-0.430\times AL+0.329\times LT-0.267\times \text{年龄}-0.108\times \text{性别}-0.084\times \text{CCT}$ (男=1,女=0),各因素的标准化系数从大到小依次排列后分别为 AL、LT、年龄、性别、CCT(均 $P<0.05$)。**结论** 上海市静安区 3~12 岁儿童的 LP 变化较大,LP 随年龄增长呈下降趋势,随 SE 增长呈上升趋势,女性儿童 LP 值高于男性儿童。

【关键词】 晶状体屈光力; 儿童; 屈光不正; 年龄; 性别

基金项目: 国家自然科学基金项目(82071012); 上海申康医院发展中心项目(SHDC2020CR30538、SHDC2018110); 上海市眼科疾病精准诊疗工程技术研究中心项目(19DZ2250100); 上海市科委项目(20DZ1100200); 国家重点研发计划项目(2016YFC0904800、2019YFC0840607); 国家科技重大专项资助项目(2017ZX09304010)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200304-00138

Analysis of lens power and its influencing factors in children aged 3–12 years

Xiang Zhaoyu¹, Lin Qiurong², Xu Yan¹, Qiang Jun¹, Qian Yu², Zou Haidong^{1,2}

¹Department of Preventive Ophthalmology, Shanghai Eye Disease Prevention and Treatment Center, Shanghai Eye Hospital, Shanghai 200040, China; ²Department of Ophthalmology, Shanghai General Hospital, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200080, China

Corresponding author: Zou Haidong, Email: zouhaidong@sjtu.edu.cn

【Abstract】Objective To understand the changing trend and influencing factors of lens power (LP) in children aged 3–12 in Jing'an District, Shanghai. **Methods** A cross-sectional study was conducted. One hundred and thirty-one eyes of 131 patients with refractive errors were included in the Optometry Clinic of Shanghai Eye Hospital from October 2019 to January 2020. The 1% atropine sulfate was employed to dilate pupils for children aged

6 years or younger, and 0.5% topiramate for children older than 6 years. The axial length, mean keratometry (Km), anterior chamber depth (ACD), lens thickness (LT) and central corneal thickness (CCT) were measured using an IOL Master. The spherical equivalent (SE) and best corrected visual acuity (BCVA) were measured after cycloplegia using autorefractor and phoropter, and the LP was calculated using the Bennett formula. The patients were divided into different age groups, including 3-4 years group (16 eyes), 5-6 years group (20 eyes), 7-8 years group (25 eyes), 9-10 years group (33 eyes) and 11-12 years group (37 eyes). There were 57 eyes in the male group and 74 eyes in the female group. The patients were also divided into different refractive groups, including mild myopia group (38 eyes), moderate myopia group (12 eyes), high myopia group (25 eyes), emmetropia group (11 eyes), mild hyperopia group (9 eyes), moderate hyperopia group (13 eyes), and high hyperopia group (23 eyes). The differences in ocular biological parameter measurements between different age groups, different gender groups and different refractive groups were compared and the correlations between age, eye parameters and LP were analyzed using Pearson correlation analysis. The contribution of multiple influencing factors to LP was analyzed by multiple linear regression models. The study protocol followed the Declaration of Helsinki and was approved by an Ethics Committee of Shanghai General Hospital, Shanghai Jiao Tong University Hospital (No. 2020KY018). Written informed consent was obtained from each guardian of the subject.

Results The average LP of children in the 3-4 years group, 5-6 years group, 7-8 years group, 9-10 years group and 11-12 years group were (27.35 ± 1.88) , (24.71 ± 1.92) , (22.92 ± 1.87) , (21.49 ± 1.54) and (21.25 ± 1.55) D, respectively. With the increase of age, the LP value was decreased gradually. There were significant differences between 3-4 years group and 5-6 years group, 5-6 years group and 7-8 years group, 7-8 years group and 9-10 years group (all at $P < 0.05$). The average LP value of girls was obviously higher than that of boys ($t = -3.38, P < 0.01$). The LP value of the high myopia group was significantly lower than that of the emmetropia group, and the LP values of the moderate myopia and the low myopia group were significantly lower than that of the hyperopia group, and the LP values of the low hyperopia group and the moderate hyperopia group were significantly higher than that of the emmetropia group (all at $P < 0.05$). The LP value was negatively correlated with age, AL, ACD and CCT ($r = -0.76, -0.79, -0.38, -0.18$; all at $P < 0.05$), and was positively correlated with SE and LT ($r = 0.62, P < 0.05; r = 0.68, P < 0.01$). There was no obvious correlation between Km and LP ($r = 0.07, P = 0.45$). The independent influencing factors of LP were analyzed through multiple linear regression equations, showing that $LP = -0.430 \times AL + 0.329 \times LT - 0.267 \times \text{age} - 0.108 \times \text{gender} - 0.084 \times \text{CCT}$ (male = 1, female = 0). The standardized coefficients of each factor arranged in descending order were AL, LT, age, gender and CCT (all at $P < 0.05$).

Conclusions The LP of children aged 3-12 in Jing'an District of Shanghai decreases with age and increases with SE. LP values of girls are higher than those of boys.

[Key words] Lens power; Children; Refractive error; Age; Gender

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82071012); Project of Shanghai Shen Kang Hospital Development Centre (SHDC2020CR30538, SHDC2018110); Shanghai Engineering Research Center of Precise Diagnosis and Treatment of Eye Diseases (19DZ2250100); Science and Technology Commission of Shanghai Municipality (20DZ1100200); National Key R&D Program of China (2016YFC0904800, 2019YFC0840607); National Science and Technology Major Project of China (2017ZX09304010)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200304-00138

决定儿童屈光发育的 3 个主要因素是眼轴长度 (axial length, AL)、晶状体屈光力 (lens power, LP) 和角膜曲率。一般 3 岁以后人眼角膜曲率基本不再变化, LP 不断减少以缓解眼轴增长带来的近视化趋势, 维持正视状态^[1-5]。因此, 研究儿童青少年时期 LP 的变化规律及其影响因素对了解眼部屈光发育的规律具有重要意义。目前, 国内外研究一致认为近视儿童 LP 低于正视儿童, 远视儿童 LP 则高于正视儿童^[2-3], 但这些研究中鲜见高度近视或者高度远视儿童的 LP 数据。此外, 不同性别之间 LP 是否存在差异, 目前也存在争议。本课题组拟通过分析上海市静安区儿童 LP

的变化趋势及其影响因素, 为了解我国儿童 LP 的变化规律提供参考资料。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用横断面研究方法, 纳入 2019 年 10 月至 2020 年 1 月在上海市眼病防治中心视光科门诊就诊的儿童 131 人 131 眼, 其中男 57 例, 女 74 例; 年龄 3~12 岁, 平均 (8.87 ± 2.65) 岁; 平均等效球镜度 (spherical equivalent, SE) 为 (-0.24 ± 4.58) D, 平均 LP 为 (22.90 ± 2.66) D, 平均最佳矫正视力 (best corrected visual acuity,

BCVA) 为 (0.045±0.093) LogMAR。纳入标准: (1) 年龄 3~12 岁; (2) 中国籍, 汉族; (3) 家长了解本研究目的; (4) 受检者对检查的依从性良好。排除标准: (1) 有除屈光不正外的其他眼部疾病者; (2) 有角膜接触镜配戴史者; (3) 有眼部外伤、手术史者; (4) 有全身其他系统疾病者。 (5) 有屈光参数等测量结果存在缺失值者。受检者左右眼屈光参数经 Pearson 相关分析屈光参数高度一致 ($r>0.90, P<0.01$), 取右眼作为研究对象。根据年龄不同将受检者分为 3~4 岁组 16 眼、5~6 岁组 20 眼、7~8 岁组 25 眼、9~10 岁组 33 眼和 11~12 岁组 37 眼; 根据性别不同将受检者分为男性组 57 眼和女性组 74 眼; 根据 SE 不同将受检者分为近视组 ($SE \geq -0.50 D$) 75 眼、正视组 ($SE < -0.50 \sim < +1.00 D$) 11 眼和远视组 ($SE \geq +1.00 D$) 45 眼 (表 1)。近视组进一步分为低度近视组 ($SE > -0.50 D \sim \leq -3.00 D$) 38 眼、中度近视组 ($SE > -3.00 D \sim \leq -5.00 D$) 12 眼、高度近视组 ($SE > -5.00 D$) 25 眼。远视组进一步分为低度远视组 ($SE > 1.00 D \sim \leq 3.00 D$) 9 眼、中度远视组 ($SE > 3.00 \sim \leq 5.00 D$) 13 眼、高度远视组 ($SE > 5.00 D$) 23 眼^[6-7]。本研究遵循《赫尔辛基宣言》, 经上海交通大学附属第一人民医院伦理委员会审核批准 (批文号: 2020KY018)。

1.2 方法

由副高级职称以上眼科医生担任主治医师, 了解患儿主诉、既往史、眼健康相关生活习惯。采用裂隙灯显微镜 (YZ5F, 苏州六六视觉科技股份有限公司) 和直接检眼镜 (BETA200, 德国 Heine 公司) 进行眼前节及眼底检查, 记录眼睑、结膜、角膜、晶状体、玻璃体和眼底等相应检查结果。

1.2.1 眼生物学参数测量 在暗室环境下, 由经验丰富的眼科技术员用光学生物测量仪 (IOLMaster 700, 德国 Carl Zeiss 公司) 进行眼部屈光参数值测量。测量时

根据受检者身高调整升降台及颌托, 嘱下颌置于下颌托上、额头紧贴颌托, 睁大双眼避免眼睑遮挡, 受检眼注视仪器内的绿色注视标。受检者完全瞬目以确保泪膜光滑后开始测量, 先右眼后左眼, 常规测量 AL、水平角膜曲率、垂直角膜曲率、中央前房深度 (anterior chamber depth, ACD)、晶状体厚度 (lens thickness, LT)、中央角膜厚度 (central corneal thickness, CCT), 均测量 3 次, 取平均值。若未获得完整数据, 则再次测量, 若重复测量 3 次均无法获得完整数据, 记录为缺失值。计算平均角膜曲率 (mean keratometry, Km)、玻璃体深度 (vitreous chamber depth, Vd) 和 LP。Km = (水平角膜曲率 + 垂直角膜曲率) / 2; Vd = AL - ACD - LT。LP 的计算以 Gullstrand-Emsley 模型眼中的数据为基准, 使用 Bennett 公式进行计算^[7], $LP = -[1000n \times (S_{cv} + Km)] / [1000n - (ACD + C_1 \times LT) \times (S_{cv} + Km)] + 1000n / (-C_2 \times LT + Vd)$, 其中 $S_{cv} = SE / (1 - 0.014 \times SE)$, $C_1 = 0.596, C_2 = -0.358, n = 1.336$ 。

1.2.2 综合验光 验光前由专业技术人员采用非接触眼压计 (NT-510, 日本 Nidek 公司) 测量眼压, ≤ 6 岁的受检者采用质量分数 1% 硫酸阿托品眼膏涂双眼, 每天睡前 1 次, 连续 7 d; > 6 岁的受检者采用质量分数 0.5% 托吡卡胺滴眼液点双眼, 每 5 min 点 1 次, 共 5 次。由经验丰富的验光师用自动电脑验光仪 (ARK-1s, 日本 Nidek 公司) 检查屈光度, 先右眼后左眼, 每眼检测 3 次, 取平均值, 若 3 次测量获得的最大值与最小值差值 $> 0.50 D$, 则重复测量。验光师依据自动电脑验光结果用综合验光仪 (RT-3100, 日本 Nidek 公司) 进行主观验光, 测量并记录 5 m 处 BCVA 和屈光度。若眼压 $> 21 \text{ mmHg}$ ($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$) 则不行睫状肌麻痹, 验光结果记录为缺失值。使用公式 $\text{LogMAR} = \log(1/\text{小数记录法 BCVA 数值})$, 将 BCVA 的表达方式由小数记录法改为 LogMAR 对数记录法表达。

表 1 不同屈光状态组儿童眼部生物学参数测量值比较
Table 1 Comparison of ocular parameters among different refractive groups

组别	眼数	SE (mean±SD, D) ^a	AL (mean±SD, mm) ^a	Km (mean±SD, D) ^a	CCT (mean±SD, μm) ^a	ACD (mean±SD, mm) ^a	LT (mean±SD, mm) ^a	LP (mean±SD, D) ^a	BCVA [M(Q ₁ , Q ₃)] ^b
近视组	75	-3.53±2.44	24.98±1.17	43.39±1.45	550.37±30.19	3.54±0.35	3.35±0.15	21.40±1.49	0.000 0(0.000 0, 0.000 0)
正视组	11	0.44±0.47	23.35±0.87	42.52±0.94	546.91±33.46	3.49±0.33	3.42±0.21	23.49±2.68	0.000 0(0.000 0, 0.000 0)
远视组	45	5.06±2.17	21.18±0.89	43.14±1.47	543.07±38.88	3.32±0.29	3.56±0.28	25.27±2.41	0.096 0(0.000 0, 0.188 4)
F/H 值		48.33	1.93	0.66	6.11	13.37	55.52	205.08	38.65
P 值		<0.01	0.15	0.52	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注: (a: 单因素方差分析; b: Kruskal-Wallis H 检验) SE: 等效球镜度; AL: 眼轴长度; Km: 平均角膜曲率; CCT: 中央角膜厚度; ACD: 前房深度; LT: 晶状体厚度; LP: 晶状体屈光力; BCVA: 最佳矫正视力

Note: (a: One-way ANOVA; b: Kruskal-Wallis H test) SE: spherical equivalent; AL: axial length; Km: mean keratometry; CCT: central corneal thickness; ACD: anterior chamber depth; LT: lens thickness; LP: lens power; BCVA: best corrected visual acuity

1.2.3 质量控制 患者进行检查时均采用统一的测量流程,保证检测方法、所用器械设备均一致,所有检测设备定期由专业人员进行校准和维护。研究现场由具备丰富临床研究经验的项目负责人全程督导及核对数据的记录,以完成查漏补缺,保证资料完整准确。由 2 名检录员将资料录入计算机并进行数据核查,之后由第 3 人依据原始资料对电脑资料再次复核,以保证数据录入的准确性。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 25.0 统计学软件进行统计分析,SE、AL、Km、CCT、ACD、LT、LP 的数据结果经 P-P 图正态性检验证实呈正态分布,以 $\text{mean} \pm \text{SD}$ 表示,BCVA 结果经检验为非正态分布,以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。不同性别间符合正态分布的计量资料差异比较采用独立样本 t 检验,不符合正态分布的计量资料差异比较采用 Kolmogorov-Smirnov Z 检验;近视组、正视组、远视组间符合正态分布的计量资料总体差异比较采用单因素方差分析,不符合正态分布的计量资料总体差异比较采用 Kruskal-Wallis H 检验;不同屈光度组和不同年龄段间 LP 的总体差异比较采用单因素方差分析,组间两两比较采用 Student-Newman-Keuls 检验,并使用 Bonferroni 法校正 P 值。单个因素与 LP 的关系分析采用 Pearson 线性相关分析;多个影响因素对 LP 的贡献分析采用逐步回归法建立多重线性回归模型,计算性别贡献时,男性取值为 1,女性取值为 0,未纳入方程的自变量纳入标准为 $P \leq 0.05$,已纳入方程的自变量排除标准为 $P \geq 0.10$ 。对回归系数进行假设检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 LP 的相关因素分析

2.1.1 不同年龄组 LP 的比较及年龄与 LP 的相关性 3~4 岁组、5~6 岁组、7~8 岁组、9~10 岁组和 11~12 岁组儿童的平均 LP 分别为 (27.35 ± 1.88) 、 (24.71 ± 1.92) 、 (22.92 ± 1.87) 、 (21.49 ± 1.54) 和 (21.25 ± 1.55) D,各组平均 LP 总体比较差异有统计学意义 ($F = 46.93, P < 0.01$),其中 3~4 岁组与 5~6 岁组、5~6 岁组与 7~8 岁组、7~8 岁组与 9~10 岁组比较、7~8 岁组与 11~12 岁组比较,差异均有统计

学意义(均 $P < 0.05$),9~10 岁组与 11~12 岁组间 LP 比较差异无统计学意义($P = 0.62$)。年龄与 LP 呈负相关($r = -0.76, P < 0.01$),LP 的平均值随年龄增长呈下降趋势,9 岁之后 LP 下降速度减缓(图 1)。

2.1.2 不同性别组儿童眼部生物学参数测量值比较 女性儿童的平均 LP 值高于男性儿童,差异有统计学意义($t = -3.38, P < 0.01$) (表 2)。3~6 岁女性儿童 LP 为 (26.53 ± 2.09) D,明显高于男性儿童的 (24.59 ± 2.22) D,差异有统计学意义($t = -2.58, P = 0.01$);7~9 岁女性儿童 LP 为 (23.45 ± 1.63) D,明显高于男性儿童的 (22.20 ± 1.87) D,差异有统计学意义($t = -2.14, P = 0.04$);10~12 岁女性儿童 LP 为 (21.53 ± 1.26) D,明显高于男性儿童的 (20.56 ± 1.38) D,差异有统计学意义($t = -2.73, P < 0.01$)。

2.1.3 不同屈光度组 LP 的比较及 SE 与 LP 的相关性 高度近视组、中度近视组、低度近视组、正视组、低度远视组、中度远视组和高度远视组平均 LP 分别为 (20.49 ± 1.36) 、 (21.92 ± 1.79) 、 (21.83 ± 1.20) 、 (23.49 ± 2.68) 、 (26.12 ± 2.64) 、 (25.90 ± 2.18) 和 (24.59 ± 2.35) D,各组间平均 LP 总体比较差异有统计学意义($F = 22.61, P < 0.05$)。近视组间两两比较、远视组间两两比较、正视组与中低度近视组间比较、正视组与高度远视组间比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。高度近视组 LP 明显低于正视组,高度近视组、中度近视组、低度近视组 LP 均低于各远视组,低度远视组、中度远视组 LP 均明显高于正视组,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。SE 与 LP 呈正相关($r = 0.62, P < 0.05$) (图 2,3)。

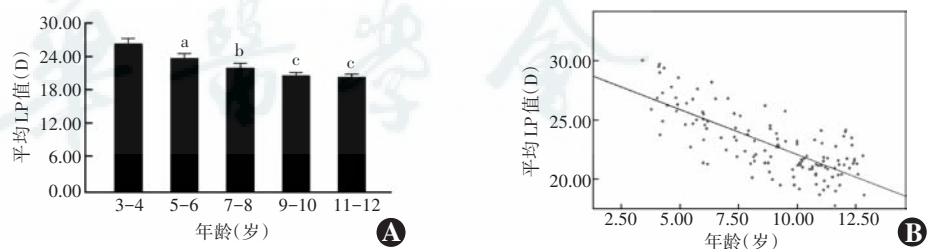


图 1 不同年龄组 LP 的比较及年龄与 LP 的相关性分析 A: 不同年龄组受检眼 LP 比较 $F = 46.93, P < 0.01$ 。与 3~4 岁组比较,^a $P < 0.05$;与 5~6 岁组比较,^b $P < 0.05$;与 7~8 岁组比较,^c $P < 0.05$ (单因素方差分析,Student-Newman-Keuls 检验;3~4 岁组, $n = 16$;5~6 岁组, $n = 20$;7~8 岁组, $n = 25$;9~10 岁组, $n = 33$;11~12 岁组, $n = 37$) B: 年龄与 LP 的相关性分析 年龄与 LP 呈负相关, $r = -0.76, P < 0.01$ (Pearson 相关分析, $n = 131$) LP: 晶状体屈光力

Figure 1 Comparison of LP among different age groups and correlation analysis between age and LP A: Comparison of LP among different age groups $F = 46.93, P < 0.01$. Compared with the 3-4 years group,^a $P < 0.05$; compared with the 5-6 years group,^b $P < 0.05$; compared with the 7-8 years group,^c $P < 0.05$ (One-way ANOVA, Student-Newman-Keuls test; 3-4 years group, $n = 16$; 5-6 years group, $n = 20$; 7-8 years group, $n = 25$; 9-10 years group, $n = 33$; 11-12 years group, $n = 37$) B: Correlation analysis between age and LP Age was negatively correlated with LP, $r = -0.76, P < 0.01$ (Pearson correlation analysis, $n = 131$) LP: lens power

表 2 不同性别组儿童眼部生物学参数测量值比较
Table 2 Comparison of ocular biological parameters between different gender groups

组别	眼数	SE (mean±SD, D) ^a	AL (mean±SD, mm) ^a	Km (mean±SD, mm) ^a	CCT (mean±SD, μm) ^a	ACD (mean±SD, mm) ^a	LT (mean±SD, mm) ^a	LP (mean±SD, D) ^a	BCVA [M(Q ₁ , Q ₃)] ^b
男性	57	-0.95±4.24	24.13±1.95	42.88±1.32	550.49±29.78	3.52±0.33	3.40±0.18	22.04±2.31	0.000(0.000, 0.000)
女性	74	0.30±4.79	23.08±2.03	43.50±1.47	545.32±36.29	3.41±0.34	3.46±0.26	23.57±2.73	0.000(0.000, 0.097)
t/Z 值		-1.59	3.00	-2.48	0.87	1.92	-1.57	-3.38	1.166
P 值		0.12	<0.01	0.01	0.39	0.06	0.12	<0.01	0.132

注: (a: 独立样本 t 检验; b: Kolmogorov-Smirnov Z 检验) SE: 等效球镜度; AL: 眼轴长度; Km: 平均角膜曲率; CCT: 中央角膜厚度; ACD: 前房深度; LT: 晶状体厚度; LP: 晶状体屈光力; BCVA: 最佳矫正视力

Note: (a: Independent samples-t test; b: Kolmogorov-Smirnov Z test) SE: spherical equivalent; AL: axial length; Km: mean keratometry; CCT: central corneal thickness; ACD: anterior chamber depth; LT: lens thickness; LP: lens power; BCVA: best corrected visual acuity

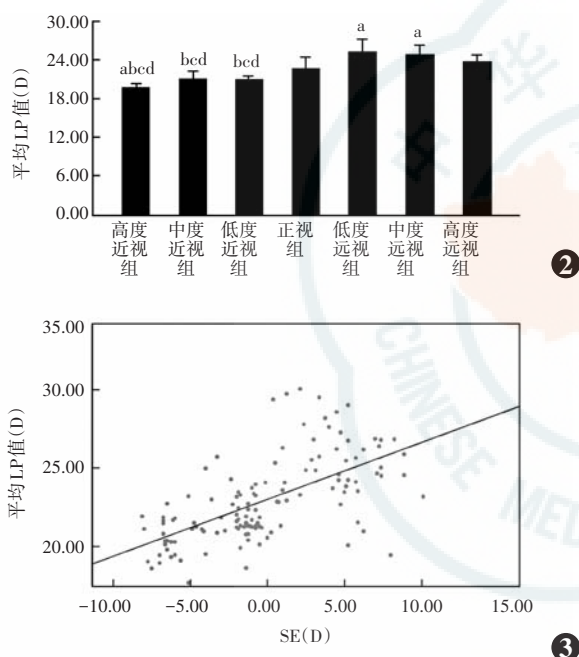


图 2 不同屈光度组受检眼 LP 值比较 $F = 22.61, P < 0.01$ 。与正视组比较, ^a $P < 0.05$; 与低度远视组比较, ^b $P < 0.05$; 与中度远视组比较, ^c $P < 0.05$; 与高度远视组比较, ^d $P < 0.05$ (单因素方差分析, Student-Newman-Keuls 检验; 高度近视组, $n = 25$; 中度近视组, $n = 12$; 低度近视组, $n = 38$; 正视组, $n = 11$; 低度远视组, $n = 9$; 中度远视组, $n = 13$; 高度远视组, $n = 23$) LP: 晶状体屈光力 图 3 SE 与 LP 的相关性分析 SE 与 LP 呈正相关, $r = 0.62, P < 0.05$ (Pearson 相关分析, $n = 131$) LP: 晶状体屈光力; SE: 等效球镜度

Figure 2 Comparison of LP values among different refractive groups $F = 22.61, P < 0.01$. Compared with the emmetropia group, ^a $P < 0.05$; compared with the mild hyperopia group, ^b $P < 0.05$; compared with the moderate hyperopia group, ^c $P < 0.05$; compared with the high hyperopia group, ^d $P < 0.05$ (One-way ANOVA, Student-Newman-Keuls test; high myopia group, $n = 25$; moderate myopia group, $n = 12$; mild myopia group, $n = 38$; emmetropia group, $n = 11$; mild hyperopia group, $n = 9$; moderate hyperopia group, $n = 13$; high hyperopia group, $n = 23$) LP: lens power Figure 3 Correlation analysis between SE and LP SE was positively correlated with LP, $r = 0.62, P < 0.05$ (Pearson correlation analysis, $n = 131$) LP: lens power; SE: spherical equivalent

2.1.4 LT、AL、ACD、CCT、Km 与 LP 的相关性分析
LT 与 LP 呈正相关 ($r = 0.68, P < 0.01$), AL、ACD、CCT 与 LP 均呈负相关 ($r = -0.79, -0.38, -0.18$, 均 $P < 0.05$), Km 与 LP 无明显线性相关性 ($r = 0.07, P = 0.45$) (图 4)。

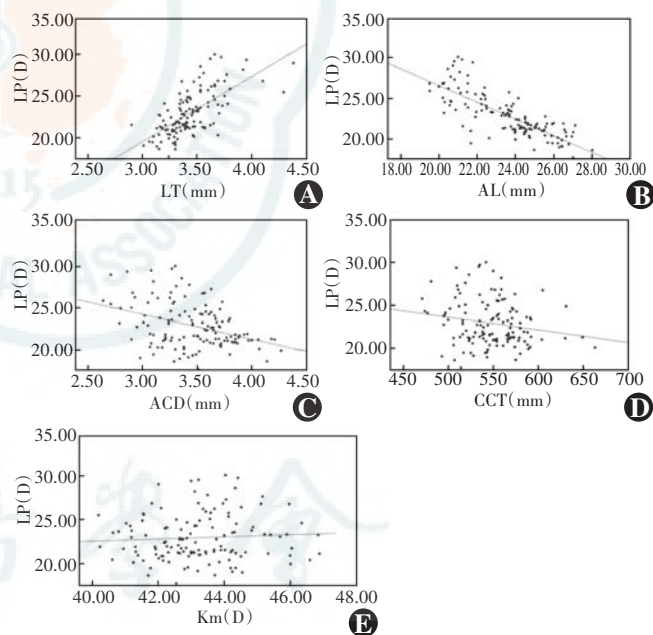


图 4 不同眼部生物学测量参数与 LP 的相关性分析 (Pearson 相关分析, $n = 131$) A: LT 与 LP 呈正相关 ($r = 0.68, P < 0.01$) B-D: AL、ACD、CCT 与 LP 均呈负相关 ($r = -0.79, -0.38, -0.18$, 均 $P < 0.05$) E: Km 与 LP 无明显线性相关性 ($r = 0.07, P = 0.45$) LP: 晶状体屈光力; LT: 晶状体厚度; AL: 眼轴长度; ACD: 前房深度; CCT: 中央角膜厚度; Km: 平均角膜曲率

Figure 4 Correlation analysis between different ocular biological parameters and LP (Pearson correlation analysis, $n = 131$) A: LT was positively correlated with LP ($r = 0.68, P < 0.01$) B-D: AL, ACD, CCT were all negatively correlated with LP ($r = -0.79, -0.38, -0.18$; all at $P < 0.05$) E: There was no obvious linear correlation between Km and LP ($r = 0.07, P = 0.45$) LP: lens power; LT: lens thickness; AL: axial length; ACD: anterior chamber depth; CCT: central corneal thickness; Km: mean keratometry

2.2 LP 的影响因素分析

LP 的标准化回归方程为 $LP = -0.430 \times AL + 0.329 \times LT - 0.267 \times \text{年龄} - 0.108 \times \text{性别} - 0.084 \times \text{CCT}$ ($F = 107.90, P < 0.01$) (图 5), 各因素的标准化系数从大到小依次排列后分别为 AL、LT、年龄、性别、CCT (均 $P < 0.05$)。由于使用逐步回归法时对 ACD、Km 分别做基于偏回归平方和的 F 检验, 均 $P > 0.05$, 故 ACD、Km 未进入方程。

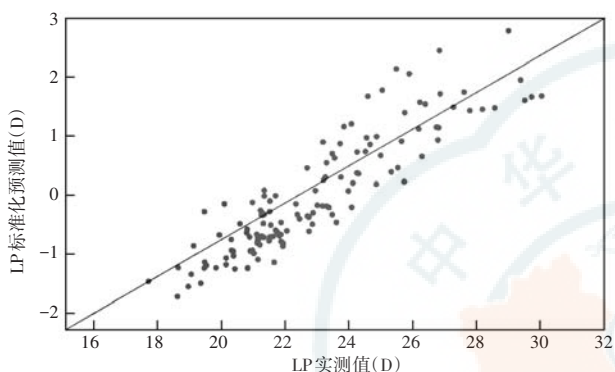


图 5 多重线性回归方程中 LP 标准化预测值随 LP 实测值分布
LP 的多重线性回归方程为 $LP = -0.430 \times AL + 0.329 \times LT - 0.267 \times \text{年龄} - 0.108 \times \text{性别} - 0.084 \times \text{CCT}$ (男 = 1, 女 = 0), 方程调整后 R^2 为 0.804 LP: 晶状体屈光力

Figure 5 Distribution of LP standardized predicted values with LP measured values in multiple linear regression equations The multiple linear regression equation of LP was $LP = -0.430 \times AL + 0.329 \times LT - 0.267 \times \text{age} - 0.108 \times \text{gender} - 0.084 \times \text{CCT}$ (male = 1, female = 0), and the R^2 after equation adjustment was 0.804 LP: lens power

3 讨论

晶状体的形态和内部纤维等成分在人一生的生长发育和老化过程中持续发生变化, 导致 LP 不断改变^[1-5]。本研究分析了上海市静安区 3~12 岁儿童的 LP 在不同年龄、性别和屈光度组间的差异, 并首次报道了高度远视眼的 LP 改变情况。王阳等^[8]曾用 Bennett-Rabbetts 公式计算并报道了 12 岁前高度近视儿童的 LP, 但该研究中的总 LP 标准差为 5.13 D, 结果不够稳定。有研究证明, Bennett-Rabbetts 公式计算得到的 LP 值小于曲率法直接计算得到的 LP 值, Bennett 公式与曲率法的相关性强于 Bennett-Rabbetts 公式^[9]。此外, 这种结果带来的偏差在高度近视眼中是否会进一步变大仍不明确。本研究完善并补充了 LP 在高度近视儿童中的变化规律。

随着年龄的增长, 儿童的 AL 逐渐增长, 角膜屈光力、LP 也逐渐下降, 这些因素的相互作用对屈光状态由远视向正视的转化起着平衡作用。一般认为, 儿童

3 岁时角膜屈光力已趋于稳定, AL 延长带来的近视化趋势主要由 LP 的下降来代偿^[10]。本研究发现, 10 岁前儿童的 LP 随着年龄增长明显下降, 至 10 岁后 LP 的下降速度减缓, 与 Zadnik 等^[11]的报道结果一致。LP 的变化可以用晶状体皮质纤维增长与晶状体核压缩之间的平衡来解释, 10 岁前晶状体核的压缩大于皮质纤维的增长, LT 和 LP 减小, 晶状体皮质与核的变化达到平衡后 LT 不变; 10 岁后晶状体核的压缩速度低于皮质纤维的增长速度, LT 和 LP 下降速率变缓^[11]。LT 值减小使晶状体表面曲率变平, 导致 LP 下降^[12]。此外, 晶状体皮质纤维压缩使晶状体的屈光指数梯度变陡峭, 导致 LP 下降^[11-12], 这也是 LT 开始增长后 LP 继续下降的主要原因^[13]。

既往研究认为, 性别是 LP 的独立影响因素, 不同性别儿童的 LP 存在差异^[3, 14]。本研究发现, 与男性儿童相比, 女性儿童 LP 更高, AL 更小, 角膜屈光力更高, 而 LT 在不同性别间无明显差异, 提示我们 LP 的性别差异与 LT 无关。本研究还发现, 儿童时期随着年龄增长, 女性儿童 LP 的下降程度比男性儿童更大, LP 的性别差异逐渐减小, 10 岁后儿童 LP 的性别差距与 He 等^[15]报道的成人 LP 的性别差距类似。

既往研究结果表明, 近视儿童的 LP 较低, 远视儿童的 LP 则高于正视儿童^[2-3, 5, 14]。本研究中对屈光状态进一步分组后发现, 低度近视与中度近视组的 LP 均值更为接近, 而高度近视组与前两者差距较大。近视眼 AL 更长^[16], LP 下降能部分代偿 AL 的增加。近视发生前 LP 已经有所下降, 而近视发生后随着 AL 增长的加快, LP 的下降速率也增加^[3]。本研究结果显示, 高度近视组中 LP 的变化也符合上述规律。

本研究中低度远视组、中度远视组、高度远视组的平均 LP 均大于正视组, 符合眼轴较短时 LP 更高的结论。但值得注意的是, 高度远视组的平均 LP 与低度远视组、中度远视组相比出现了异常的下降趋势。尽管 SE 上升 AL 减小, 但 LP 下降, 这与上述规律相悖, 我们认为这可能与 LP 改变的主动性有关。尽管儿童期 LP 的下降被认为是为了代偿 AL 增加而发生的被动现象, 但老年人 LP 的研究结果表明远视组的平均 LP 小于正视组, 这种老年期出现的远视眼多由 LP 的自发下降导致^[15]。本研究推测, 儿童高度远视眼 LP 的下降已经不是对 AL 的被动代偿, 而是一种主动改变。高度远视组儿童的晶状体更薄, ACD 也相应变浅, 眼前节形态的变化在物理上解释了 LP 下降的原因, 但无法明确这种变化是如何发生的。需要进行纵向队列研究, 观察高度远视眼中 LP 的变化方向及速

率,以进一步明确这种异常下降的原因。

在对 LP 影响因素的分析中发现,AL 对 LP 的影响最大,与既往研究结果一致^[3,13,17],其他独立影响因素还包括 LT、年龄、性别和 CCT。晶状体形态的改变会引起屈光力的变化,LT 变薄使表面曲率降低、屈光力下降,这一过程发生在本研究中涉及的年龄段,12 岁之后将发生晶状体增厚但屈光力下降的“晶状体悖论”^[18]。角膜和晶状体均是眼屈光系统的重要组成部分,但二者间的联系目前仍未明确。本研究结果显示 CCT 与 LP 呈负相关,考虑 CCT 与 ACD 的改变方向一致,本研究认为这可能是发育过程中的改变,尚待进一步的研究加以验证。

本研究存在一定的局限性:首先,由于本研究为横断面研究,无法直接观察年龄增长、近视发生和发展过程中 LP 的动态变化,仅能通过不同年龄、屈光度分组的组间差异间接推断 LP 的变化规律;其次,当 LP 组间差异为 1 D 时,要明确这种差异是否具有统计学意义需要每组样本量 ≥ 23 例,由于本研究分组较多,导致每组样本量偏小,部分组样本量 < 23 例,使得统计效力下降,可能导致部分假阴性结果,增加 II 型错误发生的风险,需要扩大样本量进一步研究。

综上所述,本研究采用 Bennett 公式分析了上海市静安区 3~12 岁儿童 LP 的变化规律,结果发现随年龄增长 LP 逐渐下降,其下降速率在 9 岁之后逐渐减缓;女性儿童 LP 在各年龄段中均比男性儿童高;随着 SE 的增加,LP 不断上升,但在高度远视组中却发生了下降,其原因仍待进一步研究。

利益冲突 所有作者均声明不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] Zadnik K, Mutti DO, Mitchell GL, et al. Normal eye growth in emmetropic schoolchildren [J]. *Optom Vis Sci*, 2004, 81(11): 819-828. DOI:10.1097/O1.opx.0000145028.53923.67.
- [2] Jones LA, Mitchell GL, Mutti DO, et al. Comparison of ocular component growth curves among refractive error groups in children[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2005, 46(7): 2317-2327. DOI:10.1167/iivs.04-0945.
- [3] Iribarren R, Morgan IG, Chan YH, et al. Changes in lens power in Singapore Chinese children during refractive development[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53(9): 5124-5130. DOI:10.1167/iivs.12-9637.
- [4] Iribarren R, Morgan IG, Nangia V, et al. Crystalline lens power and refractive error [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53(2): 543-550. DOI:10.1167/iivs.11-8523.
- [5] Mutti DO, Mitchell GL, Sinnott LT, et al. Corneal and crystalline lens dimensions before and after myopia onset [J]. *Optom Vis Sci*, 2012, 89(3): 251-262. DOI:10.1097/OPX.0b013e3182418213.
- [6] Villarreal GM, Ohlsson J, Cavazos H, et al. Prevalence of myopia among 12- to 13-year-old schoolchildren in northern Mexico [J]. *Optom Vis Sci*, 2003, 80(5): 369-373. DOI:10.1097/00006324-200305000-00011.
- [7] Villarreal MG, Ohlsson J, Abrahamsson M, et al. Myopisation: the refractive tendency in teenagers. Prevalence of myopia among young teenagers in Sweden [J]. *Acta Ophthalmol Scand*, 2000, 78(2): 177-181. DOI:10.1034/j.1600-0420.2000.078002177.x.
- [8] 王阳,赵汝莲,皮练鸿. 3~12 岁儿童眼轴长度、晶状体屈光力与屈光不正的关系[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2020, 22(3): 191-197. DOI:10.3760/cma.j.cn115909-20190716-00197. Wang Y, Zhao RL, Pi LH. Relationship between axial length, lens power, and refractive error in children aged 3-12 years [J]. *Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 22(3): 191-197. DOI:10.3760/cma.j.cn115909-20190716-00197.
- [9] Rozema JJ, Atchison DA, Tassinon MJ. Comparing methods to estimate the human lens power [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(11): 7937-7942. DOI:10.1167/iivs.11-7899.
- [10] Mutti DO, Sinnott LT, Lynn Mitchell G, et al. Ocular component development during infancy and early childhood [J]. *Optom Vis Sci*, 2018, 95(11): 976-985. DOI:10.1097/OPX.0000000000001296.
- [11] Mutti DO, Zadnik K, Fusaro RE, et al. Optical and structural development of the crystalline lens in childhood [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1998, 39(1): 120-133.
- [12] Iribarren R. Crystalline lens and refractive development [J]. *Prog Retin Eye Res*, 2015, 47: 86-106. DOI:10.1016/j.preteyeres.2015.02.002.
- [13] Augusteyn RC, Jones CE, Pope JM. Age-related development of a refractive index plateau in the human lens; evidence for a distinct nucleus [J]. *Clin Exp Optom*, 2008, 91(3): 296-301. DOI:10.1111/j.1444-0938.2007.00244.x.
- [14] Hashemi H, Pakzad R, Iribarren R, et al. Lens power in Iranian schoolchildren: a population-based study [J]. *Br J Ophthalmol*, 2018, 102(6): 779-783. DOI:10.1136/bjophthalmol-2017-310565.
- [15] He J, Lu L, He X, et al. The relationship between crystalline lens power and refractive error in older Chinese adults: the Shanghai Eye Study [J/OL]. *PLoS One*, 2017, 12(1): e0170030 [2020-01-12]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28114313>. DOI:10.1371/journal.pone.0170030.
- [16] 李仕明,任明畅,张三国,等. 眼轴长度用于近视预测模型对儿童和青少年近视筛查的效能研究 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2019, 37(4): 269-273. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.04.006. Li SM, Ren MY, Zhang SG, et al. Effectiveness of myopia prediction model in screening children and teenager myopia [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2019, 37(4): 269-273. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.04.006.
- [17] Xiang F, He M, Morgan IG. Annual changes in refractive errors and ocular components before and after the onset of myopia in Chinese children [J]. *Ophthalmology*, 2012, 119(7): 1478-1484. DOI:10.1016/j.ophtha.2012.01.017.
- [18] Brown N. The change in lens curvature with age [J]. *Exp Eye Res*, 1974, 19(2): 175-183. DOI:10.1016/0014-4835(74)90034-7.

(收稿日期:2020-08-14 修回日期:2021-04-29)

(本文编辑:刘艳 施晓萌)