

· 临床研究 ·

儿童近视发生前后的屈光度和眼生物参数变化： 安阳儿童眼病研究

石梦海¹ 黄瑛² 李翥³ 屠永芳³ 李蕾² 康梦田² 魏士飞² 孙芸芸² 尹磊⁴ 王宁利²
李仕明²

¹郑州大学人民医院眼科 河南省人民医院眼科 河南省立眼科医院, 郑州 450003; ²首都医科大学附属北京同仁医院 北京同仁眼科中心 北京市眼科研究所 北京市眼科学与视觉科学重点实验室, 北京 100730; ³安阳市眼科医院, 安阳 455000; ⁴郑州市第一人民医院, 郑州 450003
石梦海为首都医科大学附属北京同仁医院进修生

通信作者: 李仕明, Email: lishiming81@163.com; 王宁利, Email: wningli@vip.163.com

【摘要】 目的 分析小学生 5 年间的屈光度和眼生物参数变化趋势, 探讨其在近视发生前后的变化规律。方法 采用队列研究方法, 以“安阳儿童眼病研究”中的 1 年级小学生为研究对象, 共纳入 1 986 人, 其中男生 1 126 人, 女生 860 人, 均取右眼数据进行分析。每年采用 1% 环戊通滴眼液进行睫状肌麻痹后电脑验光获得等效球镜度 (SE), 采用眼生物测量仪测量眼轴长度 (AL)、前房深度、晶状体厚度、平均角膜曲率 (Km) 等, 采用 Bennett 公式计算晶状体屈光力 (LP)。根据随访时近视发生情况将受检者分为持续近视组、非近视组和新发近视组, 又根据发病年龄将新发近视组细分为 8 岁近视组、9 岁近视组、10 岁近视组、11 岁近视组和 12 岁近视组, 比较各组屈光度和眼生物参数在不同随访时间点的差异。结果 随着年龄增加, 所有儿童的屈光度均逐渐向近视漂移, 眼轴逐渐增长, 各组内相邻随访年龄间 SE 和 AL 比较, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。在相同随访年龄下, 近视发生越早, 其近视屈光度数越高, AL 越长; 各相邻组间 SE 比较差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$); 8~12 岁随访年龄下各相邻组间 AL 比较, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。在非近视组, 屈光度以缓慢均匀的速度向正视漂移, 5 年平均 SE 变化速度为 (-0.23 ± 0.27) D/年, AL 亦缓慢均匀增长, 5 年平均增长速度为 (0.18 ± 0.13) mm/年; 在新发近视组中, 近视发生前第 3 年、第 2 年和第 1 年的 SE 年变化量分别为 (-0.32 ± 0.25) 、 (-0.45 ± 0.33) 和 (-0.98 ± 0.44) D, AL 年增长量分别为 (0.25 ± 0.12) 、 (0.32 ± 0.15) 和 (0.48 ± 0.19) mm, SE 和 AL 变化速度均在近视发生前开始加快, 并于近视发生后变缓, 各近视前后不同时间段 SE 和 AL 变化速度总体比较差异均有统计学意义 (均 $P < 0.001$)。新发近视组中发生近视时男生的 AL 为 (24.11 ± 0.70) mm, 明显长于女生的 (23.60 ± 0.66) mm, 差异有统计学意义 ($t = 159.71, P < 0.001$)。LP 随年龄增加而下降, 9 岁前下降速度较快, 9 岁后下降速度变缓。持续近视组和 8~11 岁近视组的 LP 平均下降速度分别为 (-0.48 ± 0.19) 、 (-0.44 ± 0.20) 、 (-0.49 ± 0.16) 、 (-0.51 ± 0.18) 、 (-0.48 ± 0.19) D/年, 明显快于 12 岁近视组的 (-0.42 ± 0.17) D/年和非近视组的 (-0.37 ± 0.15) D/年, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。各组不同随访年龄 Km 比较差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。结论 AL 在儿童近视发生的前 3 年内开始加速增长, 在近视发生后增长速度逐渐变缓, 但仍明显快于非近视儿童; 在此过程中, LP 下降起到一定的代偿作用, Km 无显著变化。相同年龄下男生发生近视时的 AL 比女生长。AL 是近视防控的重要指标, 评估时要考虑性别差异, 更要关注 AL 的增长速度。

【关键词】 近视; 屈光度; 眼生物参数; 眼轴长度; 晶状体屈光力; 眼; 儿童; 纵向研究

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFC3502502); 国家自然科学基金 (82071000); 北京市自然科学基金杰出青年科学基金 (JQ20029); 河南省医学科技攻关计划联合共建项目 (LHGJ20210073); 郑州市科技惠民项目 (2021KJHM0009)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20230913-00097

Changes in refractive power and ocular biometrics before and after the onset of myopia in children: the Anyang Childhood Eye Study

Shi Menghai¹, Huang Ying², Li He³, Tu Yongfang³, Li Lei², Kang Mengtian², Wei Shifei², Sun Yunyun², Yin Lei⁴,



Wang Ningli², Li Shiming²

¹Department of Ophthalmology, Henan Provincial People's Hospital, People's Hospital of Zhengzhou University, Henan Eye Hospital, Zhengzhou 450003, China; ²Beijing Tongren Eye Center, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing Institute of Ophthalmology, Beijing Key Laboratory of Ophthalmology & Visual Sciences, Beijing 100730, China; ³Anyang Eye Hospital, Anyang 455000, China; ⁴Zhengzhou First People's Hospital, Zhengzhou 450003, China

Shi Menghai was trained at Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University

Corresponding authors: Li Shiming, Email: lishiming81@163.com; Wang Ningli, Email: wningli@vip.163.com

[Abstract] Objective To analyze the trends in refractive error and ocular biological parameters in elementary school students over 5 years, and to investigate the patterns of change before and after myopia onset.

Methods A cohort study was adopted. A total of 1 986 first-grade students from the Anyang Childhood Eye Study were enrolled in this cohort study and their right eye data were taken for analysis, including 1 126 boys and 860 girls. Every year, cycloplegic autorefractometry was performed with 1% cyclopentolate eyedrops to obtain the spherical equivalent (SE). The axial length (AL), anterior chamber depth, lens thickness, mean corneal curvature (Km) and other parameters were obtained by ocular biometry. The lens refractive power (LP) was calculated using the Bennett formula. The subjects were assigned to persistent myopia group, non-myopia group and new onset myopia group. According to the age of myopia onset, the new onset myopia group was subdivided into the 8-, 9-, 10-, 11- and 12-year-old myopia groups to compare the differences in refractive error and ocular bioparameters among groups at different time points of follow-up. This study adhered to the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University (No. TRECKY2018-030). Written informed consent form was obtained from the guardians of each subject. **Results** All children had a gradual SE drift toward myopia and a gradual increase in the AL with age, and there were significant differences in SE and AL between adjacent follow-up ages within the three groups (all at $P < 0.05$). The earlier the onset of myopia, the higher the myopia SE and the longer the AL of the eye at the same follow-up age, the differences in SE between adjacent groups were statistically significant (all at $P < 0.05$), and the differences in AL between adjacent groups at the follow-up age of 8 to 12 years were statistically significant (all at $P < 0.05$). In the nonmyopia group, SE drifted toward emmetropia at a slow and steady rate of (-0.23 ± 0.27) D/year, and AL also increased slowly and steadily at (0.18 ± 0.13) mm/year. In the new onset myopia group, the changes in SE in the third, second, and first years before myopia onset were (-0.32 ± 0.25) , (-0.45 ± 0.33) , and (-0.98 ± 0.44) D, and the increases in AL were (0.25 ± 0.12) , (0.32 ± 0.15) , and (0.48 ± 0.19) mm, respectively. Both SE and AL change rates began to accelerate before myopia onset and slowed down after myopia onset, with statistically significant differences in the overall comparison of SE and AL change rates at different time intervals before and after myopia onset (all at $P < 0.001$). The AL at myopia onset in boys was (24.11 ± 0.70) mm, which was longer than (23.60 ± 0.66) mm in girls ($t = 159.71, P < 0.01$). LP decreased with age in all groups, with a faster rate before the age of 9 years and a slower rate after the age of 9 years. The mean decrease rate in LP was (-0.48 ± 0.19) , (-0.44 ± 0.20) , (-0.49 ± 0.16) , (-0.51 ± 0.18) , and (-0.48 ± 0.19) D/year in the persistent myopia group and 8 ~ 11-year-old myopia group, respectively, which were significantly faster than -0.42 ± 0.17 D/year in 12-year-old myopia group and (0.37 ± 0.15) D/year in nonmyopia group (all at $P < 0.05$). There was no statistically significant difference in Km among groups at different follow-up ages (all at $P > 0.05$).

Conclusions The AL begins to grow at an accelerated rate 3 years before myopia onset, and the increase rate of the AL slows down after the onset of myopia, but it is still significantly faster than that of non-myopic children. In this process, the decrease in LP plays a compensatory role; there is no significant change in corneal curvature. The AL of males at the onset of myopia is longer than that of females at the same age. AL is an important indicator for the prevention and control of myopia. It is important to consider gender differences and to pay more attention to the growth rate when assessing AL.

[Key words] Myopia; Refractive power; Biological parameters, ocular; Axial length; Lens power; Eye; Child; Longitudinal studies

Fund program: National Key R&D Program of China (2022YFC3502502); National Natural Science Foundation of China (82071000); Beijing Science Foundation for Distinguished Young Scholars (JQ20029);

Medical Science and Technology Program of Henan Province (LHGJ20210073); Science and Technology Benefit People Project of Zhengzhou City (2021KJHM0009)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20230913-00097

近视是一种患病率较高的屈光不正类型,目前其全球患病率呈现持续上升趋势,如果不加以干预,预计 2050 年全球的近视患病率将达到 49.8%^[1]。2022 年调查显示我国儿童青少年总体近视率达 53.6%,此外,近年来我国近视低龄化趋势明显,而低龄化是近视快速进展的独立风险因素^[2],将导致高度近视人群大幅增长。高度近视会导致一系列眼部并发症,且其发生概率随近视度数升高而增加。近视性视网膜病变已成为低视力或盲的重要原因^[3-4]。儿童近视大多数为单纯性近视,发生在学龄期,虽然发病机制尚不完全清楚,但均表现为眼球发育过程中逐渐出现的眼生物参数失衡^[5]。对于眼生物参数始终保持平衡的非近视学龄儿童,我国已建立了眼球远视储备、眼轴长度(axial length, AL)和角膜曲率参考区间的专家共识,可用于指导近视防控工作^[6-7]。然而,对于近视儿童而言,近视发生前后的屈光度与眼生物参数有何变化规律?不同年龄发生近视的儿童是否存在差异?我国目前尚缺乏大样本的纵向研究数据,对这些问题的研究有助于为近视预警提供更多维度的参考依据。决定人眼屈光度的主要眼生物参数包括 AL、晶状体屈光力(lens refractive power, LP)和角膜曲率^[8]。本研究以同一批小学生从 1 年级至 6 年级的随访数据为基础,探讨儿童近视发生前后每年的屈光度和眼生物参数变化规律。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用队列研究方法,纳入“安阳儿童眼病研究”中 2011—2012 年小学 1 年级学生为研究对象,共 2 893 名 1 年级学生于 2012 年 2—5 月接受了基线检查,其中 2 749 名学生进行了睫状体麻痹验光检查,在随后 5 年每年相同时间段进行 1 次随访检查,排除全部随访数据少于 3 次的样本,最终纳入 1 986 人进行分析,其中男 1 126 人(占 56.7%),女 860 人(占 43.3%)。为避免同一个体双眼间参数的相互影响,均取右眼纳入研究。纳入标准:(1)双眼最佳矫正视力均 ≥ 0.8 ;(2)双眼眼压正

常;(3)充分理解研究内容并签署知情同意书。排除标准:(1)患有精神疾病或其他原因无法配合完成眼科检查者;(2)在研究过程中配戴角膜接触镜或使用干预近视发展的药物或器械者;(3)有影响视觉的眼病,如斜视、弱视、眼球震颤等;(4)有影响视觉发育或屈光发育的全身性疾病。根据 1 年级时基线年龄的分布特点,将 1 年级定义为 7 岁,后以此类推。由于检查时发现近视的时间与实际发生近视的时间不尽相同,统计分析时将第 1 次发现近视的年龄定义为近视发病年龄。根据随访过程中近视发生情况将受检者分为持续近视组(≤ 7 岁已经近视)、非近视组和新发近视组,又根据近视发病年龄将新发近视组细分为 8 岁近视组、9 岁近视组、10 岁近视组、11 岁近视组和 12 岁近视组。各组受检者性别构成总体比较差异有统计学意义($\chi^2=28.17, P<0.001$);各组受检者基线年龄总体比较差异无统计学意义($F=3.76, P=0.053$) (表 1)。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,研究方案获得首都医科大学附属北京同仁医院伦理委员会批准(批文号: TRECKY2018-030),所有受试者监护人均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 屈光度测量 所有受检者均进行睫状肌麻痹下电脑验光,首先使用 0.5% 盐酸丙美卡因滴眼液(美国 Alcon 公司)进行表面麻醉,随后给予 1% 环戊通滴眼液(美国 Alcon 公司)2 滴和复方托吡卡胺滴眼液(日本 Santen 公司)1 滴点眼,共 3 次,每次间隔 5 min。

表 1 各组受检者基线资料比较
Table 1 Comparison of baseline data among different groups

组别	例数 /眼数	性别构成[n(%)] ^a		基线年龄 ^b ($\bar{x}\pm s$, 岁)
		男	女	
持续近视组	85/85	47(55.29)	38(44.71)	7.20 \pm 0.39
8 岁近视组	136/136	74(54.41)	62(45.59)	7.15 \pm 0.35
9 岁近视组	239/239	128(53.56)	111(46.44)	7.09 \pm 0.39
10 岁近视组	271/271	137(50.55)	134(49.45)	7.17 \pm 0.38
11 岁近视组	262/262	131(50.00)	131(50.00)	7.15 \pm 0.40
12 岁近视组	350/350	192(54.86)	158(45.14)	7.20 \pm 0.42
非近视组	643/643	417(64.85)	226(35.15)	7.18 \pm 0.42
χ^2/F 值		28.17		3.76
P 值		<0.001		0.053

注:(a: χ^2 检验;b: 单因素方差分析)

Note:(a: χ^2 test;b: One-way ANOVA)

末次点眼 30 min 后如瞳孔对光反射仍存在,则再次用 1% 环戊通滴眼液点眼,直至瞳孔对光反射消失,之后进行电脑验光(HRK-7000A,韩国 Huvitz 公司),测量 3 次,取平均值。屈光度用等效球镜度(spherical equivalent, SE)表示,SE = 球镜度数 + 1/2 柱镜度数,近视定义为 SE ≥ -0.5 D,非近视定义为 SE < -0.5 D。

1.2.2 眼生物参数测量 采用非接触眼生物测量仪 Lenstar LS900(瑞士 Haag-Streit 公司)测量所有受检者 AL、前房深度(anterior chamber depth, ACD)、晶状体厚度(lens thickness, LT)、平坦和陡峭子午线角膜曲率(K1 和 K2)等参数,每眼测量 5 次,取平均值。平均角膜曲率(mean corneal curvature, Km) = (K1+K2)/2。LP 的计算以 Gullstrand-Emsley 模型眼中的数据为基准,使用 Bennett 公式^[9-10]进行计算。LP = -[1 000n × (Scv + Km)] / [1 000n - (ACD + C1 × LT) × (Scv + Km)] + 1 000n / (-C2 × LT + Vd),其中 Scv = SE / (1 - 0.014 × SE), C1 = 0.596, C2 = -0.358, n = 1.336, Vd = AL - ACD - LT。

1.2.3 质量控制 在安阳市眼科医院建立健康检查站,并在此完成大部分受检者的项目检查。同时项目的工作人员在选定的学校进行一次额外的检查,以确保调查的回复率和完整性。项目组织编写标准操作流程手册,所有参与项目检查的眼科医师或验光师均接受岗前培训,并在检查现场按照操作手册严格执行,1 名流行病学调查专家和 2 名眼科医生在现场监督,以保证检查流程被严格执行。对数据缺失、错误的受

检者进行再次检查。数据由双人独立录入 Epidata 3.1 软件,对比无差异后整理纳入研究。

1.3 统计学方法

采用 SAS 9.4 软件进行数据的处理和统计分析。定性资料数据采用频数和百分比表示,SE、AL、Km 和 LP 等计量资料数据通过绘制直方图形式进行正态分布检验,结果呈近似正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示。各组性别构成比比较采用 χ^2 检验;各组间基线年龄及近视发生前后各时间段 SE 和 AL 年变化量比较采用单因素方差分析,两两比较采用 LSD-*t* 检验;采用混合效应线性模型比较各年龄不同组别和各组不同随访时间点各计量指标差异;各组内不同性别间近视发生时 AL 比较采用独立样本 *t* 检验。采用双侧检验, *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 SE 随年龄变化情况

各组受检者的 SE 均随年龄增加出现近视性漂移,同组内各相邻随访年龄间 SE 比较差异均有统计学意义(均 *P* < 0.05);相同随访年龄下,近视发生越早,其近视屈光度数越高,各相邻组间 SE 比较差异均有统计学意义(均 *P* < 0.05)(表 2,图 1)。非近视组屈光度以缓慢均匀的速度向正视漂移,5 年 SE 平均变化速度为 (-0.23 ± 0.27) D/年,持续近视组、8 岁近视组、9 岁近视组、10 岁近视组、11 岁近视组和 12 岁近视组 5 年 SE 平均变化速度分别为 (-0.86 ± 0.92)、

表 2 各组不同随访年龄的 SE 比较($\bar{x} \pm s, D$)
Table 2 Comparison of SE at different follow-up ages among various groups ($\bar{x} \pm s, D$)

组别	眼数	不同随访年龄 SE					
		7 岁	8 岁	9 岁	10 岁	11 岁	12 岁
持续近视组	85	-1.29 ± 0.94	-2.07 ± 1.28 ^a	-2.96 ± 1.53 ^b	-3.95 ± 1.72 ⁱ	-4.86 ± 1.69 ^j	-5.48 ± 1.80 ^k
8 岁近视组	136	0.11 ± 0.31 ^a	-0.97 ± 0.48 ^{ae}	-1.91 ± 0.85 ^{ah}	-2.94 ± 0.87 ^{ai}	-3.66 ± 1.27 ^{aj}	-4.54 ± 1.26 ^{ak}
9 岁近视组	239	0.54 ± 0.36 ^b	0.07 ± 0.34 ^{be}	-0.99 ± 0.42 ^{bh}	-1.93 ± 0.73 ^{bi}	-2.79 ± 0.93 ^{bj}	-3.48 ± 1.14 ^{bk}
10 岁近视组	271	0.85 ± 0.37 ^c	0.51 ± 0.33 ^{ce}	0.04 ± 0.30 ^{ch}	-0.95 ± 0.41 ^{ci}	-1.73 ± 0.67 ^{cj}	-2.47 ± 0.88 ^{ck}
11 岁近视组	262	1.06 ± 0.36 ^d	0.79 ± 0.31 ^{de}	0.48 ± 0.31 ^{dh}	-0.02 ± 0.29 ^{di}	-0.93 ± 0.38 ^{dj}	-1.70 ± 0.67 ^{dk}
12 岁近视组	350	1.36 ± 0.56 ^e	1.10 ± 0.51 ^{ef}	0.88 ± 0.49 ^{eh}	0.57 ± 0.52 ^{ei}	0.19 ± 0.55 ^{ej}	-0.90 ± 0.36 ^{ek}
非近视组	643	1.65 ± 0.80 ^f	1.43 ± 0.75 ^{fe}	1.20 ± 0.72 ^{fh}	0.96 ± 0.71 ^{fi}	0.75 ± 0.73 ^{fi}	0.52 ± 0.79 ^{fk}

注:与持续近视组比较,^a*P* < 0.05;与 8 岁近视组比较,^b*P* < 0.05;与 9 岁近视组比较,^c*P* < 0.05;与 10 岁近视组比较,^d*P* < 0.05;与 11 岁近视组比较,^e*P* < 0.05;与 12 岁近视组比较,^f*P* < 0.05;与组内 7 岁比较,^g*P* < 0.05;与组内 8 岁比较,^h*P* < 0.05;与组内 9 岁比较,ⁱ*P* < 0.05;与组内 10 岁比较,^j*P* < 0.05;与组内 11 岁比较,^k*P* < 0.05(混合效应线性模型) SE:等效球镜度

Note: Compared with persistent myopia group, ^a*P* < 0.05; compared with 8-year-old myopia group, ^b*P* < 0.05; compared with 9-year-old myopia group, ^c*P* < 0.05; compared with 10-year-old myopia group, ^d*P* < 0.05; compared with 11-year-old myopia group, ^e*P* < 0.05; compared with 12-year-old myopia group, ^f*P* < 0.05; compared with 7-year-old within the group, ^g*P* < 0.05; compared with 8-year-old within the group, ^h*P* < 0.05; compared with 9-year-old within the group, ⁱ*P* < 0.05; compared with 10-year-old within the group, ^j*P* < 0.05; compared with 11-year-old within the group, ^k*P* < 0.05 (Mixed-effect linear model) SE: spherical equivalent

(-0.93 ± 0.77)、(-0.81 ± 0.52)、(-0.66 ± 0.46)、(-0.55 ± 0.44) 和 (-0.37 ± 0.35) D/年, 显著高于非近视组, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$); 近视发生年龄越早, 平均 SE 进展速度越快, 各相邻近视年龄组间 SE 变化速度比较差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。新发近视组中, 受检者 SE 自近视发生前第 3 年开始加速下降, 近视发生后 SE 下降趋势变缓, 各组近视前后不同时间段 SE 年变化量总体比较, 差异有统计学意义 ($F = 30.59, P < 0.001$), 近视发生当年与近视发生后第 1 年比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 其余各时间段两两比较差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$) (图 1, 表 3)。

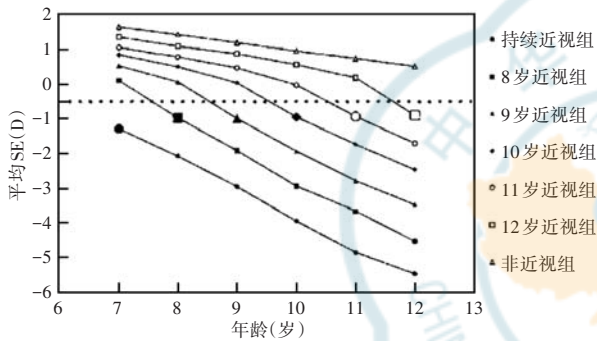


图 1 各组受检者平均 SE 随年龄变化曲线 虚线以上为非近视, 虚线以下为近视, 大标记符号表示第 1 次随访发现近视处 SE: 等效球镜度

Figure 1 Curve of mean SE change with age in each group of children Above the dotted line was non-myopia, below the dotted line was myopia, and large marker symbols indicated when myopia was detected at the first follow-up visit SE: spherical equivalent

表 3 新发近视组中近视发生前后各时间段内 SE 年变化量比较 ($\bar{x} \pm s, D$)

Table 3 Comparison of the annual SE change among different periods before and after the onset of myopia in the new-onset myopia group ($\bar{x} \pm s, D$)

时间段	眼数	SE 年变化量
近视发生前第 3 年	883	-0.32 ± 0.25
近视发生前第 2 年	1 122	-0.45 ± 0.33^a
近视发生前第 1 年	1 134	-0.98 ± 0.44^{ab}
近视发生当年	865	-0.84 ± 0.50^{abc}
近视发生后第 1 年	598	-0.86 ± 0.54^{abc}
F 值		30.59
P 值		< 0.001

注: 与近视发生前第 3 年比较, $^a P < 0.05$; 与近视发生前第 2 年比较, $^b P < 0.05$; 与近视发生前第 1 年比较, $^c P < 0.05$ (单因素方差分析, LSD-t 检验) SE: 等效球镜度

Note: Compared with the third year before myopia onset, $^a P < 0.05$; compared with the second year before myopia onset, $^b P < 0.05$; compared with the first year before myopia onset, $^c P < 0.05$ (One-way ANOVA, LSD-t test) SE: spherical equivalent

2.2 AL 随年龄变化情况

各组受检者 AL 均随年龄增加而增长, 同组内各相邻随访年龄间 AL 比较差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$); 在相同随访年龄下, 近视发生越早, 其 AL 越长, 8~12 岁随访年龄下各相邻组间 AL 比较, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$) (表 4, 图 2)。非近视组 AL 以缓慢均匀的速度增长, 5 年平均增长速度为 (0.18 ± 0.13) mm/年, 持续近视组、8 岁近视组、9 岁近视组、10 岁近视组、11 岁近视组和 12 岁近视组 AL 的 5 年平

表 4 各组不同随访年龄 AL 比较 ($\bar{x} \pm s, mm$)

Table 4 Comparison of AL at different follow-up ages among various groups ($\bar{x} \pm s, mm$)

组别	眼数	不同随访年龄 AL					
		7 岁	8 岁	9 岁	10 岁	11 岁	12 岁
持续近视组	85	23.49 ± 0.74	24.05 ± 0.79^e	24.54 ± 0.85^h	24.99 ± 0.90^i	25.41 ± 0.91^j	25.73 ± 0.99^k
8 岁近视组	136	23.10 ± 0.70^a	23.67 ± 0.72^{ae}	24.22 ± 0.74^{ah}	24.70 ± 0.75^{ai}	25.08 ± 0.78^{aj}	25.39 ± 0.84^{ak}
9 岁近视组	239	22.85 ± 0.64^b	23.23 ± 0.66^{be}	23.77 ± 0.67^{bh}	24.26 ± 0.70^{bi}	24.66 ± 0.73^{bj}	25.01 ± 0.74^{bk}
10 岁近视组	271	22.76 ± 0.63	23.05 ± 0.65^{ce}	23.39 ± 0.68^{ch}	23.87 ± 0.71^{ci}	24.29 ± 0.75^{cj}	24.70 ± 0.76^{ck}
11 岁近视组	262	22.65 ± 0.69	22.90 ± 0.70^{de}	23.16 ± 0.70^{dh}	23.48 ± 0.72^{di}	23.94 ± 0.72^{dj}	24.32 ± 0.76^{dk}
12 岁近视组	350	22.58 ± 0.70	22.81 ± 0.70^{ee}	23.02 ± 0.70^{eh}	23.23 ± 0.73^{ei}	23.48 ± 0.74^{ej}	23.96 ± 0.76^{ek}
非近视组	643	22.49 ± 0.72	22.70 ± 0.73^{fe}	22.90 ± 0.72^{fh}	23.07 ± 0.73^{fi}	23.23 ± 0.75^{fj}	23.42 ± 0.78^{fk}

注: 与持续近视组比较, $^a P < 0.05$; 与 8 岁近视组比较, $^b P < 0.05$; 与 9 岁近视组比较, $^c P < 0.05$; 与 10 岁近视组比较, $^d P < 0.05$; 与 11 岁近视组比较, $^e P < 0.05$; 与 12 岁近视组比较, $^f P < 0.05$; 与组内 7 岁比较, $^g P < 0.05$; 与组内 8 岁比较, $^h P < 0.05$; 与组内 9 岁比较, $^i P < 0.05$; 与组内 10 岁比较, $^j P < 0.05$; 与组内 11 岁比较, $^k P < 0.05$ (混合效应线性模型) AL: 眼轴长度

Note: Compared with persistent myopia group, $^a P < 0.05$; compared with 8-year-old myopia group, $^b P < 0.05$; compared with 9-year-old myopia group, $^c P < 0.05$; compared with 10-year-old myopia group, $^d P < 0.05$; compared with 11-year-old myopia group, $^e P < 0.05$; compared with 12-year-old myopia group, $^f P < 0.05$; compared with 7-year-old within the group, $^g P < 0.05$; compared with 8-year-old within the same group, $^h P < 0.05$; compared with 9-year-old within the group, $^i P < 0.05$; compared with 10-year-old within the group, $^j P < 0.05$; compared with 11-year-old within the group, $^k P < 0.05$ (Mixed linear model) AL: axial length

均增长速度分别为 (0.46±0.19)、(0.47±0.19)、(0.44±0.18)、(0.38±0.17)、(0.33±0.18)、(0.25±0.15)mm/年,显著高于非近视组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);近视发生年龄越早,AL 增长速度越快,各相邻近视年龄组间 AL 增长速度比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。新发近视组中,AL 从近视发生前第 3 年开始加速增长,近视发生后增长速度趋于变缓,各近视发生前后不同时间段 AL 年变化量总体比较,差异有统计学意义($F=30.19, P<0.001$),各时间段两两比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)(表 5)。

8 岁近视组、9 岁近视组、10 岁近视组、11 岁近视组和 12 岁近视组发生近视时的 AL 分别为 (23.67±0.72)、(23.77±0.67)、(23.87±0.71)、(23.94±0.72) 和

(23.96±0.76)mm。新发近视组男生发生近视时的 AL 比女生长,差异有统计学意义($t=159.71, P<0.001$),各年龄近视组近视当年男生的 AL 显著长于女生,差异均有统计学意义(均 $P<0.01$)(表 6)。

表 6 各组内不同性别受试者新发生近视时的 AL 比较
($\bar{x}\pm s, \text{mm}$)
Table 6 Comparison of AL at new onset of myopia between different sexes within each group ($\bar{x}\pm s, \text{mm}$)

组别	眼数	不同性别 AL		t 值	P 值
		男	女		
8 岁近视组	136	23.83±0.70	23.47±0.70	8.97	0.003
9 岁近视组	239	24.01±0.64	23.49±0.60	41.19	<0.001
10 岁近视组	271	24.07±0.69	23.67±0.66	24.13	<0.001
11 岁近视组	262	24.24±0.64	23.62±0.67	57.91	<0.001
12 岁近视组	350	24.28±0.74	23.66±0.65	45.33	<0.001
新发近视组	1 258	24.11±0.70	23.60±0.66	159.71	<0.001

注:(独立样本 t 检验) AL:眼轴长度
Note:(Independent samples t-test) AL:axial length

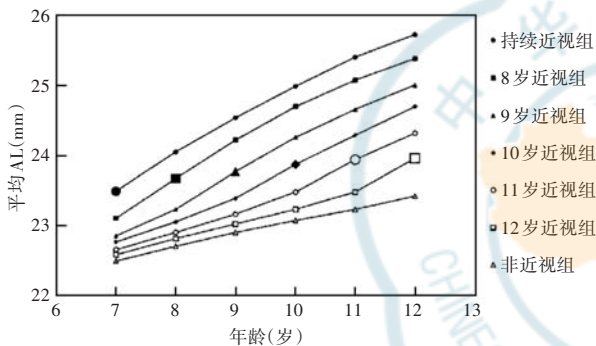


图 2 各组受试者平均 AL 随年龄变化曲线 大标记符号表示各组第 1 次随访发现近视处 AL:眼轴长度

Figure 2 Curve of mean AL change with age in each group of children Large marker symbols indicated when myopia was detected at the first follow-up visit AL:axial length

表 5 新发近视组中近视发生前后不同时间段 AL 年变化量比较
($\bar{x}\pm s, \text{mm}$)

Table 5 Comparison of the annual AL change among different periods before and after the onset of myopia in the new-onset myopia group ($\bar{x}\pm s, \text{mm}$)

时间段	眼数	AL 年变化量
近视发生前第 3 年	880	0.25±0.12
近视发生前第 2 年	1 118	0.32±0.15 ^a
近视发生前第 1 年	1 133	0.48±0.19 ^{ab}
近视发生当年	856	0.46±0.20 ^{abc}
近视发生后第 1 年	588	0.41±0.16 ^{abcd}
F 值		30.19
P 值		<0.001

注:与近视发生前第 3 年比较,^a $P<0.05$;与近视发生前第 2 年比较,^b $P<0.05$;与近视发生前第 1 年比较,^c $P<0.05$;与近视发生当年比较,^d $P<0.05$ (单因素方差分析,LSD-t 检验) AL:眼轴长度

Note: Compared with the third year before myopia onset, ^a $P<0.05$; compared with the second year before myopia onset, ^b $P<0.05$; compared with the first year before myopia onset, ^c $P<0.05$; compared with the year of myopia onset, ^d $P<0.05$ (One-way ANOVA, LSD-t, test) AL:axial length

2.3 LP 随年龄变化情况

各组受检者的 LP 随年龄增加呈降低趋势,其中 11 岁近视组、12 岁近视组和非近视组组内各相邻随访年龄间 LP 比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);9 岁近视组和 10 岁近视组组内 7~11 岁相邻随访年龄间 LP 比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);持续近视组和 8 岁近视组组内 7~9 岁相邻随访年龄间 LP 比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。持续近视组、非近视组、10 岁近视组、11 岁近视组和 12 岁近视组间 7 岁时 LP 比较差异无统计学意义($P>0.05$);8 岁近视组与 9 岁近视组 7 岁时 LP 比较差异无统计学意义($P>0.05$);8 岁近视组和 9 岁近视组 7 岁时 LP 较其他组低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)(表 7,图 3)。所有受检者 LP 于 9 岁前下降速度较快,9 岁后下降速度变缓(图 3)。在随访的 5 年期间内,持续近视组、8 岁近视组、9 岁近视组、10 岁近视组、11 岁近视组 LP 平均下降速度分别为 (-0.48±0.19)、(-0.44±0.20)、(-0.49±0.16)、(-0.51±0.18)、(-0.48±0.19)D/年,明显快于 12 岁近视组的 (-0.42±0.17)D/年和非近视组的 (-0.37±0.15)D/年,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);12 岁近视组与非近视组 LP 下降速度比较差异无统计学意义($P>0.05$)。

2.4 Km 随年龄变化情况

各组内受检者 Km 随年龄增加未发生明显变化,各组内不同随访年龄间 Km 比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);同一年龄各相邻组间受检者 Km 比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)(表 8,图 4)。

表 7 各组不同随访年龄 LP 比较 ($\bar{x}\pm s, D$)
Table 7 Comparison of LP at different follow-up ages among various groups ($\bar{x}\pm s, D$)

组别	不同随访年龄 LP					
	7 岁	8 岁	9 岁	10 岁	11 岁	12 岁
持续近视组	23.02±1.44	22.06±1.38 ^e	21.41±1.55 ^h	21.28±1.35	20.92±1.40	20.63±1.43
8 岁近视组	22.84±1.36 ^a	22.26±1.37 ^e	21.42±1.50 ^h	21.18±1.30	20.72±1.36 ^{aj}	20.62±1.60
9 岁近视组	22.93±1.38	22.14±1.53 ^e	21.55±1.37 ^h	21.13±1.35 ⁱ	20.81±1.47 ^j	20.67±1.33
10 岁近视组	23.16±1.33 ^c	22.47±1.34 ^e	21.85±1.36 ^h	21.49±1.36 ^{ci}	20.88±1.42 ^j	20.61±1.30
11 岁近视组	23.18±1.44	22.64±1.39 ^e	22.06±1.40 ^h	21.66±1.44 ⁱ	21.19±1.45 ^j	20.84±1.50 ^k
12 岁近视组	23.18±1.40	22.63±1.35 ^e	22.11±1.42 ^h	21.80±1.38 ⁱ	21.34±1.51 ^j	20.94±1.50 ^k
非近视组	23.19±1.37	22.70±1.42 ^e	22.19±1.41 ^h	21.94±1.40 ⁱ	21.58±1.44 ^{fj}	21.31±1.42 ^{lk}

注:与持续近视组比较,^a $P<0.05$;与 8 岁近视组比较,^b $P<0.05$;与 9 岁近视组比较,^c $P<0.05$;与 10 岁近视组比较,^d $P<0.05$;与 11 岁近视组比较,^e $P<0.05$;与 12 岁近视组比较,^f $P<0.05$;与组内 7 岁比较,^g $P<0.05$;与组内 8 岁比较,^h $P<0.05$;与组内 9 岁比较,ⁱ $P<0.05$;与组内 10 岁比较,^j $P<0.05$;与组内 11 岁比较,^k $P<0.05$ (混合效应线性模型) LP:晶状体屈光力

Note: Compared with persistent myopia group, ^a $P<0.05$; compared with 8-year-old myopia group, ^b $P<0.05$; compared with 9-year-old myopia group, ^c $P<0.05$; compared with 10-year-old myopia group, ^d $P<0.05$; compared with 11-year-old myopia group, ^e $P<0.05$; compared with 12-year-old myopia group, ^f $P<0.05$; compared with 7-year-old within the group, ^g $P<0.05$; compared with 8-year-old within the group, ^h $P<0.05$; compared with 9-year-old within the group, ⁱ $P<0.05$; compared with 10-year-old within the group, ^j $P<0.05$; compared with 11-year-old within the group, ^k $P<0.05$ (Mixed-effect linear model) LP:lens refractive power

表 8 各组受检者不同随访年龄时 Km 比较 ($\bar{x}\pm s, D$)
Table 8 Comparison of Km at different follow-up ages among various groups ($\bar{x}\pm s, D$)

组别	不同年龄 Km					
	7 岁	8 岁	9 岁	10 岁	11 岁	12 岁
持续近视组	43.68±1.35	43.65±1.30	43.45±1.21	43.58±1.33	43.62±1.40	43.62±1.40
8 岁近视组	43.42±1.52	43.40±1.51	43.33±1.51	43.36±1.48	43.49±1.49	43.49±1.49
9 岁近视组	43.57±1.30	43.54±1.29	43.45±1.31	43.61±1.30	43.39±1.35	43.39±1.35
10 岁近视组	43.37±1.38	43.38±1.37	43.31±1.31	43.37±1.38	43.38±1.27	43.38±1.27
11 岁近视组	43.37±1.49	43.34±1.49	43.34±1.44	43.28±1.50	43.40±1.46	43.40±1.46
12 岁近视组	43.32±1.41	43.28±1.38	43.25±1.38	43.27±1.39	43.28±1.40	43.28±1.40
非近视组	43.22±1.39	43.19±1.39	43.15±1.40	43.13±1.39	43.16±1.42	43.16±1.42

注:(混合效应线性模型) Km:平均角膜曲率

Note:(Mixed-effect linear model) Km:mean corneal curvature

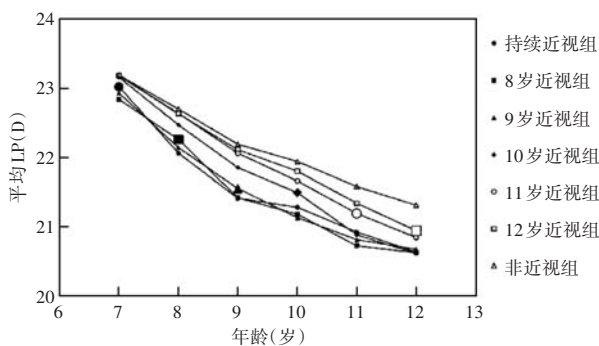


图 3 各组受检者平均 LP 随年龄变化曲线 大标记符号表示第 1 次随访发现近视处 LP:晶状体屈光力

Figure 3 Curve of mean LP change with age in each group Large marker symbols indicated when myopia was detected at the first follow-up visit LP:lens refractive power

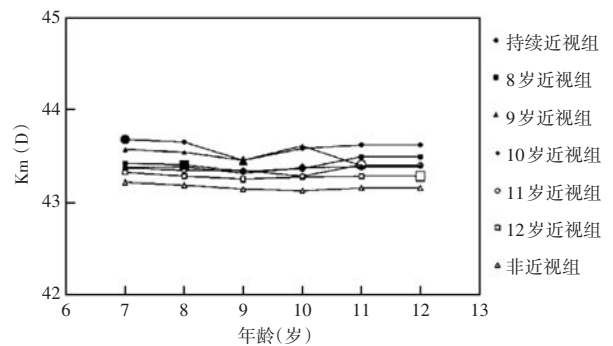


图 4 各组受检者的 Km 随年龄变化曲线 大标记符号表示第 1 次随访发现近视处 Km:平均角膜曲率

Figure 4 Curve of Km change with age in each group Large marker symbols indicated when myopia was detected at the first follow-up visit Km:mean corneal curvature

3 讨论

屈光状态是 AL 与角膜曲率、LP 等眼生物参数动态匹配的结果,角膜曲率一般比较稳定^[11],因此屈光度的变化主要由 AL 和 LP 之间的平衡所决定。本研究基于大样本纵向研究数据,根据近视发生的年龄分组,分析了不同组别儿童近视发生前后屈光状态和眼生物参数的变化规律,为近视风险预警、干预时机选择和防控效果评估提供了有价值的参考依据。

一般而言,成年正视人群在其儿童青少年阶段,AL 增长和 LP 下降之间保持一种平衡,使眼屈光状态由远视缓慢匀速向正视发展。在此过程中,任何原因导致的眼轴快速增长超过 LP 代偿的极限时就会发生近视,然后 AL 和 LP 的变化速度减缓,但仍然高于同龄非近视者。

本研究发现,新发近视组的 SE 变化呈现类似的规律,在近视发生前 3 年,远视储备开始逐年加速下降,在近视发生前 1 年达高峰,这提示远视储备的加速下降可能是近视发生的信号。总体来看,近视发生越早,年均 SE 变化越大,但持续近视组似乎例外,这可能是由于持续近视组包含了 7 岁前发生近视的儿童,该部分儿童在本研究随访期时其屈光度变化已进入相对延缓期。本研究结果提示儿童近视发生越早,其进展速度越快、发展时间越长,将来发生高度近视的概率更高,与 Chua 等^[2]和 Rozema 等^[12]的结果一致。

本研究显示,各组儿童 AL 的变化规律与 SE 的变化规律高度相似,表明 AL 的变化是屈光度变化的主要驱动力。SE 和 AL 均在近视发生前 3 年开始出现加速变化,这提示我们,在评估儿童近视风险时,除了关注其远视储备和 AL 的绝对数值外^[6],还应关注其变化速度。AL 检查不需要扩瞳且快速、无创,检查结果客观、精确,建议作为临床随访和近视筛查的常规检查项目^[13]。本研究还发现,相同近视发生年龄下男生的 AL 比女生长,可能是由于男生的 LP 比女生小^[14-15],提示我们通过 AL 评估近视风险时,应该注意性别差异带来的影响。本研究未发现受检者 Km 有显著变化,支持屈光度的变化主要由 AL 和 LP 的变化来决定。

本研究结果还显示,各组儿童的 LP 随年龄增加而下降,其下降速度在 9 岁之前较快,9 岁后速度变缓,与向棹宇等^[10]和 Zadnik 等^[15]报道的 10 岁后 LP 下降速度变缓相一致,这可能与晶状体厚度在 9.5 岁前变薄而之后变厚有关^[16]。9.5 岁前,晶状体变薄,表面曲率变平,是引起 LP 下降的主要因素,之后晶状体增厚,LP 下降主要由于皮质纤维压缩导致屈光指数

梯度下降,但下降速度变缓^[17]。

本研究基于随访的 5 年数据发现,持续近视组和新发近视组 LP 的下降速度均值高于非近视组。Jones 等^[16]通过 10 年随访研究发现,近视儿童的 LP 下降速度平均为 0.35 D/年,正视儿童为 0.30 D/年,与本研究结果一致,但 LP 下降的平均速度低于本研究结果,其原因可能是该研究随访时间更长,随着 9 岁以后随访时间的延长,LP 的平均下降速度变慢。LP 的加速下降在近视发生之前就已经发生,这表明 LP 下降是对 AL 加速增长的一种主动代偿过程,但是这种代偿是有一定限度的,当 AL 的生长速度过快,超过晶状体代偿的极限时,近视就不可避免^[18]。

近视是我国重大公共卫生问题,应根据公共卫生策略分期进行防控^[19]。通过定期监测远视储备和 AL,对近视高危儿童进行行为干预是最经济、安全有效、易普及、可推广的方法^[20]。既往研究也证实,通过短信、微信等新媒体沟通方式督促家长多带儿童每天户外活动或进行近视防控知识宣传教育,可显著降低儿童近视发生率^[21-23]。因此,近视风险预警指标对于近视预防有重要意义。本研究提示,远视储备和眼轴加速变化始于近视发生前 2~3 年,可以起到早期预警作用,对近视的早期针对性干预有很好的参考价值;同时,近视发生年龄越小,AL 和近视度数进展越快,因此,预防近视低龄化对于降低高度近视发病率非常重要。

本研究纳入的样本量较大、随访时间长,而且按照国际标准进行睫状肌麻痹验光等,数据可信度较高,但也存在一定的局限性:(1)本研究基于近视发生年龄分组,由于 7 岁前近视率较低,导致持续近视组样本量较小,且该组并不能完全代表 7 岁时新发近视的儿童。(2)本研究采用 Bennett 公式计算 LP,尽管该公式应用较多,且计算结果与曲率法高度一致^[9,24-25],但仍然不能确保其计算结果与 LP 的实际值保持一致。

总之,本研究通过 5 年的队列研究发现,AL 在儿童近视发生前 3 年开始加速增长,导致远视储备过快消耗,在近视发生后 AL 的增长速度逐渐变缓,但仍明显快于非近视儿童;在此过程中,LP 下降起到主动代偿作用,Km 无显著变化。男生发生近视时的 AL 比女生长。因此,AL 是近视防控的重要指标,评估 AL 时要考虑性别差异,更要关注 AL 的增长速度。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 石梦海: 酝酿和设计试验、实施研究、分析/解释数据、统计分析、起草文章; 黄瑛: 分析/解释数据、文章修改; 李嵩、屠永芳: 实施研究、采集数据、文章修改; 李蕾、康梦田、魏士飞、孙芸芸: 实施研究及文章修改; 尹磊: 文章修改; 王宁利: 酝酿和设计试验、实施研究及

文章的知识性内容作批评性审阅;李仕明:酝酿和设计试验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、统计分析、对文章的知识性内容作批评性审阅及定稿

参考文献

- [1] Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050 [J]. *Ophthalmology*, 2016, 123(5): 1036-1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006.
- [2] Chua SY, Sabanayagam C, Cheung YB, et al. Age of onset of myopia predicts risk of high myopia in later childhood in myopic Singapore children [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2016, 36(4): 388-394. DOI: 10.1111/opo.12305.
- [3] Liu HH, Xu L, Wang YX, et al. Prevalence and progression of myopic retinopathy in Chinese adults: the Beijing Eye Study [J]. *Ophthalmology*, 2010, 117(9): 1763-1768. DOI: 10.1016/j.ophtha.2010.01.020.
- [4] Varma R, Kim JS, Burkemper BS, et al. Prevalence and causes of visual impairment and blindness in Chinese American adults: the Chinese American Eye Study [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2016, 134(7): 785-793. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2016.1261.
- [5] Meng W, Butterworth J, Malecaze F, et al. Axial length of myopia: a review of current research [J]. *Ophthalmologica*, 2011, 225(3): 127-134. DOI: 10.1159/000317072.
- [6] 中华预防医学会公共卫生眼科分会. 中国学龄儿童眼球远视储备、眼轴长度、角膜曲率参考区间及相关遗传因素专家共识(2022年) [J]. *中华眼科杂志*, 2022, 58(2): 96-102. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20210603-00267. Public Health Ophthalmology Branch of Chinese Preventive Medicine Association. Chinese expert consensus on the reference interval of ocular hyperopia reserve, axial length, corneal curvature and genetic factors in school-age children (2022) [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2022, 58(2): 96-102. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20210603-00267.
- [7] 李仕明, 康梦田, 李蕾, 等. 小学生远视储备与近视眼发病率关系的队列研究: 安阳儿童眼病研究 [J]. *中华眼科杂志*, 2022, 58(10): 754-759. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20211028-00509. Li SM, Kang MT, Li L, et al. Cohort study on the association between hyperopia reserve and myopia incidence in primary school students: the Anyang Childhood Eye Study [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2022, 58(10): 754-759. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20211028-00509.
- [8] Olsen T, Arnarsson A, Sasaki H, et al. On the ocular refractive components: the Reykjavik Eye Study [J]. *Acta Ophthalmol Scand*, 2007, 85(4): 361-366. DOI: 10.1111/j.1600-0420.2006.00847.x.
- [9] Bennett AG. A method of determining the equivalent powers of the eye and its crystalline lens without resort to phakometry [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 1988, 8(1): 53-59. DOI: 10.1016/0275-5408(88)90089-0.
- [10] 向樟宇, 林秋蓉, 许琰, 等. 3-12岁儿童晶状体屈光力变化趋势及其影响因素分析 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2021, 39(6): 550-556. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200304-00138. Xiang ZY, Lin QR, Xu Y, et al. Analysis of lens power and its influencing factors in children aged 3-12 years [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2021, 39(6): 550-556. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200304-00138.
- [11] Li SM, Li SY, Kang MT, et al. Distribution of ocular biometry in 7- and 14-year-old Chinese children [J]. *Optom Vis Sci*, 2015, 92(5): 566-572. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000570.
- [12] Rozema J, Dankert S, Iribarren R, et al. Axial growth and lens power loss at myopia onset in Singaporean children [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2019, 60(8): 3091-3099. DOI: 10.1167/iops.18-26247.
- [13] 李仕明, 任明扬, 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.
- [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] 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/OI.0px.0000145028.53923.67.
- [16] 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/iops.04-0945.
- [17] 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/iops.12-9637.
- [18] Iribarren R. Crystalline lens and refractive development [J]. *Prog Retin Eye Res*, 2015, 47: 86-106. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2015.02.002.
- [19] 中华预防医学会公共卫生眼科分会. 儿童青少年近视防控公共卫生策略分期专家共识(2022) [J]. *中华预防医学杂志*, 2023, 57(6): 806-814. DOI: 10.3760/cma.j.cn112150-20221002-00955. Public Health Ophthalmology Branch of Chinese Preventive Medicine Association. Expert consensus on stages of public health strategies for myopia prevention and control in children and adolescents [J]. *Chin J Prev Med*, 2023, 57(6): 806-814. DOI: 10.3760/cma.j.cn112150-20221002-00955.
- [20] 中华预防医学会公共卫生眼科分会, 北京预防医学会公共卫生眼科学专委会. 关于加强儿童青少年近视防控用眼行为干预的倡议及实施方法共识(2023) [J]. *中华实验眼科杂志*, 2023, 41(4): 297-302. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20230102-00002. Public Health Ophthalmology Branch of Chinese Preventive Medicine Association, Public Health Ophthalmology Specialty Committee of Beijing Preventive Medicine Association. Consensus on enhancing eye-use behavior interventions for myopia prevention and control of children and adolescents (2023) [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2023, 41(4): 297-302. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20230102-00002.
- [21] Li SM, Ran AR, Kang MT, et al. Effect of text messaging parents of school-aged children on outdoor time to control myopia: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Pediatr*, 2022, 176(11): 1077-1083. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2022.3542.
- [22] Li Q, Guo L, Zhang JY, et al. Effect of school-based family health education via social media on children's myopia and parents' awareness: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2021, 139(11): 1165-1172. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2021.3695.
- [23] 李嵩, 刘洛如, 孟海林, 等. “安阳儿童眼病研究”模式对儿童青少年近视眼防控效果的临床研究 [J]. *中华眼科医学杂志(电子版)*, 2021, 11(6): 333-338. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-2007.2021.06.003. Li H, Liu LR, Meng HL, et al. Effects of “Anyang Childhood Eye Study” on prevention and control of myopia in children [J]. *Chin J Ophthalmol Med (Electronic Edition)*, 2021, 11(6): 333-338. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-2007.2021.06.003.
- [24] Rozema JJ, Atchison DA, Tassignon MJ. Comparing methods to estimate the human lens power [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(11): 7937-42. DOI: 10.1167/iops.11-7899.
- [25] Dunne MC, Barnes DA, Royston JM. An evaluation of Bennett's method for determining the equivalent powers of the eye and its crystalline lens without resort to phakometry [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 1989, 9(1): 69-71. DOI: 10.1111/j.1475-1313.1989.tb00809.x.

(收稿日期:2023-09-13 修回日期:2024-04-12)

(本文编辑:张宇)

