DOI: 10.16016/j.1000-5404.202009178

青少年晶状体形态与眼轴长度的关系

代 诚[1],刘 梦[2],李宾中[2] 637000 四川 南充,川北医学院:眼视光学系[1],基础医学院[2]

[摘要] **目的** 通过分析青少年晶状体形态与眼轴长度的关系,探讨晶状体变化规律。**方法** 选取2020年5~6月于川北医学院附属医院眼科就诊的6~18岁青少年285例(570眼)。通过睫状肌麻痹验光、光学生物测量仪(IOL Master)、眼前节光学相干断层扫描分析仪(CASIA2)分别获得屈光度、眼轴长度、角膜曲率和晶状体参数。按年龄分为3组,分别为6~10岁组、>10~14岁组和>14~18岁组;按等效球镜度分为3组,分别为远视组、正视组和近视组。采用单因素方差分析、Pearson相关性分析、线性回归对不同年龄、屈光组晶状体参数进行比较,并分析与眼轴长度的关系。**结果** 不同年龄组晶状体前表面曲率半径、晶状体屈光度存在统计学差异($P<0.05$);不同屈光组晶状体前表面曲率半径、晶状体屈光度、晶状体厚度和晶状体直径存在统计学差异($P<0.05$)。不同年龄组和屈光组晶状体前后表面曲率半径、晶状体屈光度、晶状体厚度、晶状体直径与眼轴长度均显著相关($P<0.001$)。眼轴每增长1 mm,远视组、正视组和近视组晶状体前表面曲率半径分别增加1.19、1.04、0.58 mm;后表面曲率半径分别增加0.41、0.38、0.30 mm;屈光度分别减少1.68 D、1.44 D、0.98D;厚度分别减少0.076、0.091、0.059 mm;直径分别增加0.30、0.23、0.24 mm。**结论** 青少年不同年龄、屈光状态晶状体参数差异主要是由眼轴长度不同引起的,晶状体形态变化与眼轴增长相适应,但随着眼轴增长晶状体形态变化减小。

[关键词] 屈光不正;眼轴长度;晶状体屈光力

[中图法分类号] R322.9;R778.1;R779.7 [文献标志码] A

Relationship between lens morphology and axial length in adolescents

DAI Cheng[1], LIU Meng[2], LI Binzhong[2] [1]Department of Ophthalmology, [2]College of Basic Medicine, North Sichuan Medical College, Nanchong, Sichuan Province, 637000, China

[**Abstract**] **Objective** To investigate the change rules of lens by analyzing the relationship between lens morphology and axial length in adolescents. **Methods** A total of 285 adolescents (6~18 years old, 570 eyes) who visited our ophthalmological department from May to June 2020 were enrolled in this study. Diopter, axial length, keratometry and lens parameters were obtained by optometry after cycloplegia, optical biomimetry (IOL Master) and anterior segment optical coherence tomography (CASIA2), respectively. The subjects were divided into 3 age groups (6~10, 11~14 and 15~8 years), and were also assigned into 3 groups in accordance with their equivalent spherical specularity: hyperopia, emmetropia and myopia groups. One-way analysis of variance was adopted to compare lens parameters among different age and refractive groups, and their relationships with axial length were analyzed with Pearson correlation analysis and linear regression analysis. **Results** In different age groups, statistical differences were observed in the radius of anterior surface curvature and the diopter of lens ($P<0.05$); And similar results were seen in above 2 parameters and in the thickness and diameter of lens among different refractive groups ($P<0.05$). The curvature radius of the anterior and posterior surface, diopter, and thickness and diameter of lens were all significantly correlated with the axial length of eye in different age groups and refractive groups ($P<0.001$). In the hyperopia, emmetropia and myopia groups, with the increase of every 1 mm in ocular axis, the radius of

[通信作者] 李宾中,E-mail: li_binzhong@163.com

1000-5404/Copyright © 2021, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

anterior surface curvature was increased by 1.19, 1.04 and 0.58 mm; the radius of posterior surface curvature was increased by 0.41, 0.38 and 0.30 mm, the diopter was decreased by 1.68 D, 1.44 D and 0.98 D; the thickness was reduced by 0.076, 0.091 and 0.059 mm, and the diameter increased by 0.3, 0.23 and 0.24 mm, respectively. **Conclusion** The disparity of lens parameters among different ages and refractive states in adolescents is mainly caused by the diversity of axial length. The morphological changes of the lens are coordinated with the growth of axial length, but the changes will be decreased with the growth.

[**Key words**] ametropia; axial length; lens refractive power

Corresponding author: LI Binzhong, E-mail: li_binzhong@163.com

晶状体在人眼屈光发育中发挥重要作用。新生儿时期眼轴很短,较大的晶状体屈光度可使光线折射后对焦成像在视网膜上[1],同时可增大视网膜光照度,提高视觉分辨率[2]。此后眼轴变长,由新生儿的17 mm增长到成年人的24 mm[3],眼轴增长带来的屈光度变化超过20D,但多数情况下屈光状态仍能保持稳定[4],主要是通过晶状体的变化来适应眼轴的增长[5]。晶状体是怎样变化来适应眼轴的增长,不同屈光状态是否会对晶状体变化产生影响,由于不能直接测量晶状体参数,临床多数关于晶状体的研究都是利用公式推算晶状体屈光度,缺乏晶状体整体形态的研究。CASIA2是一种新型眼前节OCT,本研究通过该新设备测量晶状体前后表面曲率半径、厚度、直径等参数,探讨青少年晶状体形态与眼轴长度的关系。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取2020年5~6月于川北医学院附属医院眼科就诊的6~18岁青少年285例(570眼),其中男性131例(262眼),女性154例(308眼),年龄(10.72±4.14)岁。纳入标准:除屈光不正无其他眼部疾病;矫正视力≥1.0;无接触镜配戴史。本研究遵循赫尔辛基宣言,征求患者或监护人同意后进行检查,通过川北医学院附属医院伦理委员会批准[编号:2020ER(A)068]。

1.2 方法

1.2.1 屈光检查 使用0.5%托吡卡胺滴眼液(博士伦福瑞达制药公司)进行睫状肌麻痹,间隔10 min滴眼1次,共滴3次,30 min后使用ARK-510A电脑验光仪(日本尼德克公司)得到初始屈光度,然后由同一名验光师使用Dk-700全自动综合验光仪(日本拓普康公司)进行规范化验光,得等效球镜度(spherical equivalent,SE),按照SE分为3组,远视组:≥+0.75D,正视组:+0.50D~-0.25D,近视组:≥-0.50D。

1.2.2 眼轴长度测量 使用IOL master700(德国Zeiss公司)测量眼轴长度(axis length,AL),由同一人完成操作,测量3次取平均值。

1.2.3 晶状体形态和角膜曲率测量 使用CASIA2眼前节光学相干断层扫描分析仪(日本多美公司)测量晶状体前表面曲率半径(anterior lens radius,RAL)、晶状体后表面曲率半径(posterior lens radius,RPL)、晶状体厚度(lens thickness,LT)、晶状体直径(lens diameter,LD)和平均角膜曲率(average keratometry,K),所有操作由同一人完成操作,测量3次取平均值。

1.2.4 晶状体屈光度计算方法 使用Lensmaker方程计算晶状体屈光力(lens power,LP)[6]。

$$P_L=(n_L-n)\left(\frac{1}{RAL}-\frac{1}{RPL}\right)+\frac{(n_L-n)^2\times LT}{RAL\times RPL\times n_L}$$

上式中,$n_L=1.422$为晶状体等效折射率,$n=1.336$为房水和玻璃体折射率,RAL为晶状体前表面曲率半径,RPL为晶状体后表面曲率半径,LT为晶状体厚度。

1.3 统计学方法

本研究为横断面研究。所有数据均采用R4.0.2编程语言进行数据分析。计量资料采用$\bar{x}\pm s$进行描述,眼轴、屈光度、角膜曲率、晶状体等参数符合正态分布。不同年龄组和屈光组参数比较采用单因素方差分析,眼轴与晶状体参数的相关性采用Pearson相关性分析,并建立回归方程。以$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同年龄组晶状体和眼轴相关参数分析

按照年龄段分为3组,6~10岁组、>10~14岁组和>14~18岁组。不同年龄组中,等效球镜度、眼轴长度、晶状体前表面曲率半径、晶状体屈光度存在统计学差异($P<0.05$),角膜曲率、晶状体后表面曲率半径、晶状体厚度、晶状体直径未见明显差异。见表1。

不同年龄组,晶体参数与AL都存在显著的相关性。6~10岁组中,AL与RAL、RPL、LD呈正相关($r=0.74$, $P<0.001$; $r=0.55$, $P<0.001$; $r=0.61$, $P<0.001$),AL与LP、LT呈负相关($r=-0.68$, $P<0.001$; $r=-0.30$, $P<0.001$);>10~14岁组中,AL与RAL、RPL、LD呈正相关($r=0.83$, $P<0.001$; $r=0.52$, $P<0.001$; $r=0.63$, $P<0.001$),AL与LP、LT呈负相关($r=-0.71$, $P<0.001$;

$r=-0.38$,$P<0.001$);>14~18 组中,AL 与 RAL、RPL、LD 呈正相关($r=0.75$, $P<0.001$; $r=0.61$, $P<0.001$; $r=0.61$,$P<0.001$),AL 与 LP、LT 呈负相关($r=-0.76$, $P<0.001$; $r=-0.29$,$P<0.001$)。

2.2 不同屈光组角膜、晶状体和眼轴相关参数分析

不同屈光组中,眼轴长度、晶状体前表面曲率半径、晶状体屈光度、晶状体厚度和晶状体直径存在统计学差异($P<0.05$),角膜曲率和晶状体后表面曲率半径差异无统计学意义。远视组眼轴较短,晶状体前表面曲率半径、直径较小,晶状体屈光度较大;近视组眼轴较长,晶状体前表面曲率半径、直径较大,晶状体屈光度较小。见表 2。

不同屈光组中,晶体参数与角膜曲率相关性较低。远视组中,K 与 RPL、LD 呈负相关($r=-0.20$, $P=0.032$; $r=-0.24$,$P=0.012$),K 与 LP 呈正相关($r=0.19$,$P=0.034$),K 与 RAL、LT 均无相关性($r=-0.14$, $P=0.13$; $r=0.02$,$P=0.77$)。正视组中,K 与 RAL、RPL、LD 呈负相关($r=-0.21$, $P=0.02$; $r=-0.29$,$P=0.008$; $r=-0.31$,$P=0.004$),K 与 LP 呈正相关($r=0.32$, $P=0.003$),K 与 LT 无相关性($r=0.11$, $P=0.37$)。近视组中,K 与 RAL、LD 呈负相关($r=-0.15$, $P=0.046$; $r=-0.16$,$P=0.034$),K 与 RPL、LP、LT 均无相关性($r=-0.06$, $P=0.42$; $r=0.11$,$P=0.16$; $r=-0.09$,$P=0.23$)。

不同屈光组中,晶体参数与 AL 都存在显著的相关性。远视组中,AL 与 RAL、RPL、LD 呈正相关($r=0.84$, $P<0.001$; $r=0.78$, $P<0.001$; $r=0.80$, $P<0.001$),AL 与 LP、LT 呈负相关($r=-0.84$, $P<0.001$; $r=-0.42$,$P<0.001$);正视组中,AL 与 RAL、RPL、LD 呈正相关($r=0.71$, $P<0.001$; $r=0.62$, $P<0.001$; $r=0.59$, $P<0.001$),AL 与 LP、LT 呈负相关($r=-0.69$, $P<0.001$; $r=-0.29$, $P=0.002$);近视组中,AL 与 RAL、RPL、LD 呈正相关($r=0.61$, $P<0.001$; $r=0.73$, $P<0.001$; $r=0.66$,$P<0.001$),AL 与 LP、LT 呈负相关($r=-0.76$, $P<0.001$; $r=-0.38$,$P<0.001$)。

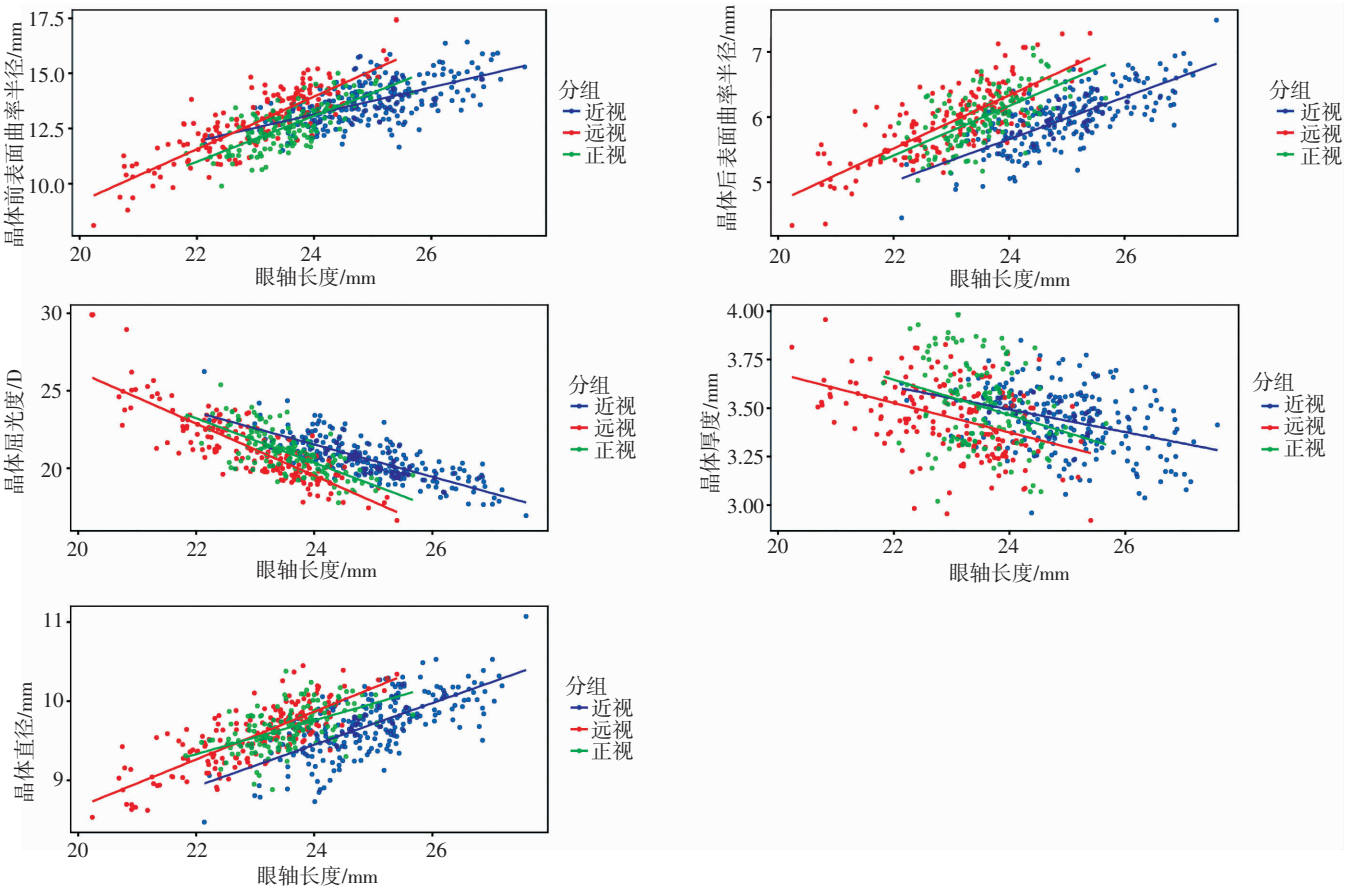
对不同屈光组晶体参数和眼轴长度作回归分析,以眼轴长度为自变量,晶状体参数为因变量,远视组、正视组、近视组中,AL 与 RAL 的回归方程分别是 $Y=-14.67+1.19X$($F=415.21$,$P<0.001$)、$Y=-11.88+1.04X$($F=139.45$,$P<0.001$)、$Y=-0.74+0.58X$($F=148.45$,$P<0.001$),AL 增长 1 mm,远视组、正视组、近视组 RAL 分别增加 1.19、1.04、0.58 mm(图 1A);AL 与 RPL 的回归方程分别是 $Y=-3.46+0.41X$($F=266.57$,$P<0.001$)、$Y=-2.95+0.38X$($F=86.24$,$P<0.001$)、$Y=-1.61+0.30X$($F=309.44$,$P<0.001$),AL 增长 1 mm,远视组、正视组、近视组 RPL 分别增加 0.41、0.38、0.30 mm(图 1B);AL 与 LP 的回归方程分别是 $Y=59.85-1.68X$($F=424.65$,$P<0.001$)、$Y=54.81-1.44X$($F=122.66$,$P<0.001$)、$Y=45.074-0.98X$($F=366.69$,$P<0.001$),AL 增长 1 mm,远视组、正视组、近视组 LP 分别减少 1.68D、1.44D、0.98D(图 1C);AL 与 LT 的回归方程分别是 $Y=5.20-0.076X$($F=35.55$,$P<0.001$)、$Y=5.65-0.091X$($F=13.08$,$P<0.001$)、$Y=4.907-0.059X$($F=37.73$,$P<0.001$),AL 增长 1 mm,远视组、正视组、近视组 LT 分别减少 0.076、0.091、0.059 mm(图 1D);AL 与 LD 的回归方程分别是 $Y=2.62+0.30X$($F=296.67$,$P<0.001$)、$Y=4.43+0.23X$($F=55.5$,$P<0.001$)、$Y=3.696+0.24X$($F=233.31$,$P<0.001$),AL 增长 1 mm,远视组、正视组、近视组 LD 分别增加 0.3、0.23、0.24 mm(图 1E)。

表 1 不同年龄组等效球镜度、眼轴长度、角膜曲率及晶体参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	样本量(眼)	SE(D)	AL/mm	K(D)	RAL/mm	RPL/mm	LP(D)	LT/mm	LD/mm
6~10 岁组	272	0.38±2.67	23.73±1.27	43.11±1.29	12.91±1.62	5.95±0.53	21.07±1.75	3.48±0.25	9.64±0.32
>10~14 岁组	194	−0.63±2.48	24.57±1.14	43.21±1.35	13.82±1.59	6.01±0.45	20.73±1.57	3.42±0.29	9.65±0.41
>14~18 岁组	104	−0.41±2.13	24.41±0.97	43.13±1.36	13.57±1.21	5.98±0.43	20.67±1.34	3.46±0.14	9.68±0.35
F		108.6	82.37	0.966	7.93	1.16	3.47	1.31	2.94
P		0.000	0.000	0.382	0.000	0.307	0.033	0.272	0.055

表 2 不同屈光组等效球镜度、眼轴长度、角膜曲率及晶体参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	样本量(眼)	SE(D)	AL/mm	K(D)	RAL/mm	RPL/mm	LP(D)	LT/mm	LD/mm
远视组	173	2.77±1.42	22.98±1.03	43.01±1.34	12.74±1.45	5.92±0.53	21.24±2.04	3.45±0.19	9.56±0.39
正视组	138	0.05±0.23	23.54±0.68	43.09±1.31	12.68±0.99	6.01±0.41	21.02±1.41	3.47±0.21	9.66±0.27
近视组	259	−2.62±1.51	25.11±1.01	43.28±1.41	13.75±0.97	5.98±0.42	20.52±1.31	3.43±0.16	9.70±0.37
F		612.13	255.05	1.752	58.86	1.19	10.46	6.63	8.26
P		0.000	0.000	0.175	0.000	0.303	0.000	0.001	0.000



A:不同屈光组晶体前表面曲率半径与眼轴长度线性回归图;B:不同屈光组晶体后表面曲率半径与眼轴长度线性回归图;C:不同屈光组晶体屈光度与眼轴长度线性回归图;D:不同屈光组晶体厚度与眼轴长度线性回归图;E:不同屈光组晶体直径与眼轴长度线性回归图

图 1 不同屈光组晶体参数与眼轴长度的线性回归图

3 讨论

青少年时期是近视高发期。了解从正视化到近视过程中晶状体的变化规律,有利于加深近视认识并进行近视防控。本研究中不同年龄组晶状体参数整体差异较小,除了晶状体前表面曲率半径,晶状体后表面曲率半径、厚度、直径差异并无统计学意义,这提示我们晶状体在 6 岁前可能已经发育到基线水平。在 6 岁前晶状体变化的研究中,MUTTI 等[7]通过纵向研究发现晶状体曲率半径在 2 岁前快速增加,随后是二次阶段的缓慢增加,而正视化过程大部分发生在 3 岁前[8],由此可见晶状体快速发育和眼球正视化是同步的。在 6~10 岁、>10~14 岁、>14~18 岁 3 个年龄段晶状体参数的比较中,我们发现 10 岁前与 10 岁后晶状体参数差异较大,而 10 岁后晶状体参数差异很小,晶状体的变化似乎停滞了,这与之前的研究结果一致。MUTTI 等[9]通过纵向研究发现在儿童时期晶状体的曲率半径趋于平坦,但 10 岁以后这种变化趋于停滞。XIONG 等[10]报道 10 岁前儿童晶状体屈光度差异较大,之后差异减小,在 14 岁后保持平稳。进一步分析发现,除了晶状体参数,10 岁前后等效球镜度和眼轴长度也存在较大差异,而在不同屈光组晶状体参数分析中,不同屈光状态晶状体参数差异较大,并且与眼轴长度显著相关,10 岁前后晶状体参数的差异可能是眼轴长度不同引起的。综上所述,晶状体在 6 岁前已经发育到基线水平,此后晶体参数的差异主要由眼轴长度决定,而 10 岁以后大部分人的眼轴长度接近成人水平,不同年龄段人群晶状体参数的平均值差异很小。

本研究中不同屈光组晶状体形态存在统计学差异,同时等效球镜度和眼轴长度也不相同,晶状体形态的差异既与屈光状态相适应,又与眼轴增长相适应:远视状态下更高的晶状体屈光度可以补偿屈光力的不足,而近视状态较低的晶状体屈光度可以代偿眼轴的增长。但不同年龄组和屈光组中,晶状体参数与眼轴都有显著的相关性,随着眼轴的增长,晶状体都表现出曲率半径增大、直径增长、厚度变薄的变化,晶状体的

这些变化,特别是直径的增长与整个眼球增大保持一致,并且这种变化趋势不受屈光状态、年龄的影响,晶状体形态的变化更有可能只是眼轴增长的被动适应。

本研究中不同年龄组和屈光组角膜曲率差异无统计学意义,显示青少年角膜曲率基本保持稳定,与既往研究结论一致[11-12]。但王阳等[13]报道3~12岁儿童不同屈光状态角膜曲率存在差异,不同的结果可能和分组有关,王阳等[13]按照近视程度进行了分组,高度近视角膜曲率有减小的趋势,导致不同屈光组角膜曲率存在统计学差异。在角膜曲率与晶体形态的相关性分析中,不同屈光组角膜曲率与晶体形态的相关性都很低,角膜曲率与眼轴长度的关系更密切。杨吟等[14]报道四川地区8~12岁儿童眼轴长度与平坦角膜曲率、陡峭角膜曲率和平均角膜曲率均呈负相关,眼轴越短,角膜曲率越高。李嘉等[15]报道较长的眼轴与扁平的角膜、较深的前房深度、负值较大的等效球镜屈光度有关。由此可见,晶体形态、角膜曲率都与眼轴长度密切相关,眼轴增长同时引起晶体形态和角膜曲率的变化,虽然角膜曲率与晶体形态有一定相关性,但角膜曲率并不会对晶体形态产生影响。

在不同屈光组眼轴长度和晶状体参数的回归分析中,我们发现相同的眼轴增长,远视组晶状体屈光度变化大于正视组,正视组又大于近视组,随着屈光状态向近视方向发展,晶状体屈光度变化减小,这与之前的研究结果一致。MUTTI等[16]通过浦肯野图像比较近视发生前后5年晶状体的变化,发现近视发生1年后晶状体屈光度和厚度的变化趋于停滞。ROZEMA等[17]报道近视发生前1年晶状体屈光度下降明显,此后屈光度的下降明显减慢。纵向研究不仅显示近视前后晶状体屈光度变化减缓,近视后晶状体屈光度的变化也持续减缓。与之前研究不同的是,我们发现晶状体屈光度变化减小的决定因素并不是屈光状态,而是眼轴长度,眼轴长度与晶状体屈光度的关系更加密切,随着眼轴增长晶状体屈光度变化减小,近视眼一般眼轴较长,晶状体表现出较小的屈光度变化,这也提示我们眼轴较长的正视眼在眼轴增长时屈光状态更容易向近视方向发展,是近视的高危人群。

晶状体随眼轴增长变化减小不仅体现在屈光度上,前后表面曲率半径、厚度、直径的变化都减小了,晶状体整体形态变化的减小,与近视眼眼球形态的变化相吻合。ATCHISON等[18]通过磁共振成像发现近视眼更适合伸长模型,眼球长度的变化量远大于宽度和高度。LIM等[19]报道近视眼会出现轴性眼球状扩大,从而形成扁长形状,而非近视眼是整体扩大。随着眼轴增长,眼球赤道部和眼轴的增长不再保持一致,眼球赤道部增长减缓;晶状体形态与眼轴的变化也不再保持一致,晶状体变化减小。眼球赤道部和晶状体的变化似乎都受到了限制,而在体外晶体拉伸实验中,MANNS等[20]研究表明晶状体具有广泛的拉伸能力。基于以上情况,我们推测随着眼轴增长,眼球受到眼眶大小的物理限制或睫状肌的作用力影响[21-22],眼球在赤道部的增长减缓,晶状体的变化受到赤道部的机械抑制,导致晶状体前后表面曲率半径、厚度和直径的变化都减小。

综上所述,青少年晶状体参数的差异主要是眼轴长度不同引起,晶状体形态变化只是眼轴增长的被动适应,并受到眼球赤道部的机械抑制,导致晶状体形态变化随着眼轴增长减小,而眼轴可以持续增长,当晶状体形态与眼轴长度不再匹配时出现屈光不正,故使屈光状态保持稳定的关键是控制眼轴的增长。

作者贡献声明:

代诚:参与选题设计及资料的分析和解释、撰写论文,根据编辑部和审稿专家的意见修改论文;刘梦:收集数据及统计分析;李宾中:统筹规划、指导选题、设计及资料的分析和解释

参考文献:

[1] ROZEMA J J, HERSCOVICI Z, SNIR M, *et al*. Analysing the ocular biometry of new-born infants[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2018, 38(2): 119-128. DOI: 10.1111/opo.12433.

[2] LIN R J, NG J S, NGUYEN A L. Determinants and standardization of mesopic visual acuity[J]. Optom Vis Sci, 2015, 92(5): 559-565. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000584.

[3] HUSSAIN R N, SHAHID F, WOODRUFF G. Axial length in apparently normal pediatric eyes[J]. Eur J Ophthalmol, 2014, 24(1): 120-123. DOI: 10.5301/ejo.5000328.

[4] BROWN N P, KORETZ J F, BRON A J. The development and maintenance of emmetropia[J]. Eye (Lond), 1999, 13(Pt 1): 83-92. DOI: 10.1038/eye.1999.16.

[5] ISHII K, YAMANARI M, IWATA H, *et al*. Relationship between changes in crystalline lens shape and axial elongation in young children[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2013, 54(1): 771-777. DOI: 10.1167/iovs.12-10105.

[6] MURALIDHARAN G, MARTÍNEZ-ENRÍQUEZ E, BIRKENFELD J, *et al*. Morphological changes of human crystalline lens in myopia[J]. Biomed Opt Express, 2019, 10(12): 6084-6095. DOI: 10.1364/BOE.10.006084.

[7] MUTTI D O, SINNOTT L T, 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.

[8] MUTTI D O, MITCHELL G L, JONES L A, *et al*. Axial

growth and changes in lenticular and corneal power during emmetropization in infants[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2005, 46(9): 3074-3080. DOI: 10.1167/iovs.04-1040.

[9] MUTTI D O, ZADNIK K, FUSARO R E, *et al*. Optical and structural development of the crystalline lens in childhood[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1998, 39(1): 120-133.

[10] XIONG S Y, ZHANG B, HONG Y, *et al*. The associations of lens power with age and axial length in healthy Chinese children and adolescents aged 6 to 18 years[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2017, 58(13): 5849-5855. DOI: 10.1167/iovs.17-22639.

[11] LI S M, LI S Y, KANG M T, *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] DOGAN M, ELGIN U, SEN E, *et al*. Comparison of anterior segment parameters and axial lengths of myopic, emmetropic, and hyperopic children[J]. Int Ophthalmol, 2019, 39(2): 335-340. DOI: 10.1007/s10792-017-0816-8.

[13] 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.
WANG Y, ZHAO R L, PI L H. 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.

[14] 杨吟, 杨棹夕, 杜念, 等. 四川地区近视儿童眼球生物学参数及特性的分析[J]. 四川大学学报(医学版), 2019, 50(4): 577-579.
YANG Y, YANG Z X, DU N, *et al*. Analysis of ocular biological parameters and characteristics of myopia children in Sichuan Province[J]. J Sichuan Univ Med Sci Ed, 2019, 50(4): 577-579.

[15] 李嘉, 王军. 4~16岁儿童眼轴和角膜曲率的分布及相关因素研究[J]. 眼科, 2017, 26(5): 307-312. DOI: 10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2017.05.005.
LI J, WANG J. Axial length and corneal curvature and their associations in 4 to 16-year-old children[J]. Ophthalmol China, 2017, 26(5): 307-312. DOI: 10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2017.05.005.

[16] MUTTI D O, MITCHELL G L, SINNOTT L T, *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.

[17] 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/iovs.18-26247.

[18] ATCHISON D A, PRITCHARD N, SCHMID K L, *et al*. Shape of the retinal surface in emmetropia and myopia[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2005, 46(8): 2698-2707. DOI: 10.1167/iovs.04-1506.

[19] LIM L S, YANG X F, GAZZARD G, *et al*. Variations in eye volume, surface area, and shape with refractive error in young children by magnetic resonance imaging analysis[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2011, 52(12): 8878-8883. DOI: 10.1167/iovs.11-7269.

[20] MANNS F, PAREL J M, DENHAM D, *et al*. Optomechanical response of human and monkey lenses in a lens stretcher[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2007, 48(7): 3260-3268. DOI: 10.1167/iovs.06-1376.

[21] ATCHISON D A, JONES C E, SCHMID K L, *et al*. Eye shape in emmetropia and myopia[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2004, 45(10): 3380-3386. DOI: 10.1167/iovs.04-0292.

[22] SHEPPARD A L, DAVIES L N. *In vivo* analysis of ciliary muscle morphologic changes with accommodation and axial ametropia[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2010, 51(12): 6882-6889. DOI: 10.1167/iovs.10-5787.

(**收稿**:2020-09-21;**修回**:2020-12-04)

(编辑 张 维)