

# 不同中间视觉环境下近视人群瞳孔直径的分布及其影响因素

李梦迪 王雁 宋一 张琳 赵新恒 张妍

天津市眼科医院 南开大学附属眼科医院 天津医科大学眼科临床学院 天津市眼科研究所  
天津市眼科学与视觉科学重点实验室 天津市眼科医院视光中心, 天津 300020

通信作者:王雁, Email:wangyan7143@vip.sina.com

**【摘要】目的** 探讨不同中间视觉环境下中国近视人群瞳孔直径的分布,并分析其可能的影响因素。

**方法** 采用横断面研究,收集 2018 年 12 月至 2019 年 4 月于天津市眼科医院拟行屈光手术的近视患者 214 例 428 眼,年龄 17~45 岁,平均(22.62±4.88)岁。根据散光值将受试者分为散光值<-1.5 D 组 372 眼和散光值≥-1.5 D 组 56 眼。采用 Colvard 瞳孔仪测量 0.2 lx 的低中间视觉下瞳孔直径(LMPS),采用 Pentacam 眼前节分析仪测量 6~12 lx 的高中间视觉下瞳孔直径(HMPS);比较不同眼别、性别和散光值组瞳孔直径;分析瞳孔直径与可能影响因素,如年龄、性别、等效球镜度、球镜度、柱镜度、柱镜轴向、平均角膜曲率(Km)及中央角膜厚度之间的关系。**结果** Colvard 瞳孔仪及 Pentacam 测量的中间视觉瞳孔直径分别为(6.806±0.776)mm 和(3.312±0.540)mm。Colvard 测量的男性受试者的瞳孔直径为(6.692±0.754)mm,大于女性的(6.668±0.792)mm,差异有统计学意义( $t=2.935, P=0.004$ )。在高中间视觉下,散光值≥-1.5 D 组瞳孔直径小于散光值<-1.5 D 组,差异有统计学意义( $t=2.611, P=0.009$ )。在低中间视觉下,瞳孔直径与年龄、Km 均呈弱的负相关( $r=-0.213, -0.210$ , 均  $P<0.001$ )。在高中间视觉下,瞳孔直径与柱镜度呈弱的正相关( $r=0.124, P=0.010$ ),与 Km 呈弱的负相关( $r=-0.142, P=0.003$ )。多重线性回归分析结果显示,LMPS = 0.659×HMPS-0.019×年龄-0.084×Km+8.662;Pentacam 测量结果可预测约 28% 的 LMPS,当结果在 3.6 mm 以下时,可较好地预测≤7 mm 的 LMPS。**结论** 年龄和角膜曲率是中间视觉瞳孔直径的影响因素,年龄较大、角膜曲率较陡峭的近视患者瞳孔直径相对小。在高中间视觉下,散光对瞳孔直径有影响。Pentacam 测量瞳孔结果可一定程度上预测 LMPS,但不能代替标准环境下暗瞳仪测量结果。

**【关键词】** 瞳孔; 中间视觉; 近视; 影响因素

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(81670884、81873684)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200609-00413

## Pupil size of myopes under different mesopic conditions and its influencing factors

Li Mengdi, Wang Yan, Song Yi, Zhang Lin, Zhao Xinheng, Zhang Yan

Tianjin Eye Hospital, Nankai University Eye Institute, Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University, Tianjin Eye Institute, Tianjin Key Laboratory of Ophthalmology and Visual Science, Optometric Center of Tianjin Eye Hospital, Tianjin 300020, China

Corresponding author: Wang Yan, Email:wangyan7143@vip.sina.com

**【Abstract】Objective** To explore the pupil size distribution of the Chinese myopic population under different mesopic conditions, and to analyze the possible influencing factors. **Methods** A cross-sectional study was conducted. Two hundred and fourteen myopic patients (428 eyes) who underwent refractive surgery in Tianjin Eye Hospital from December 2018 to April 2019 were randomly selected. The patients were 17 to 45 years old, with an average age of (22.62±4.88) years old. The patients were divided into astigmatism <-1.5 D group (372 eyes) and astigmatism ≥-1.5 D group (56 eyes) according to their astigmatism measurements. The low mesopic pupil size (LMPS) (0.2 lx) was measured with the infrared Colvard pupillometer, and the high mesopic pupil size (HMPS) (6-12 lx) was obtained through the anterior Pentacam segment analyzer. The pupil size was compared between both eyes, different sexes and different astigmatism measurements. The relationship between pupil size and possible influencing factors, such as age, sex, spherical equivalent, spherical diopter, cylinder diopter, axis, mean keratometry

(Km), and central cornea thickness was analyzed. This study adhered to the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of Tianjin Eye Hospital (No. 201912). Written informed consent was obtained from each subject or their guardians. **Results** The pupil sizes measured by the Colvard pupillometer and Pentacam were  $(6.806 \pm 0.776)$  mm and  $(3.312 \pm 0.540)$  mm, respectively. The pupil size of male subjects was  $(6.692 \pm 0.754)$  mm, which was larger than  $(6.668 \pm 0.792)$  mm of females, showing a statistically significant difference ( $t=2.935, P=0.004$ ). Under the high mesopic condition, the pupil size of astigmatism  $\geq -1.5$  D group was lower than that of astigmatism  $< -1.5$  D group, with a statistically significant difference ( $t=2.611, P=0.009$ ). Under the low mesopic condition, pupil size was negatively correlated with age and Km ( $r=-0.213, -0.210$ ; both at  $P<0.001$ ). Under the high mesopic condition, pupil size was weakly positively correlated with cylinder power ( $r=0.124, P=0.010$ ) and was weakly negatively correlated with Km ( $r=-0.142, P=0.003$ ). The multiple linear regression analysis revealed that the  $LMPs = 0.659 \times HMPS - 0.019 \times \text{age} - 0.084 \times Km + 8.662$ . About 28% of pupil size under low mesopic conditions could be predicted by Pentacam. LMPs of  $\leq 7$  mm could be better predicted when the results were below 3.6 mm. **Conclusions** Age and corneal curvature are influencing factors of mesopic pupil size. Older people with steep curvature have a smaller pupil. At high mesopic conditions, astigmatism affects pupil size. Pentacam measurements can predict LMPs to some degree but are not a substitute for dark-adapted pupil diameter.

[Key words] Pupil; Mesopic vision; Myopia; Influencing factors

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81670884, 81873684)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200609-00413

近年来,越来越多的研究显示中间视觉对视力及视功能的影响并不比明视觉作用弱<sup>[1-2]</sup>,在屈光手术、白内障手术等常见手术后,患者的眩光、光晕等夜间视觉障碍多发生于中间视觉环境下<sup>[3-5]</sup>,且在近视防控领域,中间视觉下瞳孔直径也被认为是评估低浓度阿托品安全性的一个指标<sup>[6]</sup>。有研究认为,瞳孔大小可对中间视觉产生较大影响,特别是在屈光手术前,中间视觉下瞳孔大小的评估可以指导光学区设计,因此,准确获得中间视觉下瞳孔直径结果对于屈光手术患者筛选及术后夜间不良视觉症状的规避具有重要意义<sup>[7-9]</sup>。传统的标准瞳孔测量常需要红外暗瞳测量仪等专业仪器,如 Colvard 瞳孔测量仪<sup>[10-11]</sup>,而国内部分屈光手术中心未能配备专业的瞳孔测量仪器,如何快速评估拟行屈光手术患者的瞳孔直径就显得尤为重要,目前临床上常用的 Pentacam 三维眼前节分析仪也可通过光线跟踪原理模拟计算瞳孔直径,提供亮度较高中间视觉下的瞳孔数据。本研究主要探讨不同中间视觉环境下瞳孔直径的影响因素,借助目前常用的 Pentacam 测量结果预测较低亮度中间视觉下瞳孔直径结果,简化中间视觉瞳孔筛查流程,提供更直观的瞳孔数据,根据检查结果筛选合适的屈光手术患者,降低术后不良视觉障碍发生率,以期为临床提供指导。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

采用横断面研究,收集 2018 年 12 月至 2019 年

4 月于天津市眼科医院拟行屈光手术的近视患者 214 例 428 眼,其中男 132 例,女 82 例;年龄 17~45 岁,平均 $(22.62 \pm 4.88)$ 岁;等效球镜度为 $-11.75 \sim -0.50$  D,平均 $(-5.443 \pm 1.741)$  D;球镜度为 $-10.50 \sim 0.25$  D,平均 $(-5.088 \pm 1.700)$  D;柱镜度为 $-3.75 \sim 0.00$  D,平均 $(-0.710 \pm 0.602)$  D;平均角膜曲率(mean keratometry, Km)为 $39.7 \sim 47.0$  D,平均 $(42.850 \pm 1.245)$  D;中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)为 $485 \sim 654 \mu\text{m}$ ,平均 $(553.310 \pm 27.446) \mu\text{m}$ 。所有受试者均接受详细的术前检查,满足屈光手术条件;排除斜视、眼位运动异常和累及虹膜的眼部炎症及活动性眼病患者;排除神经异常相关因素导致的瞳孔限制性疾病者;排除白内障、青光眼、眼底疾病等患者。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,经天津市眼科医院伦理委员会批准(批文号:201912),所有受试者术前均自愿签署知情同意书。

### 1.2 方法

**1.2.1 Colvard 瞳孔直径检查** 使用手持式红外 Colvard 瞳孔测量仪(美国 Oasis Medical 公司)进行测量。正式测量前,需使用照度计进行环境照度测量,保证其光照度始终处于低中间视觉 $(0.15 \sim 0.21 \text{ lx})$ 。患者需于此环境中适应至少 2 min,测量时目视前方,检查者通过轻微前后移动瞳孔仪使聚焦于虹膜和瞳孔上。仪器内置毫米尺,测量过程中可直接读数,双眼交替测量 3 次,测量精度为 0.5 mm,记录低中间视觉下瞳孔直径(low mesopic pupil size, LMPs)平均值。所有检查均由同一位经验丰富的技师完成。



**1.2.2 Pentacam 瞳孔直径检查** 采用 Pentacam 眼前节分析仪(德国 Oculus GmbH 公司)获得高中间视觉下瞳孔直径(high mesopic pupil size, HMPS)结果。该系统使用峰值波长为 475 nm 的蓝色发光二极管发射光线。在角膜表面,最大强度为 475 nm 时测得的光辐射度为  $4.79 \times 10^{-2} \text{ mW/cm}^2$  (Pentacam, 德国 Oculus GmbH 公司),约为  $30 \text{ lx}^{[12]}$ 。采用照度计对检查过程进行测量,光照度为  $6 \sim 12 \text{ lx}$ ,每次测量前,蓝灯维持至少 10 s,以确保有时间适应特定的照明条件。瞳孔直径结果根据 Scheimpflug 系统光线跟踪模拟三维模型中计算所得平均值,记录 HMPS。所有检查均由同一位经验丰富的技师完成。

### 1.3 统计学方法

采用 SPSS 21.0 统计学软件(美国 SPSS 公司)进行统计分析。计量资料数据经 Kolmogorov-Smirnov 检验证实符合正态分布或近似正态分布,以  $\bar{x} \pm s$  表示。不同眼别、性别和散光值组 LMPS 和 HMPS 的差异比较采用独立样本  $t$  检验。瞳孔直径与年龄、屈光度等参数的关系分析采用 Pearson 线性相关分析;以 HMPS、年龄、Km 等为自变量,LMPS 为因变量进行多重线性回归分析。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 不同亮度中间视觉环境下瞳孔直径分布

Colvard 瞳孔仪测量的瞳孔直径为  $5 \sim 9 \text{ mm}$ ,平均  $(6.806 \pm 0.776) \text{ mm}$ ;Pentacam 测量的瞳孔直径为  $2.19 \sim 5.25 \text{ mm}$ ,平均  $(3.312 \pm 0.540) \text{ mm}$ 。

### 2.2 不同眼别、性别和散光值组瞳孔直径比较

Colvard 瞳孔测量仪和 Pentacam 测得左眼的瞳孔直径分别为  $(6.815 \pm 0.772) \text{ mm}$  和  $(3.272 \pm 0.529) \text{ mm}$ ,右眼分别为  $(6.797 \pm 0.781) \text{ mm}$  和  $(3.35 \pm 0.552) \text{ mm}$ ,左、右眼瞳孔直径比较差异均无统计学意义( $t = -0.249$ ,

$P = 0.803$ ;  $t = 1.513$ ,  $P = 0.131$ )。Colvard 测量的男性受试者的瞳孔直径为  $(6.692 \pm 0.754) \text{ mm}$ ,大于女性的  $(6.668 \pm 0.792) \text{ mm}$ ,差异有统计学意义( $t = 2.935$ ,  $P = 0.004$ )。Pentacam 测量的男女瞳孔直径分别为  $(3.309 \pm 0.538) \text{ mm}$  和  $(3.316 \pm 0.545) \text{ mm}$ ,差异无统计学意义( $t = -0.123$ ,  $P = 0.902$ )。

为了进一步分析散光对瞳孔直径的影响,本研究根据散光值将受试者分为散光值  $< -1.5 \text{ D}$  组和散光值  $\geq -1.5 \text{ D}$  组,结果显示在低中间视觉下,不同散光值组 LMPS 比较差异无统计学意义( $t = 1.321$ ,  $P = 0.187$ );在高中间视觉下,散光值  $\geq -1.5 \text{ D}$  组 HMPS 小于散光值  $< -1.5 \text{ D}$  组,差异有统计学意义( $t = 2.611$ ,  $P = 0.009$ )(表 1)。

表 1 不同散光值组 LMPS 和 HMPS 比较( $\bar{x} \pm s$ , mm)

Table 1 Comparison of LMPS and HMPS between two groups ( $\bar{x} \pm s$ , mm)

组别	眼数	LMPS	HMPS
散光值 $< -1.5 \text{ D}$ 组	372	$6.825 \pm 0.781$	$3.338 \pm 0.547$
散光值 $\geq -1.5 \text{ D}$ 组	56	$6.679 \pm 0.735$	$3.137 \pm 0.462$
$t$ 值		1.321	2.611
$P$ 值		0.187	0.009

注:(独立样本  $t$  检验) LMPS:低中间视觉下瞳孔直径;HMPS:高中间视觉下瞳孔直径

Note:(Independent samples  $t$ -test) LMPS: low mesopic pupil size; HMPS: high mesopic pupil size

### 2.3 中间视觉瞳孔直径与年龄、屈光度、Km 和 CCT 的相关性

Pearson 线性相关分析结果显示,在低中间视觉下,年龄和 Km 与瞳孔直径均呈负相关( $r = -0.213$ ,  $-0.210$ ,均  $P < 0.001$ )。在高中间视觉下,Km 与瞳孔直径呈负相关( $r = -0.142$ ,  $P = 0.003$ ),柱镜度与瞳孔直径呈正相关( $r = 0.124$ ,  $P = 0.010$ )(图 1,表 2)。

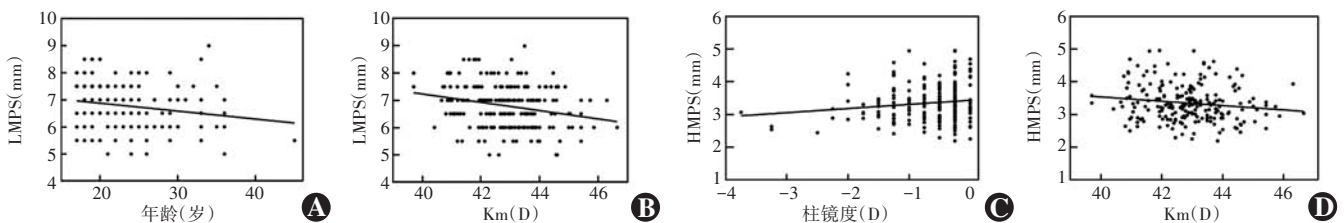


图 1 中间视觉瞳孔直径与年龄、Km 和柱镜度的相关性(Pearson 线性相关分析,  $n = 214$ ) A、B: LMPS 与年龄、Km 均呈负相关( $r = -0.213$ ,  $-0.210$ ,均  $P < 0.05$ ) C: HMPS 与柱镜度呈正相关( $r = 0.124$ ,  $P = 0.010$ ) D: HMPS 与 Km 呈负相关( $r = -0.142$ ,  $P = 0.003$ ) LMPS:低中间视觉下瞳孔直径;Km:平均角膜曲率;HMPS:高中间视觉下瞳孔直径

Figure 1 Correlation between mesopic pupil size and age, Km and cylinder diopter (Pearson linear correlation analysis,  $n = 214$ ) A, B: LMPS was negatively correlated with age and Km ( $r = -0.213$ ,  $-0.210$ ; both at  $P < 0.05$ ) C: HMPS was positively correlated with cylinder diopter ( $r = 0.124$ ,  $P = 0.010$ ) D: HMPS was negatively correlated with Km ( $r = -0.142$ ,  $P = 0.003$ ) LMPS: low mesopic pupil size; Km: mean keratometry; HMPS: high mesopic pupil size

**表 2 LMPS、HMPS 与年龄、屈光度、Km 及 CCT 的相关性**  
**Table 2 Correlation of LMPS and HMPS with age, diopter, Km and CCT**

因素	LMPS		HMPS	
	r 值	P 值	r 值	P 值
年龄(岁)	-0.213	<0.001	-0.087	0.071
等效球镜度(D)	-0.033	0.490	-0.062	0.198
球镜度(D)	-0.030	0.531	-0.086	0.076
柱镜度(D)	-0.020	0.684	0.124	0.010
轴向(°)	0.069	0.151	0.006	0.909
Km(D)	-0.210	<0.001	-0.142	0.003
CCT(μm)	-0.029	0.554	-0.047	0.334

注:(Pearson 线性相关分析, n = 214) LMPS:低中间视觉下瞳孔直径;HMPS:高中间视觉下瞳孔直径;Km:平均角膜曲率;CCT:中央角膜厚度

Note:(Pearson correlation analysis, n = 214) LMPS:low mesopic pupil size;HMPS:high mesopic pupil size;Km:mean keratometry;CCT:centeral corneal thickness

**2.4 中间视觉瞳孔直径影响因素的多重线性回归分析**

多重线性回归模型显示,年龄和 Km 是影响 LMPS 的因素,其回归方程为  $LMPS = -0.023 \times \text{年龄} - 0.122 \times Km$  ( $R^2 = 0.070$ , 调整  $R^2 = 0.066$ ) (表 3)。柱镜度和 Km 是影响 LMPS 的因素,其回归方程为  $LMPS = 0.108 \times \text{柱镜度} - 0.060 \times Km$  ( $R^2 = 0.035$ , 调整  $R^2 = 0.030$ ) (表 4)。

**表 3 LMPS 多重线性回归模型非标准化系数及标准化系数**  
**Table 3 Non-standardized and standardized coefficients of LMPS multiple linear regression model**

LMPS	非标准化系数		标准化系数	t 值	P 值
	B	标准误	Beta		
年龄	-0.023	0.008	-0.146	-3.056	0.002
Km	-0.122	0.030	-0.195	-4.097	<0.001

注: $R^2 = 0.070$ , 调整  $R^2 = 0.066$ ,  $F = 9.337$ ,  $P = 0.002$  LMPS:低中间视觉下瞳孔直径;Km:平均角膜曲率

Note: $R^2 = 0.070$ , adjusted  $R^2 = 0.066$ ,  $F = 9.337$ ,  $P = 0.002$  LMPS:low mesopic pupil size;Km:mean keratometry

**表 4 HMPS 多重线性回归模型非标准化系数及标准化系数表**  
**Table 4 Non-standardized and standardized coefficients of HMPS multiple linear regression model**

HMPS	非标准化系数		标准化系数	t 值	P 值
	B	标准误	Beta		
Km	-0.060	0.021	-0.139	-2.925	0.004
柱镜度	0.108	0.043	0.121	2.530	0.012

注: $R^2 = 0.035$ , 调整  $R^2 = 0.030$ ,  $F = 6.401$ ,  $P = 0.012$  HMPS:高中间视觉下瞳孔直径;Km:平均角膜曲率

Note: $R^2 = 0.035$ , adjusted  $R^2 = 0.030$ ,  $F = 6.401$ ,  $P = 0.012$  HMPS:high mesopic pupil size;Km:mean keratometry

**2.5 LMPS 影响因素分析**

以 Pentacam 测得瞳孔数据预测 LMPS, 纳入年龄、Km、HMPS 等影响因素, 获得多重线性回归方程:  $Y = 0.659 \times HMPS - 0.019 \times \text{年龄} - 0.084 \times Km + 8.662$ , 得到  $R^2 = 0.276$ ,  $P < 0.001$ 。

**2.6 HMPS 截断值分布**

当  $HMPS < 2.8 \text{ mm}$  时,  $LMPS \leq 7 \text{ mm}$  占比为 93.93%; 当  $HMPS < 3.6 \text{ mm}$  时,  $LMPS \leq 7 \text{ mm}$  占比仍超过 80% (表 5)。

**表 5 HMPS 截断值分布**  
**Table 5 Distribution of HMPS truncation values**

HMPS 截断值(mm)	LMPS ≤ 7.0 mm [眼数/总眼数(%)]
<2.8	62/ 66(93.93)
<2.9	89/ 98(90.81)
<3.0	114/132(86.36)
<3.1	139/163(85.27)
<3.2	168/197(85.28)
<3.3	193/234(82.48)
<3.4	219/268(81.72)
<3.5	241/300(80.33)
<3.6	257/321(80.06)
<3.7	265/334(79.34)
<3.8	271/346(78.32)

注:HMPS:高中间视觉下瞳孔直径;LMPS:低中间视觉下瞳孔直径  
Note:HMPS:high mesopic pupil size;LMPS:low mesopic pupil size

**3 讨论**

中间视觉视力是评估视功能的重要组成部分<sup>[1-2]</sup>, 人类夜间活动及夜间视觉障碍多发生于中间视觉环境下, 中间视觉环境下的视觉质量及评估规范越来越受到重视。夜间交通照明设备、黄昏时阅读下光照强度均为中间视觉环境<sup>[13-14]</sup>。瞳孔被认为是影响屈光手术后光学质量的一个重要因素, 有研究发现中间视觉下瞳孔过大与夜间视觉症状有关, 是造成眩光、光晕、视物模糊的可能原因<sup>[15-16]</sup>。最近一项研究显示, 屈光术后客观测量光晕大小与最小瞳孔直径显著相关<sup>[17]</sup>。瞳孔直径受光照强度影响, 在进行屈光手术前, 应充分评估不同中间视觉瞳孔大小, 指导合理的光学区设计<sup>[9]</sup>, 因此, 获得精准的术前中间视觉瞳孔结果显得尤为重要。Colvard 瞳孔测量仪在临床中使用较为广泛, 是经典的手持式红外测量仪<sup>[10,18]</sup>。目前许多设备也提供特定光照条件下的瞳孔结果, 如临床常用的 Pentacam 眼前节分析仪<sup>[12]</sup>, 可直接提供 HMPS 结果。既往研究报道, 中间视觉瞳孔直径与等效球镜

度呈负相关<sup>[19]</sup>,为细化影响因素,本研究分析中间视觉瞳孔直径与等效球镜度数、球镜度数、柱镜度数、柱镜轴向等指标的相关性,并纳入 Km、CCT 等参数,探索性地研究眼球形态及光学参数是否会影响中间视觉瞳孔直径测量结果,探讨不同中间视觉环境下瞳孔直径的分布,筛选适合的屈光手术患者,优化设计光学区,减少术后夜间视觉障碍。

本研究中 Colvard 瞳孔仪测得的 LMPS 均值为  $(6.806 \pm 0.776)$  mm,左右眼之间差异无统计学意义,但男性 LMPS 大于女性,差异有统计学意义,与 Cakmak 等<sup>[20]</sup>研究一致,但也有研究报道不同性别间 LMPS 比较差异无统计学意义<sup>[19,21]</sup>。本研究中性别对 LMPS 有影响,随着亮度增加,性别导致的瞳孔直径差异减小,但临床上实际差异较小是否会导致术后不良反应发生率升高还需进一步研究。本研究结果较以往 Colvard 瞳孔仪测量的中间视觉瞳孔均值略大,可能与检测环境光照度有关<sup>[22]</sup>。本研究在  $0.15 \sim 0.2$  lx 的光照度环境下进行测量,低于既往报道的  $0.28$  lx 和  $18.33$  lx<sup>[11,23]</sup>。且既往研究多为欧美国家,在某一亚洲国家研究中显示,近视患者中间视觉瞳孔直径为  $5.5 \sim 8.5$  mm,平均  $(6.98 \pm 0.67)$  mm<sup>[10]</sup>。考虑人种差异和人眼眼眶深度对测量结果产生的可能影响,中国人眼窝浅、鼻梁低,使用 Colvard 等手持仪器测量更加方便,贴合更加紧密,但也可能使测量值偏大。Pentacam 测量时的光照度除考虑了公司提供的数据外,Kanellopoulos 等<sup>[12]</sup>进行了实验室光谱分析,本研究团队也对实际测量时人眼表面光照度进行了测量及转化,为  $6 \sim 12$  lx。本研究显示了中国近视人群的中间视觉瞳孔大小分布规律,可为临床提供参考。

本研究发现,年龄与 LMPS 呈负相关,即近视患者年龄越大,其 LMPS 相对小,与 Hsieh 等<sup>[24]</sup>研究结果一致,也与临床认知一致。但 Pentacam 检测结果显示,瞳孔直径与年龄无明显相关性,可能是 HMPS 个体差异较小,且年龄范围较为集中。Telek 等<sup>[25]</sup>将受试者以 15 岁为跨度,研究  $15 \sim 60$  岁人群中年龄与瞳孔的关系,证实了年龄与瞳孔直径呈负相关。研究提示,对于年龄较小的男性患者,中间视觉瞳孔直径较大时,应适当调整光学区。

此外,本研究还发现低中间视觉和高中间视觉下 Km 与瞳孔直径均呈负相关,多重线性回归分析结果也显示 Km 对中间视觉瞳孔有影响。Linke 等<sup>[19]</sup>报道 Km 与中间视觉瞳孔直径呈负相关( $r = -0.064$ ),与本研究结果一致,但 Linke 等<sup>[19]</sup>认为其临床意义不大。我们考虑 Km 对瞳孔的影响,还与角膜形态及前房结

构有关<sup>[26]</sup>,角膜具有一定的放大率,使得红外测量结果大于真实的瞳孔数据,角膜形态会起到一定的作用,其相关机制仍需进一步探讨。

进一步研究发现,散光是影响中间视觉瞳孔的因素,散光值越大,受试者检测的瞳孔直径越小。既往研究报道,等效球镜度是影响瞳孔直径的主要因素<sup>[19,21]</sup>。本研究发现,散光对瞳孔直径的影响可能更大。分析可能原因:中间视觉环境下,散光度数较大患者的视网膜成像质量更差,瞳孔类似于光学元件中的入射光阑,通过缩小瞳孔来减少散射引起的视觉质量欠佳情况。对于屈光手术后散光较大患者的中间视觉瞳孔直径是否会通过上述机制产生改变,调节中间视觉质量,需要进一步研究,为屈光手术大散光患者光学区设计提供参考。

本研究中多重线性回归分析结果显示,Pentacam 测量结果可在一定程度上预测 LMPS(约为 28%),但  $R^2$  值相对小,其原因可能为 LMPS 受年龄及角膜曲率等之外的多种因素影响,未来可进行更多因素以及更大样本的研究验证。本研究结果提示,对于 Pentacam 显示瞳孔直径结果较大且年龄小、角膜曲率较平的患者,可根据情况适当扩大光学区。因年龄等因素影响较小,为简化 Pentacam 预测结果,本研究选择直接预测 LMPS 为 7 mm 以内的结果。因为在本研究中,Colvard 瞳孔仪测量瞳孔直径均值为 6.806 mm,其最接近 Colvard 瞳孔仪测量的 7 mm,且临床常用屈光手术设计的光学区为  $6.5 \sim 7.0$  mm。本研究结果显示,当 Pentacam 测得结果小于 3.6 mm 时,判断  $LMPS \leq 7$  mm 的准确性达到 80% 以上,可将其认为是较可靠的截断值,此前 Pentacam 测量的近视人群瞳孔结果无可靠参考。中间视觉瞳孔测量受检测设备、检测环境及检查人员学习曲线影响,其准确测量本身就是困难的<sup>[8]</sup>。常用的检测设备包括 Colvard 红外测量仪、Rosenbaum 卡、Procyon 红外瞳孔仪等<sup>[10,27-28]</sup>。Colvard 瞳孔仪应用方便、广泛,但仍有研究者担忧其准确性,与 Procyon 测量仪双边同时测量相比较,研究证实二者测量中间视觉瞳孔结果一致性良好<sup>[27,29]</sup>。与暗适应  $5 \sim 30$  min 等较长时间相比,多数研究者认为采用 2 min 暗室适应即可达到良好暗适应效果,方便临床应用<sup>[24]</sup>。Pentacam 测量可为低中间视觉瞳孔提供一定的参考数据,但对于调节紧张、服用神经系统药物或裂隙灯显微镜检查瞳孔较大者,仍需使用标准的暗瞳仪,如 Colvard 暗瞳测量仪进行复核,对于确定中间视觉瞳孔直径较大患者,可适当进行光学区调整,优化手术测量方案。

综上所述,中间视觉作为夜间视力及视功能的主要视觉状态,受瞳孔等多因素影响,对于近视人群来说,年龄、角膜曲率是影响 LMPS 的主要因素。散光较大者,HMPS 受影响显著。中间视觉瞳孔直径本就难以准确测量,现应用 Pentacam 测量的瞳孔直径结果 < 3.6 mm 时,可较好地预测 LMPS 是否低于 7 mm。当然,Pentacam 测量结果不能完全替代暗瞳计,在临床中,仍需要采用标准的暗瞳测量仪,如 Colvard 暗瞳测量仪,对特殊患者进行测量,以减少或避免术后眩光的可能,为中间视觉质量评估提供更为精准的瞳孔数据,为屈光手术患者提供参考。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在任何利益冲突

**作者贡献声明** 李梦迪:参与选题、设计试验、采集数据、分析/解释数据、起草文章;王雁:参与选题、酝酿和设计试验、对文章知识性内容的审阅和智力性内容的修改及定稿;宋一:采集数据、分析/解释数据、起草文章;张琳:酝酿和设计试验,对文章知识性内容的审阅和智力性内容的修改及定稿;赵新恒、张妍:实施研究、采集数据

## 参考文献

- [1] Lin RJ, Ng JS, Nguyen AL. Determinants and standardization of mesopic visual acuity [J]. *Optom Vis Sci*, 2015, 92(5): 559-565. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000584.
- [2] Lenton L. Visual performance in a flight simulator: multifocal intraocular lenses in pilots [J/OL]. *BMJ Open Ophthalmol*, 2018, 3(1): e000139 [2022-06-10]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30123845/>. DOI: 10.1136/bmjophth-2017-000139.
- [3] Wang Y, Zhao K, Yang X, et al. Higher order aberrations and low contrast vision function in myopic eyes (-3.00 to -6.00 D) under mesopic conditions [J]. *J Refract Surg*, 2011, 27(2): 127-134. DOI: 10.3928/1081597X-20100430-01.
- [4] Quesnel NM, Lovasik JV, Ferremi C, et al. Laser in situ keratomileusis for myopia and the contrast sensitivity function [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2004, 30(6): 1209-1218. DOI: 10.1016/j.jcrs.2003.11.040.
- [5] Elkhatkhat RS, Fouad YA, Shams A, et al. Normative values of corneal spherical aberration, pupil size, and other key refractive and topographic parameters in a large cohort of egyptian cataract surgery candidates [J]. *Clin Ophthalmol*, 2020, 14: 4571-4577. DOI: 10.2147/OPTH.S288738.
- [6] Yam JC, Li FF, Zhang X, et al. Two-year clinical trial of the low-concentration atropine for myopia progression (LAMP) study: phase 2 report [J]. *Ophthalmology*, 2020, 127(7): 910-919. DOI: 10.1016/j.ophtha.2019.12.011.
- [7] Netto MV, Ambrósio R Jr, Wilson SE. Pupil size in refractive surgery candidates [J]. *J Refract Surg*, 2004, 20(4): 337-342. DOI: 10.3928/1081-597X-20040701-06.
- [8] Myung D, Schallhorn S, Manche EE. Pupil size and LASIK: a review [J]. *J Refract Surg*, 2013, 29(11): 734-741. DOI: 10.3928/1081597X-20131021-02.
- [9] Liu Q, Yang X, Lin L, et al. Review on centration, astigmatic axis alignment, pupil size and optical zone in SMILE [J]. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2019, 8(5): 385-390. DOI: 10.1097/01.APO.0000580144.22353.46.
- [10] Chaidaroon W, Juwattanasomran W. Colvard pupillometer measurement of scotopic pupil diameter in emmetropes and myopes [J]. *Jpn J Ophthalmol*, 2002, 46(6): 640-644. DOI: 10.1016/s0021-5155(02)00556-7.
- [11] Kohnen T, Terzi E, Bühren J, et al. Comparison of a digital and a handheld infrared pupillometer for determining scotopic pupil diameter [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2003, 29(1): 112-117. DOI: 10.1016/s0886-3350(02)01898-9.
- [12] Kanellopoulos AJ, Asimellis G. Clear-cornea cataract surgery: pupil size and shape changes, along with anterior chamber volume and depth changes. A Scheimpflug imaging study [J]. *Clin Ophthalmol*, 2014, 8: 2141-2150. DOI: 10.2147/OPTH.S68370.
- [13] Kimlin JA, Black AA, Wood JM. Nighttime driving in older adults: effects of glare and association with mesopic visual function [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(5): 2796-2803. DOI: 10.1167/iov.16-21219.
- [14] Owsley C, Swain T, Liu R, et al. Association of photopic and mesopic contrast sensitivity in older drivers with risk of motor vehicle collision using naturalistic driving data [J/OL]. *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1): 47 [2022-06-13]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7001303/>. DOI: 10.1186/s12886-020-1331-7.
- [15] Haw WW, Manche EE. Effect of preoperative pupil measurements on glare, halos, and visual function after photoastigmatic refractive keratectomy [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2001, 27(6): 907-916. DOI: 10.1016/s0886-3350(01)00871-9.
- [16] Bailey MD, Mitchell GL, Dhaliwal DK, et al. Patient satisfaction and visual symptoms after laser in situ keratomileusis [J]. *Ophthalmology*, 2003, 110(7): 1371-1378. DOI: 10.1016/S0161-6420(03)00455-X.
- [17] Han T, Zhao F, Chen X, et al. Evaluation of disk halo size after small incision lenticule extraction (SMILE) [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2019, 257(12): 2789-2793. DOI: 10.1007/s00417-019-04481-1.
- [18] Yoon MK, Schmidt G, Lietman T, et al. Inter- and intraobserver reliability of pupil diameter measurement during 24 hours using the Colvard pupillometer [J]. *J Refract Surg*, 2007, 23(3): 266-271. DOI: 10.3928/1081-597X-20070301-09.
- [19] Linke SJ, Baviera J, Munzer G, et al. Mesopic pupil size in a refractive surgery population (13,959 eyes) [J]. *Optom Vis Sci*, 2012, 89(8): 1156-1164. DOI: 10.1097/OPX.0b013e318263c165.
- [20] Cakmak HB, Cagil N, Simavli H, et al. Corneal white-to-white distance and mesopic pupil diameter [J]. *Int J Ophthalmol*, 2012, 5(4): 505-509. DOI: 10.3980/j.issn.2222-3959.2012.04.19.
- [21] Cakmak HB, Cagil N, Simavli H, et al. Refractive error may influence mesopic pupil size [J]. *Curr Eye Res*, 2010, 35(2): 130-136. DOI: 10.3109/02713680903447892.
- [22] Guillon M, Dumbleton K, Theodoratos P, et al. The effects of age, refractive status, and luminance on pupil size [J]. *Optom Vis Sci*, 2016, 93(9): 1093-1100. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000893.
- [23] Kohnen T, Terzi E, Kasper T, et al. Correlation of infrared pupillometers and CCD-camera imaging from aberrometry and videokeratography for determining scotopic pupil size [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2004, 30(10): 2116-2123. DOI: 10.1016/j.jcrs.2004.05.009.
- [24] Hsieh YT, Hu FR. The correlation of pupil size measured by Colvard pupillometer and Orbscan II [J]. *J Refract Surg*, 2007, 23(8): 789-795. DOI: 10.3928/1081-597X-20071001-08.
- [25] Telek HH, Erdol H, Turk A. The effects of age on pupil diameter at different light amplitudes [J]. *Beyoglu Eye J*, 2018, 3(2): 80-85. DOI: 10.14744/bej.2018.43534.
- [26] Rukmini AV, Chew MC, Finkelstein MT, et al. Effects of low and moderate refractive errors on chromatic pupillometry [J/OL]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 4945 [2022-06-15]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30894608/>. DOI: 10.1038/s41598-019-41296-w.
- [27] McDonnell C, Rolincova M, Venter J. Comparison of measurement of pupil sizes among the colvard pupillometer, procyon pupillometer, and NIDEK OPD-scan [J]. *J Refract Surg*, 2006, 22(9 Suppl): S1027-S1030. DOI: 10.3928/1081-597X-20061102-04.
- [28] Schallenberg M, Bangre V, Steuhl KP, et al. Comparison of the Colvard, Procyon, and Neuroptics pupillometers for measuring pupil diameter under low ambient illumination [J]. *J Refract Surg*, 2010, 26(2): 134-143. DOI: 10.3928/1081597X-20100121-09.
- [29] Bootsma S, Tabzib N, Eggink F, et al. Comparison of two pupillometers in determining pupil size for refractive surgery [J]. *Acta Ophthalmol Scand*, 2007, 85(3): 324-328. DOI: 10.1111/j.1600-0420.2006.00823.x.

(收稿日期:2022-08-10 修回日期:2023-01-26)

(本文编辑:刘艳 施晓萌)

