

近视眼中间视觉和明视觉环境下屈光度和高阶像差的变化

宋一 王雁 崔彤 马娇楠

天津医科大学眼科临床学院 天津市眼科医院 天津市眼科学与视觉科学重点实验室
300020

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

【摘要】 目的 比较近视眼中间视觉环境与明视觉环境下屈光度和高阶像差的变化。**方法** 采用横断面研究设计,连续纳入 2017 年 2 月 6—28 日在天津市眼科医院拟行屈光手术的近视及近视散光患者 71 例 71 眼。采用 OPD Scan-III 屈光力/角膜分析仪测定受检眼中间视觉环境和明视觉环境下的球镜度、柱镜度及全眼高阶像差,对中间视觉环境与明视觉环境下受检眼瞳孔直径、屈光度和高阶像差进行比较。**结果** 与中间视觉环境比较,受检眼在明视觉环境下瞳孔直径较小,差异有统计学意义($t = -66.730, P < 0.001$)。明视觉环境与中间视觉环境环境下受检眼等效球镜度分别为 (-6.50 ± 2.38) D 和 (-6.85 ± 2.75) D,柱镜度分别为 (-0.84 ± 0.76) D 和 (-1.27 ± 0.91) D,差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$);2 种环境下测得的球镜度值比较差异无统计学意义($P = 0.212$)。中间视觉环境下总高阶像差、总三叶草差及总球差等均方根(RMS)值均较明视觉环境下增加,差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$);中间视觉环境下 Zernike 多项式各项系数 RMS 值均较明视觉环境下检测值增加,差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。**结论** 近视和近视散光眼在中间视觉环境下的屈光度和高阶像差均高于明视觉环境下的测定值。

【关键词】 中间视觉; 明视觉; 视觉质量; 高阶像差; 屈光度

基金项目: 国家自然科学基金项目(81670884)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200519-00356

Changes of refraction power and higher-order aberrations under mesopic and photopic conditions in myopic eyes

Song Yi, Wang Yan, Cui Tong, Ma Jiaonan

Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University, Tianjin Eye Hospital, Tianjin Key Laboratory of Ophthalmology and Vision Science, Tianjin Eye Institute, Tianjin 300020, China

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

[Abstract] Objective To investigate the changes of refraction power and higher-order aberrations under mesopic and photopic vision conditions. **Methods** A cross-sectional study was performed. Seventy-one eyes of 71 patients with myopia or myopic astigmatism were enrolled in Tianjin Eye Hospital from February 6 to 28 in 2017. Spherical diopter, cylindrical diopter and higher-order aberrations were examined with NIDEK OPD Scan-III. The pupil size, refractive power, total higher-order aberrations and Zernike aberration coefficients were compared between mesopic and photopic conditions. The study protocol was approved by an Ethics Committee of Tianjin Eye Hospital. Written informed consent was obtained from each subject prior to any medical examination. **Results** The mean pupil diameter of the photopic conditions was significantly smaller than that of mesopic condition ($t = -66.730, P < 0.001$). The mean spherical equivalent (SE) were (-6.85 ± 2.75) D and (-6.50 ± 2.38) D under mesopic and photopic conditions, and mean cylindrical diopter were (-1.27 ± 0.91) D and (-0.84 ± 0.76) D, respectively, with statistically significant differences between the two conditions (both at $P < 0.001$). There was no significant difference in spherical diopter between photopic and mesopic conditions ($P = 0.212$). The root mean square (RMS) values of total higher order aberration, total trefoil, total coma and total spherical aberration under mesopic condition were significantly higher than those under photopic condition (all at $P < 0.001$), and the RMS values of Zernike aberration coefficients were significantly increased in mesopic condition compared with the photopic condition (all at $P < 0.001$).

Conclusions Both refractive power and higher-order aberrations in photopic condition are higher than those in

mesopic condition.

[Key words] Mesopic vision; Photopic vision; Visual quality; Higher-order aberrations; Refraction

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

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200519-00356

人眼视觉活动与环境亮度密切相关。暗、明视觉分别指环境亮度低于 $1 \times 10^{-3} \text{ cd/m}^2$ 时和为 $1 \times 10 \sim 3 \times 10^4 \text{ cd/m}^2$ 的视觉,中间视觉环境亮度介于两者之间的视觉^[1]。除明视觉视力外,中间视觉视力是评价视功能和早期发现眼部疾病的有效指标^[2-4],人的夜间活动多为中间视觉环境下的视觉活动^[5]。目前角膜屈光手术的安全性和有效性已得到证实,但近年来患者术后夜间视觉质量引起关注^[6]。因此中间视觉环境下视觉质量评估十分重要,但目前相关的研究仍相对较少。本研究对近视眼明视觉与中间视觉环境下屈光度和高阶像差的变化进行分析。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用横断面研究设计,连续纳入 2017 年 2 月 6-28 日在天津市眼科医院拟行屈光手术的近视及近视散光患者 71 例 71 眼,其中男 21 例,女 50 例;年龄 18~41 岁,平均(23.7±5.9)岁;球镜度为-1.25~-13.75 D,平均(-5.60±2.19)D;柱镜度为 0.00~-2.50 D,平均(-0.65±0.64)D;角膜前表面曲率为 40.4~45.6 D,平均(43.0±1.4)D;中央角膜厚度为 492.00~644.00 μm ,平均(548.31±30.94) μm 。为排除个体因素及镜面效应对结果的影响,均取受检者右眼数据纳入分析。纳入标准:(1)最佳矫正视力(小数视力) ≥ 0.8 ;(2)眼压 $\leq 21 \text{ mmHg}$ (1 mmHg = 0.133 kPa);(3)屈光间质透明;(4)瞳孔对光反射灵敏。排除标准:(1)黄斑病变、视网膜变性、视网膜脱离患者;(2)有眼部活动性炎症及除近视以外的其他眼部疾病者;(3)有眼部手术史及外伤史者;(4)心脑血管疾病、肝脏和肾脏疾病患者。本研究经天津市眼科医院伦理委员会审核批准(批文号:201821),所有患者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 检查方法 采用 OPD Scan-III 屈光力/角膜分析仪(日本 NIDEK 公司)测量受检眼屈光度,采用视网膜检眼镜双程技术获取受检眼全眼高阶像差。受检者暗适应 5 min,受检者睁大双眼,暴露角膜及全部瞳孔,保证泪膜完整。仪器初始照度为 3.5 lx 以模拟中间视觉环境;使 Placido 环亮起,照度为 125.6 lx 以模拟明视觉环境。每眼测量 3~5 次,选取 Placido 环环

数 ≥ 20 环、瞳孔直径 $\geq 6 \text{ mm}$ 者进行记录并取平均值。检查均由同一经验丰富的检查者完成。

1.2.2 评估指标 对明视觉环境与中间视觉环境下受检眼瞳孔直径、屈光度、高阶像差进行比较。屈光度包括球镜度、柱镜度、等效球镜度;高阶像差包括总高阶像差、总三叶草差、总彗差和总球差以及各项高阶像差,以均方根(root mean square, RMS)计算。评估 2 种视觉环境下受检眼各上述指标变化。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 22.0 统计学软件(美国 IBM 公司)进行分析。受检眼球镜度和柱镜度等数据经 K-S 检验符合正态分布,以 $\text{mean} \pm \text{SD}$ 表达;高阶像差 RMS 值经 K-S 检验不符合正态分布,以 $M(Q_1, Q_3)$ 表达。受检者在明视觉环境下与中间视觉环境下测定的瞳孔直径、球镜度、柱镜度、等效球镜度差异比较均采用配对 t 检验,2 种环境下检查的高阶像差差异比较均采用 Wilcoxon 秩和检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 受检眼在不同视觉环境下瞳孔直径比较

受检眼在明视觉环境下瞳孔直径平均为(3.68±0.46)mm,小于中间视觉环境下的(6.85±0.53)mm,差异有统计学意义($t = -66.730, P < 0.001$)。

2.2 受检眼在不同视觉环境下屈光度比较

受检眼在明视觉环境下测定的柱镜度和等效球镜度值均低于中间视觉环境下的测定值,差异均有统计学意义($t = 4.624, 3.532$, 均 $P < 0.001$);受检眼在明视觉环境下测定的球镜度低于中间视觉环境下测定值,但差异无统计学意义($t = 1.261, P = 0.212$)(表 1)。

表 1 不同视觉环境下受检眼屈光度比较 (mean±SD, D)
Table 1 Comparison of refraction power between photopic and mesopic conditions (mean±SD, D)

检查环境	眼数	球镜度	柱镜度	等效球镜度
明视觉环境	71	-6.08±2.27	-0.84±0.76	-6.50±2.38
中间视觉环境	71	-6.22±2.72	-1.27±0.91	-6.85±2.75
t 值		1.261	4.624	3.532
P 值		0.212	<0.001	<0.001

注:(配对 t 检验)
Note:(Paired t test)

2.3 不同视觉环境下总高阶像差和各项高阶像差比较

中间视觉环境下,受检眼总高阶像差、总三叶草差、总彗差和总球差 RMS 值均高于明视觉环境,差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。中间视觉环境下 Zernike 多项式各项高阶像差 RMS 值均较明视觉环境下检测值增加,差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。从明视觉到中间视觉环境,在对视觉质量影响较大的几项高阶像差中,球差(Z_4^0)变化最为显著,约增加 8 倍。垂直彗差(Z_3^{-1})、水平彗差(Z_3^1)、垂直三叶草差(Z_3^{-3})及水平三叶草差(Z_3^3)分别增加约 5、4、3 和 2 倍(表 2,3)。

表 2 不同视觉环境下各总高阶像差 RMS 值比较 [$M(Q_1, Q_3), \mu\text{m}$]
Table 2 Comparison of higher-order aberrations between photopic and mesopic conditions [$M(Q_1, Q_3), \mu\text{m}$]

检查环境	眼数	总高阶像差	总三叶草差	总彗差	总球差
明视觉环境	71	0.106(0.079, 0.154)	0.077(0.052, 0.126)	0.034(0.022, 0.050)	0.015(0.005, 0.028)
中间视觉环境	71	0.493(0.400, 0.627)	0.286(0.169, 0.420)	0.246(0.144, 0.354)	0.161(0.075, 0.284)
Z 值		-19.061	-12.715	-7.317	-7.232
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:RMS:均方根(Wilcoxon 秩和检验)
 Note:RMS:root mean square (Wilcoxon rank test)

表 3 不同视觉环境下 Zernike 多项式各项系数 RMS 值比较 [$M(Q_1, Q_3), \mu\text{m}$]
Table 3 Comparison of Zernike aberration coefficients between photopic and mesopic conditions [$M(Q_1, Q_3), \mu\text{m}$]

检查环境	眼数	不同 Zernike 系数 RMS 值			
		Z_3^{-3}	Z_3^{-1}	Z_3^1	Z_3^3
明视觉环境	71	0.043(0.020, 0.104)	0.026(0.011, 0.041)	0.018(0.008, 0.028)	0.041(0.025, 0.063)
中间视觉环境	71	0.175(0.085, 0.338)	0.165(0.063, 0.294)	0.086(0.041, 0.155)	0.129(0.061, 0.205)
Z 值		-6.824	-7.045	-6.830	-6.587
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

检查环境	眼数	不同 Zernike 系数 RMS 值			
		Z_4^{-2}	Z_4^0	Z_4^2	Z_5^{-1}
明视觉环境	71	0.007(0.003, 0.013)	0.015(0.005, 0.028)	0.009(0.004, 0.017)	0.005(0.002, 0.009)
中间视觉环境	71	0.049(0.021, 0.071)	0.141(0.075, 0.283)	0.060(0.034, 0.104)	0.034(0.020, 0.055)
Z 值		-6.985	-7.165	-7.217	-7.065
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

检查环境	眼数	不同 Zernike 系数 RMS 值			
		Z_5^1	Z_6^{-2}	Z_6^0	Z_6^2
明视觉环境	71	0.003(0.002, 0.005)	0.000(0.000, 0.001)	0.001(0.001, 0.002)	0.000(0.000, 0.001)
中间视觉环境	71	0.017(0.008, 0.031)	0.011(0.005, 0.023)	0.031(0.018, 0.047)	0.021(0.008, 0.038)
Z 值		-6.497	-7.098	-7.175	-7.266
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:RMS:均方根(Wilcoxon 秩和检验)
 Note:RMS:root mean square (Wilcoxon rank test)

3 讨论

本研究中发现,中间视觉瞳孔直径较明视觉瞳孔直径增大约 3.17 mm,与既往研究结论一致^[7]。然而,瞳孔直径与夜间视觉质量的关系仍存在争议^[2,8-10]。Lin 等^[2]研究发现瞳孔直径与夜视力下降无关。Schallhorn 等^[10]研究表明,瞳孔直径与准分子激光角膜原位磨镶术后早期夜间视觉不良症状有关。本研究中瞳孔直径与屈光度都随环境亮度的改变而发生变化,同时本研究中大部分高阶像差及部分低阶像差(如散光)随环境亮度提高而有所增加,一定程度上支持了瞳孔直径增加,会对视觉质量和视觉功能造成影响。

本研究中,在中间视觉环境下等效球镜度增加约 -0.43 D,推测原因与调节有关,即环境亮度较弱时,视野中物体对比度下降,调节刺激减弱,人眼调焦介于无穷远与近点之间某处,呈现出与近视相似的特征,类似于暗环境下人眼呈一定程度的近视趋势^[8]。进一步分析显示,中间视觉环境下柱镜度增加约 -0.35 D,而球镜度较明视觉环境未显示明显变化。中间视觉环境下屈光度改变主要是由于散光度数增大,分析原因可能是中间视觉环境下仍存在一定量的调节刺激,不同子午线对这部分调节刺激的反应不同,弱屈光光子午线调节反应小于调节刺激,而强屈光光子午线调节反应与调节刺激基本等同,从而使散光度数增加^[11]。另一方面,中间视觉环境下瞳孔直径增大,可能使得更多的晶状体散光得以暴露,从而导致散光度增加,其具体机制仍需进一步研究。

本研究结果显示在中间视觉环境下,人眼高阶像差增加。波前像差是瞳孔平面评价人眼视觉质量的主要指标^[1]。人眼像差通常以泽尼

克金字塔的形式表示,其中阶数越低,越靠近金字塔中轴,对视觉质量影响越大^[12]。本研究对 3~6 阶像差进行分析,选取其中对视觉质量影响较大的各项像差进行分析,发现中间视觉环境下各项高阶像差 RMS 值增大,尤以球差变化最为显著,较明视觉环境增大 8 倍,其原因可能与中间视觉环境下瞳孔直径增大有关。在 4、5 和 6 mm 瞳孔直径下, Z_3^{-3} 、 Z_3^3 、 Z_3^{-1} 、 Z_3^1 、 Z_4^0 、 Z_6^{-2} 和 Z_6^2 等高阶像差增大^[13],其中球差变化比较明显,可能是因为瞳孔直径增大使更多的周边光线进入人眼,而球差正是由于周边光线与近轴光线经光学系统聚焦不在同一平面所产生。另外,He 等^[14]研究发现,调节会导致高阶像差变化,以球差为主,呈现由正值向零,乃至负值的变化趋势。中间视觉环境下高阶像差增大与调节是否相关及其具体机制还需进一步研究。

本研究中的中间视觉及明视觉环境下照度及明视觉暴露时间均为测量仪器固有设定,无法人为调节,这样一方面量化了测量条件,使不同研究对象的测量结果具有可比性;另一方面,由于从中间视觉环境到明视觉环境的明适应过程中,人眼发生一系列动态变化,尽管测量前患者已暗适应,且人眼明适应所需时间较短,会残留后续效应以及明视暴露时间不够充分的问题,对研究结果造成一定影响。这些效应的机制及如何消除尚需进一步研究。

综上所述,中间视觉环境下,人眼视觉质量较明视觉环境下降。因此,对于拟行角膜屈光手术的患者应行中间视觉质量评估,以利于患者宣教及术后夜间不良视觉症状的规避;另外,鉴于中间视觉视力对于眼部疾病早期诊断的重要性,临床上应建立起中间视觉视力评估规范,包括照度标准等,并需要进一步对中间视觉下变化机制的研究。

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] 王雁,赵堪兴.波前像差与临床视觉矫正[M].北京:人民卫生出版社,2011:64,78.

- [2] 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.
- [3] Petzold A, Plant GT. Clinical disorders affecting mesopic vision[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2006, 26(3): 326-341. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2006.00417.x.
- [4] Tang W, Heng WJ, Lee HM, et al. Efficacy of measuring visual performance of LASIK patients under photopic and mesopic conditions[J]. *Ann Acad Med Singapore*, 2006, 35(8): 541-546.
- [5] 杨春宇,胡英奎,陈仲林.用中间视觉理论研究道路照明节能[J]. *照明工程学报*, 2008, 19(4): 44-47. DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2008.04.007.
- Yang CY, Hu YK, Chen ZL. Study on road lighting energy saving based on mesopic theory[J]. *Chin Illumina Engine J*, 2008, 19(4): 44-47. DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2008.04.007.
- [6] 王雁,郝维婷.有效控制角膜屈光手术后光学并发症以不断提高手术后视觉质量[J]. *中华实验眼科杂志*, 2017, 35(6): 481-485. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2017.06.001.
- Wang Y, Hao WT. Controlling optical complications after corneal refractive surgery and improving visual quality[J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2017, 35(6): 481-485. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2017.06.001.
- [7] 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.
- [8] Hope GM, Rubin ML. Night myopia[J]. *Surv Ophthalmol*, 1984, 29(2): 129-136.
- [9] Chan A, Manche EE. Effect of preoperative pupil size on quality of vision after wavefront-guided LASIK[J]. *Ophthalmology*, 2011, 118(4): 736-741. DOI: 10.1016/j.ophtha.2010.07.030.
- [10] Schallhorn SC, Kaupp SE, Tanzer DJ, et al. Pupil size and quality of vision after LASIK[J]. *Ophthalmology*, 2003, 110(8): 1606-1614. DOI: 10.1016/S0161-6420(03)00494-9.
- [11] Ukai K, Ichihashi Y. Changes in ocular astigmatism over the whole range of accommodation[J]. *Optom Vis Sci*, 1991, 68(10): 813-818. DOI: 10.1097/00006324-199110000-00011.
- [12] Applegate RA, Sarver EJ, Khemsara V. Are all aberrations equal? [J]. *J Refract Surg*, 2002, 18(5): 556-562.
- [13] Wang Y, Zhao K, Jin Y, et al. Changes of higher order aberration with various pupil sizes in the myopic eye[J]. *J Refract Surg*, 2003, 19(2): 270-274.
- [14] He JC, Burns SA, Marcos S. Monochromatic aberrations in the accommodated human eye[J]. *Vision Res*, 2000, 40(1): 41-48. DOI: 10.1016/S0042-6989(99)00156-x.

(收稿日期:2020-04-12 修回日期:2020-06-05)

(本文编辑:尹卫靖 杜娟)

读者·作者·编者

本刊对一稿两投的处理

作者投稿请勿一稿两投或一稿多投。本刊编辑部发现一稿两投并经证实后,稿件将不予审理并对作者进行告知。如果发现一稿两用,本刊将做出如下处理:(1)在本刊杂志及网站上刊登撤销该论文及该文系重复发表的声明,并在中华医学会系列杂志上通报。(2)向作者所在单位和该领域内的其他科技期刊进行通报。(3)2年内拒绝发表其作为第一作者或通信作者的任何来稿。

文章未在公开发表物上发表者、以不同文字分别投往国外期刊和国内期刊以供不同受众者阅读者不属于一稿两投的行为,但本刊严格遵照国际医学期刊编辑委员会《国际生物医学期刊投稿统一要求》(http://www.icmje.org/urm_main.html),属于以不同语言文字二次发表者,请作者在首次接受稿件的期刊发表后1周再另行投稿,并提供首次发表期刊同意以不同语言发表的同意函。

(本刊编辑部)