

实验性近视豚鼠模型研究进展

周桂梅^{1,2}, 兰长骏^{1,2}, 廖 莹^{1,2}

引用:周桂梅,兰长骏,廖莹. 实验性近视豚鼠模型研究进展. 国际眼科杂志 2023;23(3):430-434

基金项目:四川省医学会科研课题(No.S20016);南充市市校科技战略合作专项(No.22SXFWDF0003);川北医学院青年项目(No.CBY22-QNA15)

作者单位:¹(637000)中国四川省南充市,川北医学院附属医院眼科;²(637000)中国四川省南充市,川北医学院眼视光医学院

作者简介:周桂梅,毕业于川北医学院,硕士,研究方向:眼视光学。

通讯作者:廖莹,毕业于四川大学,博士,教授,博士研究生导师,研究方向:眼视光学. aleexand@163.com

收稿日期:2022-03-28 修回日期:2023-02-06

摘要

近视发病率逐年上升,严重影响着公众生活质量,为探索近视的发病机制,迄今已经建立了多种实验性近视动物模型。豚鼠在近视研究方面具有明显的优点,目前是亚洲实验室最常见的近视动物模型,但是不同的造模方式各有优缺点,了解不同的造模方式有利于选择适合的动物模型以及匹配不同的研究目的,可使研究结果更具说服力。本文对近年来豚鼠近视模型的不同造模方式及其特点、以及豚鼠眼部组织形态学的变化等方面进行简要综述,为进一步研究近视发生发展的分子机制寻找新的治疗策略提供一定的参考。

关键词:近视;豚鼠;动物模型;组织形态学

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.3.16

Advances in experimental myopic guinea pig models

Gui-Mei Zhou^{1,2}, Chang-Jun Lan^{1,2}, Xuan Liao^{1,2}

Foundation items: Project of Sichuan Medical Association (No. S20016); Project of the Strategic Cooperation of City and College in Nanchong (No.22SXFWDF0003); Youth Project of North Sichuan Medical College (No.CBY22-QNA15)

¹Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China;

²Medical School of Ophthalmology & Optometry, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China

Correspondence to: Xuan Liao. Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China; Medical School of Ophthalmology & Optometry, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China. aleexand@163.com

Received:2022-03-28 Accepted:2023-02-06

Abstract

• The prevalence of myopia is increasing year by year, seriously affecting the public's quality of life. To date, various animal models of myopia have been established to explore the pathogenesis of myopia. Guinea pigs have obvious advantages in myopia research. At present, guinea pigs are the most common myopia animal model in Asian laboratories, but different modeling methods have their own advantages and disadvantages. Understanding different modeling methods is conducive to selecting appropriate animal models and matching different research purposes, which makes the research results more persuasive. In this paper, the different modeling methods and characteristics of guinea pig myopia model in recent years, as well as the changes of ocular histomorphology in guinea pigs are briefly reviewed, with a view to providing some reference for further study of the molecular mechanism of myopia occurrence and development and finding new treatment strategies.

• KEYWORDS: myopia; guinea pig; animal model; histomorphology

Citation: Zhou GM, Lan CJ, Liao X. Advances in experimental myopic guinea pig models. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023; 23(3):430-434

0 引言

近视是亟待解决的国际公共卫生问题,发病机制尚未完全明确。实验研究是探索其分子机制的重要方法,而近视模型的构建是动物实验成功的关键。目前多种动物被用于建立近视模型,例如猴、树鼩、鸡、小鼠、豚鼠等。猴属灵长类动物,但繁殖率低且视觉发育速度很慢^[1];树鼩与灵长类动物亲缘关系相对最为接近,但树鼩与人类的视觉发育状态有所差异,且价格较高不易获得^[2];鸡属禽类,其解剖结构和调节机制与哺乳动物差异较大^[3];小鼠眼睛较小测量不便,易造成测量结果的差异。豚鼠性情温顺、配合度高、视觉发育快,出生时便具有发育完善的视觉系统,能区分不同的物体和线性方向,眼球较大,有利于各项参数的测量,具有成本低、繁殖力强、动物家系明确等优点^[4-5],因此豚鼠是比较理想的实验性近视模型动物,也是最为常见的近视模型动物。目前近视造模方式多样,不同的造模方式各有优缺点,了解不同的造模方式有利于选择适合的动物模型以及匹配不同的研究目的。本文对实验性近视豚鼠造模方式及其眼部形态学变化的研究进展进行了总结,以为为近视的深入研究提供参考。

1 实验性近视豚鼠造模方式

1.1 经典造模法

1.1.1 形觉剥夺性近视模型 形觉剥夺性近视 (form-deprivation myopia, FDM) 动物模型的成功建立为近视的分子生物学研究的发展奠定了基础。形觉剥夺 (form deprivation, FD) 抑制视网膜清晰成像, 持续模糊的图像信号沿脉络膜传到巩膜, 引起巩膜细胞外基质重塑, 从而促进了眼睛的加速生长, 导致眼部屈光的改变^[6-7]。缝合上下眼睑^[8]、配戴弥散镜片^[9]和面罩遮盖等^[10]是 FDM 造模的主要方法, 并且视网膜成像越模糊诱发的轴性近视越严重。缝合上下眼睑是一种有创的造模方式, 需要进行全身麻醉, 该造模方式容易引起豚鼠应激、睑球黏连和挤压角膜等不良反应, 甚至可能会导致豚鼠死亡; 配戴弥散镜片需要使用胶水将毡扣环黏在眼睛周围, 易诱发过敏反应; 面罩遮盖则无需对豚鼠进行麻醉, 不会挤压或限制眼睑运动, FD 的眼睛可以在面罩后面自由眨眼。并且摘除面罩检查眼部参数更方便、无创且省时, 也便于观察豚鼠近视恢复过程, 所以面罩遮盖是目前常用的建立豚鼠 FDM 模型的方法。FD 是一种“开环”系统, 因为在视觉发育期内只要持续进行 FD, 眼球就会增长, 近视度数持续增加, 这是由于被剥夺眼缺乏视觉反馈并且没有确定的屈光终点^[4,11]。

目前大多数研究使用 2~3 周龄豚鼠进行近视造模, Tian 等^[12]发现 2 周龄豚鼠形觉剥夺 4wk 后, FDM 眼相较于空白对照眼眼轴长度增加 0.57mm 左右, 屈光度则增加大约 -5.45D, 形觉剥夺 0~4wk 内豚鼠眼轴及屈光度变化最明显, 4wk 后近视化程度明显减慢, 因此一般 4wk 左右即可建立 FDM 模型。先天性白内障、上睑下垂、角膜混浊等眼部疾病导致的近视与 FDM 原理相符, 因此用 FDM 模型来模拟这些眼部疾病导致的早期 FDM 具有一定优势。

1.1.2 透镜诱导性近视模型 透镜诱导性近视 (lens-induced myopia, LIM) 又称离焦诱导性近视, 豚鼠配戴负透镜或负度数隐形眼镜可以产生远视离焦诱导近视的发生。近年来我国学龄儿童近视发病率明显上升, 发病年龄也越来越小, 可能与近距离用眼时间过长有关 (调节滞后, 图像聚焦在视网膜后), 其与 LIM 原因相似^[13], 因此 LIM 豚鼠模型可用于模拟大部分青少年近视。LIM 是一种“闭环”状态, 因为配戴负透镜后, 图像聚焦在视网膜后某平面, 为获得清晰图像, 眼球向焦点方向定向生长, 从而引起代偿性眼轴增长; 由于负透镜度数恒定, 所以一旦眼轴增长到可以补偿镜片离焦引起的屈光不正, 眼球的生长就会恢复到正常的增长速率^[11,14]。虽然不同研究团队建立 LIM 豚鼠模型时使用负透镜的度数 (例如: -6.00、-7.00、-10.00D) 不一定一致^[4,15-16], 但一般 2~8wk 能成功建立 LIM 模型。

周边离焦镜片也可以促进近视的发生, 由于该近视诱导方法容易受到镜片位置改变的影响, 操作较为复杂, 所以目前较少使用该镜片诱导建立豚鼠近视模型。但是也有一些相关研究, 例如 Bowrey 等^[17]发现豚鼠配戴 -4.00D 单焦镜片和 0/-4.00D 周边远视离焦镜片, 约 2wk 后出现

近视漂移现象; 然而配戴周边近视离焦镜片的豚鼠, 近视发展则被抑制。周边远视离焦镜片将周边光线汇聚在视网膜后, 为使视网膜清晰成像, 眼球便向后生长, 最终眼球过度伸长形成近视; 周边近视离焦镜片使周边光线汇聚在视网膜前, 抑制眼球向后生长, 延缓眼轴增长, 从而控制近视发展。尽管周边离焦镜片已被应用于临床, 但其潜在的分子生物学机制仍有待进一步探索。

1.2 光诱导造模法

1.2.1 闪烁光诱导性近视模型 近年来城市快速发展, 公共场所过度追求多彩炫目的效果, 此外人们长时间使用手机、电脑和电视等屏幕频繁跳动的电子产品, 使得长期处于频繁光闪烁的“光污染”环境中。“光污染”可能是导致近视率快速上升的原因之一。有研究表明持续闪烁的光可引起豚鼠近视, 称为闪烁光诱导性近视 (flickering light induced myopia, FLM)^[18]。在不同频率的闪烁光 (5、1、0.5、0.25、0.1Hz) 诱导下, 2 周龄的豚鼠 2wk 左右会发生不同程度的近视漂移和眼轴增长, 其中 0.5Hz 闪烁光诱导发生的近视漂移和眼轴增长相对更明显^[19-20]。Tian 等^[21]进一步发现 0.5Hz 的闪烁光比 20Hz 更能促进豚鼠眼轴增长和近视漂移。说明在闪烁光频率过高或过低时都可能会导致近视的发生, 0.5Hz 频率时诱发的近视漂移可能最大。Luo 等^[20]研究发现 FLM 豚鼠模型的视网膜和玻璃体内多巴胺 (dopamine, DA) 及其代谢物的水平明显升高, 该结果与在 FDM 豚鼠模型得到的结果完全不同。这意味着这两种实验性近视的分子机制可能亦有不同, 说明长期闪烁光下工作者的近视机制研究最好选择 FLM 模型, 根据研究目的选择相应的近视造模方式得到的研究结果也更加可信。

1.2.2 色觉失平衡性近视模型 视觉包括形觉、光觉和色觉, 色觉是不同波长的光作用于视觉系统后产生的一种主观感受, 其在屈光发育中也起着重要的作用。光的波长对近视也有影响, 不同波长的光可改变色觉信号从而影响屈光发育, 由不同波长的单色光诱导形成的模型称为色觉失平衡性近视模型^[22]。因为折射率与波长的变化成反比, 短波长蓝光比长波长红光折射力更强^[23], 所以眼睛远视离焦时, 视网膜图像的蓝色成分会比红色成分清楚; 眼睛近视离焦时, 视网膜图像的蓝色成分会比红色成分模糊。部分研究表明, 长波长和中波长组豚鼠眼轴伸长加快, 表现为相对近视, 短波长组豚鼠眼轴伸长减慢, 表现为相对远视^[24-26], 说明长波长和中波长光会促进豚鼠近视的发生, 短波长光则对近视有保护作用。

Tian 等^[21]发现分别在 0、0.5、20Hz 的白色、绿色和蓝色闪烁光环境中饲养豚鼠时, 0.5Hz 蓝光组豚鼠远视漂移, 0.5Hz 绿色组豚鼠近视漂移, 即低频光时, 波长离焦信号起主要作用, 低频短波光引起远视漂移, 低频中波光引起近视漂移; 20Hz 蓝光组豚鼠近视漂移, 20Hz 绿色组豚鼠远视漂移, 提示高频光时, 波长离焦信号减弱。说明光的波长与闪烁频率存在相互作用, 共同影响屈光发育。

1.2.3 其他与近视相关的光诱导因素 光照强度和昼夜节律等因素对屈光发育也会产生一定的影响。高强度光 (10000lx) 环境下生长的豚鼠近视度数比低强度光

(500lx)环境下低,说明高强度光对近视有部分保护作用,可以减慢豚鼠的近视进展速度^[27]。但是当光照强度高到一定程度,会导致视网膜损伤,因此在研究高强度光对近视的保护作用时还需考虑动物视网膜对光照强度的耐受^[28]。昼夜节律主要由下丘脑视交叉上核调控,在视觉系统的发展过程中,有规律的昼夜节律是正常眼球生长、轴向伸长和正视的先决条件,昼夜节律受到干扰会引起近视化改变^[29-30],但昼夜节律的调控机制尚不完全清楚,需要更多的研究进行探索。

2 实验性近视豚鼠眼部形态学变化

2.1 角膜和晶状体及睫状肌形态学变化

Di等^[19]研究发现 FLM 豚鼠与对照组豚鼠角膜曲率半径 (corneal radius of curvature, CRC) 随近视诱导时间延长均呈增大趋势,但是直至第 12wk FLM 豚鼠与对照组豚鼠 CRC 差异仍无统计学意义 ($P>0.05$)。2019 年 Zhang 等^[27]与 Yang 等^[31]也均发现,实验期间虽然 FD 会引起豚鼠近视度数和眼轴长度较对照组增加 ($P<0.01$),但是 FDM 组与对照组 CRC 差异无统计学意义 ($P>0.05$),说明豚鼠角膜曲率会随着年龄增长而变平,但是与近视关系不大。Li 等研究也证实了这个观点,在同一光谱不同光照强度(高、中、低)组中,豚鼠 CRC 均随实验时间延长均呈增大趋势,并且不同光照强度组之间豚鼠眼轴长度差异有统计学意义,但是 CRC 差异仍无统计学意义^[32]。以上不同的方式诱导近视形成时,均存在实验组与对照组豚鼠 CRC 差异无统计学意义的情况,提示不论哪种造模方式诱导的豚鼠近视可能均与 CRC 相关性不大。

Tian 等^[12]报道,在诱导形成近视的整个过程,FDM 组与对照组豚鼠晶状体的中央厚度均呈增加趋势,但是两组之间的差异无统计学意义,说明在一定发育期内,豚鼠晶状体中央厚度随年龄增加而增加,但是近视诱导过程中,不会引起晶状体显著变化。Yang 等^[33]和 Liu 等^[34]也有相似研究发现,即形觉剥夺 2wk 后,豚鼠 FDM 眼前房深度和晶状体中央厚度相较于对侧眼差异无统计学意义,玻璃体腔长度和眼轴长度则比对侧眼分别增加 0.18、0.24mm,差异有统计学意义^[34],说明建立近视豚鼠模型时,FDM 组与对照组豚鼠眼前房深度和晶状体中央厚度的变化与近视程度关系不大,玻璃体腔长度和眼轴长度则与近视程度高度相关。

睫状体产生房水并产生调节,调控成像位置同时影响视网膜成像清晰程度,可能参与屈光发育过程,因此是一种重要的眼部结构。Pucker 等^[35]发现白化豚鼠从出生(1d)到成年(90d)睫状肌体积增加了大约 2.5 倍,这种体积的增加主要是由于睫状肌变厚和变长,说明在正视化过程中,豚鼠的睫状肌体积、长度和厚度随年龄的增加而显著增加;进一步研究发现,FDM 形成后睫状肌长度明显缩短,睫状肌细胞减少^[36]。Wu 等^[16]也发现 LIM 豚鼠睫状肌发生纤维断裂、溶解和排列紊乱等形态改变,并且睫状肌腺嘌呤核苷三磷酸 (adenosine triphosphate, ATP) 含量下降,提示 FDM 豚鼠的眼轴延长抑制了睫状肌的生长。

2.2 视网膜和脉络膜及巩膜形态学变化

目前普遍认为近视主要通过局部视网膜机制来调控巩膜的生长,即外界

刺激作用于视网膜,导致视网膜-视网膜色素上皮层-脉络膜信号转导系统启动,诱导巩膜细胞外基质异常表达,成纤维细胞减少,胶原纤维排列稀疏,致使巩膜变薄,眼轴延长,机械张力增加,眼球壁受损,最终导致视力下降及相关并发症发生。

视网膜是一层薄薄的神经组织,接收和处理光刺激并转化成电信号,通过视神经将信号传到大脑皮层形成视觉。Zi 等^[8]诱导眼球发育期的豚鼠形成高度近视,观察到光镜下视网膜变薄,神经节细胞、内核层和外核层细胞均减少,细胞核小而不均匀,细胞排列紊乱,视网膜色素上皮层 (retinal pigment epithelium, RPE) 细胞向光感受器层伸出的毛刷状突起变短;电镜下视网膜膜盘肿胀变形。

脉络膜是一种高度血管化的结构,位于视网膜和巩膜之间,为邻近组织提供氧气和营养物质^[37]。近年来 OCTA 被用于识别视网膜和脉络膜血流信号,进行眼底影像检查,豚鼠的视网膜没有血管,不存在视网膜血流信号的干扰,因此豚鼠是研究脉络膜血流状态的理想动物模型^[38-39]。FD 1wk 后,豚鼠 FDM 眼脉络膜厚度和血流灌注明显少于对侧眼 ($64.76\pm 11.15\mu\text{m}$ vs $76.13\pm 9.34\mu\text{m}$) 和 $[(30.27\pm 6.06)\times 10^3$ vs $(37.87\pm 6.37)\times 10^3]$;镜片诱导 1wk 后,豚鼠 LIM 眼脉络膜厚度和血流灌注也明显少于对侧眼 ($64.00\pm 9.58\mu\text{m}$ vs $72.17\pm 10.04\mu\text{m}$)、 $[(35.08\pm 5.58)\times 10^3$ vs $(41.06\pm 5.32)\times 10^3]$,FDM 与 LIM 豚鼠脉络膜均变薄,脉络膜血流灌注减少;去除近视诱导因素 4d 后,FDM 眼脉络膜厚度和血流灌注 $[64.76\pm 11.15\mu\text{m}$ 和 $(30.27\pm 6.06)\times 10^3]$ 增加为 $[77.94\pm 12.57\mu\text{m}$ 和 $(37.41\pm 6.11)\times 10^3]$,LIM 眼脉络膜厚度和血流灌注 $[64.00\pm 9.58\mu\text{m}$ 和 $(35.08\pm 5.58)\times 10^3]$ 增加为 $[71.99\pm 7.62\mu\text{m}$ 和 $(38.36\pm 3.05)\times 10^3]$,变薄的脉络膜相对变厚,血流灌注增加^[38,40]。与脉络膜变化相似,随着眼轴长度的增加,豚鼠的视网膜和巩膜均变薄,并且在后极部变薄最为明显。

Dong 等^[41]研究发现随眼轴增长,LIM 豚鼠后极部巩膜变薄最明显,而锯齿缘和扁平部最不明显。研究表明 FDM 豚鼠与 LIM 豚鼠的眼球发生的改变相似,近视豚鼠巩膜厚度变薄,成纤维细胞变形,胶原纤维直径缩小,并且分布稀疏,排列紊乱扭曲,高度近视豚鼠的部分胶原纤维甚至存在断裂现象;电镜下后极部巩膜超微结构显示成纤维细胞空泡变性,胶原纤维变细并且内质网发生肿胀扩张^[7,42]。巩膜与近视密切相关,其能够根据视觉环境的变化改变其细胞外基质组成和生物力学特性,以调节眼球屈光力。

3 小结

建立豚鼠近视模型的方法各具优缺点,常用的 FD(面罩遮盖)和光学离焦(负透镜诱导)方法简单易行,持有乳胶气球或负镜片即可,但是造模过程中容易出现面罩或镜片滑落的情况,因此需要经常观察面罩或镜片的位置及松紧度,一旦滑落则需要重新将面罩或镜片戴在豚鼠头上,滑落时间过长甚至需要淘汰该实验豚鼠。闪烁光、色觉失衡及光强等诱导形成近视相较于前两种造模方法而言成功率较低,涉及到的因素较多,例如光的频率大小、波长长短及光强大小的选择等,但是不同的近视模型代表的近视

诱因不同,都用统一近视模型可能导致实验结果出现偏差。因此应尽量根据实验需求和研究目的选择相应的近视造模方式。近视豚鼠的眼轴和屈光度数发生变化的同时,结合眼部组织形态学变化可进一步确认豚鼠近视模型的建立。除此之外,近视豚鼠眼部组织形态学变化提示可能发生潜在的病理性改变,可为研究近视机制和近视干预提供一定的参考。

参考文献

1 Troilo D, Smith EL 3rd, Nickla DL, *et al.* IMI-report on experimental models of emmetropization and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2019; 60(3):M31-M88

2 Khanal S, Norton TT, Gawne TJ. Amber light treatment produces hyperopia in tree shrews. *Ophthalmic Physiol Opt* 2021; 41 (5): 1076-1086

3 Platzl C, Kaser -Eichberger A, Benavente -Perez A, *et al.* The choroid-sclera interface: an ultrastructural study. *Heliyon* 2022; 8 (5):e09408

4 Xiao H, Fan ZY, Tian XD, *et al.* Comparison of form-deprived myopia and lens-induced myopia in Guinea pigs. *Int J Ophthalmol* 2014;7(2): 245-250

5 Singh SE, Wildsoet CF, Roorda AJ. Optical aberrations of Guinea pig eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020;61(10):39

6 Li HH, Wu J, Cui DM, *et al.* Retinal and choroidal expression of BMP-2 in lens-induced myopia and recovery from myopia in Guinea pigs. *Mol Med Rep* 2016;13(3):2671-2676

7 Geng C, Li Y, Guo F, *et al.* RNA sequencing analysis of long non-coding RNA expression in ocular posterior poles of guinea pig myopia models. *Mol Vis* 2020;26:117-134

8 Zi YX, Deng Y, Zhao JR, *et al.* Morphologic and biochemical changes in the retina and sclera induced by form deprivation high myopia in Guinea pigs. *BMC Ophthalmol* 2020;20(1):105

9 McFadden SA, Wildsoet C. The effect of optic nerve section on form deprivation myopia in the Guinea pig. *J Comp Neurol* 2020;528(17): 2874-2887

10 Ding X, Fu D, Ge SC, *et al.* DNA methylation and mRNA expression of IGF-1 and MMP-2 after form-deprivation myopia in Guinea pigs. *Ophthalmic Physiol Opt* 2020;40(4):491-501

11 Thomson K, Morgan I, Karouta C, *et al.* Levodopa inhibits the development of lens-induced myopia in chicks. *Sci Rep* 2020; 10 (1):13242

12 Tian L, Guo YT, Ying M, *et al.* Co-existence of myopia and amblyopia in a Guinea pig model with monocular form deprivation. *Ann Transl Med* 2021;9(2):110

13 Pi LH, Chen L, Liu Q, *et al.* Prevalence of eye diseases and causes of visual impairment in school-aged children in Western China. *J Epidemiol* 2012;22(1):37-44

14 Morgan IG, Ashby RS, Nickla DL. Form deprivation and lens-induced myopia: are they different? *Ophthalmic Physiol Opt* 2013; 33 (3):355-361

15 Lai LB, Lv XT, Wu XW, *et al.* Comparing the differences in slowing myopia progression by riboflavin/ultraviolet A scleral cross-linking before and after lens-induced myopia in Guinea pigs. *Curr Eye Res* 2022;47 (4):531-539

16 Wu SS, Guo DD, Wei HX, *et al.* Disrupted potassium ion homeostasis in ciliary muscle in negative lens-induced myopia in Guinea pigs. *Arch Biochem Biophys* 2020;688:108403

17 Bowrey HE, Zeng G, Tse DY, *et al.* The effect of spectacle lenses containing peripheral defocus on refractive error and horizontal eye shape in the Guinea pig. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017;58(5):2705-2714

18 Li B, Luo XM, Li T, *et al.* Effects of constant flickering light on refractive status, 5-HT and 5-HT2A receptor in Guinea pigs. *PLoS One* 2016;11(12):e0167902

19 Di Y, Liu R, Chu RY, *et al.* Myopia induced by flickering light in Guinea pigs: a detailed assessment on susceptibility of different frequencies. *Int J Ophthalmol* 2013;6(2):115-119

20 Luo X, Li B, Li T, *et al.* Myopia induced by flickering light in guinea pig eyes is associated with increased rather than decreased dopamine release. *Mol Vis* 2017;23:666-679

21 Tian T, Zou LL, Wu SJ, *et al.* Wavelength defocus and temporal sensitivity affect refractive development in Guinea pigs. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2019;60(6):2173-2180

22 钱一峰, 戴锦晖, 刘睿, 等. 530nm 单色光诱导豚鼠近视眼模型的建立. *中国实验动物学报* 2009;17(6):401-405

23 Pan MZ, Guan ZQ, Reinach PS, *et al.* PPAR γ modulates refractive development and form deprivation myopia in Guinea pigs. *Exp Eye Res* 2021;202:108332

24 Wen YY, Jin L, Zhang DY, *et al.* Quantitative proteomic analysis of scleras in Guinea pig exposed to wavelength defocus. *J Proteomics* 2021; 243:104248

25 Qian YF, Liu R, Dai JH, *et al.* Transfer from blue light or green light to white light partially reverses changes in ocular refraction and anatomy of developing Guinea pigs. *J Vis* 2013;13(11):16

26 Yu MR, Liu WY, Wang BJ, *et al.* Short wavelength (blue) light is protective for lens-induced myopia in Guinea pigs potentially through a retinoic acid-related mechanism. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2021; 62 (1):21

27 Zhang LL, Qu XM. The effects of high lighting on the development of form-deprivation myopia in Guinea pigs. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2019; 60(13):4319-4327

28 Iliescu DA, Ciubotaru A, Ghiță MA, *et al.* Effect of sevoflurane preconditioning on light-induced retinal damage in diabetic rats. *Rom J Ophthalmol* 2018;62(1):24-33

29 Zheng W, Chen Y, Zhou XZ, *et al.* Regulation of retinal melanopsin on lens-induced myopia in Guinea pigs. *Optom Vis Sci* 2020;97(7): 489-495

30 Chakraborty R, Ostrin LA, Nickla DL, *et al.* Circadian rhythms, refractive development, and myopia. *Ophthalmic Physiol Opt* 2018; 38 (3):217-245

31 Yang G, Liu F, Li X, *et al.* Decreased expression of gap junction delta-2 (GJD2) messenger RNA and connexin 36 protein in form-deprivation myopia of guinea pigs. *Chin Med J* 2019; 132 (14): 1700-1705

32 Rui-Qin L, Wei-Zhong L, Xiao-Ning L, *et al.* Effects of the long wavelength-filtered continuous spectrum on natural refractive development in juvenile guinea pigs. *Int J Ophthalmol* 2019; 12 (6): 883-891

33 Yang J, Pan M, Reinach PS, *et al.* Prostaglandin F2alpha Receptor Modulation Affects Eye Development in Guinea Pigs. *Basic Clin Pharmacol Toxicol* 2018;123(3):263-270

34 Liu H, Chen DL, Yang ZK, *et al.* Atropine affects the outer retina during inhibiting form deprivation myopia in Guinea pigs. *Curr Eye Res* 2022;47(4):614-623

35 Pucker AD, Carpenter AR, McHugh KM, *et al.* Guinea pig ciliary muscle development. *Optom Vis Sci* 2014;91(7):730-739
 36 Pucker AD, Jackson AR, McHugh KM, *et al.* Morphological ciliary muscle changes associated with form deprivation-induced myopia. *Exp Eye Res* 2020;193:107963
 37 韩聪, 杨义, 张文芳. 近视与脉络膜厚度的相关性. 国际眼科杂志 2022;22(3):407-411
 38 Zhang S, Zhang GY, Zhou X, *et al.* Changes in choroidal thickness and choroidal blood perfusion in Guinea pig myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2019;60(8):3074-3083
 39 Yu DY, Cringle SJ. Oxygen distribution and consumption within the

retina in vascularised and avascular retinas and in animal models of retinal disease. *Prog Retin Eye Res* 2001;20(2):175-208
 40 於亭, 魏慧霞, 田庆梅, 等. 电针对透镜诱导型近视豚鼠脉络膜血流和内皮素-1及其受体表达的影响. 国际眼科杂志 2021;21(8):1333-1338
 41 Dong L, Shi XH, Kang YK, *et al.* Bruch's membrane thickness and retinal pigment epithelium cell density in experimental axial elongation. *Sci Rep* 2019;9(1):6621
 42 Zhu CC, Chen QZ, Yuan Y, *et al.* Endoplasmic reticulum stress regulates scleral remodeling in a Guinea pig model of form-deprivation myopia. *J Ophthalmol* 2020;2020:3264525

2021 中国科技核心期刊眼科学类期刊主要指标及排名

期刊名称	核心总被引频次		核心影响因子		综合评价总分	
	数值	排名	数值	排名	数值	排名
中华眼科杂志	2334	1	1.442	1	66.8	1
眼科新进展	1324	3	0.809	4	53.8	2
国际眼科杂志	2294	2	0.753	6	52.4	3
中华眼科医学杂志电子版	191	10	0.737	7	50.8	4
中华实验眼科杂志	1162	4	0.914	2	46.0	5
中华眼底病杂志	860	5	0.814	3	30.1	6
临床眼科杂志	464	7	0.413	9	28.2	7
眼科	387	8	0.326	10	24.1	8
中华眼视光学与视觉科学杂志	726	6	0.786	5	22.8	9
中国斜视与小儿眼科杂志	279	9	0.472	8	16.1	10

摘编自 2021 版《中国科技期刊引证报告》核心版