

Schiötz、Perkins 和 Rebound 3 种便携式眼压计测量兔眼压值的回归校正

李俊岭 吴建国 李筱荣

【摘要】 **背景** 兔是建立降压手术和药物治疗模型的常用动物,其眼压测量的准确性在数据分析和定量评价中至关重要,目前测量兔眼压精确的方法是前房插管测压法,但为有创测量法。Schiötz 眼压计、Perkins 眼压计和 Rebound 眼压计测量均为无创测量法,使用更为简便,但关于这三者测量兔眼压的准确性研究较少。**目的** 以前房插管测压法测量值(IMV)为基准作为实际眼压值,探讨 Schiötz 眼压计、Perkins 眼压计和 Rebound 眼压计测量兔眼压值的准确性,并结合兔眼球生理参数,对 Schiötz 眼压计读数(STV)、Perkins 眼压计读数(PTV)和 Rebound 眼压计读数(RTV)进行校正。**方法** 选择健康成年新西兰大耳白兔 8 只,均取右眼为实验眼,利用 Lenstar900 和超声生物显微镜(UBM)分别测量其中央角膜厚度(CCT)、角膜曲率(CC)、眼轴长度(AL)、前房深度(ACD)、晶状体厚度(LT)和巩膜厚度(ST)。全身麻醉下行右眼玻璃体腔和前房穿刺,玻璃体腔置管连接平衡盐溶液(BSS)以建立眼压梯度,前房插管测压法测量实际眼压,同步同梯度获得 STV、PTV 和 RTV;以 IMV 为基准,将 STV、PTV 与 RTV 结合兔眼球生理参数,获得其多元回归方程对眼压值进行校正。**结果** 测得 8 只眼球的生理参数,CCT 为(338.96±21.52) μm,CC 为(51.68±1.66) D,AL 为(14.63±0.19) mm,ACD 为(2.22±0.04) mm,LT 为(6.15±0.10) mm,ST 为(339.80±47.41) μm。与 IMV 相比较,Schiötz、Perkins 和 Rebound 眼压计测量值的误差分别为(17.08±11.22)、(25.81±12.43)和(22.50±11.47) mmHg (1 mmHg=0.133 kPa),差异均有统计学意义($t=10.54, 14.39, 13.59$, 均 $P<0.05$)。STV、PTV、RTV 与 IMV 的 95% 一致性界限较大,随着实际眼压的升高,测量误差增大。IMV(实际眼压)与 STV 的回归方程为:实际眼压 = 141.015+1.570×STV+0.122×CCT-3.480×CC ($R=0.92, P=0.00$);与 PTV 回归方程为:实际眼压 = -33.323+1.914×PTV+0.133×CCT ($R=0.88, P=0.00$);与 RTV 回归方程为:实际眼压 = 160.395+1.866×RTV+0.201×CCT+34.554×LT-2.649×CC+0.063×ST ($R=0.95, P=0.00$)。**结论** 兔眼的生理参数与人眼有诸多差异,临床上常用的 3 种便携式眼压计测得的兔眼压值与实际眼压差异较大,需要结合兔眼球生理参数进行回归校正,以降低误差。

【关键词】 生物测量; 眼压; 前房插管测压法; 眼压计; 回归方程; 兔

Correction of intraocular pressure measured by Schiötz, Perkins and Rebound tonometers in rabbits by multiple regression equation Li Junling, Wu Jianguo, Li Xiaorong. Department of Ophthalmology, Tianjin Beichen Hospital, Tianjin 300400, China

Hospital, Tianjin 300400, China

Corresponding author: Wu Jianguo, Email: wujg204329@163.com

【Abstract】 **Background** Rabbits are commonly used as animal models for the evaluation of drugs and surgery to lower intraocular pressure (IOP). The accuracy of IOP measurement is therefore critical in the analysis of data and subsequent extrapolation to humans. An accurate method to measure rabbit IOP is intracameral manometry, but it is an invasive way. Schiötz, Perkins and Rebound were often used in clinic. However, their accuracy in measuring rabbit IOP in experimental study is unclear. **Objective** The purpose of this study was to investigate the accuracy of IOP measured by Schiötz tonometer, Perkins tonometer and Rebound tonometer relative to intracameral manometry in New Zealand white rabbits. **Methods** The central corneal thickness (CCT), corneal curvature

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2015.02.005

基金项目:天津市北辰区科技发展计划项目(BCWS2013-02)

作者单位:300400 天津市北辰医院眼科(李俊岭);300384 天津医科大学眼科医院(李筱荣、吴建国)

通信作者:吴建国, Email: wujg204329@163.com

(CC), axial length (AL), anterior chamber depth (ACD), lens thickness (LT) and scleral thickness (ST) were respectively measured in 8 eyes of 8 healthy New Zealand white rabbits with lenstar900 and ultrasound biomicroscopy (UBM). The actual IOP was measured with a 24G needle inserted the anterior chamber and connected to a pressure transducer under the general anesthesia, the IOP gradient was set with a 24G needle inserting the vitreous cavity and connecting to a container with balanced salt solution (BSS). Then, comparative measurements at the same pressures were performed with three types of tonometers. The IOP values from Schiötz tonometer, Perkins tonometer and Rebound tonometer were calibrated based on actual IOP from intracameral manometry and eyeball physiological parameters by multiple regression equation. **Results** The mean of CCT, CC, AL, ACD, LT and ST was $(338.96 \pm 21.52) \mu\text{m}$, $(51.68 \pm 1.66) \text{D}$, $(14.63 \pm 0.19) \text{mm}$, $(2.22 \pm 0.04) \text{mm}$, $(6.15 \pm 0.10) \text{mm}$ and $(339.80 \pm 47.41) \mu\text{m}$. Compared with the intracameral manometry value (IMV), the error range was $(17.08 \pm 11.22) \text{mmHg}$ in the Schiötz tonometer value (STV), $(25.81 \pm 12.43) \text{mmHg}$ in the Perkins tonometer value (PTV) and $(22.50 \pm 11.47) \text{mmHg}$ in the Rebound tonometer value (RTV), with significant differences between them ($t = 10.54, 14.39, 13.59$, all at $P < 0.05$). Compared with IMV, the 95% limits of agreement of three portable tonometer values is larger, and three portable tonometer values had the greater measurement error with elevated IOP gradient. The regression equations was $\text{IOP} = 141.015 + 1.570 \times \text{STV} + 0.122 \times \text{CCT} - 3.480 \times \text{CC}$ between actual IOP and STV ($R = 0.92, P = 0.00$), $\text{IOP} = -33.323 + 1.914 \times \text{PTV} + 0.133 \times \text{CCT}$ between actual IOP and PTV ($R = 0.88, P = 0.00$), $\text{IOP} = 160.395 + 1.866 \times \text{RTV} + 0.201 \times \text{CCT} + 34.554 \times \text{LT} - 2.649 \times \text{CC} + 0.063 \times \text{ST}$ between actual IOP and RTV ($R = 0.95, P = 0.00$).

Conclusions The physiological parameters of rabbit eyeball are obviously different from human. The STV, PTV and RTV have a great measuring error in comparison with actual IOP, and therefore it is necessary to correct STV, PTV and RTV based on the ocular physiology parameters in experimental study.

[Key words] Bio-measurement; Intraocular pressure; Intracameral manometry; Tonometer; Regression equation; Rabbit

眼压测量值是监测青光眼病情及评估治疗措施是否有效的一项重要参考指标。兔常作为评估各种抗青光眼药物和手术效果的动物模型^[1-3], 准确测量其眼压值对实验具有重要意义^[4], 而根据人眼球生理参数设计的眼压计在测量兔眼压时很可能与实际眼压值差异较大。目前, 虽有研究者对测量兔眼压值的常用眼压计和测量方法进行校正, 但多局限于中央角膜厚度 (central corneal thickness, CCT) 这一指标^[5-9], 因此校正效果有限。本研究结合兔眼球六项主要的生理参数, 以前房插管测压法测量值 (intracameral manometry value, IMV) 作为兔实际眼压值, 探讨 Schiötz、Perkins 和 Rebound 这 3 种便携式眼压计测量兔眼压的准确性, 对 Schiötz 眼压计读数 (Schiötz tonometer value, STV)、Perkins 眼压计读数 (Perkins tonometer value, PTV) 和 Rebound 眼压计读数 (Rebound tonometer value, RTV) 进行校正, 为相关动物实验的眼压测量提供具有可比性的、更为精准实验数据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验动物 选用健康 4 月龄新西兰大耳白兔 8 只, 体质量 2.0 ~ 2.5 kg, 雌雄不限, 由天津医科大学动物实验中心提供。实验兔经常规眼科检查均无眼部

疾患, 均取右眼为实验眼。实验动物的使用和喂养遵循天津医科大学动物实验伦理学规定。

1.1.2 主要试剂及仪器 盐酸氯胺酮注射液 (江苏恒瑞医药股份有限公司); 速眠新 II 号注射液 (长春解放军军事医学科学院军事兽医研究所)。Lenstar900 光学生物测量仪 (瑞士 HAAG-STREIT 公司); SW-3200 超声生物显微镜 (ultrasound biomicroscope, UBM)、SW-500 Rebound 眼压计 (天津索维电子技术有限公司); Schiötz 压陷式眼压计 (苏州六六视觉科技股份有限公司); Perkins 手持压平式眼压计 (英国 Oxford 公司); YH-4 生理压力传感器 (中国航天医学工程研究所); BL-420F 生物机能实验系统 (成都泰盟科技有限公司)。

1.2 方法

剪去实验兔眼睫毛, 速眠新 II 号注射液与盐酸氯胺酮注射液等容积混合液 0.1 ml/kg 肌肉注射麻醉实验兔。Perkins 眼压计测量前结膜囊内质量分数 0.25% 荧光素钠点眼 1 滴。以下每项操作均由专业技术人员实施, 均测量 3 次取平均值。

1.2.1 兔眼球生理参数的测量 (1) 实验兔清醒状态下用 Lenstar900 光学生物测量仪测量右眼 CCT、眼轴长度 (axial length, AL)、角膜曲率 (corneal curvature, CC) $[(K_1 + K_2) / 2]$ 、前房深度 (anterior chamber depth, ACD) 和晶状体厚度 (lens thickness, LT)。(2) 采用

UBM 测量实验兔右眼巩膜厚度 (scleral thickness, ST)。兔全身麻醉状态下取左侧卧位,右眼置开睑器,做上直肌牵引线并向上牵拉,使眼位向下暴露巩膜,放置无底眼杯于结膜囊,注入适量生理盐水,UBM 探头在暴露巩膜区进行检查,获得二维图像,利用系统软件测量角膜缘后 4 mm 处 ST,测量完成后剪除牵引线,妥布霉素地塞米松眼膏涂眼。

1.2.2 兔眼压测量 分批在每日 9:00 测量实验兔右眼眼压。全身麻醉状态下在兔盒内用头位固定装置固定兔头及眼位。设备调零与定标后,将注满平衡盐溶液 (balanced salt solution, BSS) 的 24G-Y 型留置针自兔眼 2:00 位角膜缘内 1 mm 透明角膜处行前房穿刺,留置针平行进入前房,退出针芯,另一端连接 BL-420E 系统,待眼压稳定后,记录此时 IMV,同步测量获得 STV、PTV 与 RTV。将装有 BSS 的容器挂于与兔眼球水平位相同的输液架上,输液头与另一 24G-Y 型静脉留置针相连,用留置针在兔眼球 4:00 位角膜缘后 3 mm 处垂直刺入玻璃体腔,退出针芯,构建眼压梯度。每眼任意升高或降低 BSS 容器的高度 5 次,重复以上测量,容器高限 80 cm。注意观察和记录实验开始和结束时的测量装置基线水平 (图 1,2)。

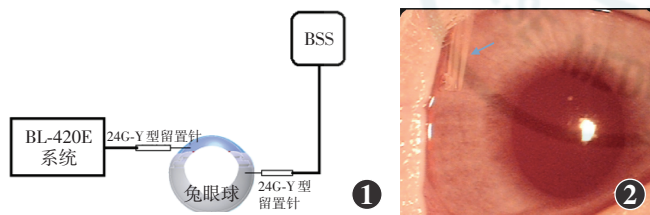


图 1 前房插管测压法测量设备示意图 BSS:平衡盐溶液 图 2 插入兔眼前房的 24G-Y 型留置针

1.3 统计学方法

采用 SPSS 11.5 统计学软件 (美国 Statistical Product and Service Solutions 有限责任公司) 进行统计分析,测量数据经 Kolmogorov-Smirnov 检验服从正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,3 种便携式眼压计读数分别与实际眼压的比较采用配对 *t* 检验;实际眼压值与 STV、PTV、RTV 以及眼球生理参数的数学模型建立采用多元线性回归分析;STV、PTV、RTV 与 IMV 结果的一致性采用 Bland-Altman 分析。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 兔眼球生理参数

本研究测量的 8 只兔眼球的 CCT、AL、ACD、LT、CC、ST 值分别为 (338.96 ± 21.52) μm、(14.63 ± 0.19) mm、

(2.22 ± 0.04) mm、(6.15 ± 0.10) mm、(51.68 ± 1.66) D 和 (339.80 ± 47.41) μm。

2.2 3 种便携式眼压计所测的兔眼压值与实际眼压值的比较

3 种便携式眼压计与前房插管测压法所测兔眼压值的比较结果显示,STV、PTV、RTV 与 IMV 之间的误差范围分别为 (17.08 ± 11.22)、(25.81 ± 12.43) 和 (22.50 ± 11.47) mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa),差异均有统计学意义 (*t* = 10.54, 14.39, 13.59, 均 *P* < 0.05) (表 1)。与 IMV 相比,STV、PTV 和 RTV 均明显低于实际眼压值,且随着实际眼压值的升高,误差增大 (图 3)。Schiotz、Perkins、Rebound 眼压计与前房插管测压法的 Bland-Altman 图,其均有 4.2% (2/48) 的点位于 95% 一致性界线以外,所测得的 95% 一致性界限较大,分别为 -39.1 ~ 4.9 mmHg、-50.2 ~ -1.4 mmHg 和 -45.0 ~ 0 mmHg (图 4)。

眼压计	样本量	眼压差值	95% CI	<i>t</i>	<i>P</i>
Schiotz 与 Manometry	40	-17.08 ± 11.2	-26.19 ~ -9.97	10.54	<0.01
Perkins 与 Manometry	40	-25.81 ± 12.4	-34.55 ~ -17.08	14.39	<0.01
Rebound 与 Manometry	40	-22.50 ± 11.4	-31.28 ~ -13.72	13.59	<0.01

注:CI:可信区间(配对 *t* 检验)

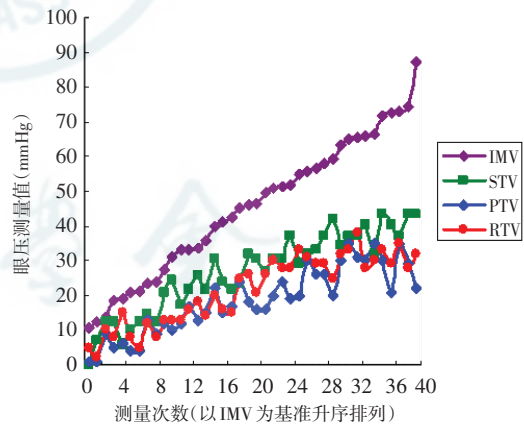


图 3 3 种便携式眼压计所测兔眼压读数与兔实际眼压的关系 IMV:前房插管测压法测量值;STV:Schiotz 眼压计读数;PTV:Perkins 眼压计读数;RTV:Rebound 眼压计读数

2.3 3 种便携式眼压计读数与兔眼实际眼压以及眼球生理参数的关系

利用多元线性逐步回归后退法分析所得数据,结果显示 STV 与 AL、ACD、LT 及 ST 均无明显相关性 ($\beta = 0.098, P = 0.175; \beta = -2.031, P = 0.958; \beta = 8.379, P = 0.668; \beta = 0.180, P = 0.696$),而与 CCT 呈正相关 ($\beta = 0.122, P = 0.045$),与 CC 呈负相关 ($\beta = -3.480,$

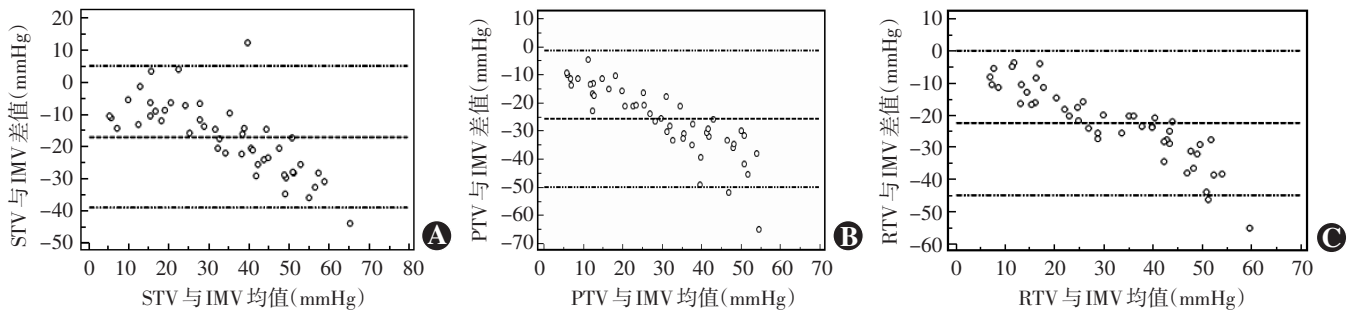


图 4 3 种便携式眼压计与前房插管测压法所测兔眼压值的一致性分析(Bland-Altman 分析) A:STV 与 IMV 的一致性检验 B:PTV 与 IMV 的一致性检验 C:RTV 与 IMV 的一致性检验 注:STV:Schiotz 眼压计读数;IMV:前房插管测压法测量值;PTV:Perkins 眼压计读数;RTV:Rebound 眼压计读数

$P < 0.001$); PTV 与 AL、ACD、LT、ST 及 CC 均无明显相关性 ($\beta = 0.201, P = 0.053; \beta = -55.111, P = 0.243; \beta = 20.170, P = 0.394; \beta = 0.200, P = 0.533; \beta = -1.244, P = 0.229$), 与 CCT 呈显著正相关 ($\beta = 0.133, P = 0.042$); RTV 与 AL、ACD 均无明显相关性 ($\beta = 0.818, P = 0.076; \beta = -0.720, P = 0.982$), 与 CCT、LT、ST 均呈显著正相关 ($\beta = 0.201, P = 0.018; \beta = 34.554, P = 0.034; \beta = 0.063, P = 0.011$), 与 CC 呈负相关 ($\beta = -2.649, P = 0.005$) (表 2)。

表 2 3 种便携式眼压计的多元回归方程

多元回归方程	R	P
$IOP_{Schiotz} = 141.015 + 1.570 \times STV + 0.122 \times CCT - 3.480 \times CC$	0.92	0.00
$IOP_{Perkins} = -33.323 + 1.914 \times PTV + 0.133 \times CCT$	0.88	0.00
$IOP_{Rebound} = 160.395 + 1.866 \times RTV + 0.201 \times CCT + 34.554 \times LT - 2.649 \times CC + 0.063 \times ST$	0.95	0.00

注: $IOP_{Schiotz}$ = Schiotz 眼压计校正眼压值; $IOP_{Perkins}$ = Perkins 眼压计校正眼压值; $IOP_{Rebound}$ = Rebound 眼压计校正眼压值 STV: Schiotz 眼压计读数; CCT: 中央角膜厚度; CC: 角膜曲率; PTV: Perkins 眼压计读数; RTV: Rebound 眼压计读数; LT: 晶状体厚度; ST: 巩膜厚度

3 讨论

大多数眼压计的测量原理是通过测量中央角膜的变形能力来间接计算眼压, 因此, 在眼压计的临床校正中, CCT 和 CC 常被提及^[10-12], 但不同物种的眼球生理参数必然存在差异, 根据人眼球生理参数设计的眼压计测量兔眼压势必会产生偏差。本研究通过 Lenstar900 光学生物测量仪与 UBM 获得的活体兔眼球 CCT、AL、ACD、LT、CC、ST 这六项主要生理参数的结果显示, 4 月龄成年兔眼球体积小, AL 短, 且有更薄的 CCT 和 ST、相对较深的 ACD、更大的 CC 和相对更厚的 LT。由此可见, 兔眼的解剖结构较为独特, 在眼压计测量到角膜变形前, 其他的眼球参数可能已发生了改变, 导致其眼压测量数值偏低。

鉴于眼压受昼夜节律的影响^[13], 因此眼压测量时

间均选择在每日 9:00, 以排除昼夜节律的影响。Rebound 眼压计测量时无需角膜表面麻醉且接触面积小, Schiotz 眼压计测量时仅需角膜表面麻醉, Perkins 眼压计测量时既要角膜表面麻醉, 又需荧光素钠染色, 所以测量先后顺序为 Rebound 眼压计、Schiotz 眼压计、Perkins 眼压计。理论上, 因重复测量导致眼压降低可能使实验数据产生偏倚, 然而有报道显示眼压在重复测量时仅降低 1 mmHg, 甚至更少^[14-15], 这个量在研究中可以忽略不计。此外, 不同麻醉剂行全身麻醉状态下对眼压的影响也不同^[16-19]。速眠新 II 中的主要成分是氟哌啶醇, 其具有轻度降低眼压的作用^[20], 而氯胺酮则有轻度升高眼压的作用^[21], 所以本研究采用速眠新 II + 氯胺酮联合麻醉以中和麻醉剂对眼压的影响。

前房插管测压法是目前实验中评估眼压最精准的测量方法^[22-23], 通常作为校正其他眼压计的标准。本实验以 IMV 为基准, 对 3 种便携式眼压计进行对比分析, 结果发现 STV、PTV 与 RTV 均低于实际眼压值, 且随着眼压的升高, 所测眼压读数的误差增大, 这与以往的研究结果一致^[6-8, 24]。3 种便携式眼压计测得的眼压值与 IMV 的 95% 一致性界限较大, 随着眼压的升高, STV、PTV、RTV 与 IMV 之间的平均差绝对值增大越明显, 且在实际眼压高于 40 mmHg 以后, STV、PTV 与 RTV 基本呈现“逃逸现象”。Leske 等^[25] 研究显示, 眼压减少 1 mmHg 可将视野缺损的风险降低 10%, 因此, 这种测量误差在评估各种抗青光眼药物和手术效果的实验中是不能被接受的。多元线性回归数学模型显示, Schiotz 眼压计受 CCT 和 CC 的影响, 这与 Moses^[26] 的研究结果相似; Perkins 眼压计受 CCT 影响, 与 CC 等其他生理参数无相关, 这与栾春生等^[7] 的研究结果一致; Rebound 眼压计受 CCT、LT、CC 和 ST 影响, 这与以往研究不同^[8]。相比之下, Rebound 眼压计受眼球参数影响最多, 但在操作上最为方便, 无需麻

醉和染色,几乎不损伤角膜,不受体位限制,不易受测量位置与角度的影响^[27];Schiotz 眼压计需要麻醉,操作时有角膜上皮损伤甚至感染的风险;Perkins 眼压计受眼球参数影响最少,但在操作上既要麻醉,又需染色,同样有角膜损伤与感染的风险。因此,目前动物实验中尚无理想的眼压计。

总之,基于人眼球生理参数设计的 3 种便携式眼压计所测量的兔眼压值与实际眼压误差较大,结合眼球生理参数得出的多元回归方程可有效降低误差,为青光眼动物实验提供更为精准的实验数据。本研究的不足之处在于样本量小,仅限于获得的活体兔眼球的六项主要生理参数,通过数学方法对 3 种便携式眼压计测量值进行校正,与实际眼压值之间必定存在差异。另外,角膜刚度这一生物力学参数在眼压计校正中的作用^[28-30]在本研究中也尚未探讨。随着研究的不断深入,或许可将利用仪器进行眼球参数测量与眼压测量整合为一体,通过自带的内核计算机处理器对获得的眼压读数及时校正,这对提高动物实验的效率无疑具有重要意义。

致谢 感谢天津医科大学眼科医院林松主任和季健主任对本研究在仪器操作方面给予的指导和帮助

参考文献

- [1] Bouhenni RA, Dunmire J, Sewell A, et al. Animal models of glaucoma [J/OL]. J Biomed Biotechnol, 2012, 2012 : 692609 [2013-06-10]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3364028/>. doi:10.1155/2012/692609.
- [2] Okuda T, Higashide T, Fukuhira Y, et al. A thin honeycomb-patterned film as an adhesion barrier in an animal model of glaucoma filtration surgery [J]. J Glaucoma, 2009, 18 (3) : 220-226. doi:10.1097/IJG.0b013e31817eee32.
- [3] Jacob T, LaCour OJ, Burgoyne CF, et al. Expanded polytetrafluoroethylene reinforcement material in glaucoma drain surgery [J]. J Glaucoma, 2001, 10(2) : 115-120.
- [4] Sun W, Shen JH, Shetlar DJ, et al. Endoscopic goniotomy with the free electron laser in congenital glaucoma rabbits [J]. J Glaucoma, 2000, 9(4) : 325-333.
- [5] 杨欣, 张文芳, 鲁建华. 非接触眼压计测量兔眼压的准确性和可行性 [J]. 国际眼科杂志, 2007, 7(6) : 1571-1573.
- [6] Stahl J, Vold S. Effect of corneal thickness on the accuracy of intraocular pressure measurement in rabbits after excimer laser photoablation [J]. J Cataract Refract Surg, 2000, 26(5) : 736-743.
- [7] 栾春生, 陈晓明, 邓应平, 等. 兔眼中央角膜厚度与 Perkins 压平眼压关系的研究 [J]. 中华眼科杂志, 2005, 41(7) : 642-646.
- [8] Löbner M, Rehmer A, Guthoff R, et al. Suitability and calibration of a rebound tonometer to measure IOP in rabbit and pig eyes [J]. Vet Ophthalmol, 2011, 14(1) : 66-68. doi:10.1111/j.1463-5224.2010.00794.x.
- [9] Tuunanen TH, Hämäläinen P, Mali M, et al. Effect of photorefractive keratectomy on the accuracy of pneumatonometer readings in rabbits [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1996, 37(9) : 1810-1814.
- [10] Kohlhaas M, Spoerl E, Boehm AG, et al. A correction formula for the real intraocular pressure after LASIK for the correction of myopic astigmatism [J]. J Refract Surg, 2006, 22(3) : 263-267.
- [11] Fan F, Li C, Li Y, et al. Intraocular pressure instrument reading comparisons after LASIK [J]. Optom Vis Sci, 2011, 88(7) : 850-854. doi:10.1097/OPX.0b013e31821909df.
- [12] Elsheikh A, Alhasso D, Gunvant P, et al. Multiparameter correction equation for Goldmann applanation tonometry [J]. Optom Vis Sci, 2011, 88(1) : E102-112. doi:10.1097/OPX.0b013e3181fc3453.
- [13] McLaren JW, Brubaker RF, FitzSimon JS. Continuous measurement of intraocular pressure in rabbits by telemetry [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1996, 37(6) : 966-975.
- [14] Motolko MA, Feldman F, Hyde M, et al. Sources of variability in the results of applanation tonometry [J]. Can J Ophthalmol, 1982, 17(3) : 93-95.
- [15] Dielemans I, Vingerling JR, Hofman A, et al. Reliability of intraocular pressure measurement with the Goldmann applanation tonometer in epidemiological studies [J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 1994, 32(3) : 141-144.
- [16] Artru AA. Trabecular outflow facility and formation rate of aqueous humor during propofol, nitrous oxide, and halothane anesthesia in rabbits [J]. Anesth Analg, 1993, 77(3) : 564-569.
- [17] Artru AA. Trabecular outflow facility and formation rate of aqueous humor during intravenous cocaine or lidocaine in rabbits [J]. Anesth Analg, 1994, 78(5) : 889-896.
- [18] Artru AA, Momota Y. Trabecular outflow facility and formation rate of aqueous humor or during anesthesia with sevoflurane-nitrous oxide or sevoflurane-remifentanyl in rabbits [J]. Anesth Analg, 1999, 88(4) : 781-786.
- [19] Lentschener C, Leveque JP, Mazoit JX, et al. The effect of pneumoperitoneum on intraocular pressure in rabbits with alpha-chymotrypsin-induced glaucoma [J]. Anesth Analg, 1998, 86(6) : 1283-1288.
- [20] Rohde BH, Li BH, Chiou GC. Effects of melatonin and haloperidol given via vortex vein on the intraocular pressure [J]. Ophthalmic Res, 1993, 25(1) : 10-15.
- [21] Ghaffari MS, Moghaddassi AP. Effects of ketamine-diazepam and ketamine-acepromazine combinations on intraocular pressure in rabbits [J]. Vet Anaesth Analg, 2010, 37(3) : 269-272. doi:10.1111/j.1467-2995.2010.00531.x.
- [22] 贾莉君, 蒋幼芹, 吴振中. 兔眼压正常值与前房穿刺直接测量法 [J]. 眼科研究, 1994, 12(4) : 267-268.
- [23] 李月花, 段宣初, 石晶明. 实验动物的眼压测量 [J]. 国际眼科杂志, 2007, 7(4) : 1087-1091.
- [24] Lim KS, Wickremasinghe SS, Cordeiro MF, et al. Accuracy of intraocular pressure measurements in new zealand white rabbits [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2005, 46(7) : 2419-2423.
- [25] Leske MC, Heijl A, Hussein M, et al. Early Manifest Glaucoma Trial Group. Factors for glaucoma progression and the effect of treatment; the early manifest glaucoma trial [J]. Arch Ophthalmol, 2003, 121(1) : 48-56.
- [26] Moses RA. Theory of the Schiotz tonometer and its empirical calibration [J]. Trans Am Ophthalmol Soc, 1971, 69 : 494-562.
- [27] Takenaka J, Mochizuki H, Kunihara E, et al. Evaluation of rebound tonometer for measuring intraocular pressure at deviated angle and position [J]. Curr Eye Res, 2011, 36(5) : 422-428. doi:10.3109/02713683.2010.534574.
- [28] Li C, Guan G, Huang Z, et al. Noncontact all-optical measurement of corneal elasticity [J]. Opt Lett, 2012, 37(10) : 1625-1627. doi:10.1364/OL.37.001625.
- [29] Tang J, Pan X, Weber PA, et al. Effect of corneal stiffening on Goldmann applanation tonometry and Tono-Pen measurements in canine eyes [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2012, 53(3) : 1397-1405. doi:10.1167/iovs.11-8516.
- [30] Ko MW, Leung LK, Lam DC. Partial contact indentation tonometry for measurement of corneal properties-independent intraocular pressure [J]. Mol Cell Biomech, 2012, 9(4) : 251-268.

(收稿日期:2014-06-24)

(本文编辑:尹卫靖 刘艳)