

兔眼虹膜组织力学特性的实验研究

刘志成¹, 林丁², 王玉慧¹, 刘长春¹, 乔春艳², 赵峰³, 张昆亚¹, 陈刚¹, 袁志慧¹, 董硕¹,
刘海红¹, 田福英¹, 魏岚¹, 韩娜¹, 白淑云¹

(1.首都医科大学 生物医学工程学院, 首都医科大学 生物力学研究中心, 北京 100054;

2.首都医科大学附属北京同仁医院 眼科, 北京 100730; 3.中国科学院 力学研究所, 北京 100080)

摘要: 利用我们创建的将兔眼瞳孔水密缝合后, 模拟眼内前后房压强差, 对虹膜整体进行加压的实验方法, 对兔眼虹膜的力学特性进行了实验研究。结果表明: 兔眼虹膜是典型的粘弹性物质, 面积模量与前后方压强差之间基本成线性关系。实验结果可为青光眼致盲机制解释和瞳孔阻滞力的估算提供参考。

关键词: 兔; 虹膜; 生物力学; 粘弹性; 测量

中图分类号: Q66

文献标识码: A

文章编号: 1005-202X(2002)01-0040-03

引言: 虹膜力学特性的认识是瞳孔阻滞、闭角型青光眼致盲机理解释以及防盲对策研究的基础。Ullrich (1908)及Heine (1913)首先观察到中晚期闭角型青光眼患者的虹膜萎缩变薄并轻度向前膨隆, 前后房的压强差偏离生理状态^[1]。Curran于1920年首先提出瞳孔阻滞的概念^[6], Barkan (1938)阐明闭角的概念, Wyatt与Ghosh (1970)用弹性胶膜代替虹膜, 模拟了瞳孔阻滞现象^[5]。20世纪90年代, Tiedeman根据压力阀门的原理建立了可近似描述虹膜轮廓的数学模型^[7]。所有这些研究都没有涉及虹膜组织的粘弹特性, 主要原因是无法从实验上获得虹膜的力学性质。作为一种生物软组织材料, 虹膜具有明显的粘弹性特征, 如果不能从实验上给出虹膜组织的力学特性, 就无法正确地解释瞳孔阻滞现象的力学机制。

现在, 瞳孔阻滞一直被认为是原发性闭角型青光眼发病的重要病理因素之一, 也是临床周边虹膜切除术的重要理论基础。

采用我们创建的虹膜力学特性实验方法和装置^[12]对兔眼虹膜的力学特性进行了测量, 首次得到了兔眼虹膜粘弹性力学特性的概念性认识。

1 材料与方 法

1.1 实验动物

本实验所用动物为5~6月龄新西兰白兔40只, 由于瞳孔缝合操作较难, 共得到有效试样眼28个。

1.2 实验样品制备

试样制备前用匹罗卡品对兔眼进行缩瞳处理, 每隔10分钟点药一次, 共3次。缩瞳理想后, 静脉注射10毫升空气将兔子处死, 取出一只眼球制备试样, 另一只眼球保持在备用(具

体细节请参见文献[12])。

1.3 实验装置 (请参见文献[12])

加载率选择: 为消除实验中的随机误差, 每个试样均进行三次相同的操作, 取其平均值为该试样的测量值, 因此, 每个试样经历的时间较长, 为保证试样的活性, 要求加载率不宜过小; 此外, 实验表明, 虹膜材料的蠕变行为显著, 若加载率过小, 势必影响虹膜在滞后和应力松弛两个方面特性的测量, 难以获得稳定的应力—应变关系, 经摸索, 实验中我们选用的加载率为38.33 Pa/min。

2 实验数据处理方法

2.1 应变

对采集到的28只兔眼虹膜在加压过程中的变形图片, 用我们自己开发的“图像处理及应变相关量测量系统”提取不同载荷时的虹膜外表面边界。我们定义了弧向线应变 $\lambda = (l - l_0)/l_0$, 面应变 $\gamma = (s - s_0)/s_0$ (见图1), 其中 l 为虹膜在承载时外表面的中心弧长, $l_0 = \overline{ab}$ 为零前后方压强差时的虹膜圆平面直径, 在实验所达到的前后方压强差 P' 范围内, 由于与虹膜连接的巩膜很少变形, 所以, 可以认为 l_0 不变。 s 为虹膜承载时的外表面面积, $s_0 = \pi r^2$, ($r = \overline{ab}/2$)为零应力状态时虹膜外表面面积。

2.2 压强

试样内外压强差, 即模拟前后方压强差为 $P' = P - P_0 = \rho gh$, 其中 P 为试样内表面承受的压强, P_0 为外表面处的压强 (实验中为大气压强), ρ 为生理盐水的密度, g 为重力加速度, h 为试样外表面凸出点与加压器容器中液面的高度差。实验中, P' 的范围为0~980 Pa, 压强步长为16.6 Pa。

2.3 曲率半径

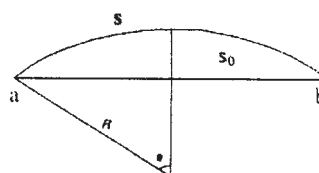


图1 计算虹膜应变的示意图

收稿日期 2001-11-18

基金项目: 本项目受北京市自然科学基金支持, 课题编号: 7972016

本项目受北京市教委科研基金和首都医科大学基础临床结合基金支持。

作者简介: 刘志成 (1955-), 黑龙江五常人, 副教授, 硕士, 首都医科大学生物医学工程学院副院长, 首都医科大学生物力学研究中心副主任。

将提取的虹膜外边缘无误差点(无误差点的说明详见下面的误差分析)的数据拟和成圆,拟和圆的半径 R 即是我们所定义的虹膜曲率半径(见图 1)。

2.4 预实验及操作误差处理

每个样品在正式实验前均进行 3 次预实验,预实验的最大压强为 1000 Pa。为尽量减少实验操作造成的偶然误差,每个样品均进行 3 次重复实验,数据处理时,取 3 次实验数据的平均值为该样品的测量值。

2.5 数据处理

用 SPSS 软件包对所得到的 28 个样品的应变数据进行统计处理,最后绘出 $\lambda-P'$ 和 $R-P'$ 曲线。从而得到了兔眼虹膜的本构关系。

3 结果与讨论

3.1 面应变与前后方压强差的关系

虹膜面应变 γ 呈如下规律:

$$\gamma = \gamma_0 \exp(c/P') \quad (1)$$

从图 2 可以看出,兔眼的虹膜材料具有滞后现象,当 $P' < 200$ Pa 时,兔眼虹膜比较柔软,极易产生大的非线性变形,当 $P' > 300$ Pa 时,虹膜将不再发生任何变形,此结果提示我们,兔眼前后房压强差的最大值不会超过 200 Pa。此外,从 $\gamma-P'$ 的关系式可以看出,当前后房压强差足够大时,加载与卸载曲线相汇。

表 1 面应变系数

过程	γ_0	c (Pa)	拟合度
加载	0.0411	-19.363	0.973
卸载	0.0428	-3.506	0.987

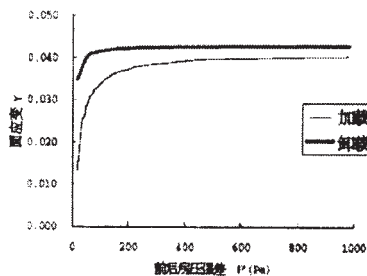


图 2 面应变与前后房压强差的关系

由于弧向线应变 λ 与 γ 面应变及曲率半径 R 之间有如下关系

$$\lambda (\cos^2\theta - \cos\theta) = 0.5\gamma(\theta - \sin\theta)\sin\theta$$

其中, $\theta = \text{tg}^{-1}(0.5l_0/R)$, 可以根据已知的 R 和 γ 的数据计算出相应的 λ 。故此没有给出弧向线应变与前后房压强差之间的曲线关系。

3.2 曲率半径与前后房压强差的关系

图 3 给出了瞳孔缝合后的兔眼虹膜球缺的曲率半径 R 与前后房压强差 P' 的关系。经曲线拟合可以得到:

$$R = R_0 \exp(d/P') \quad (2)$$

其中 R 为曲率半径, R_0 、 d 为常数, P' 为前后房压强差。

3.3 面积模量与前后房压强差的关系

从面积模量与前后房压强差的关系曲线(图 4)可以看出,面积模量与前后房压强差 P' 之间基本上呈线性关系,随着 P' 的增大,他们之间的线性关系更好。

表 2 曲率半径系数

	R_0 (mm)	d (Pa)	拟合度
加载过程	21.1894	10.278	0.984
卸载过程	19.9056	1.834	0.938

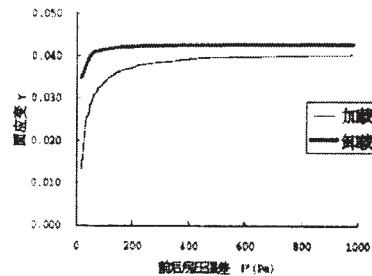


图 3 兔眼虹膜曲率半径与前后房压强差的关系

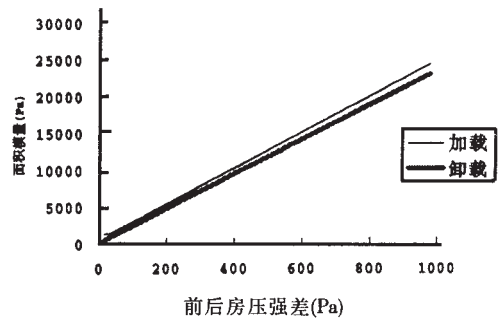


图 4 兔眼虹膜面积模量与前后房压强差的关系

4 误差估计

本实验的主要误差来源是压强控制系统液面高度读数误差和应变测量误差。

4.1 压强测量误差

实验中的压强控制系统液面高度是通过齿轮沿竖直齿条的滚动来完成的,齿条的齿距为 1.695 mm 每次高度改变一或两齿,即 1.695 mm 或 3.390 mm,由于齿轮与齿条之间配合的紧密性,使得这一部分的测量误差很小。

4.2 应变测量误差

图 5 给出了虹膜曲率半径 R 与前后房压强差 P' 关系的一个标准差误差范围,图中表明当 P' 较小时,误差较大;而当 P' 较大时,误差相对较小。主要原因是:人为估计虹膜零应力点时,存在一定的误差;此外,由于对兔眼瞳孔进行水密缝合,缝合的不均匀性会造成小应力时虹膜外边缘凹凸不平。当对其进行边缘图像提取时,在小压强差时,提取的边缘线略长于实际边缘线,按虹膜直径 12 mm,收缩后的瞳孔直径 1 mm,瞳孔边缘缝合 1 mm 计算,此操作所带来的误差将不超过 6%。为去除此误差,我们对膨隆的虹膜进行了边缘拟合,结果发现,虹膜为一个曲率半径随前后房压强差增大而不断减小,底边缘大小基本不变的球缺,如果采取远离可能造成误差的虹膜——巩膜连接处和瞳孔缝合处提取曲率半径的做法,可以比较准确地了解虹膜的真实力学特性。所以,我们认为虹膜的曲率半径是虹膜力学特性的敏感量。根据这一认识,我们建立了一个等厚球缺虹膜力学模型(将另文给出),这一模型将有利于房角闭锁和瞳

孔阻滞力的讨论。

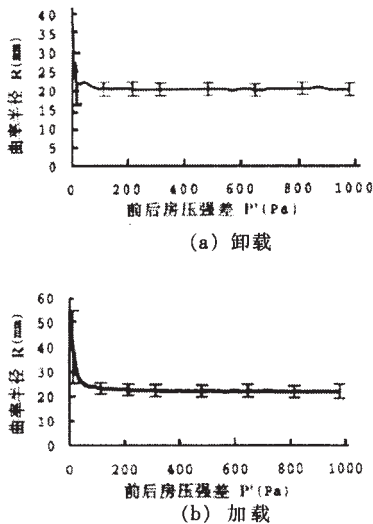


图5 虹膜曲率半径与前后房压强差关系的误差范围

5 结论

- (1) 获得了以面积应变 γ 、虹膜曲率半径 R 与前后房压强差 P' 的关系表达的兔眼虹膜的本构关系；
- (2) 认识到虹膜的曲率半径是易测的虹膜力学特性敏感参量。利用虹膜曲率半径与前后房压强差之间的关系,临床上

可通过测量曲率半径 R 来了解前后房压强差状况。

参考文献：

- [1] 林丁,等.瞳孔阻滞的研究[M].眼科,1993,分期.
- [2] 冯元桢.生物力学—活组织的力学特征[M].长沙:湖南科技出版社,1986.
- [3] 黄俊钦,等.测试系统动力学[M].北京:国防工业出版社,1996.
- [4] Mapstone R. Mechanism of pupil block[J]. Br J ophthalmology , 1968 52 :19.
- [5] Mapstone R. Force determining pupil size. Expel[J]. eye. Res, 1970, 10:47.
- [6] Whatt H, Ghosh J. Behavior of an iris model and the pupil block hypothesis[J]. Br J Ophthalmology, 1970,44:332.
- [7] Kondo T, Miura M. A method of measuring pupil-blocking force in human eye. Graefe's Arch Clin Exp[J]. ophthalmology, 1987, 70 : 668.
- [8] Tiedeman JS. A physical analysis of the factors that determine the contour of the iris[J]. Am J ophthalmology,1991,111:338
- [9] Anderson Dr, Jin JC, Wright MM. The physiologic characteristics of relative pupillary Block[J]. Am J ophthalmology,1991,111:344
- [10] 曾衍均.角膜力学特性试验研究.生物力学进展[C].科学出版社,1994.117.
- [11] [M]Theodore Krupin. 青光眼的诊断与治疗[M].北京:人民卫生出版社,1995.
- [12] 刘志成,等.虹膜组织力学特性研究的实验方法探索[J].中国医学物理学杂志 2001 ,18(4):234-236.

A experimental research on biomechanical properties of iris tissue of rabbits

LIU Zhi-cheng¹, LIN Ding², WANG Yu-hui¹, QIAO Chun-Yan², ZHAO Feng³, et al.

(1.College of Biomedical Engineering, Capital University of Medical Sciences, Beijing 100054; 2.Beijing Tongren Hospital, Beijing 100730, 3.Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract : The biomechanical properties of the iris tissue of the rabbit have been measured with the measuring method and instrument developed by us. The modula about strain of surface and the radius of curvature has been gotten. They are $\gamma = \gamma_0 \exp(c/P')$ and $R = R_0 \exp(d/P')$ where P' is the difference of pressure between anterior chamber and posterior chamber in eye.

Key words: measure; biomechanical properties; iris tissue; rabbits

(上接第 34 页)

Abstract: Objective: to empolder a sort of transfusion ware with multi-function convenient to dosage confect injection instead of syringe. **Multiply and Methods:** being made from the stainless steel and polythene, multi-function transfusion ware includes two part: confect requitment—the upper part of the ware is used to mix medicine and injection, the remaining part named hypo-dermic part, is used to transfusion. By the two part transfusion is completed. **Results:** Multi-function transfusion ware is more suit-abel to medicine mixing and injecting with hard packing or soft packing and open or close packing. **Conclusion:** Multi-function infusion on ware not only replace temporary mixing of the syringe, receive the value of casualty, but also is able to overcome the shortcoming of existing transfusion ware, reduce pollution possibility and injection drop, it is more favourable to salvage of crucial patient while medical workers' work load is cut down.

Key words: muti function; infusion on ware; develop