

飞秒激光及机械刀制备兔眼角膜瓣后角膜生物力学变化的比较

张波, 顾建军, 周胜, 黄国富, 杨斌, 王铮*
(中山大学中山眼科中心//眼科学国家重点实验室, 广东广州 510060)

摘要:【目的】比较飞秒激光、微型机械角膜刀制备角膜瓣愈合后对角膜生物力学的影响。【方法】新西兰白兔 10 只, 全麻下双眼分别用微型角膜刀及飞秒激光来制备角膜瓣。术后 1 d、3 d、1 周、1 月、3 月、6 月行裂隙灯照相。术后 6 月全麻下处死兔, 剥除双眼, 将离体角膜片固定在改良的人工前房上并联合眼前节分析仪测量角膜的生物力学变化。【结果】机械刀制备的角膜瓣厚度(107 ± 27) μm , 飞秒激光角膜瓣的厚度(107 ± 18) μm , 两组角膜瓣的厚度差异无统计学意义($P > 0.05$)。随着前房压力的增加, 中央前房深度不断增加, 在压力 60、75 mmHg 时机械刀组前房深度分别增加(0.25 ± 0.06)mm、(0.30 ± 0.06)mm; 而飞秒激光角膜瓣组增加(0.18 ± 0.03)mm、(0.22 ± 0.06)mm; 两组分别比较差异均有统计学意义($P < 0.05$)。随着前房压力的升高, 角膜前后表面的曲率逐渐增加, 在前房压力达到 30 mmHg 以上时角膜曲率趋于稳定; 角膜后表面曲率在前房压力超过 30 mmHg 时飞秒激光及机械刀两者间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。随着前房压力的升高, 角膜厚度及角膜的体积变小, 前房容积增加, 但各压力梯度下飞秒激光及机械刀两者相比差异无统计学意义($P > 0.05$)。【结论】在高眼内压状态下, 与微型机械角膜刀相比, 飞秒激光制备的角膜瓣在角膜愈合后角膜后表面曲率及角膜前突变化更小; 飞秒激光制备角膜瓣具有更好的角膜生物力学稳定性。

关键词: 角膜; 生物力学; 飞秒激光; 微型角膜刀

中图分类号: R779

文献标志码: A

文章编号: 1672-3554(2011)04-0479-06

Comparison of Corneal Biomechanics after Corneal Flap with Femtosecond Laser and Microkeratome in Rabbit Eyes

ZHANG Bo, GU Jian-jun, ZHOU Sheng, HUANG Guo-fu, YANG Bin, WANG Zheng*

(Zhongshan Ophthalmic Center, State Key Lab of Ophthalmology//Sun Yat-sen University, Guangzhou 510060, China)

Abstract:【Objective】 To compare the recovery of corneal flaps prepared by femtosecond laser and microkeratome and their influence on corneal biomechanics.【Methods】 Ten New Zealand white rabbits were used for corneal flap preparation with microkeratome and femtosecond laser, respectively, under general anesthesia. In the follow-up on 1 day, 3 days, 1 week, 1 month, 3 months, and 6 months after surgery, image was taken by slit lamp. After the follow-up at 6 months, rabbits were euthanized under general anesthesia. Both eyes were enucleated and were used for preparation of intact cornea with some sclerotic tissue. The isolated corneas were mounted on the Barron artificial chamber and images of the anterior segment were taken at varied posterior pressures by Pentacam. The biomechanics of the corneas were measured by this model.【Results】 Thickness of corneal flaps by microkeratome was (107 ± 27) μm , while thickness of corneal flaps by femtosecond laser was (107 ± 18) μm . No statistically significant difference was seen in corneal flap thickness between the two groups ($P > 0.05$). As anterior chamber pressure increased, the depth of anterior chamber was continuously increased. Under the pressure of 60 or 75 mmHg, the increase of anterior chamber depth was (0.25 ± 0.06) mm, (0.30 ± 0.06) mm respectively in microkeratome group; whereas (0.18 ± 0.03) mm, (0.22 ± 0.06) mm in femtosecond laser group. There were statistically significant differences between the two groups ($P < 0.05$). As anterior chamber pressure increased, anterior and posterior corneal curvatures increased gradually and became stable beyond 30 mmHg. Statistically significant differences

收稿日期: 2011-02-25

基金项目: 教育部优秀青年教师基金(教人司 2002 350 号); 广东省级科技计划项目(2002C30902)

作者简介: 张波, 博士生, E-mail: zb7623@yahoo.com.cn; * 通信作者: 王铮, 教授, 博士生导师, E-mail: gzstwang@gmail.com

were seen in posterior corneal curvature between the two groups beyond 30 mmHg ($P < 0.05$). As anterior chamber pressure increased, corneal thickness and corneal volume decreased, and volume of anterior chamber increased, but no statistically significant difference was seen between femtosecond laser and microkeratome groups under varied pressure gradients ($P > 0.05$). 【Conclusion】 At higher intra-ocular pressure, there are smaller changes of posterior corneal curvature and corneal protrusion in femtosecond laser group compared with microkeratome group. Corneal flap prepared with femtosecond laser has better biomechanical stability.

Key words: cornea; biomechanics; femtosecond laser; microkeratome

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2011, 32(4):479-484]

准分子角膜屈光手术尤其激光原位角膜磨镶术(laser in situ keratomileusis, LASIK)手术是目前矫正屈光不正的主流术式。但 LASIK 手术仍可能伴随一些并发症的发生, 其主要包括微型角膜刀制备角膜瓣时引起的制瓣相关的问题以及近年来陆续报道的术后角膜扩张、继发性圆锥角膜的发生^[1-3]。因此寻求更加安全的制备角膜瓣的飞秒激光(femtosecond laser)应运而生, 并得到了飞速发展。有研究表明飞秒激光制备角膜瓣的稳定性更好, 但对于角膜整体的生物力学的影响仍需要深入研究。在较前建立的简单而有效的角膜生物力学研究模型的基础上, 我们比较飞秒激光及微型角膜刀两种方式制备兔眼角膜瓣对角膜生物力学影响的差异, 从而探讨飞秒激光制备角膜瓣在角膜生物力学的影响方面是否具备优势。

1 材料与方 法

1.1 实验动物

新西兰白兔, 雌性, 2.5~3.0 kg, 购于广东省实验动物中心, 实验前肌肉注射氯丙嗪、氯胺酮全身麻醉后, 用 DHC1000 超声角膜测厚仪测量兔双眼中央角膜厚度, 双眼差异不超过 10 μm 的兔 10 只入选实验并编号, 在实验前 1 周, 所有兔的双眼瞬膜(第 3 眼睑)从根部用剪刀完整剪除, 烧灼止血后, 结膜囊涂上妥布霉素眼膏, 以后每天滴复方妥布霉素滴眼液, 每日 3 次, 所有动物饲养于中山大学中山眼科中心动物实验中心。

1.2 兔眼角膜瓣的制备

兔全身麻醉后, 双眼分别进行 Hansotome 微型角膜刀及飞秒激光 IntraLase 制备角膜瓣, 实施眼别采用随机化原则, 由于双眼同时进行手术可能影响动物的饲养, 以及飞秒激光制备角膜瓣具有更高准确性等方面的考虑, 所有兔一眼先行微型角膜刀制备角膜瓣, 角膜瓣参数设计: 角膜瓣厚度 130 μm , 角膜瓣直径 9 mm, 蒂位于上方。由于兔眼

球偏小, 负压吸引困难, 将整个兔眼脱出, 用纹式钳固定, 顺利制备角膜瓣, 掀开角膜瓣后立即测量瓣下角膜基质床厚度, 测量 3 次, 取平均值, 实际角膜瓣的厚度=术前角膜中央厚度-角膜基质床厚度。角膜层间点可必妥滴眼液一滴后将角膜瓣复位, 用圆规准确测量角膜瓣的直径及蒂的宽度并记录。用 4-0 丝线缝合睑缘以防止兔子苏醒后搔抓眼部导致角膜瓣移位。术后第 2 天, 拆除睑缘缝线, 观察角膜瓣有无移位、有无水肿, 角膜上皮是否完整等状况, 局部点滴复方妥布霉素滴眼液, 每日 4 次。一周后, 兔全身麻醉后另一眼采用 IntraLase 制取角膜瓣, 角膜瓣参数的设计采用前术眼角膜瓣的实际测量值, 其他激光参数设置如下: 角膜瓣弧度 55°, 角膜瓣边缘切割角度 70°, 角膜瓣基质床切割能量是 1.0 μJ , 飞秒激光扫描线距是 8 μm , 飞秒激光光斑点距 8 μm , 角膜瓣边缘切割能量 1.3 μJ 。所有角膜瓣蒂均位于上方。用角膜铲分开角膜瓣, 同样立即测量瓣下角膜基质床厚度。层间点一滴可必妥滴眼液后将角膜瓣复位, 用圆规准确测量角膜瓣的直径及蒂的宽度并记录。用 4-0 丝线缝合睑缘, 防止角膜瓣移位。术后观察及处理同前。

1.3 术后观察

术后 1 d、3 d、1 月、2 月、6 月裂隙灯照相及处死时观察角膜瓣的愈合状况。

1.4 角膜生物力学研究

1.4.1 角膜试件的准备及固定 术后 6 月, 全麻下处死兔子, 摘除双眼, 在 12 点位角膜缘处标记笔标记, 在显微镜下完整剪下带 3 mm 宽巩膜的角膜组织, 在显微镜下除去虹膜、睫状体、晶状体等, 将角膜试件固定在人工前房上 (Barron artificial chamber, K2010, Katena, US)。角膜顶点与人工前房的中心在显微镜下调整一致, 整个过程保持角膜上皮的完整。

1.4.2 膜膨胀实验 通过两根硅胶管与人工前房的两个接头相连, 一个硅胶管连接压力换能器

(YP101,北京新航科技科贸公司)及生理信号测量系统(BL-420F,成都泰盟科技公司)记录压力的变化;另一根与一个可以移动的水槽相连。通过水槽的上下移动,改变人工前房内的压力,从而模拟眼内压的改变。将整个装置固定在眼前节分析仪Pentacam(Oculus,Germany)的支架间,并可以上下移动调整位置。为减少角膜试件蠕变的效应及改善测量的稳定性,实验前对角膜进行预调,最大压力设为75 mmHg,共3次,每次间隔5 min。前房压力梯度选择如图1所示,在每个压力梯度下维持5 min,角膜蠕变稳定后进行模型的测量。

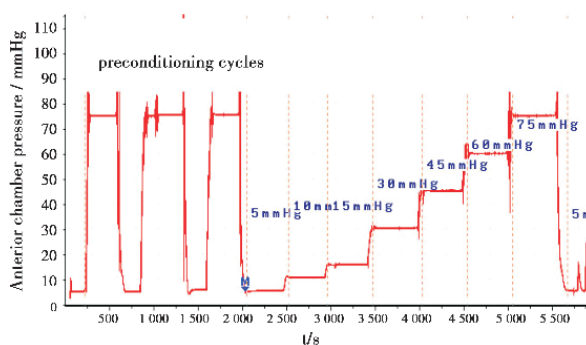


图1 离体兔眼角膜膨胀实验流程

Fig.1 Time course of inflation test of isolated cornea in rabbit eyes

Three cycles of loading and unloading up to 75 mmHg at intervals of 5 minutes were applied to recondition and stabilize the corneal behavior. The anterior chamber pressure was varied stepwise from 5 mmHg to 75 mmHg. Every pressure gradient was kept for 5 minutes and then the images were taken by Pentacam

1.5 统计学分析

采用SPSS 13.0 统计分析软件,各测量的参数的数据采用均数 \pm 标准差表示,两组不同压力间采用配对 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 兔眼角膜瓣厚度的分布

10只兔中有3只兔眼在机械刀制备角膜瓣时发生瓣的异常,未纳入本研究。飞秒激光和机械刀制备角膜瓣的实际厚度两组间差异无统计学意义(表1)。机械刀制取的角膜瓣实际厚度与预计值间的偏差为 $(30 \pm 18) \mu\text{m}$;飞秒激光制备角膜瓣实际厚度与设定值间的偏差为 $(18 \pm 9) \mu\text{m}$;但两者间差异无统计学意义。

表1 飞秒激光、机械刀制备兔眼角膜瓣厚度的比较

Table 1 Comparison of corneal flap thickness in rabbit eyes between femtosecond laser and microkeratome groups

Group	No. of eyes	Flap thickness/ μm	CCT/ μm
Hanstanome MK	7	107 ± 27	369 ± 14
Intralase-FS	7	107 ± 18	369 ± 17
<i>P</i> value		0.91	0.984

MK; microkeratome; FS; femtosecond laser; CCT; central corneal thickness

2.2 角膜生物力学测量

将兔眼离体角膜固定在人工前房上,在前房压力变化下,Pentacam检测并记录各压力梯度(p_x)下眼前节参数如角膜厚度(CCT)、前房容积(ACV)、角膜体积(CV)、中央前房深度(ACD),前房压力5 mmHg设定为初始眼压(p_0),通过参数的改变来反映角膜生物力学的变化。

2.2.1 中央前房深度的变化 随着前房压力的升高,角膜顶点前移,相应前房深度加深,在压力60 mmHg时机械刀角膜瓣组前房深度增加 $(0.25 \pm 0.06) \text{mm}$,而飞秒激光角膜瓣组增加 $(0.18 \pm 0.03) \text{mm}$,两组差异有统计学意义($P = 0.028$);75 mmHg时飞秒激光组前房深度增加 $(0.22 \pm 0.06) \text{mm}$,机械刀组增加较明显,达到 $(0.30 \pm 0.06) \text{mm}$,两组间差异有统计学意义($P = 0.025$;图2)。

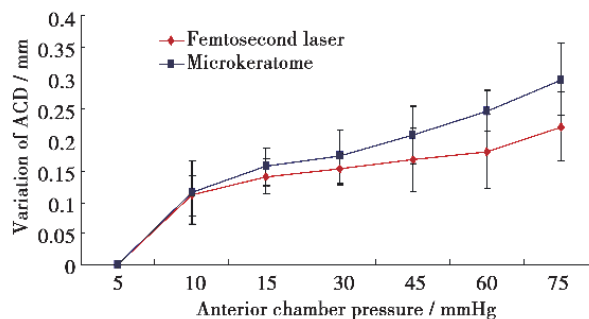


图2 不同前房压力梯度下中央前房深度变化

Fig.2 Changes of anterior chamber depth with increase of anterior chamber pressure

2.2.2 中央角膜厚度的变化 随着前房压力的逐渐升高,角膜厚度减小,各压力梯度下角膜厚度变化率两组间差异无统计学意义($P > 0.05$;图3),其中,角膜厚度变化率 $r_{\Delta\text{CCT}} = (l_{\text{CCT},p_x} - l_{\text{CCT},p_0}) / l_{\text{CCT},p_0}$,其中, p_0 为前房压力5 mmHg的初始眼压, p_x 为各梯度

压力。

2.2.3 角膜曲率的变化 随着前房压力的升高,角膜前后表面的曲率逐渐增加,在前房压力达到 30 mmHg 以上时角膜曲率趋于稳定。飞秒激光与机械刀组角膜前表面曲率未见明显差异($P > 0.05$;图 4);但角膜后表面曲率在前房压力超过 30 mmHg 时两者间差异有统计学意义($P < 0.05$;图5)。

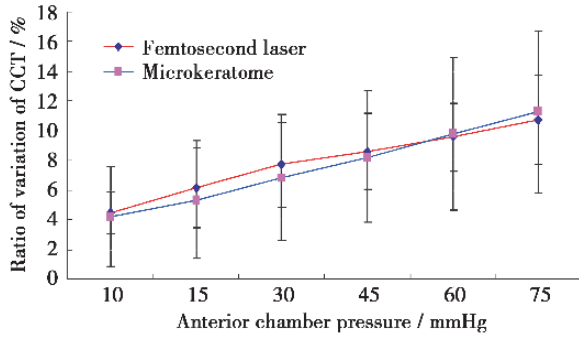


图 3 不同前房压力梯度下角膜厚度的改变

Fig.3 Variation of central corneal thickness with increase of anterior chamber pressure

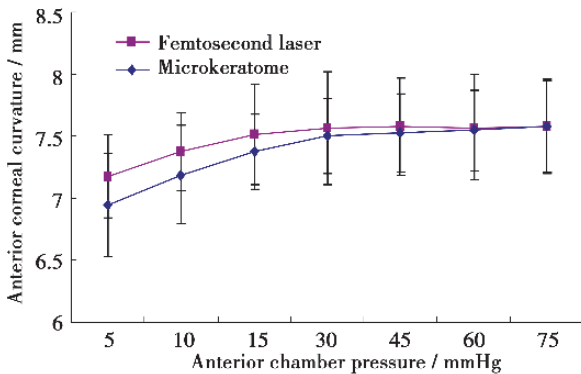


图 4 不同前房压力梯度下角膜前表面曲率的改变

Fig.4 Variation of anterior corneal curvature with increase of anterior chamber pressure

2.2.4 角膜体积的变化 随着前房压力的升高,角膜体积变小,两组间各压力梯度下差异无统计学意义($P > 0.05$;图 6)。

2.2.5 前房容积变化 人工前房几乎是不可压缩的材料制成的,人工前房底座的容积可保持不变(100 mm³)。从人工前房底座做一水平线,分析线以上的体积的变化可以反映整个角膜前向移位的生物力学效应。将 Pentacam 测量的前房容积减去人工前房底座的容积即看成真正意义上的前房,

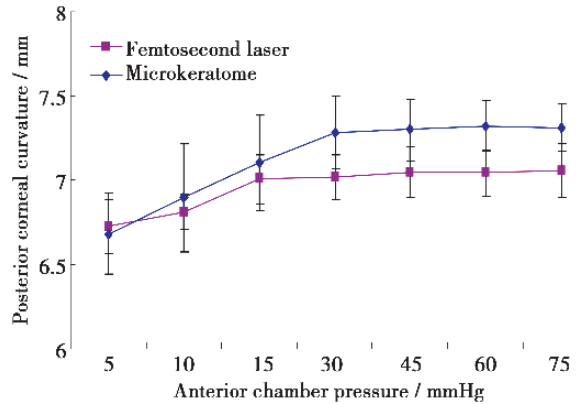


图 5 不同前房压力梯度下角膜后表面曲率的改变

Fig.5 Variation of posterior corneal curvature with increase of anterior chamber pressure

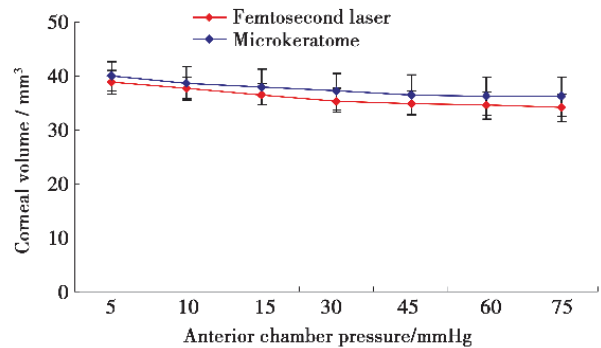


图 6 不同前房压力梯度下角膜体积的变化

Fig.6 Variation of corneal volume with increase of anterior chamber pressure

类似一球缺。随着前房压力的升高,两组前房容积增加,但各压力梯度下两组差异无统计学意义($P > 0.05$;图 7)。前房容积变化率 $r_{\Delta ACV} = (A_{CV, P_x} - V_{AC, P_0}) / (V_{AC, P_0} - 100)$,其中, p_0, p_x 为初始 5 mmHg 和各梯度前房压力, V_{AC} 为前房容积。

3 讨论

3.1 飞秒激光角膜瓣厚度的预测性

随着工艺的不断完善,机械微型角膜刀制备角膜瓣的安全性、可预测性都有很大的提高,但在制瓣的过程中仍然可能出现一些威胁术后视力的并发症,如:偏心瓣、不规则瓣、不完整瓣、钮扣瓣、上皮损伤^[4]等。微型角膜刀制备的角膜瓣厚度的标准差大约在 $\pm(20 \sim 40)\mu\text{m}$,不同型号的微型角膜刀有所差异,角膜瓣厚度中央偏厚、周边较薄,

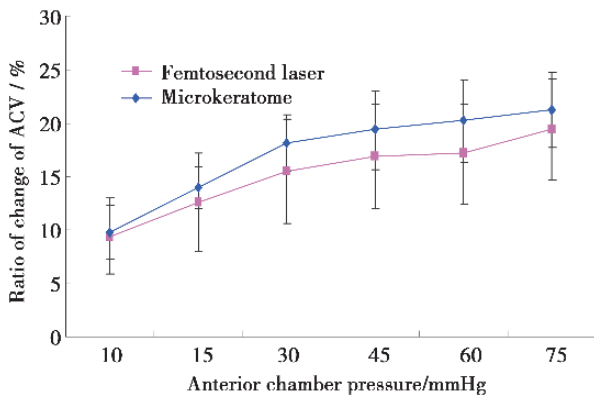


图7 不同前房压力梯度下前房容积变化率的改变
Fig.7 Variation of anterior chamber volume with increase of anterior chamber pressure

变异性大。有研究显示现有的机械方式制作的角膜瓣厚度与预先设定的厚度相关性差可能导致更深层的角膜基质被激光切削^[5]。微型角膜刀制备角膜瓣受术前角膜曲率、角膜厚度、刀震动速度、刀片质量等影响较大,因此在制备角膜瓣方面存在学习曲线。飞秒激光作为一种新的激光模式具备瞬时高能的特点,对组织切削精确度高。较多的研究已经证实了飞秒激光制作角膜瓣更具优势,不仅可以降低甚至是消除游离瓣、不规则瓣、偏心瓣、上皮损伤等并发症的出现,而且与机械方式制作角膜瓣比较,可以显著提高角膜瓣厚度的可预测性^[6-9]。Holzer等^[10]对飞秒激光角膜瓣的形态、瓣的准确性以及组织病理学进行了详细的研究,结果表明飞秒激光制备的角膜瓣精确度高、一致性好;组织病理学显示角膜基质几乎没有变化,瓣边缘光滑而陡峭。本实验中我们采用机械刀制备角膜瓣的实际厚度作为飞秒激光角膜瓣的设计参数,结果发现飞秒激光制备角膜瓣的实际测量值与预计值间无统计学差异,表明飞秒激光制备角膜瓣的厚度有较好的预测性,在此基础上比较角膜生物力学的变化才更有意义。研究中我们发现飞秒激光制备角膜瓣厚度与预计值间的偏差略低于机械刀组,但未见统计学差异,究其原因我们认为可能与样本量偏少及飞秒激光制备角膜瓣的设定参数没有固定有关。

3.2 飞秒激光角膜瓣的生物力学研究

研究角膜的力学性能对角膜形状的维持、屈光手术的设计、人工角膜的研发、角膜接触镜的设计等方面有重要作用,对一些角膜疾病如圆锥角

膜、角膜变性、角膜外伤等的诊断与治疗,预后及改善视力等也有重要参考价值。准分子激光手术发展至今,如何确保手术的安全至关重要。屈光手术后角膜组织部分丧失,对角膜生物力学影响不言而喻。角膜生物力学临床上的改变可表现为角膜形态立刻改变,也可以随时间推移形态不稳定,以及对诸如角膜水合的改变、缺氧、后续的损伤或手术等刺激引发形态改变的敏感度增加。如何尽可能减小对角膜生物力学的干扰需要深入的研究。

较多的临床实践发现飞秒激光辅助下的LASIK手术后二次加强手术中掀开角膜瓣比通常掀开机械刀制备的角膜瓣要困难许多,对角膜瓣的组织愈合通过共焦生物显微镜显示飞秒激光制备角膜瓣瓣周的瘢痕要比机械刀明显,提示飞秒激光角膜瓣的稳定性更好^[11]。Kim等^[12]最早对飞秒激光的角膜瓣的粘附力进行了研究,发现术后3月与机械刀组相比,角膜瓣的粘附力更强。Knorz等^[13]比较了机械刀及飞秒激光制备角膜瓣粘附力并且分析了不同的边缘切削角度的效应。将新西兰白兔分成4组,一组采用Amadeus II微型角膜刀,其余三组采用飞秒激光,包括正常能量的边缘切削(边缘角70°,能量0.8 μJ)、高能量边缘切削(边缘角70°,能量1.6 μJ)、翻转边缘切削(边缘角140°,能量0.8 μJ)。术后75 d处死动物,使用拉伸记录仪掀开角膜瓣。结果发现机械刀组平均力为相当于质量为(210 ± 89)g的重力,飞秒激光正常能量组为(492 ± 46)g,高能量组为(444 ± 13)g,而翻转边缘切削组平均力高达(687 ± 105)g。飞秒激光各组与机械刀组存在统计学差异,翻转边缘切削组与常规70°的边缘角的切削组也存在统计学差异。研究结果表明飞秒激光比机械刀有更强的瓣粘附力,而且反转切削比传统的切削角更能增加瓣的粘附力。瓣的粘附力有助于减少术后创伤角膜瓣移位的风险^[14],同时也可能减少角膜扩张的危险。但直到目前,飞秒激光制备的角膜瓣在角膜愈合后对角膜生物力学整体影响能否显示优势仍没有定论。本研究中我们将离体兔眼角膜固定于人工前房,建立模型眼,在流体静力压改变的情况下采用角膜膨胀实验法测量角膜的生物力学变化,同时联合眼前节分析仪检测,建立了一种的新角膜生物力学测量的模型。在此基础上,对飞秒激光制备角膜瓣后的生物力学进行整体研究,我们

发现术后 6 月, 飞秒激光角膜瓣组在眼压较高的状况下模型眼的中央前房深度增加值较机械刀组更小, 而中央前房深度的变化与角膜顶点的前突改变非常近似, 从而可以认为飞秒激光组的角膜随着眼内压的升高, 角膜表现更稳定。本研究还发现随着前房压力的升高, 角膜体积、角膜厚度都逐渐减小, 但两组未发现明显差异。这可能有两种原因: 一方面目前认为角膜材料是不可压缩的, 角膜厚度的减小一般可认为是角膜表面延伸的代价; 另一方面 Pentacam 在测量周边角膜、角膜缘区本身固有的缺陷, 并不能完全测量整个角膜的体积, 只是显示距离角膜顶点 10 mm 范围内角膜体积。我们研究发现随着前房压力的升高, 角膜的曲率逐渐增加, 角膜有变扁平的趋势, 在压力超过 30 mmHg 时角膜曲率趋于稳定, 但角膜后表面的曲率机械刀组明显高于飞秒激光组, 提示机械刀组角膜后表面更扁平, 这似乎与高眼内压力下机械刀组角膜前突增加更明显相矛盾, 究其原因在于我们在固定角膜时考虑尽量维持整个角膜的圆拱状结构, 将角膜缘固定于人工前房的边缘, 在前房压力明显升高的情况下, 周边角膜向外周扩展, 而机械刀组的角膜表现更为明显, 从而将角膜后表面拉伸的更扁平。但研究发现前房容积二者间未见统计学差异, 这似乎与机械刀组角膜前突、曲率增加明显不一致, 这可能与周边角膜向外扩展及 Pentacam 在测量前房容积方面有缺陷, 其对周边前房的估计不足所致, 因此需求更准确的测量模型以及对 Pentacam 测量软件的更新研究是解决此类问题的关键。

综上所述, 飞秒激光制备角膜瓣在高眼压状态下角膜生物力学的稳定性与机械刀相比有一定的优势。飞秒激光与机械刀角膜瓣愈合机制及角膜胶原重塑方面是否存在差异, 其与角膜生物学变化的关系仍需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Pallikaris IG, Kymionis GD, Astyrakakis NI. Corneal ectasia induced by laser in situ keratomileusis [J]. J Cataract Refract Surg, 2001, 27(9): 1796-1802.
- [2] Binder PS. Analysis of ectasia after laser in situ keratomileusis: Risk factors [J]. J Cataract Refract Surg, 2007, 33(8): 1530-1538.
- [3] Randleman JB, Russell B, Ward MA, et al. Risk factors and prognosis for corneal ectasia after LASIK [J]. Ophthalmology, 2003, 110(8): 267-275.
- [4] Melki SA, Azar D T. LASIK complications: etiology, management, and prevention [J]. Surv Ophthalmol, 2001, 46 (2): 95-116.
- [5] Kezirian GM, Stonecipher KG. Comparison of the IntraLase femtosecond laser and mechanical keratomes for laser in situ keratomileusis [J]. J Cataract Refract Surg, 2004, 30(7): 804-811.
- [6] Alió JL, Piñero DP. Very high-frequency digital ultrasound measurement of the LASIK flap thickness profile using the IntraLase femtosecond laser and M2 and Carriazo-Pendular microkeratomes [J]. J Refract Surg, 2008, 24 (1): 12-23.
- [7] Ahn H, Kim JK, Kim CK, et al. Comparison of laser in situ keratomileusis flaps created by 3 femtosecond lasers and a microkeratome [J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(2): 349-357.
- [8] Luengo Gimeno F, Chan CM, Li L, et al. Comparison of eye-tracking success in laser in situ keratomileusis after flap creation with 2 femtosecond laser models [J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(3): 538-543.
- [9] Kim CY, Song JH, Na KS, et al. Factors influencing corneal flap thickness in laser in situ keratomileusis with a femtosecond laser [J]. Korean J Ophthalmol, 2011, 25 (1): 8-14.
- [10] Holzer MP, Rabsilber TM, Auffarth GU. Femtosecond laser-assisted corneal flap cuts: morphology, accuracy, and histopathology [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2006, 47 (7): 2828-2831.
- [11] Kitzmann AS, Bourne WM, Patel SV. Confocal microscopy of a femtosecond laser LASIK flap before separation [J]. Am J Ophthalmol, 2007, 143 (4): 691-693.
- [12] Kim JY, Kim MJ, Kim TI, et al. A femtosecond laser creates a stronger flap than a mechanical microkeratome [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2006, 47 (2): 599-604.
- [13] Knorz MC, Vossmerbaeumer U. Comparison of flap adhesion strength using the Amadeus microkeratome and the IntraLase iFS femtosecond laser in rabbits [J]. J Refract Surg, 2008, 24(9): 875-878.
- [14] Sridhar MS, Rapuano CJ, Cohen EJ. Accidental self-removal of a flap-a rare complication of laser in situ keratomileusis surgery [J]. Am J Ophthalmol, 2001, 132(9): 780-782.