doi:10.11659/jjssx.04E016091

·临床研究·

浅板层角膜移植术中飞秒激光切削深度和角膜创面质量的相关性

王 科,熊 洁,罗启慧,张辰星 (第三军医大学西南医院眼科,重庆 400038)

[摘 要] **目的** 对比研究飞秒激光在不同角膜深度进行板层切削时产生的角膜创面质量差异,为飞秒激光在浅板层角膜移植中的应用提供理论基础。**方法** 采用飞秒激光在20个尸眼角膜上进行不同深度的全板层角膜切削,按照相对切削深度(切削深度与角膜中央厚度的百分比值)分为17%~21%组(100 μm,$n=3$),31%组($n=5$),35%组($n=5$),38%~40%组($n=4$),45%~48%组($n=3$)。扫描电镜下观察标本角膜创面质量,对角膜创面按照隆起度和粗糙度2个标准进行评分,每个标准分值为1~5分(1分为最好,5分为最差)。**结果** 隆起度评分和飞秒激光切削深度密切相关($P=0.000\ 24$,$R=0.73$),切削深度越浅,隆起度得分越低,17%~21%组得分为1.25分,31%组得分2.15分,显著低于切削更深的其他组。各深度组粗糙度得分为2.19~3.08分,各组间差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 浅板层角膜移植中使用飞秒激光进行板层角膜切削时,切削深度越深产生的角膜创面质量越差,切削深度与角膜中央厚度的百分比值在31%时,能够在切削深度和创面质量之间取得良好的折中。

[关键词] 飞秒激光;板层角膜移植;切削深度

[中图分类号] R779.63 [文献标识码] A [收稿日期] 2016-05-04

Correlation of corneal wound quality and different corneal lamellar-cut depths with femtosecond laser for lamellar anterior keratoplasty

WANG Ke, XIONG Jie, LUO Qi-hui, ZHANG Chen-xing (Department of Ophthalmology, Southwest Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective To evaluate the corneal wound quality of different corneal lamellar-cut depths with the femtosecond laser for femtosecond laser-assisted lamellar anterior keratoplasty so as to provide theoretical basis for the appliation of femtosecond laser. **Methods** Full lamellar cuts were made on 20 human cadaver corneas through femtosecond laser. The 20 human cadaver corneas were divided into 5 groups according to the relative cutting depth which means ratio of the actual cutting depth and the central cornea thickness of 17% to 21% (100 μm, $n=3$), 31% ($n=5$), 35% ($n=5$), 38% to 40% ($n=4$), and 45% to 48% ($n=3$). Scanning electron microscopy images of the cap and bed surfaces were graded for ridge and roughness with a scale of 1 to 5 point (1 = best, 5 = worst). And the graft-host match was evaluated by photography and optical coherence tomography in a simulated procedure. **Results** The ridge scores was correlated with the relative cutting depth ($P=0.000\ 24$, $R=0.73$). The 17% to 21% group had the shallowest cutting depth and the fewest ridges (1.25 point). The score of the 31% group was 2.15 point which was significantly lower than the other groups with deeper cutting depth. The roughness score ranged from 2.19 to 3.08 among the 5 group without singnificant difference ($P>0.05$). **Conclusion** The femtosecond laser produced more ridges in deeper lamellar cuts and the relative cutting depth of 31% might produce an adequate surface quality for femtosecondlaser-assisted lamellar anterior keratoplasty.

Keywords: femtosecond laser; lamellar keratoplasty; cutting depth

飞秒激光已经被广泛地应用在角膜屈光手术及穿透性角膜移植术上[1-2]。角膜屈光手术(laser in situ keratomiIeusis, LASIK)术中制瓣时飞秒激光的切削深度通常为90~110 μm,此时能够产生非常光滑平整的创面。但是飞秒激光在板层角膜移植术中的应用有所限制,因为在超过110 μm深度进行板层切削时会产生不规则的创面[3],而创面不规则会影响术后对比敏感度并导致视觉质量下降[4]。我们推测飞秒激光进行深板层切削时产生的创面不规则和切削深度存在关联性,如果明确了这种关联性就可以通过限定飞秒激光的切削深度获得理想的创面质量,从而保证飞秒激光在浅板层角膜移植中的应用效果。为明确这种创面不规则和切削深度的关联性,我们使用飞秒激光在角膜内进行不同深度的板层切削,采用电镜评估飞秒激光切削过后的创面质量,探寻创面质量和切削深度之间的关系,为浅板层角膜移植寻找适合飞秒激光切削的最大板层深度。

1 材料与方法

1.1 材料

本实验共有20个角膜标本最终纳入评价分析中,来源于2个眼库(Lions Visiongift, Portland, Oregon,

[基金项目] 国家自然科学基金(81100688)

[通信作者] 张辰星,E-mail:zcxhuihui2003@163.com

USA 和 Sightlife,Seattle,Washington,USA)。角膜分别来自 12 名男性捐献者(60%)和 8 名女性捐献者(40%),平均年龄(60.2±12.4)岁,均为死亡后立即去除角膜,角膜取出到本次实验的间隔时间平均为(5.0±1.5)d。所有角膜为经过无菌处理后的带巩膜环的全层角膜片,均无外伤史、屈光手术史以及角膜瘢痕等。本研究中,飞秒激光的板层绝对切削深度为 100~272 μm,相对切削深度(切削深度与角膜中央厚度的百分比值)为 17%~48%(表 1)。本研究中,隆起度的评分与绝对切削深度(绝对切削深度=飞秒激光在角膜基质中切削的实际深度,以 μm 为单位衡量)之间有显著相关性($P=0.007\ 8$,$R=0.58$),但是和相对切削深度(相对切削深度=飞秒激光在角膜基质中切削的深度与标本的角膜中央厚度的百分比值,以%衡量)更具相关性($P=0.000\ 24$,$R=0.73$),因此,为了更进一步分析创面质量和切削深度之间的关系,在本实验中采用相对切削深度作为衡量标准。按照相对切削深度分为 5 组:17%~21%组(100 μm,$n=3$),31%组($n=5$),35%组($n=5$),38%~40%组($n=4$),45%~48%组($n=3$)。

表 1 所有标本的角膜中央厚度以及飞秒激光切削深度

标本编号	角膜中央厚度*(μm)	切削深度(μm)	相对切削深度(%)
1	588	100	17
2	476	100	21
3	535	100	19
4	645	200	31
5	655	203	31
6	571	177	31
7	574	178	31
8	611	189	31
9	517	181	35
10	623	218	35
11	611	214	35
12	486	170	35
13	460	161	35
14	534	203	38
15	680	272	40
16	510	204	40
17	570	228	40
18	438	197	45
19	576	259	45
20	521	250	48

*:OCT 测量的角膜中央厚度

1.2 飞秒激光板层切削方法

全层角膜片装在 Barron 人工前房上(Katena Products,Inc),角膜中央厚度采用前节 OCT 系统(RTVue,Optovue,Inc)测量,OCT 采用 830 nm 光源测量并采集角膜全层信息,OCT 系统垂直扫描深度为 6 mm,轴向分辨率为 5 μm,轴向扫描速度每秒 26 000 次。所有角膜在进行飞秒激光切削前均采用该 OCT 系统测量获得角膜中央厚度,用于计算飞秒激光进行板层切削的百分比厚度(切削深度和角膜中央厚度的百分比值)。切削完成后再次以该 OCT 系统检测角膜采集切削后图像。

飞秒激光采用 Intralase FS 150 kHz(Abbott Medical Optics, Inc.)系统,边切角度为 135°;板层切削深度 D=飞秒激光切削的垂直深度(μm),具体能量和参数以及切割构型见图 1。飞秒激光的边切参数为:能量 2.4 μJ,点间距为 4×4 μm;板层切削参数为:能量 0.7 μJ,点间距为 6×7 μm;边切角度为 135°~150°,切削直径为8 mm。

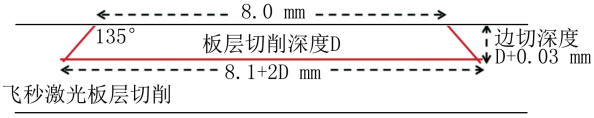
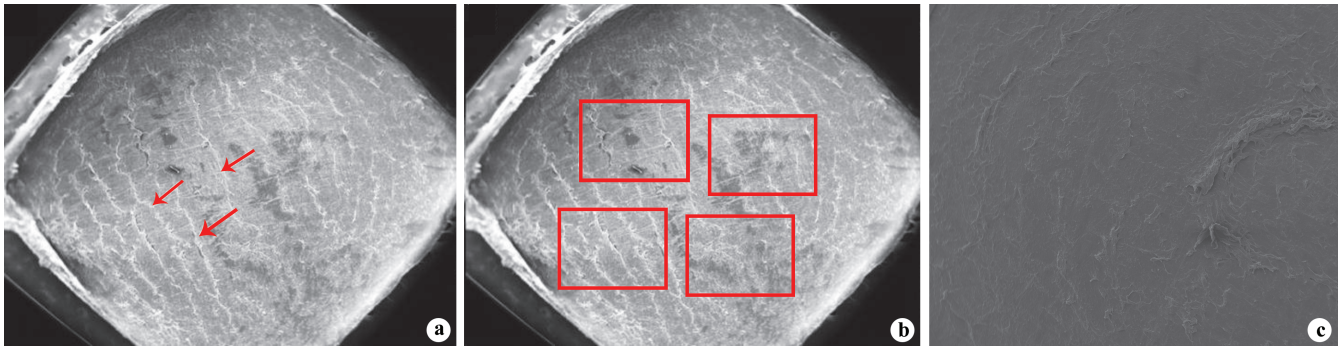


图 1 飞秒激光在角膜基质内切削的构型和深度

1.3 电镜观察以及创面评估

切削完成后取下角膜瓣和角膜床立即浸泡在 arnovsky 固定液(2%多聚甲醛、2.5%戊二醛、0.025%氯化钙和 0.1M 二甲胂酸缓冲溶液)并置于 4 ℃恒温下过夜进行标本固定。角膜材料隔夜固定完成后,在 1%四氧化锇酸溶液中常温浸泡 2 h,随后进行酒精梯度脱水。采用六甲基二硅氮烷浸泡并自然风干,然后进行金属银粉喷涂和固定,采用扫描电镜系统(Jeol JSM-6390LV,Jeol Ltd)拍摄角膜瓣和角膜床的创面照片。

角膜瓣和角膜床的创面质量通过扫描电镜照片进行评价。创面质量评价的标准有两个:一是隆起度,即线状的或同心圆的巨大皱褶,反应的是较显著的创面不规则程度,用 27 倍扫描电镜图像进行评价(图 2a);二是粗糙度,即细微的短小凹凸不平,反映的是微观的创面不规则程度,用 100 倍电镜图像进行评价(图 2b、c)。创面质量以 5 分制来评价,1 分代表角膜创面光滑,2 分代表欠光滑,3 分代表中间水平,4 分代表次严重状态,5 分代表创面质量最差。同一角膜标本的评分分为角膜瓣创面评分和角膜床创面评分,2 个评分的均值作为衡量角膜材料在飞秒激光切削下的创面质量标准。每个角膜材料都有 1 个隆起度评分和 1 个粗糙度评分,用来评估飞秒激光的切削深度和角膜创面质量之间的关系。所有电镜照片均打乱顺序排列,由 2 位完全不知道照片来源以及排列顺序的评分者根据标准进行评估打分。



a:评估隆起度的状况,箭头所指处为线状的隆起(×27);b:每个角膜创面会选取4个取景框评估粗糙度状况(×100);c:评估粗糙度状况(×100)

图2 飞秒激光切削过后角膜基质创面的扫描电镜图像

1.3 统计学分析

使用SPSS 19.0软件对各组评分进行统计学分析,计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,并采用独立样本t检验;$P<0.05$为差异有统计学意义。

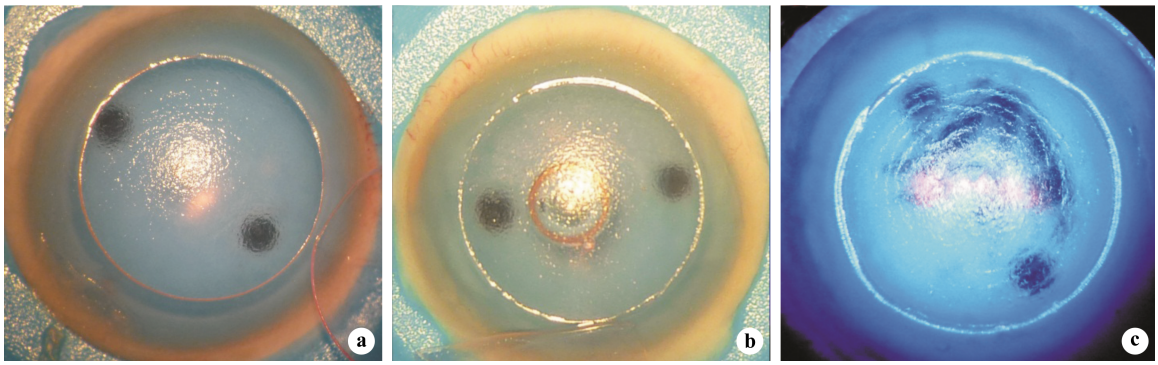
2 结果

普通光镜图像(图3)和OCT扫描图像(图4)能在飞秒激光切削后立即对角膜的创面进行初步观察评估,但是光镜图像过于粗略,而OCT图像仅仅能观察较显著的隆起度程度的状况,无法进行评分,同时OCT图像也无法观察创面细微的粗糙度状况。在OCT图像中可以观察到,在切削深度为17%~21%和31%时,角膜创面非常平滑规则,无隆起痕迹,在更深的切削深度则可以观察到明显的角膜创面隆起。

电镜照片能够提供更多角膜创面的细节,分别选出隆起度和粗糙度1分和5分的参考电镜照片,其余所有角膜创面照片均根据参考照片进行评分(图5),评分从1分到5分,评分者参照参考电镜照片逐一对各电镜照片进行量化评分。2位评分者对于隆起度的评分差异为(0.39±0.81),对粗糙度的评分差异为(0.28±0.71)。各组的隆起度评分为1.25~3.83分(图6),误差线表示平均值的标准误差,其中17%~21%组隆起程度最低;31%组具有中度的隆起度,但均低于相对切削深度更深的其他组,差异具有统计学意义($P<0.05$)。其余3组间比较差异无统计学意义($P>0.05$)。各组的粗糙度评分为2.19~3.08分(图7),组间比较差异无统计学意义($P>0.05$)。31%组在飞秒激光切削深度和创面质量之间取得了良好的折中,既具备一定的切削深度,也能够获得足够理想的角膜创面质量。而更深的相对深度则会导致创面质量的急剧下降,预测将会对角膜移植术后的视力恢复带来很大的负面影响。

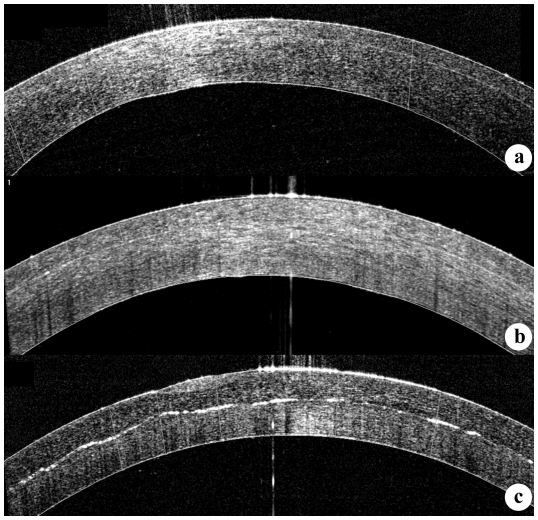
3 讨论

飞秒激光在穿透性角膜移植术中因其能够制作不同构型的植片和植床而被广泛应用,这些不同的构型可以增加植片和植床之间的契合度从而增加术后角膜力学稳定性[5-6]。同时因为飞秒激光在角膜板层切削中精准的深度控制,也开始被应用于板层角膜移植中。飞秒激光的角膜板层切削功能已经被广泛用于角膜屈



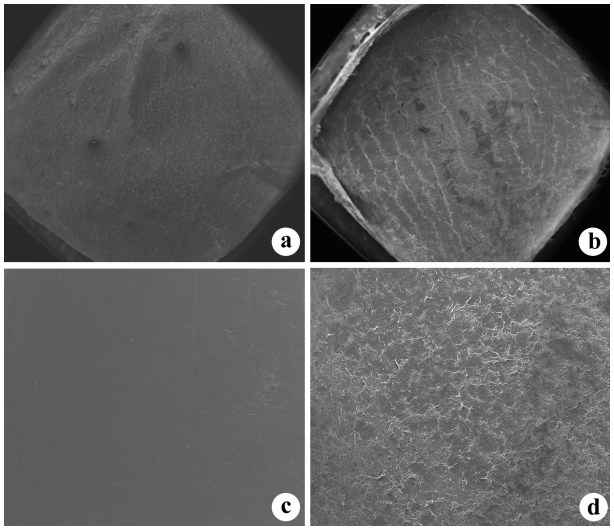
a:切削深度=17%~21%中央角膜厚度(该标本飞秒激光实际切削深度为100 μm),无肉眼可见隆起;b:切削深度=31%中央角膜厚度(该标本飞秒激光实际切削深度为178 μm),未见明显隆起;c:切削深度=45%中央角膜厚度(该标本飞秒激光实际切削深度为259 μm),同心圆结构的隆起清晰可见

图3 飞秒激光切削后角膜创面普通光镜图像



a:切削深度=100 μm,切割线光滑连续,无明显凹凸不平;b:切削深度=31%中央角膜厚度(该标本飞秒激光实际切削深度为178 μm),切割线稍有凹凸,但基本光滑;c:切削深度=45%中央角膜厚度(该标本飞秒激光实际切削深度为259 μm),切割线呈现明显的波浪状凹凸不平,即为光镜和电镜下创面呈现的隆起

图4 飞秒激光切削过后未掀开角膜瓣时OCT图像

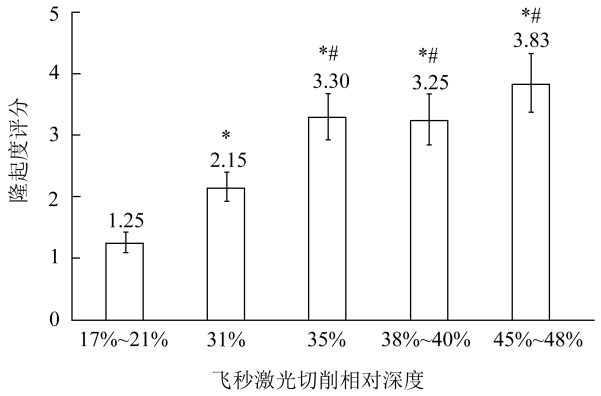


a:绝对切削深度为100 μm,基本无隆起,评分为1分(×27);b:创面有大量明显隆起,评分为5分(×27);c:绝对切削深度为100 μm,评分为1分(×100);d:创面大量短小细微皱褶以及卷曲,评分为5分(×100)

图5 电镜照片上对角膜基质创面质量的评分

光手术LAISK中制作角膜瓣,其所带来的光滑创面质量能够提高LASIK术后的视力恢复[7-8]。

然而,在板层角膜移植中却因飞秒激光进行更深层面的板层切削所带来的角膜创面质量不足限制了其应用。已有多项研究表明,更深的飞秒激光切削深度会带来更为不规则的角膜创面,这些研究评估了多种因素对创面质量的影响,包括手术方法、激光频率、激光设备的差异、激光参数的影响等[3,9-11]。Soong等[3]发现飞秒激光在切削深度超过180 μm时会产生明显



*:与17%~21%组比较,$P<0.05$;#:与31%组比较,$P<0.05$

图6 各组隆起度评分

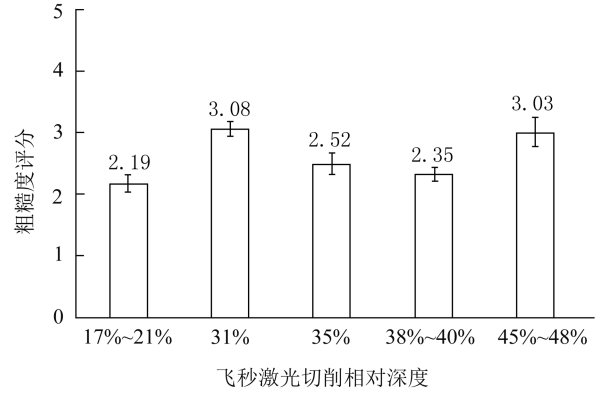


图7 各组粗糙度评分

的隆起度。光滑的创面质量对术后的视力恢复影响巨大,例如采用"大气泡"技术进行的深板层角膜移植其术后视力恢复就优于传统手工切削方式的深板层角膜移植,原因之一就是"大气泡"技术的创面更为光滑平整[12]。

为了获得更为光滑的角膜创面,多位学者对不同的激光参数进行了实验评估,目前认为采用更低的脉冲能量,采用横排扫描模式能够获得更好的创面质量[10,13-14]。Lombardo等[13]在150 kHz的飞秒激光系统上研究后认为,采用0.5 μJ的扫描能量能够比0.65~1.00 μJ产生更好的创面质量。Ziebarth等[10]在500 kHz飞秒激光系统上发现180 nJ的脉冲扫描能量优于340 nJ的脉冲扫描能量,说明较低的扫描能量比较高的扫描能量产生更好的创面质量。Sarayba等[14]报道使用15 kHz的飞秒激光系统进行板层切削时,横排扫描模式比旋转扫描模式在创面质量控制上更为优越。但是,虽然进行了这么多激光扫描参数的优化,更深的飞秒激光板层切削却依然带来显著影响预后视力恢复的创面隆起度[3,15]。已有研究报道,采用飞秒激光浅板层角膜移植术的患者术后12个月预后视力只有52.6%~62.5%[16-17]。虽然可以采用飞秒激光和大气泡技术

相结合的手术方式[18-20],或者加入准分子激光进行创面抛光以提高创面质量[15],但是这些辅助手段增加了手术操作复杂性,同时使飞秒激光在切削深度的精确控制优势难以发挥。

在本研究中我们发现了切削深度越深,创面质量越差,创面质量和相对切削深度相关性更为显著,超过与绝对切削深度的相关性。角膜纤维是多层平行排列的胶原纤维层重叠而成,胶原纤维层之间的桥接纤维主要存在于角膜前部的基质层,而角膜的后基质层缺乏这种层间桥接纤维[21-22]。飞秒激光在角膜基质中的切削作用主要是产生等离子体扩散以形成气泡,进而撑开周围组织。我们推测,角膜前部密集的层间桥接纤维限制了气泡在层间的移动,因此产生较为平整光滑的创面;而在角膜后基质层缺乏层间桥接纤维,气泡因缺乏限制会在各个胶原纤维层间移动,造成切割创面的错位,这种错位导致了隆起度的形成。也有报道认为,另一种可能是因为飞秒激光作用于角膜时需要使用压平透镜,压平透镜将角膜的弧形外观强行改成了较为水平的形状,飞秒激光完成水平的角膜板层切削后角膜恢复弧形外观,形变的过程导致了隆起度的出现[3]。但是透镜的压平作用不能完全解释隆起度的出现,因为有的飞秒激光系统采用的曲面透镜设计,不会压平角膜,但是依然会在较深层面的板层切削中产生隆起度。本研究的观察结果是当切削深度限定不超过31%的相对深度时,产生的隆起度是可以被临床接受的,评分为1~3分,但是其对术后视力恢复的影响,还需要在进一步的临床实际运用中进行验证。

100 μm的深度是LASIK手术中飞秒激光制瓣时的常用深度,已经在大量的临床实践中证实能够提供非常满意的创面质量[23]。本研究未发现粗糙度和切削深度之间有显著相关性,100 μm深度组(17%~21%组)的粗糙度低于其他组,但组间比较差异均无统计学意义。出现这种情况的一个可能因素是本研究的样本量偏小,另一个可能因素是由于进行电镜观察对标本的固定处理产生了差异。虽然本研究中的标本处理采用较为经典的电镜前准备方案[24-25],但脱水和金属包埋依然会导致角膜标本表面的微小皱褶和卷曲[26-27]。

本研究发现,飞秒激光切削后的角膜创面质量和相对深度具有紧密关联性,31%深度是创面质量和切削深度之间的一个良好折中,在此深度上飞秒激光可以在浅板层角膜移植中发挥积极的应用价值。但此结论依然需要更多的样本以及在临床运用进一步验证。

[参考文献]

[1] Shousha MA, Yoo SH. New therapeutic modalities in femtosecond laser-assisted corneal surgery[J]. Int Ophthalmol Clin, 2010, 50(3): 149-160. doi: 10.1097/IIO.0b013e3181e247da.

[2] Baradaran-Rafii A, Eslani M. Femtosecond laser-assisted corneal transplantation[J]. Br J Ophthalmol, 2013, 97(6): 675-676. doi: 10.1136/bjophthalmol-2012-302196.

[3] Soong HK, Mian S, Abbasi O, et al. Femtosecond laser-assisted posterior lamellar keratoplasty: initial studies of surgical technique in eye bank eyes[J]. Ophthalmology, 2005, 112(1): 44-49. doi: 10.1016/j.ophtha.2004.06.037.

[4] Reinhart WJ, Musch DC, Jacobs DS, et al. Deep anterior lamellar keratoplasty as an alternative to penetrating keratoplasty a report by the american academy of ophthalmology[J]. Ophthalmology, 2011, 118(1): 209-218. doi: 10.1016/j.ophtha.2010.11.002.

[5] 蒋 炜,邱 敏,韩 非. 自体双眼穿透性角膜互换移植[J]. 局解手术学杂志,2012,21(3):340-341. doi:10.3969/j.issn.1672-5042.2012.03.058.

[6] Bahar I, Kaiserman I, Lange AP, et al. Femtosecond laser versus manual dissection for top hat penetrating keratoplasty[J]. Br J Ophthalmol, 2009, 93(1): 73-78. doi: 10.1136/bjo.2008.148346.

[7] Gil-Cazorla R, Teus MA, de Benito-Llopis L, et al. Femtosecond laser vs mechanical microkeratome for hyperopic laser in situ keratomileusis[J]. Am J Ophthalmol, 2011, 152(1): 16-21. doi:10.1016/j.ajo.2011.01.009.

[8] 罗启惠,汪 辉,胡春明. LASIK术后5年双眼继发性圆锥角膜1例[J]. 局解手术学杂志,2013,22(2):231. doi:10.11659/jjssx.1672-5042.201302054.

[9] Kermani O, Oberheide U. Comparative micromorphologic in vitro porcine study of IntraLase and Femto LDV femtosecond lasers[J]. J Cataract Refract Surg, 2008, 34(8): 1393-1399. doi:10.1016/j.jcrs.2008.04.037.

[10] Ziebarth NM, Dias J, Hurmeric V, et al. Quality of corneal lamellar cuts quantified using atomic force microscopy[J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(1): 110-117. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.07.040.

[11] Sarayba MA, Ignacio TS, Binder PS, et al. Comparative study of stromal bed quality by using mechanical, IntraLase femtosecond laser 15- and 30-kHz microkeratomes[J]. Cornea, 2007, 26(4): 446-451. doi: 10.1097/ICO.0b013e318033e7cc.

[12] Borderie VM, Sandali O, Bullet J, et al. Long-term results of deep anterior lamellar versus penetrating keratoplasty[J]. Ophthalmology, 2012, 119(2): 249-255. doi:10.1016/j.ophtha.2011.07.057.

[13] Lombardo M, De Santo MP, Lombardo G, et al. Surface quality of femtosecond dissected posterior human corneal stroma investigated with atomic force microscopy[J]. Cornea, 2012, 31(12): 1369-1375. doi: 10.1097/ICO.0b013e31823f774c.

[14] Sarayba MA, Maguen E, Salz J, et al. Femtosecond laser keratome creation of partial thickness donor corneal buttons for lamellar keratoplasty[J]. J Refract Surg, 2007, 23(1): 58-65.

[15] Cleary C, Song JC, Tang M, et al. Dual laser-assisted lamellar anterior keratoplasty with top hat graft: a laboratory study[J]. Cornea, 2012, 31(7): 791-797. doi:10.1097/ICO.0b013e318226da35.

doi:10.11659/jjssx.05E016021

甲状腺癌术后并发侵袭性纤维瘤的诊断与手术治疗

杨 英[1],谢玉芊[2],齐小梅[1],杨新华[1] (1.第三军医大学西南医院乳腺外科,重庆 400038;2.第三军医大学学员七营,重庆 400038)

[摘 要] **目的** 探讨甲状腺癌术后并发侵袭性纤维瘤的诊治方法和经验。**方法** 2014 年 1 月 16 日我院收治 1 例甲状腺癌患者,在甲状腺癌术后 8 个月常规随访时发现左侧颈部肿块,超声检查提示左颈部 3 ~5 区肌层内见 58 mm×30 mm 低回声,进一步穿刺病检诊断为侵袭性纤维瘤,再次入院行左侧颈部肿瘤根治性切除术。本文收集、整理此例患者的临床、病理以及影像学资料,结合文献探讨其诊治经验。**结果** 患者行左侧颈部包块肿瘤根治性切除术后病理确诊断确诊为左侧颈部侵袭性纤维瘤。患者积极配合围手术期治疗,术后恢复较好,随访至今未见复发。**讨论** 甲状腺癌并发侵袭性纤维瘤患者需要早期确诊并及早手术治疗。

[关键词] 甲状腺癌;侵袭性纤维瘤;诊断;手术治疗

[中图分类号] R581 [文献标识码] A [收稿日期] 2016-05-10

Diagnosis and treatment of aggressive fibromatosis after thyroidectomy

YANG Ying[1], XIE Yu-xian[2], QI Xiao-mei[1], YANG Xin-hua[1] (1. Department of Thyroid Breast Surgery, Southwest Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China; 2. Seventh Battalion of Students, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective To investigate the diagnosis and treatment of aggressive fibromatosis after thyroidectomy. **Methods** One patient who were admitted into our hospital on January 16, 2014 were discovered to have left cervical mass at the regular follow-up 8 months after opertaion. The ultrasonic examination showed that there were low echo area of 58 mm × 30 mm in the 3 ~ 5 muscular layer at the left neck. And it was diagnosed as aggressive fibromatosis through the puncture disease inspection. Whereafter, the patient were readmitted into hospital and recieved radical resection of the tumor on left side of the neck. The clinical, pathological and radiological data of the patient were collected and analyzed so ao to discuss the diagnosis and treatment experience combined with related literatures. **Results** Postoperative pathologic examination confirmed that it was aggressive fibromatosis. The patient was actively cooperated with perioperative treatment, and the postoperative

[基金项目] 重庆市社会民生科技创新专项课题(cstc 2015shmszx 120072)

[通信作者] 杨新华,E-mail:suhtimmu@medinail.com.cn

[16] Shousha MA, Yoo SH, Kymionis GD, et al. Long-term results of femtosecond laser-assisted sutureless anterior lamellar keratoplasty[J]. Ophthalmology, 2011, 118(2): 315 - 323. doi: 10.1016/j.ophtha.2010.06.037.

[17] Mosca L, Fasciani R, Tamburelli C, et al. Femtosecond laser-assisted lamellar keratoplasty: early results[J]. Cornea, 2008, 27(6): 668 - 672. doi: 10.1097/ICO.0b013e31816736b1.

[18] Price FW, Price MO, Grandin JC, et al. Deep anterior lamellar keratoplasty with femtosecond-laser zigzag incisions[J]. J Cataract Refract Surg, 2009, 35(5): 804 - 808. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.01.011.

[19] Farid M, Steinert RF. Deep anterior lamellar keratoplasty performed with the femtosecond laser zigzag incision for the treatment of stromal corneal pathology and ectatic disease[J]. J Cataract Refract Surg, 2009, 35(5): 809 - 813. doi: 10.1016/j.jcrs.2009.01.012.

[20] Buzzonetti L, Petrocelli G, Valente P. Femtosecond laser and big-bubble deep anterior lamellar keratoplasty: a new chance[J]. J Ophthalmol, 2012, 2012: 264590. doi: 10.1155/2012/264590.

[21] Bergmanson JP, Horne J, Doughty MJ, et al. Assessment of the number of lamellae in the central region of the normal human corneal stroma at the resolution of the transmission electron microscope[J]. Eye Contact Lens, 2005, 31(6): 281 - 287.

[22] Aptel F, Olivier N, Deniset-Besseau A, et al. Multimodal nonlinear imaging of the human cornea[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2010, 51(5): 2459 - 2465. doi: 10.1167/iovs.09 - 4586.

[23] Farjo AA, Sugar A, Schallhorn SC, et al. Femtosecond lasers for LASIK flap creation: a report by the American Academy of Ophthalmology[J]. Ophthalmology, 2013, 120(3): e5 - e20. doi: 10.1016/j.ophtha.2012.08.013.

[24] Hammer T, Hanschke R, Wörner I, et al. Evaluation of four microkeratome models: quality and reproducibility of cut edge and cut surface as determined by scanning electron microscopy[J]. J Refract Surg, 2005, 21(5): 454 - 462.

[25] Wilhelm FW, Giessmann T, Hanschke R, et al. Cut edges and surface characteristics produced by different microkeratomes[J]. J Refract Surg, 2000, 16(6): 690 - 700.

[26] Liang FQ, Geasey SD, del Cerro M, et al. A new procedure for evaluating smoothness of corneal surface following 193-nanometer excimer laser ablation[J]. Refract Corneal Surg, 1992, 8(6): 459 - 465.

[27] Virtanen J, Uusitalo H, Palkama A, et al. The effect of fixation on corneal endothelial cell dimensions and morphology in scanning electron microscopy[J]. Acta Ophthalmol (Copenh), 1984, 62(4): 577 - 585.

(编辑:魏 源)