

# “全飞秒激光技术”的最新发展 及其在 SMILE 手术中的应用

王雁

**【摘要】** “全飞秒激光技术”是近年来眼科的最新发展之一,并有拓展趋势,引起眼科领域的广泛关注。SMILE 手术作为全飞秒激光技术的主要代表形式,使角膜屈光手术进入了“微创”、“无瓣化”时代,赋予了角膜屈光手术新的内涵。现就“全飞秒激光技术”的产生、涵义以及其代表术式 SMILE 的临床应用特点、潜在优势及其可能的发展方向予以评述。

**【关键词】** 飞秒激光; 飞秒激光小切口基质透镜取出术; 角膜屈光手术; 微创; 生物力学; 并发症

**Latest developments of the all-in-one femtosecond laser and its applications in SMILE surgery**  
Wang Yan. Tianjin Eye Hospital, Tianjin Key Lab of Ophthalmology and Visual Science, Tianjin Eye Institute, Clinical College of Ophthalmology Tianjin Medical University, Tianjin 300020, China

**【Abstract】** In recent years, the all-in-one femtosecond laser technology, one of the latest ophthalmic developments, has shown a tendency for rapid expansion in ophthalmology and has drawn extensive attention from ophthalmologists. The small incision lenticule extraction (SMILE) procedure is the representative surgery of the all-in-one femtosecond laser technology and has advanced corneal refractive surgery into an era of microinvasive and flapless techniques. This article reviews the generation and significance of all-in-one femtosecond laser technology and the clinical applications, potential superiority and advancements of the SMILE procedure.

**【Key words】** Femtosecond laser; Small incision lenticule extraction; Corneal refractive surgery; Minimal invasive; Corneal biomechanics; Complications

屈光手术作为视觉矫正方法之一,多年来始终在遵循视觉光学基本理论的前提下不断探索和发展。近年来科学技术迅猛发展,新的技术不断涌现,现代屈光手术在传承以往矫正原理和理念的基础上,融入了诸多当今技术革命所产生的新技术、新手段,以更好地实现视觉矫正的最终目的。飞秒激光在眼科的应用特别是“全飞秒激光技术”的产生和应用就是很好的范例<sup>[1]</sup>。

## 1 “全飞秒激光技术”在角膜屈光手术的应用和发展

### 1.1 概述

自 1960 年 Maiman<sup>[2]</sup>报道激光以来,激光在各领域的应用发展迅速,如果说激光在医学外科的应用

被认为是 20 世纪最重要的进步,那飞秒激光在角膜屈光手术中的应用则可能是 21 世纪眼科领域最重要的发展,并开辟了其在眼科领域应用的先河。

飞秒激光实为一种近红外激光,其激光脉冲宽度为飞秒(毫微微秒,10~15)量级,具有脉冲时间短、峰值功率高等特点。虽属超短脉冲激光,但不是最短最快激光(例如阿秒激光为 10~18 等)。由于飞秒激光被认为是一种可以精确加工的理想光源,自其出现起就在许多领域得到了广泛应用,例如微加工、生物医学、微电子学等一系列科学前沿领域。在医学领域,最早应用于角膜屈光手术中的 LASIK,应用飞秒激光的切割作用进行角膜瓣膜的制作,代替以往的机械显微板层刀,目的是使手术更安全、更精准,同时可以根据需要获得个性化的角膜瓣膜。2000 年此技术获得美国食品药品监督管理局 (Food and Drug Administration, FDA) 的批准。由于此类手术摒弃了传统的机械刀,由飞秒激光制作角膜瓣,准分子激光

DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2014.07.002

作者单位:300020 天津市眼科医院 天津市眼科学与视觉科学重点实验室 天津市眼科研究所 天津医科大学眼科临床学院 (Email:wangyan7143@vip.sina.com)

切削角膜基质矫正屈光度,全部由激光完成,故而被称作“全激光”手术。但因飞秒激光不能完成全部手术过程,因此,也被称为“半飞秒”激光角膜屈光手术。

“全飞秒激光手术”(all-in-one)从广义上讲是指整个手术过程均应用飞秒激光完成的手术,是基于飞秒激光可经过透明组织、精确聚焦于一目标深度的特性,对预手术的靶组织进行精确的几何形状切割,从而达到效果和目的的手术。因角膜组织具有高度透明性,因此作为靶器官,激光极其容易传播而不被耗损,故最早的全飞秒激光技术是应用于角膜屈光手术,即屈光性透镜成型取出术(refractive lenticule extraction, ReLEx),包括飞秒激光基质透镜切除术(femtosecond lenticule extraction, FLEx)和飞秒激光小切口基质透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE)等不同的手术方式。随后,在临床上不断拓展应用,例如应用飞秒激光辅助的各类角膜手术,包括穿透性角膜移植术(penetrating keratoplasty, PKP)<sup>[3]</sup>、深前板层角膜移植术(deep anterior lamellar keratoplasty, DALK)<sup>[4]</sup>、深板层内皮细胞移植术(deep lamellar endothelial keratoplasty, DLEK)<sup>[5]</sup>、角膜内皮细胞移植术(descemet stripping automated endothelial keratoplasty, DSAEK)<sup>[6]</sup>及人工角膜手术(keratoprosthesis)<sup>[7]</sup>等,以及后来借助飞秒激光的光爆破作用不断被拓展应用于其他眼科领域,特别是白内障手术领域<sup>[8]</sup>等。事实上,应用飞秒激光矫治老视的手术(intracor presbyopia)<sup>[9]</sup>、矫治散光的手术(astigmatic keratectomy)<sup>[10]</sup>等屈光性手术也是单纯应用飞秒激光完成的。然而在目前,“全飞秒激光手术”多指在角膜屈光手术中的应用,其中最具代表性的是 SMILE 手术。

## 1.2 飞秒激光角膜基质透镜取出术的发展及进步

### 1.2.1 SMILE 手术的发展

角膜透镜取出术最早源于 Barraquer 和 Ruiz 的屈光性角膜切除技术,该技术应用刀片或自动角膜刀切除部分角膜组织,但因不够精确而未再被应用。随着准分子技术的出现,开始应用准分子激光的切削代替组织的切除,手术矫治的精确性得到明显提高。飞秒激光刚出现时曾试图应用其做基质的磨镶,并在动物及人眼尝试,但其精确性并不理想,直至 2006 年在美国眼科学术年会(AAO)上,德国的 Sekundo 医生和 Blum 医生报告使用 VisuMax 飞秒激光器(德国 Carl Zeiss 公司)原型完成第一例飞秒激光透镜取出术<sup>[11]</sup>,被称为飞秒激光基质内透镜取出术(femtosecond lenticule extraction, FLE),2008 年由 Sekundo 等<sup>[12]</sup>正式报道。

该报道将最初的 10 例观察结果进行了初步报告,手术前球镜度为 $(-4.73 \pm 1.48)D$ ,手术后 6 个月时平均屈光度为 $(-0.33 \pm 0.61)D$ ,虽然早期效果并不十分稳定,但术后 6 个月时还是获得了一定的效果。虽然个别病例出现微皱褶及暂时性轻微 haze,但无一例最佳矫正视力下降。角膜地形图显示面积较大的相对椭球面的光学区,初步显示飞秒激光可以代替准分子激光达到角膜表面成型的目的。之后,陆续有全程应用飞秒激光手术的报道,并由 FLE 改称之为 FLEx。

### 1.2.2 SMILE 手术的进步

首例 SMILE 手术的尝试是在 2007 年,由德国的 Blum 和 Sekundo 医生同时开始。由于 FLEx 手术与以往的 LASIK、飞秒激光辅助的 LASIK(femtosecond LASIK, Femto-LASIK)手术在设计原理上基本相同,SMILE 手术在此基础上取消了角膜瓣的制作,利用飞秒激光在基质内光爆破制作透镜,将透镜从边缘小切口取出,被称作 SMILE 手术,并于 2011 年由 Sekundo 等<sup>[13]</sup>及 Shah 等<sup>[14]</sup>先后正式报告。SMILE 手术最初的手术设计是上下两个小切口,后仅为一个小切口,切口大小由 5 mm 缩减至 2 mm,激光扫描方式也几经更改和实验,选择不透明气泡最少,术后视力恢复最好,组织反应最小的扫描方式。由于 SMILE 手术的最大特点是无角膜瓣,由飞秒激光制作的透镜从边缘相对不开放的切口取出,因此避免了一系列因制作角膜瓣而引起的术中、术后并发症,手术并发症明显减少,临床应用逐渐广泛,目前 SMILE 已成为“全飞秒”的主要代表术式<sup>[15]</sup>。

## 2 “全飞秒激光技术”特别是 SMILE 技术已显示较好的临床优势

### 2.1 临床效果

根据美国 FDA 的报告,屈光手术的主要衡量指标为手术的安全性、有效性、可预测性及稳定性。SMILE 手术不仅可以治疗中低度近视,对高度近视的治疗也显示了其一定的优势。Vestergaard 等<sup>[16]</sup>对一组高度近视人群(平均屈光度  $-7.18 D$ )进行了观察,发现手术后 3 个月 95% 被治疗眼屈光度在 $\pm 1.0 D$ 以内,说明对高度近视同样具有较好的治疗效果。目前有 5 年的临床报道,仍显示了其较好的稳定性。目前全球已有将近 80 000 例近视患者接受了此手术。

对于全飞秒角膜屈光手术来讲,虽然 FLEx 和 SMILE 的初步临床研究均显示有较好的矫正效果,但一项前瞻性随机对照研究<sup>[17]</sup>显示,安全性(BCVA)、有效性(UCVA)相比之下 SMILE 手术更好,在手术

后1周,1个月,3个月和6个月时FLE<sub>x</sub>组残余度数在 $\pm 0.5$  D以内的患者分别为92%、96%、96%和96%,而在SMILE组则分别为96%、100%、96%和100%,显示SMILE手术较FLE<sub>x</sub>手术具有更好的可预测性。在稳定性方面(1周时与6个月时屈光度的变化)SMILE组屈光度的变化幅度更小一些,对比敏感度及患者满意度则无明显差异,当然还需要更大数量的病例和更长时间的观察。而且,从生物力学角度及对角膜表面完整性的保持等方面,SMILE手术还是显示出了越来越多的优势<sup>[18]</sup>。目前,国内、外对SMILE手术与其他手术方式也进行了许多对照性研究,试图用更科学更严谨的方式证实其在角膜组织等方面的优势,并试图发现其存在的价值和潜在优势。更有学者对SMILE手术、以往传统的手术(如LASIK)及现代角膜屈光手术进行了严格的对照研究,例如与波前像差引导的LASIK手术、Femto-LASIK手术以及PRK等表层手术的比较,均显示了其更好的可预测性、稳定性、安全性和手术的精确性。

SMILE手术精准的临床矫正效果和良好的可预测性可能与手术原理不同有关,最主要体现在以下几点:①与以往的准分子激光LASIK手术原理不同,SMILE手术是取出透镜,在手术过程中,利用飞秒激光制作角膜基质透镜,成型后取出透镜,激光仅主要进行2层脉冲扫描。而LASIK手术是准分子激光对角膜组织的消融,飞秒激光制作角膜瓣,而真正的屈光性矫正是靠准分子激光多次扫描角膜基质组织,将角膜基质消融掉,是多次脉冲的线性扫描,对组织影响可能会相对较大。②SMILE手术无瓣膜,手术过程相对密闭,手术过程不暴露于外界环境,因此,在激光扫描过程中,较少受温度、湿度等外界因素干扰,较少或不存在角膜表面组织脱水等。而LASIK手术等需要制作角膜瓣并将其掀开,暴露角膜基质床,使组织更易脱水等而影响激光的脉冲切削率。③SMILE手术因无瓣膜,以往因制作角膜瓣引起的一系列术中和术后并发症完全可以避免。

## 2.2 手术并发症

SMILE手术并发症相对较少<sup>[15]</sup>。首先,由于SMILE手术在手术中无需制作角膜瓣膜,术后不存在角膜瓣膜,因此可以避免一系列由于瓣膜引起的术中和术后并发症,包括术中可能出现的纽扣瓣、不完全瓣、不规则瓣、游离瓣、角膜瓣皱褶及角膜瓣复位不良等并发症,术后可能出现的角膜瓣移位、角膜瓣长期不能愈合、受严重外伤后角膜瓣移位或角膜瓣丢失等可能会严重影响视力和视功能的并发症。

因无瓣膜,伤口相对较小,术后反应相对较轻,感染几率减低,术后并发角膜上皮植入等的可能性也明显减少。但既然是手术同样也存在手术风险和特异的并发症。例如,由于切口相对较小,对手术技巧的要求相对较高,与Femto-LASIK和FLE<sub>x</sub>手术相比,SMILE在手术中的并发症较术后更易出现,例如透镜取出困难或部分组织残留甚至透镜不完全,也有报道皱摺出现<sup>[19]</sup>,虽然较少见,但还是存在。此外,手术中可能会因各种原因造成负压吸引脱失影响即刻的正常手术等<sup>[20]</sup>。有报道称在手术后早期出现角膜水肿,部分患者可能会导致视力恢复延迟,但随着时间的延长,水肿会消退,视力会恢复至正常。一般认为严重影响视力的并发症极少出现。而且,相信随着手术技巧的不断熟练和手术技术的不断提高,此类并发症会显著减少甚至完全避免。

## 2.3 相关基础研究

近年来,国内外以动物眼或人眼取出的透镜为研究对象开展了一系列研究。尽管处于早期阶段,仍为SMILE良好的临床效果和临床应用提供了较好的理论基础。许多学者关注其手术后的组织反应,并在组织形态学方面进行了研究,光学显微镜结果显示,SMILE手术后1周时中央区角膜轻度水肿,基质层胶原纤维排列稍紊乱,层间可见清晰间隙,但在手术后1个月时,角膜水肿可基本消退,基质层胶原纤维排列较之前规则,层间间隙基本贴合。此外,我们也应用扫描电镜对微透镜进行了观察,显示微透镜前后表面光滑程度均较好,且前表面较后表面更光滑<sup>[20]</sup>。另对手术后早期角膜基质细胞凋亡、增殖及炎症反应的研究显示,SMILE引起的反应程度较Femto-LASIK轻<sup>[21]</sup>。具体来讲,SMILE手术后4 h及24 h时,角膜帽与下方基质床的交界面可见TUNEL阳性细胞,但SMILE引起的凋亡细胞数低于Femto-LASIK。免疫荧光结果显示,SMILE手术后中央区角膜基质可见Ki-67阳性细胞和CD11b阳性细胞,且Ki-67阳性细胞数和CD11b阳性细胞数均低于Femto-LASIK。Riau等<sup>[22]</sup>的动物实验证实:与传统的LASIK手术相比,ReLE<sub>x</sub>手术后炎症反应更轻,细胞外基质沉积更少。从而支持了临床表现或临床现象,即SMILE手术后炎症反应相对较少,也很少出现弥漫性层间角膜炎(diffused lamellar keratitis, DLK),即使出现,程度较轻或仅个别眼在切口的附近出现。Kamiya等<sup>[23]</sup>的研究表明:ReLE<sub>x</sub>手术后角膜内皮细胞密度轻度减低,但与术前相比差异无统计学意义。以上均初步显示全飞秒激光角膜屈光手术对角膜组织的损伤较小。

也有研究针对取出的透镜, 研究显示取出的透镜经低温贮藏后其胶原纤维的密度减低, 但胶原蛋白结构依然完整、排列整齐, 且基质细胞具有再生能力, 设想当患者发生角膜扩张、近视减退或老视时, 是否可将取出的微透镜重新植回角膜组织<sup>[24]</sup>。虽然动物实验结果显示将 SMILE 手术中取出的透镜植入角膜基质组织中是可行的<sup>[25]</sup>, 但需要更深入的临床和基础的相关研究。

## 2.4 生物力学

理论上, SMILE 手术由于无角膜瓣, 相对更微创, 更大程度地保持了角膜形态结构和功能的完整性, 生物力学性能更好。因为角膜基质的前 40% 的抵抗力最强, 不切开角膜的前部纤维可以使生物力学性能更好。我们曾对 SMILE 手术和 Femto-LASIK 手术的生物力学变化特性应用眼反应生物力学测量仪(ORA)进行分析, 主要观察代表角膜生物力学特性的 2 个指标, 即角膜滞后量(corneal hysteresis, CH)和角膜阻力因子(corneal resistance factor, CRF), 发现 2 种手术方式虽然在手术后 1 周 CH、CRF 均明显下降, 但 SMILE 手术后生物力学参数恢复较 Femto-LASIK 快, 手术后 3 个月、6 个月时 CH、CRF 已明显高于 Femto-LASIK, 从而反映出 SMILE 手术具有较好的生物力学稳定性<sup>[18]</sup>。另一研究也显示 SMILE 手术后角膜的抗张强度与 PRK、LASIK 比较均较好<sup>[26]</sup>, 说明 SMILE 手术后角膜生物力学性能较好, 推测其可能会明显减少其他瓣膜手术可能引起的角膜扩张等并发症的发生。

## 2.5 角膜表面神经及干眼

以往传统的 LASIK 手术对角膜表面神经的破坏及引起术后干眼的发生曾引起广泛关注。角膜是人体内神经敏感性最强的组织。角膜神经来源于三叉神经的眼神经, 神经的睫状长神经在脉络膜上腔前行, 由角膜缘进入角膜基质, 脱髓鞘的神经呈放射状分布在角膜基质层的前 1/3, 发出分支形成一个表层丛并穿透前弹力层, 进入角膜上皮之间, 在角膜上皮基底膜与前弹力层之间形成上皮下神经丛。当神经纤维发生断裂时就会引起一些眼表疾病的发生, 如干眼症等。眼角膜上皮下的神经丛对角膜也具有营养作用, 一些角膜神经纤维分泌的神经肽如 P 物质等在维持角膜表面规则性、上皮的增生、完整性和伤口的愈合中起重要的作用。SMILE 手术只制作一个小切口, 保留了大部分角膜神经, 飞秒激光可以制作出较薄、均匀一致的角膜瓣, 从而对浅基质层的角膜神经纤维的损害较少, 并且角膜瓣的侧切角度为 90°, 在一定程度上节省了一部分角膜上皮神经丛,

因此对角膜神经的破坏较少, 有利于术后角膜知觉的恢复<sup>[27-28]</sup>及在一定程度上减少干眼的发生<sup>[29]</sup>。

## 2.6 其他

在其他方面 SMILE 手术也初步显示出其潜在的优势, 例如视觉质量等方面。Ang 等<sup>[30]</sup>的研究显示: SMILE 手术与传统的 LASIK 手术相比引入的高阶像差较少, 使术后视觉质量更好。即使是全飞秒的 FLEX 手术与波前像差引导的 LASIK 手术相比, 虽然就总高阶像差和三阶像差而言, 两者间的差别并不显著<sup>[25]</sup>, 但 FLEX 引起四阶球差的增加相对较少, 或许对视觉质量影响较少, 此外随着认识的不断深入, 可能尚存在其他尚未被认识到的潜在优势, 需要进一步研究和发现。

## 3 “全飞秒激光技术”在不断提高和完善

“全飞秒激光技术”虽然在临床已逐步显示其优势, 但该技术仍在不断改进并逐步予以完善, 例如激光频率的调整, 从最初的 200 Hz 到现在的 500 Hz; 激光应用的能量的选择也在不断探索, 不同的手术方式, 不同的设备, 甚至不同的个体, 能量的选择或许不同; 激光脉冲之间间距的合理设定对手术中的难易程度和手术后视力的恢复也会产生影响; 激光扫描方式的调整; 手术技术的改进和提高等等, 自然手术效果也随之在不断提升。例如 Shah 等<sup>[14]</sup>在最初的报道中, 应用 200 kHz 和新的扫描方式, 95% 的眼残留屈光度在  $\pm 0.5$  D 以内, 而后来 Kamiya 等<sup>[23]</sup>在此基础上 100% 眼矫正后在  $\pm 0.5$  D 以内。我们的研究结果也是如此<sup>[31]</sup>。

手术技巧需要不断提升: SMILE 手术既然是屈光矫正手术, 手术的要求相对较高。而 SMILE 手术由于是做一透镜并从一非常小的切口取出, 在掌握该技术时学习曲线相对较长。由于手术过程是在一非常小的切口将激光成型的透镜与周围组织分离并将其完整取出, 需要对角膜的解剖和生物学特点有较深入的了解, 对手术要点有一清晰的把握, 特别是遇到能量不是很稳定, 患者不很配合等特殊情况时, 需要“头脑清晰, 胆大心细”, 同时, 要知道“有所敬畏”, 既要“知难而进”, 但必要时也应“知难而退”, 毕竟面对的是一正常角膜组织, 尽可能不影响或不破坏周围角膜组织, 掌握各种情形下的手术处理方案, 避免手术中可能的并发症的出现。从某种程度上讲, SMILE 手术对手术医生的要求较高, 不仅需要娴熟的显微手术技巧, 同时要有丰富的屈光手术经验, 以及对此技术的深入了解和掌握, 需要一定的时间和经验的积累, 因此强调针对此类技术在初学时, 专

业手术的规范化培训十分必要,通过培训可以缩短学习曲线,少走弯路,加速提高手术的掌握速度,大大避免和减少手术并发症的产生。

#### 4 正确认识“全飞秒激光技术”的局限性及不足

Albert Enistain 曾经说过:最重要的事情莫过于不断地提出问题。任何新的技术,新的治疗方法的出现,均可能会存在一些问题,需要不断地改进,不断地完善。飞秒激光的物理特性毋庸置疑,但毕竟人眼角膜是一生物组织,其对生物组织的效应尚不十分明确,就类似当初认为准分子激光根据其波长为“冷激光”不产生热效应一样,事实上当其作用速度较快而产生“叠加”效应时,在特定的条件下可能也会对角膜组织产生热效应。同样,飞秒激光从产生到临床应用不过 10 余年,全飞秒技术更是相对较短,其对生物组织的作用尚需进一步研究。手术近期虽然相对安全,但其远期或更远期效果如何?其可能的手术并发症尚需不断认识及有效避免。此外还有用药问题,既然“微创”,皮质类固醇激素是否可以减量甚至不应用,以避免激素性高眼压的出现。虽然临床上回退现象较少,但一旦屈光度出现回退,如何进行二次手术,是否可行原手术方式还是需要行其他手术方式值得探讨,个性化手术的设计及实施有待进一步开展及应用等等。

总之,“全飞秒激光技术”,特别是以 SMILE 手术为代表的角膜屈光手术为屈光不正的矫正乃至视觉质量的提高提供了一个崭新的技术平台,是近年来科技进步在眼科领域的重要突破和体现,也是屈光手术的革命性成果的体现,但技术需要不断完善,并进行更深入的相关临床及基础研究和探讨,尽管如此,该技术毕竟向人类追求实现更好的视力和更完美的视觉质量又迈出了重要的一步。

#### 参考文献:

- [1] 王雁,赵堪兴. 飞秒激光屈光手术学[M]. 北京:人民卫生出版社,2014:108.
- [2] Maiman TH. Stimulated optical radiation in ruby[J]. Nature, 1960,187:494-494.
- [3] Chamberlain W, Omid N, Lin A, et al. Comparison of corneal surface higher-order aberrations after endothelial keratoplasty, femtosecond laser-assisted keratoplasty, and conventional penetrating keratoplasty[J]. Cornea,2012,31:6-13.
- [4] Shehadeh-Mashor R, Chan CC, Bahar I, et al. Comparison between femtosecond laser mushroom configuration and manual trephine straight-edge configuration deep anterior lamellar keratoplasty[J]. Br J Ophthalmol,2014,98: 35-39.
- [5] Terry MA, Ousley PJ, Will B. A practical femtosecond laser procedure for DLEK endothelial transplantation: cadaver eye histology and topography[J]. Cornea,2005,24:453-459.
- [6] Murta JN, Rosa AM, Quadrado MJ, et al. Combined use of a femtosecond laser and a microkeratome in obtaining thin grafts for Descemet stripping automated endothelial keratoplasty: an eye bank study[J]. Eur J Ophthalmol,2013,23:584-589.
- [7] Alio JL, Abbouda A, Vega-Estrada A. An innovative intrastromal keratoprosthesis surgery assisted by femtosecond laser[J]. Eur J Ophthalmol,2014,24:490-493.
- [8] Alio JL, Abdou AA, Soria F, et al. Femtosecond laser cataract incision morphology and corneal higher-order aberration analysis [J]. J Refract Surg,2013,29:590-595.
- [9] Khoramnia R, Holzer MP, Fitting A, et al. Functional results after bilateral intrastromal femtosecond laser correction of presbyopia[J]. Ophthalmologie,2013,110:1163-1170.
- [10] Buzzonetti L, Petrocelli G, Laborante A, et al. Arcuate keratotomy for high postoperative keratoplasty astigmatism performed with the intralase femtosecond laser[J]. J Refract Surg,2009,25:709-714.
- [11] Gertner J, Solomatin I, Sekundo W. Refractive lenticule extraction (ReLEx flex) and wavefront-optimized Femto-LASIK: comparison of contrast sensitivity and high-order aberrations at 1 year[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol,2013,251:1437-1442.
- [12] Sekundo W, Kunert K, Russmann C, et al. First efficacy and safety study of femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: six-month results[J]. J Cataract Refract Surg,2008, 34:1513-1520.
- [13] Sekundo W, Kunert KS, Blum M. Small incision corneal refractive surgery using the small incision lenticule extraction (SMILE) procedure for the correction of myopia and myopic astigmatism: results of a 6 month prospective study[J]. Br J Ophthalmol,2011,95:335-339.
- [14] Shah R, Shah S, Sengupta S. Results of small incision lenticule extraction: all-in-one femtosecond laser refractive surgery[J]. J Cataract Refract Surg,2011,37:127-137.
- [15] 李晓晶,王雁. 飞秒激光小切口透镜取出术的研究进展[J]. 国际眼科纵览,2013,37:411-414.
- [16] Vestergaard A, Ivarsen AR, Asp S, et al. Small-incision lenticule extraction for moderate to high myopia: predictability, safety, and patient satisfaction[J]. J Cataract Refract Surg, 2012,38:2003-2010.
- [17] Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, et al. Visual and refractive outcomes of femtosecond lenticule extraction and small-incision lenticule extraction for myopia[J]. Am J Ophthalmol,2014,157: 128-134.
- [18] Wu D, Wang Y, Zhang L, et al. The corneal biomechanical effects of small incision lenticule extraction (ReLEx smile) compared with femtosecond laser LASIK: a prospective study [J]. J Cataract Refract Surg,2014,40:954-962.
- [19] Yao P, Zhao J, Li M, et al. Microdistortions in Bowman's layer following femtosecond laser small incision lenticule extraction observed by Fourier-Domain OCT[J]. J Refract Surg, 2013,29:668-674.
- [20] 魏升升,王雁,王璐. 飞秒激光制作角膜瓣对猪眼角膜表面特征的影响[J]. 中华实验眼科杂志,2013,31:524-528.
- [21] Dong Z, Zhou X, Wu J, et al. Small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser LASIK: comparison of corneal wound healing and inflammation[J]. Br J Ophthalmol,2014,98: 263-269.
- [22] Riau AK, Angunawela RI, Chaurasia SS, et al. Early corneal wound healing and inflammatory responses after refractive lenticule extraction (ReLEx)[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci,

2011, 52:6213-6221.

[23] Kamiya K, Igarashi A, Ishii R, et al. Early clinical outcomes, including efficacy and endothelial cell loss, of refractive lenticule extraction using a 500 kHz femtosecond laser to correct myopia[J]. J Cataract Refract Surg, 2012, 38:1996-2002.

[24] Mohamed-Noriega K, Toh KP, Poh R, et al. Cornea lenticule viability and structural integrity after refractive lenticule extraction (ReLEx) and cryopreservation[J]. Mol Vis, 2011, 17:3437-3449.

[25] Liu H, Zhu W, Jiang AC, et al. Femtosecond laser lenticule transplantation in rabbit cornea; experimental study[J]. J Refract Surg, 2012, 28:907-911.

[26] Reinstein DZ, Archer TJ, Randleman JB. Mathematical model to compare the relative tensile strength of the cornea after PRK, LASIK, and small incision lenticule extraction[J]. J Refract Surg, 2013, 29:454-460.

[27] Wei S, Wang Y. Comparison of corneal sensitivity between FS-LASIK and femtosecond lenticule extraction (ReLEx flex) or small-incision lenticule extraction (ReLEx smile) for myopic eyes[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2013, 251:1645-1654.

[28] 魏升升, 王雁, 耿维莉, 等. 飞秒激光小切口基质透镜取出术和飞秒激光基质透镜取出术后早期角膜知觉变化的对比研究[J]. 中华眼科杂志, 2013, 49:299-304.

[29] Demirok A, Ozgurhan EB, Agca A, et al. Corneal sensation after corneal refractive surgery with small incision lenticule extraction[J]. Optom Vis Sci, 2013, 90:1040-1047.

[30] Ang M, Tan D, Mehta JS. Small incision lenticule extraction (SMILE) versus laser in-situ keratomileusis (LASIK): study protocol for a randomized, non-inferiority trial[J]. Trials, 2012, 13:75.

[31] 王雁, 鲍锡柳, 汤欣, 等. 飞秒激光角膜微小切口基质透镜取出术矫正近视及近视散光的早期临床研究[J]. 中华眼科杂志, 2013, 49:292-298.

(收稿日期:2014-04-01)  
(本文编辑:毛文明)

## 中华眼视光学与视觉科学杂志第一届编辑委员会成员名单

**顾问:** 杨雄里 陈霖 谢立信 黎晓新 赵家良 赵堪兴 葛坚 姚克

**总编辑:** 瞿佳

**副总编辑** (以姓氏汉语拼音为序):

范先群 刘祖国 吕帆 孙兴怀 王宁利 许迅 杨培增 阴正勤

**编委委员** (以姓氏汉语拼音为序):

白继 毕宏生 陈晓明 陈有信 陈跃国 程凌云 崔浩 戴虹 董方田 董晓光 樊映川 范先群  
高前应 顾扬顺 管怀进 郭海科 郝燕生 何伟 何明光 何守志 黄丽娜 黄翊彬 黄振平 惠延年  
贾亚丁 亢晓丽 雷博 李莹 李建军 李筱荣 李毓敏 廖荣丰 刘晓玲 刘奕志 刘祖国 卢奕  
吕帆 马景学 马志中 瞿佳 瞿小妹 沈晔 沈丽君 施明光 史伟云 宋鄂 孙乃学 孙兴怀  
孙旭光 汤欣 唐罗生 唐仕波 汪辉 王薇 王雁 王丽娅 王宁利 王勤美 王雨生 韦企平  
魏锐利 魏世辉 魏文斌 夏晓波 肖利华 谢培英 邢怡桥 徐亮 徐格致 徐国兴 许迅 颜华  
晏晓明 杨培增 杨亚波 杨智宽 叶剑 叶娟 阴正勤 余敏斌 原慧萍 袁援生 袁志兰 曾骏文  
张风 张丰菊 张劲松 张军军 张卯年 张铭志 张清炯 张作明 赵东卿 赵明威 赵培泉 赵云娥  
周翔天 周行涛 朱豫 朱思泉

**香港地区及海外编委** (以姓氏英文字母为序):

Jack Holladay(美国) John Marshall(英国) Frank Schaeffel(德国) Frank Thorn(美国) Mark Tso(美国)  
George O. Waring(美国) George Woo(香港) Maurice Yap(香港) Terri L. Young(美国) 何世坤(美国)  
胡诞宁(美国) 蒋百川(美国) 王光霁(美国)

**荣誉编委** (以姓氏汉语拼音为序):

陈祖基 褚仁远 方春庭 郭静秋 郭希让 何秀仁 胡聪 蒋幼芹 李镜海 李美玉 李子良 宋慧琴  
孙葆忱 王竞 王思慧 王文吉 吴中耀 徐艳春 张士元 赵红梅

**特邀编委** (以姓氏汉语拼音为序):

梁远波 邵立功