

激光类手术矫正老视的新进展

刘晓鹏¹, 雷玉琳²

引用: 刘晓鹏, 雷玉琳. 激光类手术矫正老视的新进展. 国际眼科杂志, 2024, 24(11): 1753-1758.

作者单位: ¹ (256600) 中国山东省滨州市, 滨州医学院; ² (250200) 中国山东省济南市, 济南明水眼科医院

作者简介: 刘晓鹏, 在读硕士研究生, 研究方向: 屈光。

通讯作者: 雷玉琳, 毕业于山东大学, 博士研究生, 硕士研究生导师, 主任医师, 副院长, 研究方向: 屈光. lei.yulin642@126.com

收稿日期: 2024-01-04 修回日期: 2024-09-12

摘要

随着全球老龄化的加剧, 老视逐渐成为一个全球性的问题, 老视矫正手术在近些年不断涌现。激光技术的应用为屈光手术带来了极大的便利, 同样其在老视的矫正中也发挥着越来越重要的作用, 准分子激光和飞秒激光技术的出现, 打开了老视手术治疗的新世界, 为老视手术矫正带来了新的希望。文章主要就准分子激光和飞秒激光技术在老视手术中的应用以及新进展展开叙述。

关键词: 老视; 角膜手术; 激光; 准分子; 飞秒; 进展

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2024.11.12

New advances in presbyopia treatment with laser surgery

Liu Xiaopeng¹, Lei Yulin²

¹ Binzhou Medical University, Binzhou 256600, Shandong Province, China; ² Jinan Mingshui Eye Hospital, Jinan 250200, Shandong Province, China

Correspondence to: Lei Yulin, Jinan Mingshui Eye Hospital, Jinan 250200, Shandong Province, China. lei.yulin642@126.com

Received: 2024-01-04 Accepted: 2024-09-12

Abstract

• With the intensification of global aging, presbyopia has gradually become a global problem, and presbyopia correction surgery has emerged in recent years. The application of laser technology has brought great convenience to refractive surgery, and it also plays an increasingly important role in the correction of presbyopia. The emergence of excimer laser and femtosecond laser technology has opened a new world of surgical treatment for presbyopia, and brought new hope for surgical correction of presbyopia. In this paper, the application and new progress of excimer laser and femtosecond laser in presbyopia surgery are described.

• KEYWORDS: presbyopia; corneal surgery; laser; excimer; femtosecond; progress

Citation: Liu XP, Lei YL. New advances in presbyopia treatment with laser surgery. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2024, 24(11): 1753-1758.

0 引言

随着年龄的增长和眼部调节能力(调节幅度)的逐渐下降, 人眼会出现视近困难等症状, 近距离视物时需矫正屈光不正的基础上附加凸透镜才能具有清晰的近视力, 这种现象称为老视(老花眼)^[1]。随着人口老龄化加剧, 预计到 2050 年, 全球受到老视影响的人口约能达到 17.82 亿^[2]。有研究^[3]表明, 全球生产力约有 250 亿美元的损失可归因于未矫正的老视, 在发展中国家甚至发达国家对于老视矫正的认识水平是远远不够的, 这严重影响着社会的进步与发展。目前老视的矫正方式多种多样, 主要包括非手术方式和手术方式, 前者主要包括框架镜和角膜接触镜, 根据其矫正原理大致可以分为单眼视原理或改良单眼视原理和双焦、多焦原理。非手术方式有着更经济, 更安全的优势, 但是频繁摘戴眼镜给老视人群的生活带来了极大的不便, 以及部分老视人群对“戴镜”有着抵触心理。手术方式根据手术部位不同, 分为眼内晶体相关老视矫正手术、巩膜相关手术、角膜相关手术。随着激光技术的不断发展普及和应用, 激光在老视治疗方面的研究也逐渐发展起来, 尤其是准分子激光继而飞秒激光在眼科中的应用, 为老视手术治疗带来了新希望^[4]。

1 准分子激光相关的老视激光手术

1.1 激光诱发的单眼视

1.1.1 单眼视原理 单眼视(monovision, MV)最早是由 Smith 1958 年提出并应用于治疗老视, 即一只眼视近, 另一只眼视远^[5]。传统上主张矫正非主视眼视近, 但根据人们的用眼习惯和生活方式的不同, 也有人提出矫正主视眼视近, 且取得了不错的患者满意度^[6]。其利用了双眼间的模糊抑制原理, 大脑会自动识别清晰的成像, 实现双眼交替视物, 从而达到清晰视近视远的目的。单眼视的形式最早用于结合框架眼镜, 但是由于镜片会产生差异棱镜效应等光学问题, 所以后续的应用中更偏向于贴近角膜面的矫正(如角膜接触镜和屈光手术)^[7]。此外临床上也有人将人工晶状体置换术与单眼视原理结合来矫正老视, 但有研究^[3]称其临床效果相对于角膜激光手术诱导单眼视的效果差。

1.1.2 激光诱发单眼视原理 激光矫正老花眼的最基本方式是单眼视^[8], 通过利用激光对角膜进行重塑, 矫正一眼平光用于视远, 另一只保留相应度数用于视近, 双眼形成

一定的屈光参差,从而达到清晰视近视远的目的,如果双眼的屈光参差水平较低(≤ 1.50 D),则称为微单眼视^[8]。随着角膜屈光手术的发展,从PRK、LASIK、LASEK发展到波前像差引导的个性化切削、Q值引导、Kappa角补偿等新技术以及飞秒激光的应用,激光角膜屈光手术越来越精确,同样使激光手术诱导的单眼视老视矫正术越来越精准、越来越优化。其中Q值引导的改良单眼视模式在临床上取得了不错的效果^[9-10]。此外在后文中提到的像差诱导模式和角膜多焦点增加景深的模式中也均联合了单眼视原理(如PresbyMAX、PresbyLBV模式等)。随着全飞秒激光在屈光手术中的应用,该技术也被应用于老视矫正,同样也可以诱导单眼视或微单眼视来达到老视矫正的目的,并且有研究^[11]报道其临床效果不亚于专门的老视矫正技术。

林颖等^[9]和周玲婕等^[10]对老视患者的非主视眼行Q值引导的非球面切削LASIK,术后随访中均发现裸眼近视力(uncorrected near visual acuity, UNVA)得到明显的改善,但非主视眼的裸眼远视力(uncorrected distance visual acuity, UDVA)较主视眼有所降低,立体视没有明显的改变。Reinstein等^[8]和Garcia-Gonzalez等^[12]对老视患者进行主视眼LASIK全矫,非主视眼保留相应的近视度数,前者的随访中,129例患者的双眼远视力95%达到20/20、近视力81%达到J2,95%远视力达到20/20,且近视力达到J5,最佳矫正视力无眼丢失2行或2行以上,对比敏感度有所增加。后者研究中发现术后在48 cm处的阅读视力达到0.88。张婉婷等^[13]的研究中发现SMILE和FS-LASIK结合单眼视均能达到老视延缓作用,但是SMILE更优。Kim等^[14]对72例患者行全飞结合微单眼视矫正近视合并老视患者,有83%患者术后有着0.0 LogMAR及以上的UDVA和J3及以上的UNVA,总的来说就是全飞技术结合微单眼视能达到不错的老视矫正效果。

目前单眼视或微单眼视已经广泛应用于老视矫正,并且可以有效地改善老视患者的视力需求,但是该方式诱导出了一定的屈光参差,术后患者需要长时间去适应,以及存在术后视觉质量下降等问题。现有的相关报道中对激光诱导的单眼视术后的立体视以及对比敏感度的影响并不统一,仍需要大量的研究去证实,但总体来说通过激光诱导单眼视不免为一种可行的老视矫正方式。

1.2 激光融合视觉 激光融合视觉(Presbyond-LBV)是一种先进的屈光技术,它融合了传统的单眼视觉因素和特殊诱导的球面像差(SA),从而实现更大范围的聚焦^[15]。该技术使用专有的非线性非球面切削轮廓,其中包含预补偿因子来控制SA的诱导,这样设计保证了视觉质量和对比敏感度等不会受到过多的影响。当然掌握这一技术需要熟练掌握增加景深与所需SA水平之间的关系,如果超出SA的限制,视觉质量则会受到影响。这种球差与微单眼视结合,有助于大脑合并两眼的物象,创建一个混合区,允许患者不带眼镜就能看清远、中、近。Ganesh等^[15]对38例近视和63例远视合并老视的患者行激光融合视觉矫正老视,在1a的随访中,近视组中有97%对远视力满意,95%对近视力满意,远视组中有96%对远视力满意和89%对近视力满意,在该研究中体现出该方式在近视合并老视

的患者中的满意度更高。Fu等^[16]的研究中术后双眼UNVA和UDVA均得到明显的改善,但有2眼(均为优势眼)失去了1行矫正远视力(corrected distance visual acuity, CDVA),且有患者反映有夜间视力和近视力相对较差等问题。此外还有研究^[17]报道了该方式的术后视觉功能和阅读速度,术后在阅读距离下,未矫正的阅读速度更好,阅读视力和临界字体大小无显著差别,立体视在未矫正下显著降低,但当将屈光参差矫正后立体视恢复。Hernández-Lucena等^[18]针对立体视与Presbyond-LBV之间的关系对318例患者做了回顾性研究,发现术后立体视在UDVA、UNVA等指标中显著影响了术后短期的视觉结果,但是立体视对于视觉结果的影响随着时间的推移而减弱,在12 mo时统计意义不显著,因此立体视可能是影响术后视觉效果的一个短期关键因素,但对长期的术后视觉效果影响减弱。

激光融合视是一种安全、有效的老视矫正方式,近视镜合并老视的患者接受度可能更高。通过控制像差的方式,不仅能改善老视患者的视力,而且还能保证较少的视觉质量和对比敏感度的损失,但是术后需要时间去适应,在短期内可能会有立体视的下降,但是长期结果比较理想。

1.3 准分子激光多焦点老视矫正手术 准分子激光多焦点老视矫正手术(PresbyLASIK)一词最早是由Ruiz在1996年提出,它是一种基于LASIK原理创建角膜多焦点表面的外科屈光技术^[19]。多焦点准分子激光技术主要有三种形式:中央型PresbyLASIK、周围型PresbyLASIK和过渡型PresbyLASIK,但是在临床应用中医师对于过渡型的接受度很低,鲜有相关报道,且认为过渡型会导致严重的像差^[20],所以目前临床上常用的模式仅有中央型和周围型。

中央型PresbyLASIK是利用准分子激光在角膜中心创建一个超正区域用于视近,周边矫正用于视远,该种方式的设计原理依赖于瞳孔近反射,当视近时瞳孔缩小,周边的光线被滤过,从而满足视近时的需求。该方式的优势是使用范围广泛,适用于近视、远视、正视合并老视的患者,且所需切削的角膜组织较少,但是其主要局限性是视线、瞳孔中央、角膜定点之间缺乏相应的对应性,会带来彗差^[21],同时术后可能会造成一部分远视力的丧失。

周围型PresbyLASIK是在角膜中央留出一定区域用于视远,而在周边角膜上进行消融,通过产生负的非球面以增加景深,来满足视近需求。然而当瞳孔向视近转变时,眼睛屈光度向正球面转换,则会对视近产生负面影响^[21]。此外该方式如果结合近视矫正时,角膜切削量大,所以更适用于远视合并老视的患者。该方式在临床应用中较少,所以我们主要介绍一下中央型PresbyLASIK的老视矫正方式。根据不同算法,不同的公司设计出了几款不同的中央型PresbyLASIK老视矫正模式,下面来介绍一下。

1.3.1 SUPRACOR老视矫正术 SUPRACOR设计原理是采用了像差优化的算法,在角膜中央3.0 mm区域创建一个超正区域(增加了约2.00 D的屈光度)^[22],属于中央型PresbyLASIK的一种方式,采用渐进性的切削模式,保证从视远到视近能平滑过渡^[23],其设计可以是双眼近视的对

称模式,也可以是双眼的不对称模式,后者更适用于视远视近均有高要求的患者^[19],具体的选择根据患者的生活和工作来进行评估。Adam等^[24]对25例行SUPRACOR的患者术后随访12 mo发现,有96%患者的UDVA达到甚至超过20/25,92%患者的UNVA达到J2甚至更好,仅有1眼丧失2行矫正远视力(CDVA)。Schlote等^[25]对20例患者39眼行该手术,术后随访1 a后,平均UDVA由术前 0.56 ± 0.31 提高到 0.9 ± 0.15 ,平均UNVA由 0.15 ± 0.07 改善到 0.62 ± 0.24 ,仅有4眼失去2行CDVA,同时发现术后1 a,每只眼的明视对比敏感度均在相关年龄正常范围内,但同样也有反映术后眩光增加、远视力下降和视力波动等问题的存在。此外在范华等^[26]的研究中发现SUPRACOR可增强老视治疗的效果,而且可以改善角膜生物力学参数且减少并发症发生。

综合而言,SUPRACOR能够达到对老视的矫正作用,但是术后存在CDVA的丧失,以及术后眩光增加和视力波动等问题,目前相关的研究中设计的样本量较少,对于该方式的矫正疗效如何仍需要进一步研究。

1.3.2 PresbyMAX 矫正老视 PresbyMAX是一款老视矫正软件,其利用了双非球面切削算法,术后角膜表面形成多焦点轮廓,共包括4个区域(看近区域、中间距离区域、看远区域、过渡区域),中央生成一个超正区域(相对于周边屈光度 $0.75-2.50$ D)用于视近(视近区域),而周边完全矫正用于视远^[27-28]。PresbyMAX提供了三种设计模式:u-Monovision模式(2012年)、Hybrid模式(2013年)和Monocular模式(2016年),三种模式的区别在于主视眼和非主视眼引入的景深不同,u-Monovision模式双眼引入相同的景深、Hybrid模式双眼引入不同的景深、Monocular模式仅在非主视眼上引入景深,主视眼100%矫正用于视远^[29]。根据患者的具体的视近视远需求来选择相对应的模式,目前临床上常用的模式为第三种。

Ryu等^[30]对92例184眼近视合并老视的患者进行了PresbyMAX-Monocular模式矫正,在6 mo随访时,优势眼和非优势眼平均UDVA分别达到 0.01 ± 0.02 和 0.26 ± 0.15 (LogMAR),100%患者UDVA达到20/20或者更好,100%患者达到20/20的UDVA和J2的UNVA。FU等^[31]对11例近视合并老视和11例远视合并老视的患者进行单眼视模式的PresbyMAX进行矫正,在1 a的随访中,有85.7%患者的CDVA与术前相同或者更好、17.1%和2.9%获得1行或2行的CDVA、95.5%达到20/32的双眼裸眼近视力(binocular uncorrected near visual acuity, BUNVA)、100%的手术眼均达到20/25的双眼裸眼远视力(binocular uncorrected distance visual acuity, BUDVA),BUDVA在术后1 mo得到稳定,BUNVA在1 wk内稳定,并且3 mo时达到95.5%的患者满意度,近视组和远视组未有显著差异。Chan等^[32]的研究也体现出了单眼视模式PresbyMAX有着很好的老视矫正效果,但是有14%的患者对于近视力行再次矫正。FU等^[33]在PresbyMAX单眼视模式的另一项研究中发现,虽然术后视力得到明显改善,但是球差和总像差高于术前水平,除了球差和水平彗差以外,优势眼和非优势眼的光学质量无显著差异,总而言之,该激光技术对于光学质量影响不大,但会有短期光学质量的下降,

尤其是非主视眼中。Kohnen等^[34]对30例患者(15例患者行u-Monovision模式和15例患者行Hybrid模式)进行了PresbyMAX矫正(LogMAR),由术前平均双眼矫正远视力(binocular corrected distance visual acuity, BCDVA) -0.16 ± 0.10 改善到术后平均BUDVA 0.05 ± 0.20 和平均BCDVA -0.06 ± 0.14 ,平均双眼矫正近视力(binocular corrected near visual acuity, BCNVA)由术前 0.47 ± 0.13 提升到术后 0.19 ± 0.19 ,平均BUNVA由 0.48 ± 0.26 提升到 0.05 ± 0.15 ,两种模式间的差异无统计学意义,但是u-Monovision模式的BCNVA更好,在30例患者中,有21例患者BCDVA和12例患者的BUDVA达到20/20或者更好,部分患者有CDVA不同程度的丢失,但是患者们的近视力得到明显改善,眼镜的依赖性大大减低。

总而言之,PresbyMAX老视矫正方式是一种安全、有效、稳定的^[35]方式,但术后可能会存在像差的增加、视觉质量的短期下降以及最佳矫正视力丢失的风险,并且可能会有再次治疗的可能性,但是远期治疗效果令人满意,对于老视矫正方面不失为一种不错的治疗方式。

2 飞秒激光相关的老视矫正术

2.1 角膜基质内飞秒激光技术 角膜基质内飞秒激光技术(Intracor)利用飞秒设备在非主视眼角膜基质中心区进行圆形的扫描,使角膜中央相对隆起,增加角膜中央的曲率,改善患者近视力,达到对老视的矫正。该方式是目前唯一一种纯粹在基质内进行的手术,而且不会产生连接到角膜表面或前房的伤口。该技术早期由于保留了角膜上皮组织和角膜基质层,并且达到对老视的矫正,曾被认为是很有前途的老视矫正术^[36]。但是在之后的研究中发现该技术虽然能达到对近视力的矫正^[37],但是存在对比敏感度较高损失以及视觉质量恶化等问题^[38-39],此外后期有不少病例报道了关于Intracor术后引起的角膜扩张的问题^[40-42],以及在矫正初期存在有屈光回退^[43]等问题。

综合来讲,该技术虽然一定程度上改善了近视力,但是术后带来的对比敏感度和视觉质量的下降以及术后可能出现的角膜扩张等临床问题让我们不得不慎重考虑该技术在矫正老视问题上的应用。

2.2 飞秒激光辅助角膜基质透镜的植入

2.2.1 人造角膜嵌体 飞秒激光具有穿透性和光爆破性,因此其可以穿过角膜上皮直接在角膜基质层进行扫描,在角膜上形成一个角膜瓣或者囊袋,从而为角膜基质透镜的植入提供了可能性。现在的透镜具有更薄、直径更小以及更好的生物兼容性等特点,且这些特性也允许其被植入飞秒激光做创建的相对较深的角膜瓣或者角膜基质囊袋中,目前临床上主要用过三种基质透镜^[44]。目前常见的人造角膜嵌体包括:小孔径角膜嵌体(KAMRA,原理是在眼睛上创建一个光圈效果,增加景深)、形状变化的角膜嵌体(Raindrop,原理是改变角膜的曲率)、屈光性角膜嵌体(Flexivue Mircolens,该植入物的设计原理是一个双焦设计)^[45]。虽然这些嵌体在改善近视力方面起到的一定的作用,但是有大量研究报道了^[46-50]关于植入人工角膜嵌体后出现的各种并发症如角膜混浊、光晕、疼痛、畏光、远视力损失等。由此可见,解决老花眼问题的答案不可能局限于人工角膜嵌体的使用。

2.2.2 同种异体角膜基质透镜植入矫正老视 随着飞秒技术的应用,在近视眼治疗中,飞秒激光辅助小切口下透镜取出术为我们提供了大量的角膜基质透镜,这些透镜已经应用于远视眼和圆锥角膜的治疗中,近些年该透镜也逐步应用于老视的矫正中,我们称之为:同种异体角膜基质透镜植入术。Keskin 等^[51]对 25 例患者的非主视眼行同种异体角膜嵌体的植入通过增加景深来矫正老视的研究中,3 a 随访有 6 例患者的 CDVA 下降 1 行,平均离焦曲线为 0.2(LogMAR)时,未植入的眼睛景深为 1.1 D,而植入的眼平均景深为 2.8 D,植入眼的离焦曲线中,近、中、远均更好,而在未植入眼中仅远距离区域更好。Jacob 等^[52]对 4 例患者行同种异体角膜嵌体植入术,随访 6 mo 中,所有患者均实现了远、中、近距离下的“脱镜”,且无人反映存在相应的并发症,均对该手术过程满意。总而言之,同种异体角膜嵌体在老视矫正的应用中体现出了很好的前景,并且未有明显的并发症,但是目前该方式的应用并不普遍,具体的疗效如何仍需要更多的临床研究来佐证。

2.3 飞秒激光和晶状体结合矫正老视

2.3.1 晶状体软化 该技术类似于 Intracor,利用飞秒激光通过破坏晶状体的内部结构,保持其清晰度的同时,将老花眼的晶状体恢复至老视前的可塑性形式,理论上来说飞秒激光的相干光可以在晶状体内精准的聚焦,从而诱导局部光破坏,飞秒激光破坏区域迅速形成的气泡随着时间推移逐渐被周围组织吸收,通过制造一系列不同形状内部透镜状微切口,可以形成一层层板层状结构,起到“滑动平面”的作用,从而起到在调节时变形的作用^[44]。

中央部的晶状体被保留,因为沿着视轴上的晶状体改变会损害视力。该技术虽然在理论上可以解释,但是目前基本仅在动物上进行研究,在人体进行研究之前仍需要更多的理论基础和大量的研究支撑^[44]。

2.3.2 飞秒激光辅助的人工晶状体植入 人工晶状体(IOL)置换术在白内障人群中已经得到普及,并且已经有了很好的临床治疗效果,随着飞秒激光技术的发展,其也被应用于辅助晶状体置换手术的步骤中,在飞秒激光的辅助下,使得白内障手术中的撕囊步骤更精准,术后光学干扰小^[53]。有研究^[54]报道,IOL 的生物学特性影响术后眼内高阶相差,双焦点 IOL 和连续视程 IOL 相比单焦点 IOL 更能减少术后眼内高阶像差,尤其是彗差。晶状体置换术矫正老视的优点包括视力恢复快、稳定性好、可以获得全程视力^[55],在飞秒激光的辅助下,使得该手术方式更精准,但同时存在着眼内手术并发症的风险。但是在合并白内障的老视人群中,该方式具有一举两得的功效。

3 讨论与小结

老视是一个值得全球关注的问题,但是在我国,显然对其关注度并不高,对其矫正也都大部分集中于佩戴“老花镜”来矫正,当然随着屈光技术在我国的发展以及白内障手术的普及,老视相关的手术在我国也逐步地开展起来。但是老视是一个随着年龄的增长逐步变化的过程,而目前相关的手术矫正大都为一个静态的手术,并不能保证通过一次手术达到完全脱镜的状态,不会从根本上解决老视。本文中总结了与激光相关的老视手术,以及分析了各自的优势和目前存在的问题,相对于以往的文章^[56-57],本

文不仅提到了准分子激光在老视矫正中的应用,而且还总结了飞秒激光在老视矫正手术中的应用,且激光的应用并不仅仅限于角膜,还体现在了与晶状体相结合的老视矫正方式中。当然本文也存在相应弊端,因主要讲解与激光相关的老视矫正方式,对于其他的老视矫正方式并未做详细的阐述,比如目前已经纳入临床研究的阶段的一种新的透镜^[58](EVO Viva ICL;STAAR Surgical),采用非球面光学设计,相对于常规的 ICL V4c 增加了景深来达到对老视的矫正,目前对该新型透镜的研究中表明该方式可以在不影响视觉质量的情况下达到对近视和老视的矫正,还有 ICL V4c 与单眼视结合矫正老视同样也取得了不错的远近期疗效和患者满意度^[59],且 ICL V4c 与单眼结合矫正老视比飞秒激光原位角膜磨镶术诱导单眼视的安全指数更高^[60]。IOL 置换老视矫正方式目前临床上也广泛的应用^[61-63],但是本文重点讲解与激光的相关性,所以对于这方面的描述仍有所欠缺。总的来说,本文主要介绍了近些年来与激光相关的手术方式,也是近些年来临床上应用比较广泛、比较热点的方式,但是每种矫正都存在着相应的弊端,所以追求更优老视手术方式,真正的解决老视问题仍然是临床中面临的一个重大挑战。

参考文献

- [1] 中国医师协会眼科医师分会屈光手术学组. 中国伴年龄相关性调节不足屈光不正患者激光角膜屈光手术专家共识(2021年). 中华眼科杂志, 2021, 57(9):651-657.
- [2] Frick KD, Joy SM, Wilson DA, et al. The global burden of potential productivity loss from uncorrected presbyopia. *Ophthalmology*, 2015, 122(8):1706-1710.
- [3] Wolffsohn JS, Davies LN, Sheppard AL. New insights in presbyopia: impact of correction strategies. *BMJ Open Ophthalmol*, 2023, 8(1):e001122.
- [4] 廉井财, 张静, 廖华萍, 等. 激光老视手术治疗的研究进展. 中国激光医学杂志, 2014, 23(05):295.
- [5] 敖弟华. 角膜老视手术研究新进展. 现代医药卫生, 2022, 38(6):970-974.
- [6] Cheng AC, Lam DS. Monovision LASIK for pre-presbyopic and presbyopic patients. *Refract Surg*, 2005, 21(4):411-412.
- [7] Evans BJ. Monovision: a review. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2007, 27(5):417-439.
- [8] Reinstein DZ, Couch DG, Archer TJ. LASIK for hyperopic astigmatism and presbyopia using micro-monovision with the Carl Zeiss Meditec MEL80 platform. *J Refract Surg*, 2009, 25(1):37-58.
- [9] 林颖, 张霞, 袁牧之. 非球面优化单眼视准分子激光手术治疗近视合并老视的短期临床观察. 临床眼科杂志, 2018, 26(4):343-346.
- [10] 周玲婕, 贾沁, 梁静, 等. 非球面性优化单眼视准分子激光手术治疗近视合并老视的疗效评价. 宁夏医学杂志, 2015, 37(5):436-438.
- [11] Fernández J, Alonso-Aliste F, Burguera N, et al. Effectiveness of SMILE combined with micro-monovision in presbyopic patients: a pilot study. *Life*, 2023, 13(3):838.
- [12] Garcia-Gonzalez M, Teus MA, Hernandez-Verdejo JL. Visual outcomes of LASIK-induced monovision in myopic patients with presbyopia. *Am J Ophthalmol*, 2010, 150(3):381-386.
- [13] 张婉婷, 高芬. SMILE 和 FS-LASIK 联合 monovision 治疗近视合并老视的疗效比较. 国际眼科杂志, 2021, 21(7):1288-1291.

- [14] Kim JS, Ra H, Rho CR. Retrospective observational study of micro-monovision small incision lenticule extraction (SMILE) for the correction of presbyopia and myopia. *Medicine*, 2018,97(49):e13586.
- [15] Ganesh S, Brar S, Gautam M, et al. Visual and refractive outcomes following laser blended vision using non-linear aspheric micro-monovision. *J Refract Surg*, 2020,36(5):300-307.
- [16] Fu D, Aruma A, Xu Y, et al. Refractive outcomes and optical quality of PRESBYOND laser-blended vision for presbyopia correction. *Int J Ophthalmol*, 2022,15(10):1671-1675.
- [17] Brar S, Sute SS, Bagare SN, et al. Functional outcomes and reading speeds following PRESBYOND LBV using nonlinear aspheric ablation profiles combined with micro-monovision. *J Ophthalmol*, 2021, 2021:2957443.
- [18] Hernández-Lucena J, Alonso-Aliste F, Amián-Cordero J, et al. Exploring the effect of preoperative Stereopsis on visual outcomes in hyperopic presbyopes treated with PresbyOND® laser blended vision micro-monovision. *J Clin Med*, 2023,12(19):6399.
- [19] Soler Tomás JR, Fuentes-Páez G, Burillo S. Symmetrical versus asymmetrical PresbyLASIK: results after 18 months and patient satisfaction. *Cornea*, 2015,34(6):651-657.
- [20] Alió JL, Amparo F, Ortiz D, et al. Corneal multifocality with excimer laser for presbyopia correction. *Curr Opin Ophthalmol*, 2009,20(4):264-271.
- [21] Vargas-Fragoso V, Alió JL. Corneal compensation of presbyopia: PresbyLASIK; an updated review. *Eye Vis*, 2017,4(1):11.
- [22] Ang RE, Cruz EM, Pisig AU, et al. Safety and effectiveness of the SUPRACOR presbyopic LASIK algorithm on hyperopic patients. *Eye Vis*, 2016,3:33.
- [23] Alarcón A, Anera RG, del Barco LJ, et al. Designing multifocal corneal models to correct presbyopia by laser ablation. *J Biomed Opt*, 2012,17(1):018001.
- [24] Adam T, Boucenna W, Lussato M, et al. Presbyopic LASIK using the supracor algorithm and micromonovision in presbyopic myopic patients: 12-month visual and refractive outcomes. *J Cataract Refract Surg*, 2023,49(2):195-200.
- [25] Schlote T, Heuberger A. Multifocal corneal ablation (supracor) in hyperopic presbyopia: 1-year results in a cross-sectional study. *Eur J Ophthalmol*, 2017,27(4):438-442.
- [26] 范华, 毕宏生, 王兴荣, 等. 准分子激光角膜中央多焦点非球面切削模式治疗老视的疗效及其对角膜生物力学的影响. *临床眼科杂志*, 2021,29(3):220-225.
- [27] Luger MH, McAlinden C, Buckhurst PJ, et al. Presbyopic LASIK using hybrid bi-aspheric micro-monovision ablation profile for presbyopic corneal treatments. *Am J Ophthalmol*, 2015,160(3):493-505.
- [28] Baudu P, Penin F, Arba Mosquera S. Uncorrected binocular performance after bi-aspheric ablation profile for presbyopic corneal treatment using AMARIS with the PresbyMAX module. *Am J Ophthalmol*, 2013,155(4):636-647.e1.
- [29] Shetty R, Brar S, Sharma M, et al. PresbyLASIK: a review of PresbyMAX, supracor, and laser blended vision: principles, planning, and outcomes. *Indian J Ophthalmol*, 2020,68(12):2723-2731.
- [30] Ryu S, Jun I, Kang DSY, et al. Presbyopia correction using the monocular bi-aspheric ablation profile in myopic eyes. *J Cataract Refract Surg*, 2023,49(1):69-75.
- [31] Fu D, Zhao J, Zeng L, et al. One year outcome and satisfaction of presbyopia correction using the PresbyMAX® monocular ablation profile. *Front Med*, 2020,7:589275.
- [32] Chan TC, Kwok PS, Jhanji V, et al. Presbyopic correction using monocular bi-aspheric ablation profile (PresbyMAX) in hyperopic eyes: 1-year outcomes. *J Refract Surg*, 2017,33(1):37-43.
- [33] Fu D, Zhao J, Zhou XT. Objective optical quality and visual outcomes after the PresbyMAX monocular ablation profile. *Int J Ophthalmol*, 2020,13(7):1060-1065.
- [34] Kohnen T, Böhm M, Herzog M, et al. Near visual acuity and patient-reported outcomes in presbyopic patients after bilateral multifocal aspheric laser *in situ* keratomileusis excimer laser surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2020,46(7):944-952.
- [35] Villanueva A, Vargas V, Mas D, et al. Long-term corneal multifocal stability following a presbyLASIK technique analysed by a light propagation algorithm. *Clin Exp Optom*, 2019,102(5):496-500.
- [36] Ruiz LA, Cepeda LM, Fuentes VC. Intrastromal correction of presbyopia using a femtosecond laser system. *J Refract Surg*, 2009,25(10):847-854.
- [37] Khoramnia R, Fitting A, Rabsilber TM, et al. Intrastromal femtosecond laser surgical compensation of presbyopia with six intrastromal ring cuts: 3-year results. *Br J Ophthalmol*, 2015,99(2):170-176.
- [38] Fitting A, Menassa N, Auffarth GU, et al. Effect of intrastromal correction of presbyopia with femtosecond laser (INTRACOR) on mesopic contrast sensitivity. *Ophthalmologie*, 2012, 109(10):1001-1007.
- [39] Mai EL, Lian IB, Chang DC. Assessment of contrast sensitivity loss after intrastromal femtosecond laser and LASIK procedure. *Int J Ophthalmol*, 2016,9(12):1798-1801.
- [40] Lun K, Ray M. Keratectasia after presbyopia treatment with INTRACOR. *Eye Contact Lens*, 2018,44(Suppl 1):S333-S336.
- [41] Dukic A, Bohac M, Pasalic A, et al. Apparent corneal ectasia after bilateral intrastromal femtosecond laser treatment for presbyopia. *Cornea*, 2016,35(11):1495-1498.
- [42] Chan TCY, Chan JCK, Lam NM, et al. Transient corneal ectasia after phacoemulsification in an eye with femtosecond intrastromal presbyopic treatment. *J Cataract Refract Surg*, 2020,46(1):143-146.
- [43] Thomas BC, Fitting A, Khoramnia R, et al. Long-term outcomes of intrastromal femtosecond laser presbyopia correction: 3-year results. *Br J Ophthalmol*, 2016,100(11):1536-1541.
- [44] Wolffsohn JS, Davies LN. Presbyopia: Effectiveness of correction strategies. *Prog Retin Eye Res*, 2019,68:124-143.
- [45] Moshirfar M, Henrie MK, Payne CJ, et al. Review of presbyopia treatment with corneal inlays and new developments. *Clin Ophthalmol*, 2022,16:2781-2795.
- [46] Moshirfar M, Lau CK, Chartrand NA, et al. Explantation of KAMRA corneal inlay: 10-year occurrence and visual outcome analysis. *Clin Ophthalmol*, 2022,16:3327-3337.
- [47] Sánchez-González MC, Gutiérrez-Sánchez E, Sánchez-González JM, et al. Complications of small aperture intracorneal inlays: a literature review. *Life*, 2023,13(2):312.
- [48] Lee BJH, Ong HS, Fenner BJ, et al. Surgical technique to treat presbyopic inlay-associated corneal haze with sequential excimer photoablation: a case series. *J Refract Surg*, 2023,39(9):639-646.
- [49] Sánchez-González JM, Borroni D, Rachwani-Anil R, et al. Refractive corneal inlay implantation outcomes: a preliminary systematic review. *Int Ophthalmol*, 2022,42(2):713-722.

[50] Beer SMC, Werner L, Nakano EM, et al. A 3-year follow-up study of a new corneal inlay: clinical results and outcomes. *Br J Ophthalmol*, 2020,104(5):723-728.

[51] Keskin Perk FFN, Taneri S, Tanriverdi C, et al. Increasing depth of focus with allogeneic presbyopic inlays: 3-year results. *J Cataract Refract Surg*, 2023,49(10):1005-1010.

[52] Jacob S, Kumar DA, Agarwal A, et al. Preliminary evidence of successful near vision enhancement with a new technique: PrEsbyopic allogenic refractive lenticule (PEARL) corneal inlay using a SMILE lenticule. *J Refract Surg*, 2017,33(4):224-229.

[53] 谭吉林, 秦艳, 袁诗曼, 等. 飞秒激光辅助白内障联合 TECNIS Symphony 人工晶状体植入术后视觉质量的评价. *国际眼科杂志*, 2019,19(2):188-193.

[54] 华山, 温蓓, 蔡惠平. 不同人工晶状体在飞秒激光辅助白内障手术后眼高阶像差的比较. *吉林医学*, 2023,44(3):588-592.

[55] McDonald MB, Mychajlyszyn A, Mychajlyszyn D, et al. Advances in corneal surgical and pharmacological approaches to the treatment of presbyopia. *J Refract Surg*, 2021,37(S1):S20-S27.

[56] 赵玉阳, 李世洋. 准分子激光矫正老视的研究进展. *国际眼科杂志*, 2012,12(4):691-693.

[57] 张瑞钰, 陈跃国. 准分子激光角膜屈光手术矫治老视新进展. *中华眼科杂志*, 2022,58(12):1111-1116.

[58] Alfonso JF, Fernández-Vega-Cueto L, Lisa C, et al. Clinical and aberrometric outcomes of a new implantable collamer lens for myopia and presbyopia correction in phakic patients. *J Refract Surg*, 2023,39(9):589-596.

[59] Ye YH, Zhao J, Zhang Z, et al. Long-term follow-up for monovision surgery by Implantable Collamer Lens V4c implantation for myopia correction in early presbyopia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2022,260(8):2763-2771.

[60] Ye Y, Zhang Z, Niu L, et al. Binocular imbalance in patients after implantable collamer lens V4c implantation or femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis for myopia with presbyopia. *Front Neurosci*, 2023,17:1204792.

[61] Gabrić K, Gabrić N, Piñero DP, et al. Comparative analysis of the clinical outcomes of two toric presbyopia-correcting intraocular lenses. *Ophthalmol Ther*, 2024,13(3):775-790.

[62] Kim J, Kim TI, Seo KY, et al. A comparative study of two presbyopia-correcting intraocular lenses combining bifocal and extended depth-of-focus profiles. *Int Ophthalmol*, 2024,44(1):54.

[63] Li QC, Xie XL, Yang JS, et al. Bilateral femtosecond laser-assisted clear lens extraction with trifocal intraocular lens implantation for presbyopia correction: a short-term observational study in Chinese adults. *Clin Ophthalmol*, 2024,18:623-630.