

# 巩膜镜研究进展与临床实践

李占元<sup>1,2</sup>, 兰长骏<sup>1,2</sup>, 黎崎鸿<sup>1,2,3</sup>, 林江<sup>1,2</sup>

引用: 李占元, 兰长骏, 黎崎鸿, 等. 巩膜镜研究进展与临床实践. 国际眼科杂志, 2026, 26(2): 278–281.

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(No.2023JJ70037); 爱尔眼科集团科研基金项目(No.AM2203D02)

作者单位: <sup>1</sup>(610000)中国四川省成都市, 爱尔眼科四川眼科医院; <sup>2</sup>(410000)中国湖南省长沙市, 爱尔眼科医院集团; <sup>3</sup>(610000)中国四川省成都市, 成都数眸医疗科技有限公司

作者简介: 李占元, 本科, 副主任医师, 研究方向: 眼视光学、斜弱视及小儿眼病。

通讯作者: 林江, 本科, 主任医师, 副总院长, 研究方向: 屈光不正、斜弱视及复杂疑难性儿童眼病. 298570054@qq.com

收稿日期: 2025-08-26 修回日期: 2025-12-26

## 摘要

巩膜镜是一种基于眼表形态特殊设计的大直径硬性高透氧性接触镜, 其拥有更大的直径、更高的矢高、更小的活动度, 以提供更好的稳定性与舒适性。巩膜镜发展至今已有几个世纪, 其材料透氧性、制造工艺、验配设备等方面均取得了突破性进展, 为巩膜镜的创新设计创造了必要条件。巩膜镜从最初的球面设计逐步衍生出复曲面设计、象限设计、缺口设计等多种设计类别, 可适用于多种眼表形态。目前巩膜镜已广泛应用于角膜不规则散光、高度屈光不正、眼表疾病等方面, 其临床效用和安全性已得到临床研究证实。文章从巩膜镜的镜片设计、生产与质检、验配、临床应用、并发症及处理方面的应用进展进行综述。

关键词: 巩膜镜; 接触镜; 屈光不正; 眼表疾病; 角膜不规则散光

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2026.2.16

## Research progress and clinical practice of scleral lenses

Li Zhanyuan<sup>1,2</sup>, Lan Changjun<sup>1,2</sup>, Li Qihong<sup>1,2,3</sup>, Lin Jiang<sup>1,2</sup>

Foundation items: Natural Science Foundation of Hunan Province (No. 2023JJ70037); Research Foundation of Aier Eye Hospital Group (No.AM2203D02)

<sup>1</sup>Aier Eye Sichuan Eye Hospital, Chengdu 610000, Sichuan Province, China; <sup>2</sup>Aier Eye Hospital Group, Changsha 410000, Hunan Province, China; <sup>3</sup>Chengdu Shumou Medical Technology Co., Ltd., Chengdu 610000, Sichuan Province, China

Correspondence to: Lin Jiang. Aier Eye Sichuan Eye Hospital, Chengdu 610000, Sichuan Province, China; Aier Eye Hospital Group, Changsha 410000, Hunan Province, China. 298570054@qq.com

Received: 2025-08-26 Accepted: 2025-12-26

## Abstract

• Scleral lenses are large-diameter rigid gas permeable

contact lenses specifically designed based on the morphology of the ocular surface. These lenses feature a larger diameter, higher sagittal height, and limited movement to provide superior stabilization and wearer comfort. Scleral lenses have been developed over several centuries, with breakthroughs achieved in material oxygen permeability, manufacturing processes, and fitting equipment, creating the necessary conditions for innovative designs. From the initial spherical design, scleral lenses have evolved into various design categories such as toric, quadrant, and notched designs, making them suitable for a wide range of ocular surface shapes. Currently, scleral lenses are widely used for irregular corneal astigmatism, high refractive errors, and ocular surface diseases, with their clinical efficacy and safety having been confirmed by clinical studies. This comprehensive review systematically examines recent developments in scleral lenses, encompassing lens design, production and quality inspection, fitting, clinical applications, as well as complications and their management strategies.

• KEYWORDS: scleral lenses; contact lenses; refractive error; ocular surface disease; irregular corneal astigmatism

Citation: Li ZY, Lan CJ, Li QH, et al. Research progress and clinical practice of scleral lenses. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2026, 26(2): 278–281.

## 0 引言

巩膜镜是一种根据眼表形态特殊设计的大直径硬性高透氧性接触镜, 较其他形式的接触镜直径更大, 矢高更高, 可有效覆盖眼球前表面。直径 12.5–15 mm 的巩膜镜称为角巩膜镜, 戴镜时镜片部分着陆于角膜、部分着陆于巩膜; 直径 15–25 mm 的巩膜镜称为全巩膜镜<sup>[1]</sup>, 戴镜时均着陆于巩膜。镜片着陆于巩膜可提供更好的稳定性与舒适性, 且镜片与角膜之间填充有人工泪液或生理盐水, 以中和不规则的角膜形态, 获得更优的视觉质量, 保持角膜湿润并加速角膜修复<sup>[2]</sup>。巩膜镜历经几个世纪的发展, 在材料透氧性、制造工艺、验配设备等諸多方面均取得了突破性进展<sup>[3–4]</sup>, 同时创新设计不断涌现, 使其运用到临床的更多方面<sup>[5]</sup>。

## 1 镜片设计

1.1 区域划分 巩膜镜主要分为三区设计和四区设计两种。三区设计将镜片分为光学区、过渡区、着陆区三个部分<sup>[6]</sup>, 其中光学区作为成像区域与泪液层一同发挥着视力矫正的作用, 当光学区前表面为球面面型时可满足大多数使用场景, 为非球面时可减少高级像差, 提升患者视觉质量; 过渡区从光学区的结束点开始, 到着陆区的开始点结束, 发挥着按需调节镜片矢高、控制角巩膜缘泪液厚度的

作用;着陆区大部分与巩膜直接接触,发挥着镜片定位的作用,通常着陆区后表面参数与巩膜形状越匹配,镜片对眼球造成压力分散越均匀,配戴舒适度越好。四区设计则是在三区设计的基础上将过渡区分为中周区和角膜缘区,通过引入更多变量来匹配不同的角巩膜缘形态,实现对角巩膜缘泪液厚度的精准调节。

**1.2 设计划分** 巩膜镜从设计角度可分为球面设计、复曲面设计、象限设计、缺口设计四种<sup>[7]</sup>。球面设计镜片各区域下不同角度对应曲率参数相同,适用于散光度数较低且眼表一致性较高的患者;复曲面设计镜片过渡区及着陆区的水平方向、垂直方向曲率参数不同,适用于散光度数较高且眼表水平、垂直方向矢高差距较大但各自一致性较好的患者<sup>[8]</sup>;象限设计镜片过渡区及着陆区各个象限内的曲率参数各不相同,适用于散光度数较高且四个象限矢高差距较大的患者<sup>[9]</sup>;缺口设计镜片则适用于眼表存在裂斑或胬肉的患者。Rojas-Viñuela 等<sup>[10]</sup>的研究表明只有约 6% 的巩膜是对称的,其余更多表现为圆环状或其他不规则形状;Schornack 等<sup>[11]</sup>的研究表明,在巩膜镜的实际应用中,复曲面设计占比最高(48%),其次是球面设计(40%)、象限设计(8%);由此可见,不规则的巩膜形态与镜片设计方式紧密关联,而不恰当的镜片选择将会造成镜片偏心、结膜白化及血管断流等情况,因此,充分了解各种设计的特点并结合患者的眼表形态选出最合适的设计至关重要。

## 2 生产制造

硬性巩膜镜的生产制造工艺常用车削工艺,加工流程包括扣料固定、镜片后表面加工与半成品检测、镜片前表面加工、脱蜡与清洗、成品检测<sup>[12]</sup>,该工艺的主要优势在于生产效率高、加工精度高、表面质量好<sup>[13]</sup>。近年来,3D 打印工艺在接触镜生产制造方面的探索亦有所增加,其主要优势体现在打印的灵活性与便捷性<sup>[14]</sup>,有研究表明 3D 打印工艺或可用于模拟镜片的验配<sup>[15]</sup>,Hisham 等<sup>[16]</sup>的研究也证实了 3D 打印工艺用于镜片制造的可能性,然而在硬性巩膜镜的生产制造方面,3D 打印工艺仍有较多困难需要克服,尤其是材料透氧性、加工精度与表面质量方面。

## 3 质量检测

试戴前需对镜片参数及质量进行核查,包括:(1)信息核对:下单参数信息与到货镜片基本参数信息的核对;(2)外观检查:通过显微镜检查镜片外观,确保镜片表面无划痕、无气泡、无异物,边缘无缺陷<sup>[17]</sup>;(3)直径/矢高检查:通过游标卡尺对镜片直径/矢高进行测量;(4)厚度检查:通过测厚仪对镜片中央和边沿进行检测,确保厚度处于正常范围;(5)曲率检查:通过曲率半径测试仪对镜片曲率半径进行检测;(6)光度检查:通过光学分析仪对镜片光度进行检测,确认与下单参数一致。

## 4 镜片验配

**4.1 验配方法** 巩膜镜的验配方法大体可分为三种:(1)印模法,属于曾经最常用的方法之一,通过模具复刻出眼表形貌,然后根据模具参数设计并制造巩膜镜,因其入侵性、时效性及精确度等多方面缺点,现已较少使用;(2)试戴法,属于当下最流行的方法之一,通过试戴标准镜片的方式确定订片参数,待到下单镜片到货后安排试戴评估,相比印模法入侵性更小,时效性和精度更高;(3)扫描法,属于当下较为前沿的方法之一,通过巩膜地形图仪(sMap3D、Eaglet Eye、Oculus)对眼表轮廓进行扫描并重建,根据眼表模型参数设计并制造镜片,待镜片到货后进

行试戴评估,相比前两种方法精度更高、体验感更好。Shorter 等<sup>[19]</sup>的研究表明试戴法在巩膜镜的验配中占比最高<sup>[20]</sup>,其次是扫描法与印模法。

**4.2 戴镜评估** 各种验配方法均需要对最终下单镜片进行试戴评估和效果确认,由于镜片与巩膜部位长期直接接触,稍有不当将直接影响患者眼表的治疗效果及戴镜体验,甚至可能会造成眼表损伤及其他更严重的医疗事故,规范、严谨的验配评估流程尤为重要。通常一份严谨的评估流程至少应包含戴前检查和戴后评估两个部分。戴前检查具体是指通过问诊、验光、裂隙灯、前节 OCT、角膜地形图、内皮、眼压、眼底检查等检查项进行综合评估,判断是否适合验配巩膜镜,以及应该验配何种设计方式的镜片。戴后评估具体包括:(1)戴镜前确认,主要记录戴镜前眼表状况以留作空白对照,同时评估下当天是否适合戴镜,若眼表状况不佳可考虑择日再戴;(2)戴镜并休息 5 min,若存在没戴上或有气泡的情况均需取下重戴;(3)戴镜首查,主要观察是否存在接触角膜、镜片偏移、边沿漏液、血管压迫的情况,若存在则需停止试戴并考虑增加镜片矢高或更换其他设计方式的镜片,若不存在则进一步评估镜下泪液层厚度,因在戴镜后的前 4 h 内镜下泪液层厚度将快速缩减<sup>[21-22]</sup>,为避免镜片与角膜直接接触,中央及角巩膜缘镜下泪液层厚度需分别达到 300~400 μm 及 150~170 μm 的要求,基本达到则可进入下一环节;(4)戴镜后 1~2 h 常规检查,主要进行前节 OCT、裂隙灯、视力检查,中央及角巩膜缘镜下泪液层厚度是否分别达到 200~300 μm 及 100~120 μm,着陆区是否存在结膜发白、血管断流、镜片边沿翘起的情况,若均不存在且基本满足镜下泪液层厚度要求,则可进入下一环节;(5)戴镜后 3~4 h 常规检查,主要进行前节 OCT、裂隙灯、视力检查,中央及角巩膜缘镜下泪液层厚度是否分别达到 150~250 μm 及 80~100 μm<sup>[23]</sup>,着陆区是否存在结膜发白、血管断流、镜片边沿翘起的情况,若均不存在且基本满足镜下泪液层厚度要求,则可进入下一环节;(6)摘镜后眼表健康检查,主要观察是否存在角膜、角巩膜缘及结膜点染,结膜压痕,结膜充血等情况,若均不存在则表明镜片参数适宜,初步验配成功。

## 5 临床应用

巩膜镜凭借自身的优势和特性已在视力改善、眼表保护、美观运动方面展现出巨大潜力<sup>[24]</sup>,国际接触镜的处方概述报告指出巩膜镜呈现出逐年增长的趋势,在硬性接触镜验配中占有 23% 的市场份额<sup>[25]</sup>。

**5.1 视力改善** 巩膜镜在视力改善方面的应用在于角膜不规则散光和高度屈光不正<sup>[26]</sup>。角膜不规则散光的形成原因具有多样性,按类别划分为角膜扩张类和角膜疾病类。角膜扩张类包括圆锥角膜、球形角膜、透明边缘角膜变性、角膜屈光术后角膜扩张、角膜移植术后扩张、角膜外伤,其中圆锥角膜患者占比最高,巩膜镜可助其改善视力并提供较好舒适性<sup>[27-29]</sup>。Fuller 等<sup>[30]</sup>对 86 例 157 眼进行了一项回顾性研究,研究结果表明巩膜镜在圆锥角膜患者的视力改善或矫正中具有较好的安全性和有效性,且在圆锥角膜方面的应用呈显著增长的趋势<sup>[31]</sup>;Dutta 等<sup>[32]</sup>对 24 眼透明边缘角膜变性患者的前瞻性研究表明巩膜镜可显著降低高阶像差,提升视觉质量;Barone 等<sup>[33]</sup>的研究表明圆锥角膜、透明边缘角膜变性、角膜屈光术后配戴巩膜镜可显著减少高级像差并提升视力。角膜营养不良及角

膜瘢痕等都属于角膜疾病类,均可通过配戴巩膜镜来提升视力。高度屈光不正亦是巩膜镜的适应症之一,不论患者是高度近视、高度远视还是高度散光,在巩膜镜的帮助下均可使视力得到显著提升,而这是其他视力矫正手段难以达到的结果。总而言之,巩膜镜已逐渐成为应对角膜不规则散光和高度屈光不正的可靠方案之一。

**5.2 眼表保护** 巩膜镜在眼表保护方面的应用主要围绕着多种眼表疾病展开,如暴露性角膜炎,重度干眼<sup>[34]</sup>,酸、碱、热烧伤,眼睑闭合不全及药物输送等。Witsberger 等<sup>[35]</sup>的临床病理研究报告指出巩膜镜可能是神经营养性角膜病变的有效治疗手段,既能保持上皮完整性又能改善患者视力;Moon 等<sup>[36]</sup>对 13 例 21 眼进行了一项前瞻性研究,患者患有移植植物抗宿主病、Stevens-Johnson 综合征、干燥性角膜结膜炎、重度干眼等顽固性眼表疾病,研究数据显示 BCVA 提升,NEI-VFQ-25 提高,OSDI 降低。研究结果表明巩膜镜可提高视力、保护眼表并缓解或改善眼表疾病对应症状,并逐渐成为复杂眼表疾病首要或第二方案。综上所述,巩膜镜已逐渐成为治疗复杂眼表疾病的重要选择之一,其保护眼表作用主要源于镜片不与角膜接触,且有一可以储存大量填充液的硬性穹窿,其中硬性穹窿可为角膜提供机械性保护,而填充液在湿润眼表的同时还起到促进角膜愈合的作用。填充液可以是无防腐剂的生理盐水、人工泪液或根据治疗需求而指定的特殊药物,如抗新生血管药、抗生素、止痛药等。此外,区别于其它形式的镜片,巩膜镜几乎没有泪液交换,且活动度较小、舒适度高,这也是巩膜镜可用于多种眼病治疗的主要原因之一。

**5.3 美观运动** 巩膜镜在美观方面的应用类似于美瞳,主要用于眼球萎缩、无虹膜和白化病患者,起到美化和改善外观的作用;运动方面则凭借其优异的稳定性、良好的视力效果及保护效果被更多的用于多尘环境与水上运动。

## 6 并发症及处理

正确的验配可将巩膜镜的各类并发症控制在极小的概率内,但巩膜镜与眼表长期紧密贴合,其潜在风险仍不容忽视。

**6.1 气泡及结膜异常** 镜下气泡多发生于配戴初期,当戴镜操作不当时,空气会进入到镜片与眼表之间,可通过规范化戴镜训练的办法解决<sup>[37]</sup>;当镜片参数不当时,则需根据发生频次、气泡大小和位置情况适当调整镜片矢深和着陆区参数<sup>[23]</sup>。结膜白化及染色主要是镜片边沿太陡或太平致使结膜局部受力过大,可通过微调着陆区参数的方式解决<sup>[23]</sup>。

**6.2 球结膜充血** 球结膜充血的产生原因可归纳为三种:(1)结膜上的机械性压力造成,可通过适当调整着陆区参数的方式解决;(2)角膜缺氧造成,可通过适当调整镜片厚度、泪液厚度或更换高透氧材料的方式解决;(3)药水毒性造成,可通过更换无防腐剂药水的方式解决。

**6.3 角膜染色** 角膜染色分为部分染色和整体染色<sup>[38]</sup>,针对部分染色的情况可考虑为摘戴镜片不规范或镜片护理不合理造成,可通过规范摘戴和护理要点并指导实操的方式解决;整体染色则要考虑是否存在药水的过敏反应或缺氧问题,针对过敏反应则应考虑更换为无防腐剂、无过敏反应的药水,对于缺氧问题则要考虑适当调整镜片厚度、泪液厚度或更换高透氧材料。

**6.4 巨乳头性结膜炎** 巨乳头性结膜炎的产生原因通常有两种:(1)长期配戴接触镜后镜片上附着有杂质沉淀,

可通过彻底清洁保养或定期更换镜片的方式解决;(2)接触镜药水引起的毒性或过敏反应造成,可通过替换为无防腐剂、无毒性、无过敏反应药水的方式解决。

**6.5 组织水肿** 组织水肿大体可分为角膜水肿和轮部水肿两种情况,对于角膜水肿的情况需着重考虑是否缺氧,缺氧可通过优化镜片厚度<sup>[39]</sup>、泪液厚度或更换高透氧材料的方式解决<sup>[40]</sup>;轮部水肿通常是机械性压力造成,可通过调整镜片着陆区参数的方式来分摊压力,使压力分布更均匀合理。

**6.6 镜片黏滞** 镜片黏滞的产生原因大体有三种:(1)镜片戴镜时间过长,特别是患有中重度干眼的患者,可通过控制戴镜时间并在戴镜后和摘镜前滴无防腐剂润眼液进行缓解;(2)镜下泪液层厚度不足,可通过调整镜片厚度及泪液厚度的方式解决;(3)着陆区配适过紧,可通过调整镜片着陆区曲率参数的方式解决。

**6.7 雾视** 雾视(fogging)的产生原因主要有四种:(1)戴镜时间过长,脂质、代谢产物等<sup>[41]</sup>附着到镜片上,可通过摘下清洗后重戴的方式解决<sup>[42]</sup>;(2)眼部过敏或存在炎症,应尽可能等到眼表恢复健康后再行戴镜,对于无法彻底消除炎症的情况,应使用对眼表危害小的填充液(无防腐剂的 NaCl 溶液、PH 缓冲填充液等)来减少上皮细胞脱落,从而减轻雾视症状<sup>[43]</sup>;(3)镜片着陆区配适过紧,可通过调整镜片着陆区曲率参数的方式进行改善<sup>[43]</sup>;(4)表面湿润性较差<sup>[44]</sup>,可通过镀膜(Hydra-PEG<sup>TM</sup>)的方式进行改善<sup>[45]</sup>。

**6.8 新生血管** 新生血管的产生原因可归纳为三种:(1)长时间缺氧造成,可通过调整镜片厚度、泪液厚度或更换高透氧材料的方式解决;(2)轮部的机械性压力造成,可通过调整镜片着陆区参数的方式来分摊压力;(3)镜片黏滞造成,可根据前述的不同情况采取对应措施进行解决。

## 7 总结

随着高透氧材料不断涌现、制造工艺不断优化、扫描设备不断升级,巩膜镜已越来越多的应用到角膜不规则散光、高度屈光不正、眼表疾病方面,虽有研究证实巩膜镜的临床效用及其安全性<sup>[46]</sup>,但其并发症切实存在且不容忽视,同时一些新问题也在逐步涌现<sup>[47]</sup>,其产生机理和应对措施仍缺乏理论依据支撑,尚需展开更大规模的临床试验来明确因果关系。此外巩膜镜引入到国内的时间较短,镜片设计及验配经验方面尚有较大提升空间,因此进行长期随访的临床研究将尤为重要,通过不断总结并完善的方式将有效提升首次验配成功率、降低并发症发生率,为提高患者的体验感和舒适性提供有力保障。

**利益冲突声明:** 本文不存在利益冲突。

**作者贡献声明:** 李占元论文选题与修改,初稿撰写;兰长骏论文修改及审阅;黎崎鸿文献检索,论文选题与修改,初稿撰写;林江选题指导,论文审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

## 参考文献

- [1] Ruiz-Lozano RE, Gomez-Elizondo DE, Colorado-Zavala MF, et al. Update on indications, complications, and outcomes of scleral contact lenses. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*, 2021, 10 (4): 165-178.
- [2] Sherman SW. The Scleral lens vault. *Contact Lens Spectrum*, 2023, 38: 44.
- [3] Pillay R, Hansraj R, Rampersad N. Historical development,

- applications and advances in materials used in spectacle lenses and contact lenses. *Clin Optom*, 2020, 12:157–167.
- [4] Efron N, Jones LW, Morgan PB, et al. Bibliometric analysis of the literature relating to scleral contact lenses. *Cont Lens Anterior Eye*, 2021, 44(4):101447.
- [5] Kim YJ. Characteristics of scleral lenses and patient selection. *Ann Optom Contact Lens*, 2024, 23(1):7–11.
- [6] Michaud L, Lipson M, Kramer E, et al. The official guide to scleral lens terminology. *Cont Lens Anterior Eye*, 2020, 43(6):529–534.
- [7] Schornack MM, Fogt J, Nau A, et al. Scleral lens prescription and management practices: Emerging consensus. *Cont Lens Anterior Eye*, 2023, 46(1):101501.
- [8] Alexander J, Belaineh Aweke Y, Bhebhe Z, et al. The effect of landing zone toricity on scleral lens fitting characteristics and optics. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2024, 44(5):867–875.
- [9] Barnett M, Carrasquillo KG, Schornack MM. Clinical outcomes of scleral lens fitting with a data – driven, quadrant – specific design: multicenter review. *Optom Vis Sci*, 2020, 97(9):761–765.
- [10] Rojas-Viñuela J, Frogoso MJ, Piñero DP. What we know about the scleral profile and its impact on contact lens fitting. *Clin Exp Optom*, 2023, 106(6):591–604.
- [11] Schornack MM, Nau CB, Harthan J, et al. Current trends in scleral lens prescription, management, and evaluation. *Eye Contact Lens*, 2023, 49(2):56–62.
- [12] Shaker LM, Al-Amiry A, Isahak WNRW. Revolutionizing contact lens manufacturing: exploring cutting – edge techniques and innovations for enhanced vision and comfort. *Int J Low Carbon Technol*, 2024, 19:359–385.
- [13] Wei Y, Zhai P, Chen XY, et al. Study on design and diamond turning of optical freeform surface for progressive addition lenses. *Math Probl Eng*, 2020, 2020(1):2850606.
- [14] Alam F, Elsherif M, AlQattan B, et al. Prospects for additive manufacturing in contact lens devices. *Adv Eng Mater*, 2021, 23(1):2000941.
- [15] Zhao F, Wang J, Wang LN, et al. An approach for simulating the fitting of rigid gas – permeable contact lenses using 3D printing technology. *Cont Lens Anterior Eye*, 2019, 42(2):165–169.
- [16] Hisham M, Salih AE, Butt H. 3D printing of multimaterial contact lenses. *ACS Biomater Sci Eng*, 2023, 9(7):4381–4391.
- [17] Megat Abd Mana NA, Chee Chin L, Yen Fook C, et al. A review on contact lens inspection. *Indones J Electr Eng Comput Sci*, 2023, 31(2):700.
- [18] Walker M. Basic and beyond: technology for every level of scleral lens management. *Optometry Times Journal*, 2023. <https://www.optometrytimes.com/view/basic-and-beyond-technology-for-every-level-of-scleral-lens-management>.
- [19] Shorter E, Fogt JS, Nau CB, et al. Utilization of diagnostic, image – guided and impression – based scleral lenses fitting for patients with keratoconus. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2023, 64(8):3519.
- [20] Fogt JS, Schornack M, Nau C, et al. Image – and impression – based technology in scleral lens fitting for keratoconus: availability and utilization. *Eye Contact Lens*, 2024, 50(7):292–296.
- [21] Vincent SJ, Alonso – Caneiro D, Collins MJ. Regional variations in postlens tear layer thickness during scleral lens wear. *Eye Contact Lens*, 2020, 46(6):368–374.
- [22] Deng RZ, Chen BC, Wang FF, et al. Settling characteristics of scleral lenses in Chinese adults with refractive error. *Cont Lens Anterior Eye*, 2024, 47(2):102108.
- [23] Lee KE, Lee H. Guide for successful scleral lens fitting. *Ann Optom Contact Lens*, 2023, 22(3):77–82.
- [24] Yin M, Zhao CP, You J, et al. Bibliometric and visual analysis of the status of scleral lens research based on the web of science database and Scopus Database (2014–2024). *Clin Optom*, 2025, 17:47–60.
- [25] Melissa Barnett OD. The state of scleral lens prescribing. *Contact Lens Spectrum*, 2023.
- [26] Nau CB, Harthan JS, Shorter ES, et al. Trends in scleral lens fitting practices: 2020 scleral lenses in current ophthalmic practice evaluation survey. *Eye Contact Lens*, 2023, 49(2):51–55.
- [27] Mushtaq A, Alvi I. Long – term effectiveness of scleral lens treatment in the management of keratoconus: a systematic review. *Cureus*, 2025, 17(1):e77102.
- [28] Hadimani SR, Kaur H, Shinde AJ, et al. Quality of life and vision assessment with scleral lenses in keratoconus. *Saudi J Ophthalmol*, 2024, 38(2):173–178.
- [29] Jabbar A. Management of ocular surface irregularity with scleral contact lenses: Experience from a tertiary eye care center. *Kerala J Ophthalmol*, 2023, 35(1):32–36.
- [30] Fuller DG, Wang YR. Safety and efficacy of scleral lenses for keratoconus. *Optom Vis Sci*, 2020, 97(9):741–748.
- [31] Scanzera AC, Deeley M, Joslin C, et al. Contact lens prescribing trends for keratoconus at an academic medical center: increased utilization of scleral lenses for severe disease. *Eye Contact Lens*, 2022, 48(2):58–62.
- [32] Dutta R, Iyer G, Srinivasan B, et al. Aberration change after scleral lens wear in eyes with pellucid marginal degenerations. *Indian J Ophthalmol*, 2024, 72(7):1037–1042.
- [33] Barone V, Petrini D, Nunziata S, et al. Impact of scleral lenses on visual acuity and ocular aberrations in corneal ectasia: a comprehensive review. *J Pers Med*, 2024, 14(10):1051.
- [34] Nunziata S, Petrini D, Dell'Anno S, et al. Customized scleral lenses: an alternative tool for severe dry eye disease—a case series. *J Clin Med*, 2024, 13(13):3935.
- [35] Witsberger E, Schornack M. Scleral lens use in neurotrophic keratopathy: a review of current concepts and practice. *Eye Contact Lens*, 2021, 47(3):144–148.
- [36] Moon J, Lee SM, Hyon JY, et al. Large diameter scleral lens benefits for Asians with intractable ocular surface diseases: a prospective, single-arm clinical trial. *Sci Rep*, 2021, 11(1):2288.
- [37] Vincent SJ, Fadel D. Optical considerations for scleral contact lenses: a review. *Cont Lens Anterior Eye*, 2019, 42(6):598–613.
- [38] Tucker A. Fitting and troubleshooting tips for scleral lens success. *Optometry Times Journal*, 2022. <https://www.optometrytimes.com/view/fitting-and-troubleshooting-tips-for-scleral-lens-success>.
- [39] Fisher D, Collins MJ, Vincent SJ. Scleral lens thickness and corneal edema under open eye conditions. *Eye Contact Lens*, 2022, 48(5):200–205.
- [40] Iqbal A, Fisher D, Alonso – Caneiro D, et al. Central and peripheral scleral lens – induced corneal oedema. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2024, 44(4):792–800.
- [41] Walker MK, Bailey LS, Basso KB, et al. Nonpolar lipids contribute to midday fogging during scleral lens wear. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2023, 64(1):7.
- [42] Macedo – de – Araújo RJ, Fadel D, Barnett M. How can we best measure the performance of scleral lenses? current insights. *Clin Optom*, 2022, 14:47–65.
- [43] Fogt JS. Midday fogging of scleral contact lenses: current perspectives. *Clin Optom*, 2021, 13:209–219.
- [44] Qiu SX, Fadel D, Hui A. Scleral lenses for managing dry eye disease in the absence of corneal irregularities: what is the current evidence? *J Clin Med*, 2024, 13(13):3838.
- [45] Harthan JS, Schornack M, Nau C B, et al. Scleral lens design and patient – reported mid – day fogging. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2023, 64(8):3531.
- [46] Lu C, Han D, Zeng L, et al. Short – term efficacy and safety of scleral lenses in the management of severe dry eye in a chinese population. *J Clin Med*, 2025, 14(3):658.
- [47] Rodriguez – Garcia A, Jimenez – Perez JC, Ruiz – Lozano RE, et al. Scleral lenses and PROSE: indications, complications, and future challenges. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*, 2025, 14(3):73–106.