

SMILE手术中不同角膜帽厚度的相关研究

王 慢^{1,2}, 田明霞^{2*}

¹济宁医学院临床医学院, 山东 济宁

²济宁市第一人民医院眼科, 山东 济宁

收稿日期: 2025年7月22日; 录用日期: 2025年8月16日; 发布日期: 2025年8月26日

摘 要

近年来, 全飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE)已逐步发展成为矫正屈光不正的主要手术方式。该技术作为一种新型屈光手术在全球范围内获得了广泛应用, 显著改善了近视与散光患者的裸眼视力。在SMILE手术相关因素中, 角膜帽厚度是影响手术效果的关键指标, 与术后角膜的透明度和术后的视觉质量密切相关。现有研究指出, 角膜帽厚度的改变可能导致角膜神经结构重塑、生物力学参数波动、角膜前后表面形态的变化, 甚至影响角膜内皮细胞功能状态。然而, 不同厚度角膜帽对上述方面的具体作用机制, 目前尚未完全明确, 亟待深入研究。通过全面系统地回顾相关文献, 有利于为临床实践提供有价值的理论依据, 优化SMILE手术方案设计, 最终提升患者术后治疗效果与生活质量。

关键词

飞秒激光小切口角膜深层基质透镜取出术, 角膜帽厚度, 角膜神经, 角膜生物力学参数, 内皮细胞

A Study on the Relationship between Different Thicknesses of Corneal Capsules during SMILE Surgery

Man Wang^{1,2}, Mingxia Tian^{2*}

¹Clinical Medical College of Jining Medical University, Jining Shandong

²Eye Department, Jining First People's Hospital, Jining Shandong

Received: Jul. 22nd, 2025; accepted: Aug. 16th, 2025; published: Aug. 26th, 2025

Abstract

In recent years, small incision lenticule extraction, SMILE has gradually developed into a main-stream

*通讯作者。

文章引用: 王慢, 田明霞. SMILE 手术中不同角膜帽厚度的相关研究[J]. 临床个性化医学, 2025, 4(4): 318-324.
DOI: 10.12677/jcpm.2025.44450

surgical procedure for correcting refractive error, and as an emerging refractive surgical method, it has been widely used around the world, bringing good naked-eye vision to myopic and astigmatic patients. With the continuous development of refractive surgery technology, SMILE surgery has gradually gained attention due to its advantages of minimally invasive and fast recovery. However, corneal cap thickness, as an important factor affecting surgical results, is closely related to postoperative corneal transparency and postoperative visual quality. Existing studies have shown that changes in the thickness of the corneal cap may result in the remodeling of corneal nerves, alterations in corneal biomechanical parameters, changes in the anterior and posterior surface morphology of the cornea, and the state of corneal endothelial cells being affected. The specific mechanisms of the different thicknesses of the corneal cap in these aspects still need to be explored in depth. By systematically reviewing the relevant literature, we hope to provide a valuable theoretical basis for clinical practice in order to optimize SMILE surgical protocols and improve patients' postoperative outcomes and quality of life.

Keywords

Small Incision Lenticule Extraction, Corneal Cap Thickness, Corneal Nerve, Corneal Biomechanical Parameters, Endothelial Cells

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

作为一种创新的屈光手术技术,全飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE)正在逐渐成为近视与散光患者矫正视力的重要手段。相较于传统屈光手术方式,SMILE手术凭借降低术后并发症风险、缩短恢复周期、减轻眼部结构损伤等突出优势,日益受到患者青睐[1]。尽管SMILE手术在安全性和有效性等方面表现出色,但手术设计中的关键参数——角膜帽厚度,对术后效果的影响仍是学界关注的重要议题。已有研究证实,角膜帽的厚度不仅关乎术后的视觉质量,还与角膜生物力学特性紧密相关。一项前瞻性随机对照研究指出,采用110 μm 和145 μm 不同厚度的角膜帽实施SMILE手术后,虽然视觉与屈光矫正效果相近,但较厚的角膜帽在维持角膜生物力学稳定性方面表现更佳[2]。这意味着,尽管不同厚度的角膜帽在视觉效果上并未表现出显著差异,但其对角膜生物力学性能的影响或可左右术后恢复进程与远期稳定性。

此外,角膜生物力学参数变化与神经修复情况是评估SMILE手术效果的核心指标。研究发现,术后角膜神经的再生和角膜基质细胞的变化与角膜帽的厚度密切相关。例如,对比使用110 μm 、120 μm 和130 μm 厚度角膜帽的手术案例发现,较厚角膜帽组在术后6个月内展现出更优的神经再生能力[3]。这提示我们,适当增加角膜帽厚度,有助于提升术后视觉质量、强化角膜生物力学性能并促进神经修复。

综上所述,精准选择SMILE手术中的角膜帽厚度,对于优化术后效果、维持角膜生物力学稳定性而言意义非凡。我们通过系统对比分析不同的角膜帽厚度对术后相关指标的影响,能够为临床手术方案制定提供科学依据与实践指导。

2. 角膜神经变化

2.1. 角膜神经的解剖与生理

角膜作为眼睛前部的透明组织,接受丰富的神经支配,主要由三叉神经的眼支支配。其解剖学特征

包括位于角膜基底层下的神经纤维丛(Subbasal Nerve Plexus), 这些神经纤维在角膜的上皮层下形成了一个复杂的网络。角膜神经不仅承担着疼痛、温度和触觉等感觉信息的传递功能, 还在维持角膜的生理功能方面起着关键作用。角膜的感觉神经对眼睛的保护、泪液分泌以及角膜的愈合过程至关重要[4]。研究显示, 角膜神经的损伤或退化可能导致角膜神经病变, 进而影响视觉质量及眼部健康[5]。

2.2. 不同角膜帽厚度对角膜神经的影响

在 SMILE 手术中, 角膜帽的厚度对角膜神经的变化有着显著影响。研究表明, 较薄的角膜帽(如 110 μm)可能导致术后角膜神经的密度显著降低, 而较厚的角膜帽(如 130 μm)则有助于神经的再生和恢复[6]。在采用 110 μm 、120 μm 和 130 μm 不同厚度的角膜帽进行手术时, 所有组别的角膜下神经丛在术后均有下降, 但在随访的 6 个月中, 神经密度呈现逐渐恢复的趋势[7]。特别是在术后 1 周, 110 μm 组的神经密度显著低于 120 μm 和 130 μm 组, 这表明较厚的角膜帽在神经再生方面具有更好的优势。此外, 术后神经再生的速度和程度与角膜帽的厚度密切相关, 较厚的角膜帽在神经再生方面表现出更好的效果, 这可能与其对角膜生物力学特性的影响有关[8]。因此, 选择适当的角膜帽厚度不仅可以提高手术的安全性和有效性, 还可能促进角膜神经的再生, 进而改善术后的视觉质量。

2.3. 神经再生与功能恢复的相关研究

研究角膜神经再生以及功能恢复的研究表明, 神经再生的过程在术后几个月内是动态的。多项研究应用活体共聚焦显微镜(IVCM)观察角膜神经的变化, 发现神经密度在术后逐渐恢复, 特别是在接受较厚角膜帽手术的患者中, 神经再生的效果更为显著[8]。此外, 有研究显示, 角膜的刚度和厚度变化会显著影响神经的再生能力[9]。在功能恢复方面, 术后患者的角膜敏感性通常在手术后的前几周下降, 但随着神经的再生, 敏感性会逐渐恢复到接近术前水平, 这一过程的速度和程度与角膜的生物力学特性和神经再生的质量密切相关。

2.4. 角膜神经染色情况

角膜神经染色技术是评估角膜神经结构和功能的重要手段, 可以通过神经染色的方法呈现角膜下神经丛的密度及形态变化的细节, 为医生评估手术对角膜神经的影响提供证据。近年来, 随着 SMILE 手术等屈光手术的广泛普及, 研究者们越来越关注术后角膜神经的恢复情况。研究显示, 角膜神经的密度与视觉质量有着密切的关系, 神经的损伤可能诱发术后干眼症和视觉模糊等的不良反应。因此, 角膜神经染色技术不仅在基础研究中应用广泛, 还为临床提供了重要的参考依据, 以评估不同手术方式对角膜神经的影响及其与视觉质量之间的关系[10]。不同的角膜帽厚度对角膜神经的影响已成为研究的热点。在进行 SMILE 手术时, 医生应综合考虑角膜帽的厚度, 以优化术后神经的恢复和视觉质量[2]。研究发现, 术后角膜神经的密度和形态变化直接影响患者的视觉质量和舒适度。例如, 角膜神经的损伤会加重干眼症状, 从而影响患者的视觉清晰度和对比敏感度[11]。此外, 术后视觉质量的评估还包括对高阶像差的测量, 角膜神经的恢复与这些参数的改善密切相关。因此, 监测角膜神经的染色情况不仅有助于评估手术效果, 还能为术后管理提供指导, 帮助医生及时调整治疗方案, 以提高患者的术后满意度和视觉功能[12]。

3. 角膜生物力学参数

3.1. 角膜生物力学的基本概念

角膜生物力学是探讨角膜在外力作用下的变形和恢复能力的领域, 包含了角膜的物理特性和生物结构对其功能的影响。角膜的生物力学特性主要包括角膜的刚度、弹性和韧性等, 这些参数在屈光手术后

尤为重要, 因其直接影响术后的视觉质量和角膜的稳定性[13]。角膜生物力学与眼科的许多疾病以及屈光手术方案选择、手术效果、手术安全乃至角膜长期稳定性等均密切相关[14]。角膜的生物力学特性通常可以通过多种方法进行测量, 如 Ocular Response Analyzer (ORA) 和 Corvis ST 等, 这些技术可以提供角膜在不同压力下的反应数据, 从而协助医生评估手术对角膜的影响[15]。此外, 角膜的生物力学特性还与角膜的厚度、形状及其内在的生物结构密切相关, 这些因素共同决定了角膜在屈光手术后的恢复能力以及长期稳定性[16]。

3.2. 角膜帽厚度对生物力学特性的影响

在全飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE)的实施过程中, 角膜帽厚度是不容忽视的关键要素。大量研究数据表明, 角膜帽厚度的差异会对角膜的生物力学特性产生明显作用。以某项对比研究为例, 该研究设计了 110 μm 和 145 μm 两种不同的角膜帽厚度进行分析, 结果在术后视觉矫正效果以及高阶像差指标方面显示, 两组实验对象未呈现出统计学意义上的显著差异。但较厚的角膜帽在生物力学参数上表现出更优的性能, 尤其是在维持角膜的刚度和应变恢复能力方面[2]。此外, 角膜帽厚度的选择还与术后并发症的发生概率存在关联。临床实践发现, 采用较薄角膜帽的手术案例, 术后出现角膜形态异常改变的风险相对更高, 提示该参数在手术方案设计中的重要性。目前尚无定论关于角膜生物力学的变化是否与角膜帽厚度相关, 近年来国内外多个研究团队对此进行了深入探讨。Damgaard 等[17]的研究团队通过充气试验对 110 μm 和 160 μm 的角膜帽所致生物力学变化进行了体外评估, 结果表明 110 μm 的角膜帽可能会导致更为严重的生物力学变化, 但两组之间并未发现显著差异, 这可能因为角膜前部基质层对角膜生物力学的贡献更大。Liu 等[18]的研究表明, 与角膜帽 150 μm 组相比较, 110 μm 组在术后 3 个月的眼内压(IOP)有显著变化, 其余生物力学指标无统计学差异, 分析原因可能是因为较厚的角膜帽保留了更多的前部基质层, 所以对 IOP 校正公式几乎没有影响。Jun 等[19]的研究团队对 120 μm 和 140 μm 的角膜帽厚度的研究显示, 两组术前及术后的角膜生物力学参数变化有显著性差异, 除了 bIOP 以外; 同时, 140 μm 组在角膜生物力学减弱方面较 120 μm 组更为明显。还有一些研究者指出, 较厚的角膜帽需要更深的侧切口, 因此可能导致对角膜及生物力学的更大损伤。目前, 对于角膜帽厚度的选择仍存在争议, SMILE 术中最佳角膜帽厚度的选择仍需要大量临床研究进行验证。

4. 角膜前后表面形态

4.1. 角膜形态学的评估方法

角膜形态学的评估需要借助多种前沿技术, 其中角膜地形图、光学相干断层扫描(OCT)以及活体共聚焦显微镜(IVCM)是主要的检测手段。角膜地形图能够获取角膜前表面的高度和曲率数据, 以此判断角膜整体形态及不规则程度[20]。光学相干断层扫描通过采集角膜横截面图像, 清晰呈现角膜各层厚度及结构的细微变化。活体共聚焦显微镜则可以从微观视角观察角膜细胞的形态、密度, 特别是角膜神经的分布与状态。通过综合运用这些技术, 研究人员能够全面评估角膜的形态变化及其与视觉功能的关系, 为临床诊疗提供关键的参考依据[21]。

4.2. 不同厚度角膜帽对形态变化的影响

在全面掌握角膜形态学评估方法后, 将视角聚焦于手术实践领域, 会发现角膜帽厚度对角膜形态变化有着不容忽视的影响。在 SMILE 术中, 角膜帽的厚度对角膜前曲率的变化有着明显影响。根据一项关于角膜帽形态变化的研究, 术后前曲率的变化在不同厚度的角膜帽之间存在差异。具体而言, 设计 110 μm 的角膜帽时, 前曲率变化更为显著, 这可能与该厚度对角膜表面结构的影响有关。在术后的随访中, 110 μm

组的角膜前曲率变化较其他厚度组更为明显, 提示角膜的屈光状态受到了影响[22]。此外, 较厚的角膜帽(如 120 μm 和 130 μm 组)在术后早期的前曲率变化较小, 这可能有助于维持角膜的生物力学特性, 从而减少术后并发症。除了前曲率, 角膜的后曲率同样受到角膜帽厚度的影响。研究显示, 不同厚度的角膜帽在手术后 6 个月的后曲率变化存在差异。尤其是在较薄的角膜帽(110 μm)组中, 后曲率的改变较为明显, 可能是由于其对角膜结构的干扰较大。相对而言, 120 μm 和 130 μm 厚度的角膜帽在后曲率的变化上则表现出了一定的稳定性。后曲率的变化不仅影响了角膜的形态, 也直接关系到术后视觉质量的恢复。总体看来, 选择适当的厚度对于确保术后角膜的形态稳定以及视觉效果优化至关重要[5]。角膜的前后曲率变化对视觉质量的影响不可忽视[23]。研究表明, 前曲率的变化与视觉质量之间存在明显的相关性。术后, 前曲率的过度变化可能导致视觉效果不佳, 如视力模糊和眩光等问题。不同厚度的角膜帽在视觉质量恢复上也显示出不同的效果。采用 110 μm 角膜帽的患者在术后早期的视觉质量评分较低, 而 120 μm 和 130 μm 组则显示出更好的视觉质量, 尤其是在术后一个月和三个月的随访中, 视觉质量的稳定性显著提高。综上所述, 角膜帽的厚度不仅影响角膜的形态变化, 同时也在很大程度上决定了患者术后视觉质量的恢复情况, 需要我们在手术设计中需谨慎考虑。

4.3. 术后形态恢复的观察

术后角膜的形态恢复被视为评估 SMILE 手术成功与否的关键指标。相关研究表明, 术后 1 周内, 所有患者的角膜前表面和后表面均出现了不同程度的变化, 但在随后的随访中, 尤其是 3 个月和 6 个月后, 角膜的形态逐渐恢复至接近术前状态[24]。在术后恢复阶段, 角膜神经的再生与角膜生物力学特性密切相关, 较厚的角膜帽设计能够有效促进神经的再生和角膜的稳定性, 从而降低术后并发症的发生率[2]。因此, 术后定期的角膜形态学评估对于监测恢复进程和调整治疗方案具有重要的临床意义。

5. 角膜内皮细胞状态

5.1. 角膜内皮细胞的功能与重要性

角膜的透明度是由角膜内皮通过泵和屏障功能维持的[25], 其通过调节角膜内的水分含量, 从而保障角膜的透明性和光学性能。因此角膜内皮细胞对于维持角膜透明度与正常功能方面意义重大。具体来讲就是角膜内皮细胞的功能主要包括: 控制水分的流动, 以此维持角膜的厚度与稳定性, 同时能够防止角膜水肿和其他病理改变[26]。并且, 内皮细胞还在角膜的营养供应和修复过程中也发挥着重要作用, 它们能够凭借细胞间的紧密连接来形成屏障, 从而阻止水分和其他物质的渗透。由此可见, 内皮细胞的健康状况直接关系到角膜的生理功能与视觉质量。

5.2. 角膜帽厚度对内皮细胞的影响

在 SMILE 手术中, 角膜帽的厚度与角膜内皮细胞的健康状态密切相关。相关研究数据显示, 当角膜帽厚度较薄(例如 110 μm)时, 手术过程中易引发内皮细胞损伤, 进而导致其功能出现异常; 而相对较厚的角膜帽(如 145 μm)则更有利于维持内皮细胞的结构完整与功能正常[27]。究其原因则发现, 相对较厚的角膜帽能够更有效地保护内皮细胞, 减少手术过程中对其的机械损伤, 从而降低术后并发症的风险[28]。角膜帽厚度对内皮细胞的影响不仅体现在细胞密度方面, 其对细胞形态的作用也不容忽视。正常生理状态下, 角膜内皮细胞多呈现多边形形态, 特别是六边形细胞的比例(HEX)是评估内皮细胞健康的重要指标之一。有研究成果显示, 在进行 SMILE 手术后, 若角膜帽厚度适宜, 内皮细胞形态能够保持相对稳定, HEX 数值未出现明显波动[29]。这一现象表明, 合理的角膜帽厚度可助力维持内皮细胞形态学稳定性。从生理机制来看, 较厚的角膜帽有助于构建更为优良的细胞生存微环境, 减轻术后细胞所承受的应激压力, 促

使内皮细胞形态维持在理想状态。综上所述, 角膜帽厚度与角膜内皮细胞的密度、形态特征及功能维持存在多维度联系。未来的研究应继续深入探讨如何根据患者的具体情况和角膜特征选择合适的角膜帽厚度, 以优化 SMILE 手术的效果, 确保内皮细胞的健康。

5.3. 内皮细胞损伤与修复机制

角膜内皮细胞一旦受损, 往往会导致角膜水肿, 进而造成视力下降。虽然损伤后的内皮细胞具备一定的自我修复能力, 但这种能力存在局限性, 特别是在细胞数量显著减少的情况下, 修复效果更为受损。已有研究证实, 内皮细胞的修复机制包括细胞迁移、增殖以及细胞间的相互作用[30]。以角膜中的神经源性因子为例, 降钙素基因相关肽(CGRP)能够促进内皮细胞的迁移和增殖, 从而加速损伤后的修复速度。此外, 氧化应激和炎症反应也在很大程度上干扰内皮细胞修复进程。因此, 针对这些因素的干预可能有助于改善内皮细胞的修复效果和角膜的整体健康状态。

6. 结论

关于 SMILE 手术中角膜帽厚度的最佳选择, 不同研究有时会得出不同的结论。部分研究着重指出较厚角膜帽在维持角膜生物力学稳定性等方面的显著优势, 而另一些研究则表明, 在特定临床条件下, 较薄角膜帽同样能够实现良好的手术效果。这种结论差异的产生可能与研究设计类型、样本规模大小、患者个体差异以及手术技术的多样性等因素有关。鉴于此, 在进行对比时, 我们必须谨慎解读这些数据, 避免因单一视角解读导致的结论偏差。未来的研究方向应聚焦于个体化手术方案的探索。考虑到每位患者的角膜特征及生理状态均存在明显差异, 定制化的手术策略有助于精准匹配个体需求, 实现角膜帽厚度的最优化选择。通过大样本、多中心的前瞻性研究, 能够更全面地探究不同患者群体中角膜帽厚度对术后恢复指标的关联, 从而为临床提供更具有说服力的循证医学证据。

参考文献

- [1] Sun, Y., Zhang, T., Liu, M., Zhou, Y., Weng, S., Yang, X., *et al.* (2019) Early Corneal Wound Healing Response after Small Incision Lenticule Extraction. *Cornea*, **38**, 1582-1588. <https://doi.org/10.1097/ico.0000000000002105>
- [2] Zarei-Ghanavati, S., Jafarzadeh, S.V., Es'haghi, A., Kiarudi, M.Y., Hassanzadeh, S. and Ziaei, M. (2023) Comparison of 110- and 145- μ m Small-Incision Lenticule Extraction Cap Thickness: A Randomized Contralateral Eye Study. *Cornea*, **43**, 154-158. <https://doi.org/10.1097/ico.0000000000003294>
- [3] Song, Y., Deng, S., Lyv, X., Xu, Y., Zhang, F. and Guo, N. (2024) Corneal Subbasal Nerve Plexus Reinnervation and Stromal Cell Morphology with Different Cap Thicknesses in Small Incision Lenticule Extraction. *Eye and Vision*, **11**, Article No. 15. <https://doi.org/10.1186/s40662-024-00381-6>
- [4] Misra, S., Craig, J.P., McGhee, C.N.J. and Patel, D.V. (2012) Interocular Comparison by *in Vivo* Confocal Microscopy of the 2-Dimensional Architecture of the Normal Human Corneal Subbasal Nerve Plexus. *Cornea*, **31**, 1376-1380. <https://doi.org/10.1097/ico.0b013e31823f0b60>
- [5] Liang, C., Zhang, Y., He, Y. and Wang, S. (2021) Research Progress on Morphological Changes and Surgery-Related Parameters of Corneal Cap in Small-Incision Lenticule Extraction. *Ophthalmic Research*, **65**, 4-13. <https://doi.org/10.1159/000520241>
- [6] Wu, M., Downie, L.E., Grover, L.M., Moakes, R.J.A., Rauz, S., Logan, A., *et al.* (2020) The Neuroregenerative Effects of Topical Decorin on the Injured Mouse Cornea. *Journal of Neuroinflammation*, **17**, Article No. 142. <https://doi.org/10.1186/s12974-020-01812-6>
- [7] Yang, W., Li, M., Fu, D., Wei, R., Cui, C. and Zhou, X. (2020) A Comparison of the Effects of Different Cap Thicknesses on Corneal Nerve Destruction after Small Incision Lenticule Extraction. *International Ophthalmology*, **40**, 1905-1911. <https://doi.org/10.1007/s10792-020-01362-z>
- [8] Parissi, M., Randjelovic, S., Poletti, E., Guimarães, P., Ruggeri, A., Fragkiskou, S., *et al.* (2016) Corneal Nerve Regeneration after Collagen Cross-Linking Treatment of Keratoconus: A 5-Year Longitudinal Study. *JAMA Ophthalmology*, **134**, 70-78. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2015.4518>
- [9] Mazzotta, C., Hafezi, F., Kymionis, G., Caragiuli, S., Jacob, S., Traversi, C., *et al.* (2015) *In Vivo* Confocal Microscopy

- after Corneal Collagen Crosslinking. *The Ocular Surface*, **13**, 298-314. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2015.04.007>
- [10] Zdebik, N., Zdebik, A., Bogusławska, J., Przeździecka-Dołyk, J. and Turno-Kręcicka, A. (2021) Fibromyalgia Syndrome and the Eye—A Review. *Survey of Ophthalmology*, **66**, 132-137. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2020.05.006>
- [11] 穆建华. SMILE 手术设计不同厚度角膜帽的临床对比观察[J]. 国际眼科杂志, 2015, 15(7): 1296-1297.
- [12] Ma, J., Wei, S., Jiang, X., Chou, Y., Wang, Y., Hao, R., *et al.* (2020) Evaluation of Objective Visual Quality in Dry Eye Disease and Corneal Nerve Changes. *International Ophthalmology*, **40**, 2995-3004. <https://doi.org/10.1007/s10792-020-01483-5>
- [13] Ma, J., Wang, Y., Wei, P. and Jhanji, V. (2018) Biomechanics and Structure of the Cornea: Implications and Association with Corneal Disorders. *Survey of Ophthalmology*, **63**, 851-861. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2018.05.004>
- [14] 王盈利, 张少维, 杨燕宁. 飞秒激光小切口透镜取出术和其他屈光手术对角膜生物力学影响的研究进展[J]. 武汉大学学报(医学版), 2025, 45(5): 1-8.
- [15] Lenk, J., Haustein, M., Terai, N., Spoerl, E. and Raiskup, F. (2016) Characterization of Ocular Biomechanics in Pellucid Marginal Degeneration. *Cornea*, **35**, 506-509. <https://doi.org/10.1097/ico.0000000000000781>
- [16] Salouti, R., Khalili, M.R., Zamani, M., Ghoreyshi, M. and Nowroozzadeh, M.H. (2019) Assessment of the Changes in Corneal Biomechanical Properties after Collagen Cross-Linking in Patients with Keratoconus. *Journal of Current Ophthalmology*, **31**, 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.joco.2019.02.002>
- [17] Damgaard, I.B., Ivarsen, A. and Hjortdal, J. (2018) Refractive Correction and Biomechanical Strength Following SMILE with a 110- or 160- μ m Cap Thickness, Evaluated *ex Vivo* by Inflation Test. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **59**, 1836-1843. <https://doi.org/10.1167/iovs.17-23675>
- [18] Liu, T., Yu, T., Liu, L., Chen, K. and Bai, J. (2018) Corneal Cap Thickness and Its Effect on Visual Acuity and Corneal Biomechanics in Eyes Undergoing Small Incision Lenticule Extraction. *Journal of Ophthalmology*, **2018**, Article ID: 6040873. <https://doi.org/10.1155/2018/6040873>
- [19] Matsuura, M., Murata, H., Fujino, Y., Yanagisawa, M., Nakao, Y., Tokumo, K., *et al.* (2019) Relationship between Novel Intraocular Pressure Measurement from Corvis ST and Central Corneal Thickness and Corneal Hysteresis. *British Journal of Ophthalmology*, **104**, 563-568. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-314370>
- [20] 严若华, 黄展宇, 鄢继超, 等. 角膜地形图引导的飞秒制瓣准分子激光手术治疗近视合并散光患者的效果[J]. 中国民康医学, 2024, 36(11): 43-45, 49.
- [21] Inferred, L., Aragona, E., Wylęgała, A., Valastro, A., Latino, G., Postorino, E.I., *et al.* (2022) The Role of Hi-Tech Devices in Assessment of Corneal Healing in Patients with Neurotrophic Keratopathy. *Journal of Clinical Medicine*, **11**, Article No. 1602. <https://doi.org/10.3390/jcm11061602>
- [22] Liu, T., Yu, T., Pan, J., *et al.* (2018) Observational Study on the Impact of Corneal Power on Refractive Status of Patients after Small Incision Lenticule Extraction Surgery. *Chinese Journal of Ophthalmology*, **54**, 48-54.
- [23] 刁鹏飞, 蒋峰, 刘懿, 等. 全飞秒激光与飞秒激光辅助 Lasik 治疗高度近视患者的效果及对角膜曲率、视觉质量的影响分析[J]. 现代生物医学进展, 2023, 23(17): 3289-3293.
- [24] Daoud, Y., Yoshida, J., Heflin, T., Zambrano, A., Pan, Q., Meng, H., *et al.* (2015) Gamma-Irradiated Sterile Cornea for Use in Corneal Transplants in a Rabbit Model. *Middle East African Journal of Ophthalmology*, **22**, 346-351. <https://doi.org/10.4103/0974-9233.159760>
- [25] Sridhar, M. (2018) Anatomy of Cornea and Ocular Surface. *Indian Journal of Ophthalmology*, **66**, 190-194. https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_646_17
- [26] Zhou, Q., Li, Z. and Duan, H. (2023) iPSC-Derived Corneal Endothelial Cells. In: *Handbook of Experimental Pharmacology*, Springer International Publishing, 257-276. https://doi.org/10.1007/164_2023_644
- [27] Zarei-Ghanavati, S., Jafarzadeh, S.V., Es'haghi, A., Kiarudi, M.Y., Hassanzadeh, S. and Ziaei, M. (2023) Comparison of 110- and 145- μ m Small-Incision Lenticule Extraction Cap Thickness: A Randomized Contralateral Eye Study. *Cornea*, **43**, 154-158. <https://doi.org/10.1097/ico.0000000000003294>
- [28] Bamdad, S., Bolkheir, A., Sedaghat, M.R. and Motamed, M. (2018) Changes in Corneal Thickness and Corneal Endothelial Cell Density after Phacoemulsification Cataract Surgery: A Double-Blind Randomized Trial. *Electronic Physician*, **10**, 6616-6623. <https://doi.org/10.19082/6616>
- [29] Kim, B.K. and Chung, Y.T. (2020) Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) in Patients with Corneal Guttatae. *Clinical Ophthalmology*, **14**, 2485-2490. <https://doi.org/10.2147/opth.s267847>
- [30] Jun, I., Kang, D.S.Y., Roberts, C.J., Lee, H., Jean, S.K., Kim, E.K., *et al.* (2021) Comparison of Clinical and Biomechanical Outcomes of Small Incision Lenticule Extraction with 120- and 140- μ m Cap Thickness. *Translational Vision Science & Technology*, **10**, Article No. 15. <https://doi.org/10.1167/tvst.10.8.15>