

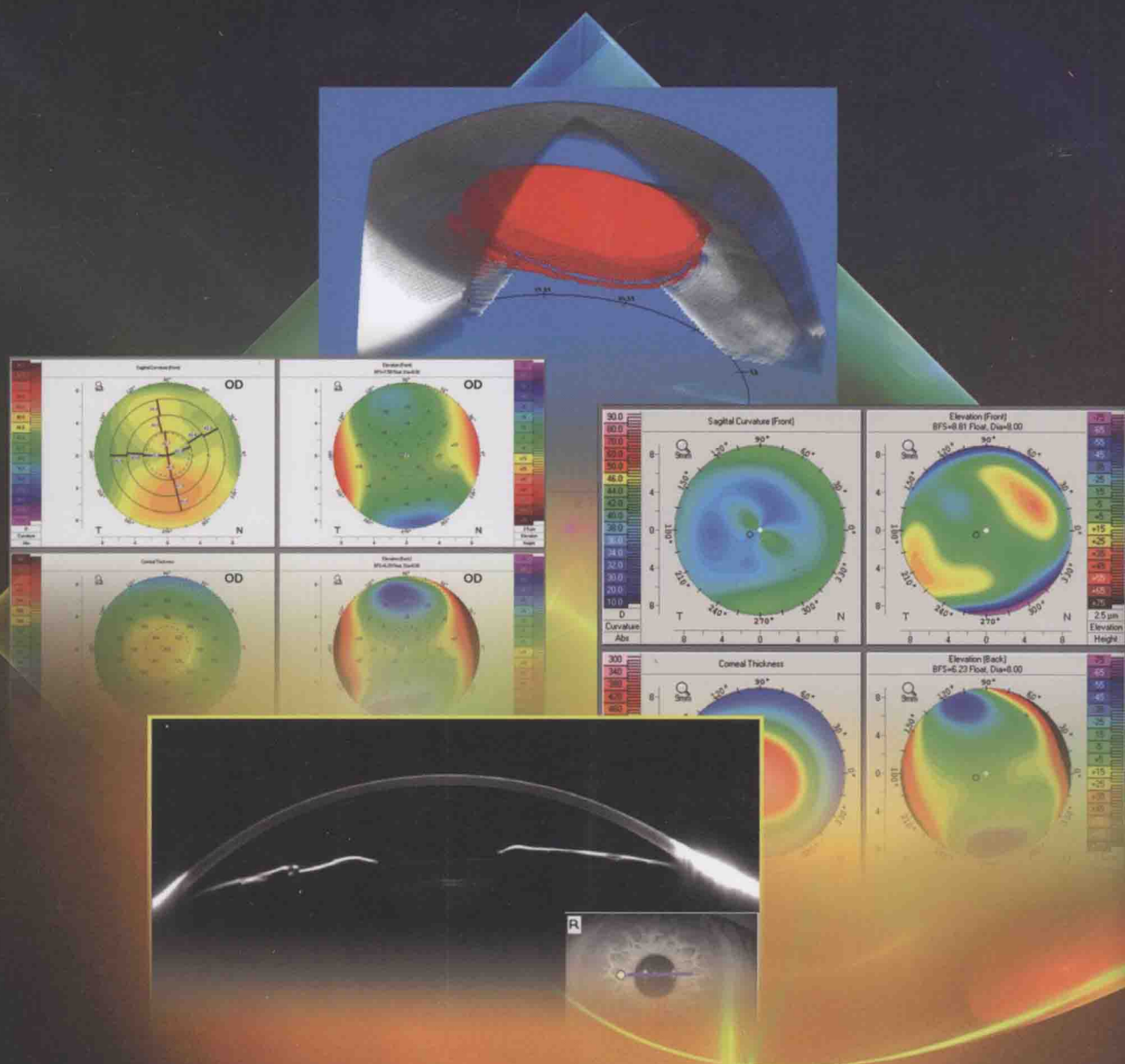
# 角膜断层地形图学

第2版

## Elevation Based Corneal Tomography

主 编 Michael W. Belin, MD, FACS  
Stephen S. Khachikian, MD  
Renato Ambrósio Jr., MD, PhD

主 译 王勤美



# 角膜断层地形图学

Elevation Based Corneal Tomography

第2版

主 编 Michael W. Belin, MD, FACS  
Stephen S. Khachikian, MD  
Renato Ambrósio Jr., MD, PhD

主 译 王勤美

副主译 黄锦海 俞阿勇

译 者 (按姓氏汉语笔画排序)

朱铁培 许琛琛 李 坚 李智冬  
吴光波 余 野 陈世豪 胡 亮

人民卫生出版社

## 敬告

本书的作者、译者及出版者已尽力使书中的知识符合出版当时国内普遍接受的标准。但医学在不断地发展,随着科学研究的不断探索,各种诊断分析程序和临床治疗方案以及药物使用方法都在不断更新。强烈建议读者在使用本书涉及的诊疗仪器或药物时,认真研读使用说明,尤其对于新的产品更应如此。出版者拒绝对因参照本书任何内容而直接或间接导致的事故与损失负责。

需要特别声明的是,本书中提及的一些产品名称(包括注册的专利产品)仅仅是叙述的需要,并不代表作者推荐或倾向于使用这些产品;而对于那些未提及的产品,也仅仅是因为限于篇幅不能一一列举。

本着忠实于原著的精神,译者在翻译时尽量不对原著内容做删节。然而由于著者所在国与我国的国情不同,因此一些问题的处理原则与方法,尤其是涉及宗教信仰、民族政策、伦理道德或法律法规时,仅供读者了解,不能作为法律依据。读者在遇到实际问题时应根据国内相关法律法规和医疗标准进行适当处理。

Translation from the Chinese language edition:  
Elevation Based Corneal Tomography, 2e  
Copyright ©2012 Jaypee-Highlights Medical Publishers, Inc.  
All Rights Reserved.

角膜断层地形图学  
王勤美译

中文版版权归人民卫生出版社所有。

## 图书在版编目(CIP)数据

角膜断层地形图学 / (美) 贝林(Belin, M.W.) 主编; 王勤美译. —北京: 人民卫生出版社, 2014

ISBN 978-7-117-18600-1

I. ①角… II. ①贝…②王… III. ①角膜疾病—诊治—应用软件 IV. ①R772.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 015640 号

人卫社官网	<a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>	出版物查询, 在线购书
人卫医学网	<a href="http://www.ipmph.com">www.ipmph.com</a>	医学考试辅导, 医学数据库服务, 医学教育资源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

## 角膜断层地形图学

主 译: 王勤美

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京汇林印务有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 889×1194 1/16 印张: 11

字 数: 348 千字

版 次: 2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-18600-1/R · 18601

定 价: 128.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: [WQ@pmph.com](mailto:WQ@pmph.com)

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

# 序 言

我很高兴应邀为温州医科大学附属眼视光医院王勤美教授译著的《角膜断层地形图学》一书中文版作序。

角膜地形图检查是眼科常规的检查项目之一，常用来描述角膜的表面形态，可为临床和科研提供大量的角膜形态信息，用以表述角膜屈光力和光学质量，同时也可揭示不同角膜病变特征，现已广泛应用于散光分析、圆锥角膜诊断和角膜接触镜的验配等方面，并被用于评估角膜屈光手术、晶状体屈光手术、穿透性角膜移植手术等的疗效。在我国，以角膜屈光手术为例，每年有近百万例的屈光不正患者接受该手术，因此角膜地形图已成为临床，尤其是角膜屈光手术必不可少的检查和分析工具。

传统的基于 Placido 盘原理的角膜地形图仪，仍然是筛查角膜扩张性病变的金标准，但其局限性也十分明显，例如周边角膜信息缺乏、无法直接获得角膜后表面数据、对角膜表面及泪膜完整性要求高、不能发现角膜微小变化、测量范围受限、曲率性地形图形态不唯一等。随着现代光机电算等学科迅猛发展，眼科和视光学的有机整合，角膜地形图研究不断涌现出新的技术和方法。

20 世纪出现的 Scheimpflug 成像原理通过特殊的光学系统，使不平行的物像平面共轭，有效提高了景深和边缘的锐利度。Pentacam 三维眼前节分析系统正是应用了 Scheimpflug 光学原理，通过旋转断层扫描，获取眼前节多重图像，产生三维立体图，计算高度差，得到更大范围内的角膜前后表面曲率、全角膜厚度、前房深度等眼前节参数。与传统的 Placido 原理以曲率表达角膜地形图不同，Pentacam 测量角膜表面高度数据，将其与最佳拟合参考面对比后得到相对高度数据，用以表达角膜形态，可以显示角膜微小的病变，更敏感地为角膜早期病变提供诊断依据。

在临床实践中，随着快速青光眼筛查指数报告、角膜密度分析、高端人工晶状体个性化选择等软件的开发应用，Pentacam 已成为对青光眼、角膜病及白内障等疾病诊治和干预十分重要的辅助工具，特别是在角膜屈光手术和晶状体屈光手术领域，无论是筛查手术禁忌证、诊治特殊病症，还是制订手术方案、观察术后变化，Pentacam 都已成为至关重要的检测手段。清楚了解角膜形态及其改变，才有可能对角膜病变性质做出准确判断，才有可能实现地形图引导的角膜个性化激光切削。

近年来，我国眼视光学飞速发展，许多新技术基本上与发达国家同步，国内多家医院也已开展了 Pentacam 眼前节检查和诊断分析。在临床实践中，很多眼科医生不断总结经验，探索其临床和科研价值、拓宽应用范围，但是仍然缺乏系统的教程及相应的参考书籍；并且目前国内尚未有基于高度原理的角膜地形图的专著，因此，及时引进和翻译国外的权威著作是非常必要的。

本书的主编 Michael Belin 博士是美国著名的屈光手术专家之一，他是奥尔巴尼（纽约州首府）医科大学角膜和屈光部门的主任、教授，兼任渥太华大学教授（安大略湖，加拿大），美国前角膜协会的主席，美国眼库（EBAA）的董事会成员。Belin 教授专注于屈光手术和角膜疾病的研究，包括圆锥角膜诊断治疗、角膜移植术和圆锥角膜的基质环植入术。他在美国眼科界非常活跃，在主流会议及权威刊物上发表超过 70 篇评论性文章以及约 300 篇论文，被美国眼科学会（AAO）授予资深荣誉奖和最高成就奖。

本书主译王勤美教授在我国视觉科学和屈光手术领域已经开展了 30 多年的基础研究和应用研究工作，具有很强的临床、科研、教学能力。他主编和参编的全国卫生职业教学改革实验教材“眼视光技术专业教材”入选教育部、卫生部“十一五”国家级规划教材；“眼视光学系列本科生教材”入选普通高等教育“十五”国家级规划教材、卫生部“十二五”国家级规划教材（全国高等学校教材）。翻译团队成员近年来主持、参与过多项国家级、省市级科研课题；翻译人员中既有教学经验丰富的教师，有从事视光与屈光手术研究的研究者，又有一线临床工作的医生，能充分发挥各自优势特长，出色完成本书籍的翻译工作。

《基于高度原理的角膜地形图》一书是关于角膜高度地形图的优秀教材，它详细地介绍了角膜高度地形图检查的历史、临床意义，在各章节中详细地描述其临床应用和注意事项，并附有许多典型病例的角膜地形图及临床资料。此书不仅可供研读，而且还具有很强的实用价值。我相信本书中文版的出版将填补我国角膜高度地形图教材的空白，对我国眼科医师快速学习、了解和掌握角膜高度地形图检查提供实用的参考。为此，我特向眼科同道推荐本书。

瞿 佳 温州医科大学

2013 年 11 月 于温州

# 编者名录

**João Marcelo Lyra, MD, PhD**

Professor of Post-Graduation in  
Artificial Intelligence and Ophthalmology  
Alagoas Federal University  
Member of Brazilian Study Group of  
Artificial Intelligence and Corneal Analysis  
(BrAIIn), Maceió, Brazil

**Aydano P. Machado, MSc, PhD**

Brazilian Study Group of Artificial Intelligence  
and Corneal Analysis (BrAIIn), Brazil  
Universidade Federal de Alagoas,  
Maceió, Brazil

**Naoyuki Maeda, MD**

Department of Ophthalmology  
Osaka University  
Graduate School of Medicine  
Yamadaoka, Japan

**Leonardo N. Pimentel, MD**

Cornea Department of Federal University of  
Rio Grande do Norte  
Natal, Rio Grande do Norte, Brazil

**Isaac Ramos, MD**

Brazilian Study Group of Artificial Intelligence  
and Corneal Analysis (BrAIIn), Brazil  
Instituto de Olhos Renato Ambrósio & Rio de  
Janeiro Corneal Tomography and Biomechanics  
Study Group, Rio de Janeiro, Brazil

**Guilherme Ribeiro, MD**

Brazilian Study Group of Artificial Intelligence  
and Corneal Analysis (BrAIIn), Brazil  
Universidade Federal de Alagoas,  
Maceió, Brazil

**Marcella Salomão, MD**

Clinical Director of Femtolaser-RIO  
Rio de Janeiro, Brazil

**Satinder Pal Singh Grewal, MD**

Grewal Eye Institute  
Chandigarh, India

**Bruna V. Ventura, MD**

Brazilian Study Group of Artificial Intelligence  
and Corneal Analysis (BrAIIn), Brazil  
Universidade Federal de Alagoas,  
Maceió, Brazil

# 目 录

第 1 章	绪论	1
第 2 章	地形图和断层摄影成像的发展	10
第 3 章	理解基于高度的地形图: 高度数据的显示	16
第 4 章	理解拟合参考面的重要性	33
第 5 章	建议设置和筛查指南	40
第 6 章	Oculus Pentacam 的正常值	51
第 7 章	角膜测厚技术的全面评估	57
第 8 章	应用增强型参考球面 (Belin/Ambrósio III 早期圆锥筛查软件) 来检测圆锥角膜 / 角膜扩张	65
第 9 章	圆锥角膜和角膜扩张检测: 非对称性圆锥角膜和 LASIK 术后角膜扩张研究	74
第 10 章	高度地形图图谱	87
第 11 章	Scheimpflug 图像的临床应用	106
第 12 章	人工晶状体屈光力计算: BESSt 2 公式	119
第 13 章	Scheimpflug 系统对原发性闭角型青光眼的评估	128
第 14 章	Pentacam HR 评估高端人工晶状体手术的角膜光学质量	132
第 15 章	其他显示图	137
第 16 章	Pentacam 在白内障中的应用	150
	词汇表	164

Michael W. Belin, MD, FACS;  
Stephen S. Khachikian, MD

为什么现在要出版第 2 版《角膜断层地形图学》呢？虽然大多数屈光手术医生已经充分地认识和理解角膜曲率分析，但是角膜高度与曲率之间还是存在本质区别的，只有掌握了这些区别才能更有效地使用高度分析系统。使用者往往仅利用了角膜曲率分析功能，而没有全面应用角膜高度分析所提供的更多信息。作者希望读者可以通过这本书更好地理解及利用基于光学截面的角膜地形图。虽然本书基本以 Oculus Pentacam (OCULUS Optikgerate GmbH, Wetzlar, 德国) 为例，但是这些原则适用于所有基于高度原理的分析系统。(本书中所举例子均来自于作者自身实践以及作为咨询发送而来的案例。由于地形图收集自不同来源，在显示时个别地形图的位置会不一致。)

角膜地形图 (Topography) 或断层摄影术 (Tomography) (断层摄影术是指能通过一系列的光学截面重建眼前节三维结构的系统) 是屈光手术评估至关重要的部分。最初的地形图系统基于反射技术，以数字化的 Placido 图像和测定的倾斜度作为测量的基本单位，地形数据则以角膜曲率值来呈现，这对屈光手术医生来说更为直观。这些系统相对便宜，但同时也存在很多局限。

基于 Placido 盘的系统依赖于对反射图像的分析，这导致不能同时获取角膜周边以及后表面的数据，正因为没有角膜后表面的数据，这些系统不能进行完整的角膜厚度评估。虽然超声厚度测量法能测得角膜中央及其他单独点的数据，但是形成一幅完整的角膜厚度图需要同时获取角膜前后表面的准确数据，因为角膜厚度的计算主要基于前后表面的距离差值。另外，现在认为角膜后表面参数对提示角膜扩张性疾病具有较高的敏感性，其在角膜前表面还是正常的情况下能更早提示异常的存在。虽然角膜的屈光力主要决定于其前表面的折射力，但是对角膜解剖结构和生物力学性能分析来说，深入了解角膜前后表面是同等重要的<sup>1</sup>。

Pentacam 眼前节分析系统以及它的先驱 PAR CTS (PAR Technology, New Hartford, New York) 和 Orbscan (Bausch & Lomb, Rochester, New York) 代表了角膜及眼前节成像的显著进步。标准版本和高分辨率版本的 Pentacam 均属于 Scheimpflug 成像系统，装备有 2 个摄像头，其中中央的照相机用来监控固视情况及测量瞳孔，第二个旋转的 Scheimpflug 摄像头在 2 秒内扫描 25 或 50 张角膜截面图 (取决于操作者的选择)。标准版本的 Pentacam 每张截面图包括 500 个高度数据，而高分辨率 Pentacam 则包含 2760 个，也就是说标准 Pentacam 和高分辨率 Pentacam 可分别一共分析 25 000 个和 138 000 个数据点。这些由旋转的 Scheimpflug 摄像头生成的截面图 (图 1-1) 可进行角膜前后表面、虹膜以及晶体前表面的定位<sup>2</sup>。

Pentacam 并不是第一个基于高度原理或利用光学截面进行角膜分析的系统，在 1991 年便有报道指出基于高度的系统优于使用 Placido 原理的系统<sup>3</sup>。PAR CTS 利用投射栅格系统测量角膜前表面高度，可以准确测量过往 Placido 系统不能完整分析的病变角膜，并且能测量整个角膜范围。PAR CTS 在测量时需要滴染荧光素，使栅格在染色的泪膜上反射成像，然后根据反射像的变形得出角膜高度，这种技术类似于光栅照相测量法 (rasterphotogrammetry) (图 1-2)。因为 PAR CTS 是一个投射系统，所以它并不能测量角膜后表面及其他更深层次的眼前节结构。

光学截面技术在 20 世纪 90 年代中期首先被引进市场。Orbscan 利用平行分段的光学截面 (不含重复点)，依赖于 Placido 图像放大前表面的测量，从而帮助进行图像的重合和配准。相比较而言，旋转的 Scheimpflug 成像系统则具有明显的优势，由于每个截面都有一个共同点 (旋转中心)，这使得图像配准和重合更加准确 (图 1-3)。



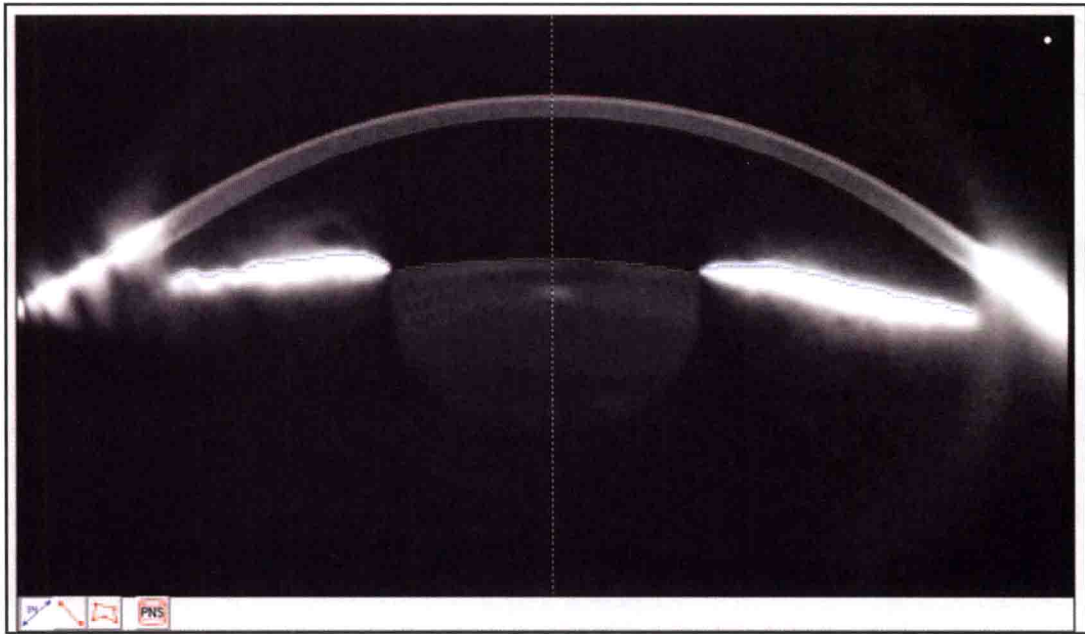


图 1-1 正常人眼的 Scheimpflug 截面图。边缘探测程序所示角膜前表面(红色)、后表面(绿色)、晶体前表面(黄色)和虹膜表面(蓝色)。晶体透明度、前房深度及前房角也能通过计算得出

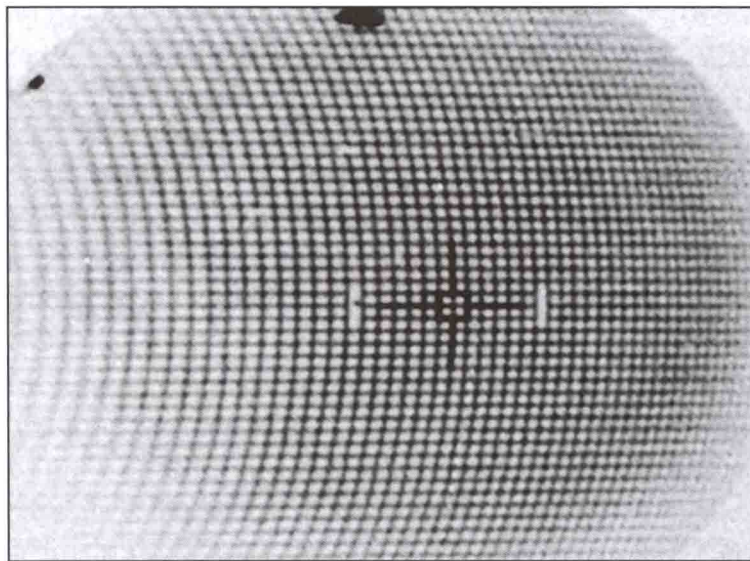


图 1-2 PAR CTS 显示投射在荧光素染色的泪膜上的栅格

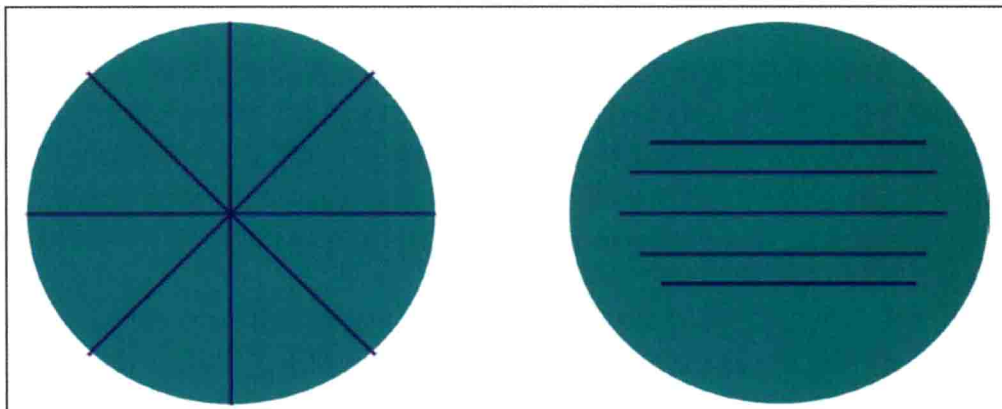


图 1-3 图示为 Pentacam 放射状成像(左), Orbscan 平行成像(右)

精确的图像配准是获得准确地形图数据的先决条件。由于旋转时中心的点所经过路径较短,所以点密度在角膜中央最高(通常是注视区),然后逐渐向周边递减,这将有利于图像配准。另外, Pentacam 的边缘探测软件比 Orbscan 不容易受角膜 haze 的影响,所以对于术后角膜,前者能对后表面进行更准确的定位<sup>4</sup>。

Pentacam 最初设计主要用于屈光手术的检查,全角膜厚度计算精确度可达  $\pm 5\mu\text{m}$ ,还可以显示角膜和前房结构,客观评估晶状体密度。通过准确的高度测量还可以计算获得角膜前表面、后表面矢状位(轴向)和切线(局部或瞬时)曲率、前后表面高度图、前房深度、房角近似值、角膜和前房容积以及 Zernike 多项式推算出的前后表面像差。

笔者希望这本书能给角膜屈光及眼前节手术医生提供入门参考信息。随后的章节将会介绍基于高度分析的断层摄影术在屈光手术术前筛查和其他眼前节评估(例如白内障分级)中的应用。

## 临床应用

屈光手术术前的患者筛查是地形图或断层摄影术最常见的临床应用,良好的筛查程序应该具有快速、容易操作和精确等优点。采用屈光 4 联图或 Belin/Ambrósio 增强型早期圆锥筛查(enhanced ectasia display)模式可以快速和安全地完成大部分患者的眼部结构扫描,其中屈光 4 联图包括基于最佳拟合球面的角膜前后表面高度、角膜厚度(厚度分布)和前表面屈光力图。另外一致的颜色和比例对快速而安全的筛查也十分重要,这样可以使操作者较快地评估患者的术前角膜地形图。我们推荐的屈光手术术前筛选设置如表 1-1 所示,这些设置是为了提高敏感性,使得通过颜色和图形识别就可进行快速筛查。屈光手术术前筛查的目的就是为了确定哪些患者不是“正常”的,因此以下的推荐设置就是为此而设计。(在侧重于疾病评估的应用中,标尺设置应该适当扩大,以包含更大的变化范围和更多的异常角膜形态。)

表 1-1 屈光手术筛查推荐设置

显示	颜色	标尺	设置	可选项
前表面高度图	Belin Intuitive	$\pm 75\mu\text{m}$	BFS 球面,手动,直径 -8.0,浮标	最大直径 9.0mm (applies to all), 显示数字,最薄点,瞳孔缘
后表面高度图	Belin Intuitive	$\pm 75\mu\text{m}$	BFS 球面,手动,直径 -8.0,浮标	显示数字,最薄点,瞳孔缘
厚度图	Ambrósio 2	300~900 $\mu\text{m}$ , Absolute		显示最薄点,数字,瞳孔缘
前表面屈光力图	Belin Intuitive 或 Ambrósio 2	Absolute Normal Scale		显示数字

角膜高度图代表的并不是真实原始的角膜高度数据,而是与一些拟合参考面比较后得到的相对高度数据图。最常用的拟合参考面(推荐用于术前筛查)是最佳拟合球面(BFS),虽然也可以使用其他参考面,但是它们都是基于相同的原始高度数据所得,所以它们的区别更多地在于数值大小不同而非实质差别。显示所用的图形、标尺及颜色都应合理选择以简化筛选的过程,当然不同的标尺、图形及颜色设置可能适用于其他用途。

了解 BFS 的计算是透彻理解角膜高度图的关键,下面的章节将重点讲解。Pentacam 有自动和手动两种模式,充分理解这两种模式对恰当评估地形图至关重要。手动模式将采集使用者设定的光学区内的所有数据,而不管这些数据是否准确或经插值推算所得,例如:设置直径为 8.0mm,手动模式则采集以角膜顶点为中心直径 8mm 范围内的所有数据。因为参考面 BFS 会随所设置的光学区大小不同而发生变化,所以不同的设置将显著地影响地形图的定性定量评估。正常的角膜为扁长椭圆形,选择的光学区越大, BFS 越平坦,反之 BFS 越陡峭。一般来说,只要扫描的图像质量足够好,光学区内没有插值数据参与到 BFS 的拟合运算中,使用手动模式就适合患者的随访以及计算既定 BFS 半径下的正常参考值。

自动模式则是利用最大光学区直径 90% 范围内除外插值数据的所有数据。换言之在这种模式下，系统以角膜顶点为中心尽可能大地画了一个不包含插值数据的圆，然后利用这个圆 90% 面积内的数据计算 BFS。自动模式意义在于只使用“有效”的数据，然而这将导致不同病人或者同一个病人在多次检查中用于定义 BFS 的区域大小不同，这种明显的差异限制了自动模式在临床中的应用。手动模式运用既定区域内包括精确测量和推算得到的所有数据，自动模式虽然只使用有效的数据，但光学区却是可变的，变化的光学区导致难以建立起合适的正常测量值及用于筛查的参数设置。

我们目前推荐的设置是手动模式，参考面为直径 8.0mm 的球面。确保在这个范围内不含或尽量少包含推算数据尤为重要，而推算数据将在地形图中显示为白色区域或者黑点（用户可自定义，笔者推荐选用“白色区域”）。为了更好地判读地形图，我们推荐将显示状态设置为中央 9.0mm 内的范围（可在下拉菜单中选择“最大直径 9.0mm”）。这里出现的两个数值的概念容易形成混淆：下拉菜单中“最大直径 9.0mm”指地形图上显示的角膜范围，由于角膜直径通常不小于 9.0mm，故设置显示“最大直径 9.0mm”更便于阅读和进行屈光筛查。另外“最大直径 9.0mm”也与 BFS 计算无关，仅表示显示的角膜范围。

一张不含推算数据的 9.0mm 直径地形图可认为是有效的，这些有效的地形图便可用于 BFS 的计算。以下所有的讨论及筛选参数选择的建议都是基于这样的设置：手动，球面，直径 8.0mm，浮标，中央 8.0mm 范围内不含推算数据。

上文所提到的屈光 4 联图对发现角膜扩张性改变非常有意义。比如圆锥角膜，是一种进行性的病变，其特点是角膜基质变薄、圆锥形突起、角膜疤痕形成、矫正视力降低、Fleisher 环和晚期形成 Vogt 条纹等<sup>5</sup>，圆锥角膜是 LASIK 及大多数屈光手术的禁忌证，因为病变可能会在术后出现快速的进展。另外“顿挫型圆锥角膜”或早期“亚临床圆锥角膜”同样也是 LASIK 的禁忌证，因为术后患者有可能进展为有临床症状的圆锥角膜。

最初基于 Placido 的圆锥角膜筛查程序只采用了角膜前表面的数据，这些地形图系统不能提供角膜后表面的信息或者提供的数据不准确，导致很多研究认为后表面信息在临床上并不重要。然而现在的大量研究则发现，后表面参数变化对角膜扩张性疾病早期诊断有着重要意义，其作为最早期表现可发生在前表面及其他有关参数变化之前（如上皮变薄）。

图 1-4 是一位无症状患者术前评估的屈光 4 联图，其展示了角膜后表面及厚度分布图的重要性。该患者最佳矫正视力为 20/20，普通的 Placido 系统及超声测厚仪（中央 520 $\mu\text{m}$ ）都未提示异常。然而 Pentacam 则揭示了单纯依靠前表面曲率及中央角膜厚度测量的局限性，前表面高度图（右上）和前表面屈光力图（左上）提示正常，从中只能看出少量散光存在，角膜厚度分布图（左下）显示了正常的角膜中央厚度 517 $\mu\text{m}$ ，但厚度分布则出现明显变形移位，其中最薄点（502 $\mu\text{m}$ ）位于角膜中央的颞下侧，二者相差 15 $\mu\text{m}$ ，后表面高度图（右下）也提示明显不正常，可见一个高 30 $\mu\text{m}$  边界清晰的旁中央岛状区域，提示存在角膜扩张改变。角膜最薄点移位与后表面高度图相对应，更加证实该异常区域发生了角膜扩张改变。

类似地，图 1-5 所示患者从超声测厚仪和 Placido 系统检查结果来看，角膜完全正常。Placido 系统中最常见的前表面屈光力图（左上）未见异常，曲率图对称，仅提示少量散光。模拟的角膜曲率范围为 39~40D，超声所测中央角膜厚度为 511 $\mu\text{m}$ ，这些数值均可以认为在正常范围内（表 1-2）。然而如此分析并不完整，从厚度分布图中可见明显异常，最薄点位置下移（左下图），厚度为 482 $\mu\text{m}$  比角膜顶点处薄 29 $\mu\text{m}$ 。后表面高度图（右下）显示出一个形状规则、边界清晰、高度较高（30 $\mu\text{m}$  以上）的岛状区域，此增高的区域与最薄点一致，提示该区域发生扩张性改变。尽管 Placido 地形图和超声测厚都提示正常，综合分析来看患者应诊断为亚临床型圆锥角膜（亚临床指尽管有明显的解剖学改变，但矫正视力尚佳）。由此可见 Pentacam 揭示了传统的角膜分析所存在的缺点。

有很多文献都报道了术前检查均正常的患者在 LASIK 术后出现医源性的角膜扩张<sup>6,7</sup>，我们不知道这些所谓术前“正常”的患者究竟有多少是真正的正常，也不知道有多少其实存在角膜后表面改变的患者未能被诊断。此外也有报道指出依赖超声测厚进行剩余角膜厚度计算可能会得到高于实际的测量结果，如同角膜瓣厚度的不可预见性，全角膜厚度分布的不一致也可能是影响测量结果的混杂变异因素<sup>8</sup>。

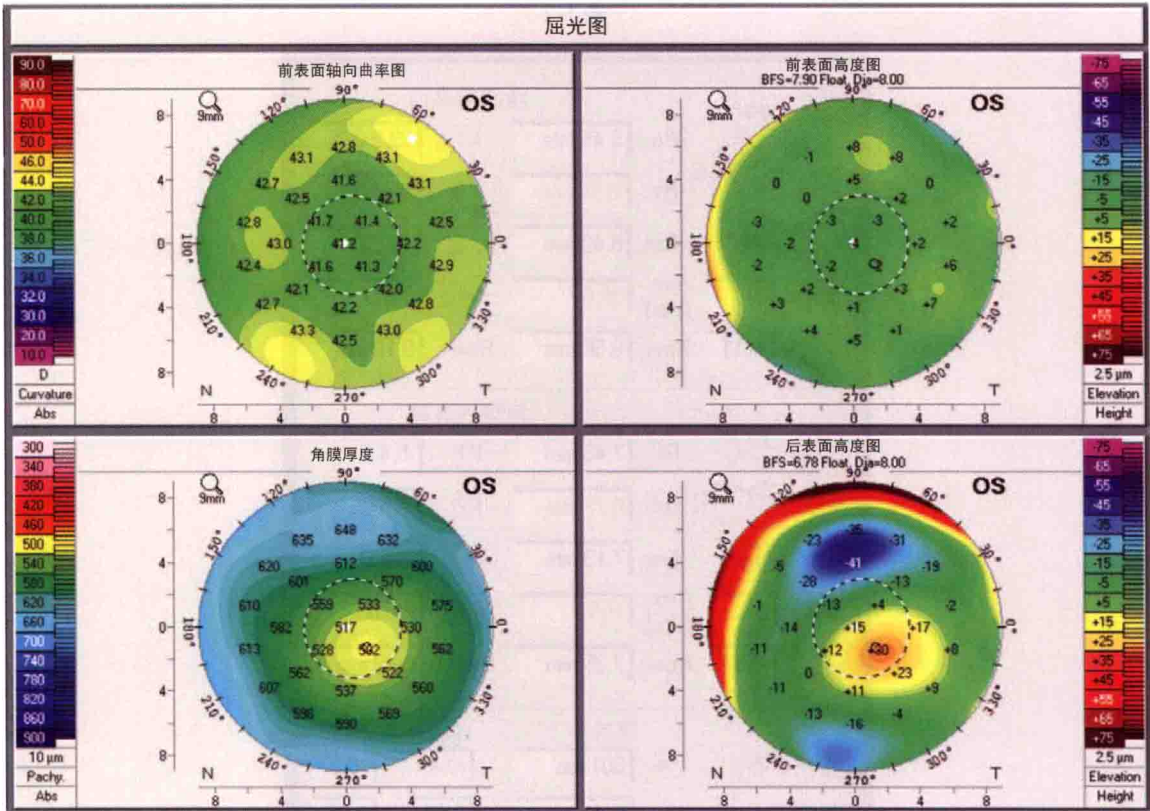


图 1-4 一位屈光手术术前无症状患者的 Pentacam 扫描屈光 4 联图：前后表面高度图、前表面屈光力图及厚度分布图。尽管前表面（包括高度和屈光力）正常，后表面高度和角膜厚度图提示早期角膜扩张改变

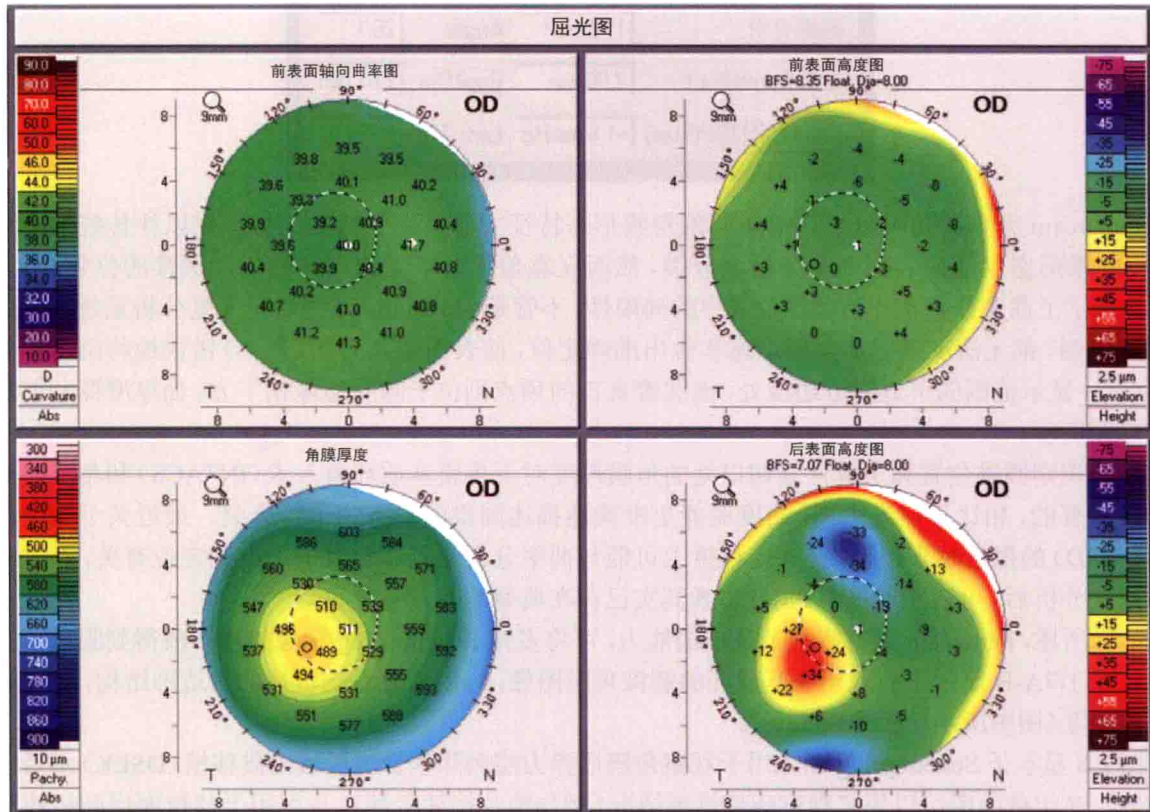
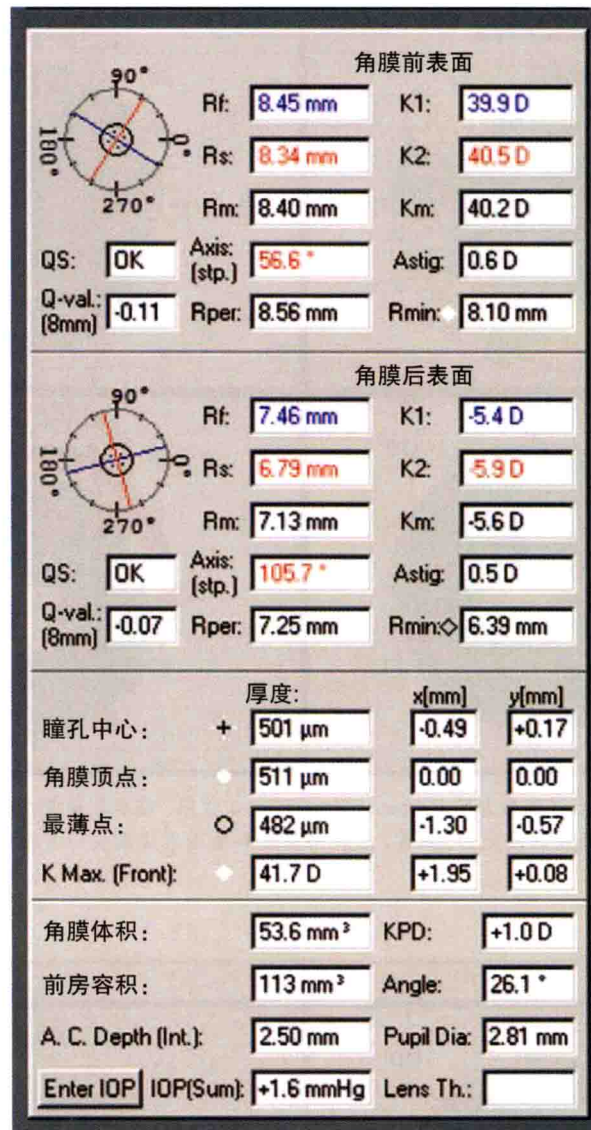


图 1-5 一位屈光手术术前无症状患者的 Pentacam 扫描屈光 4 联图，后表面高度图和最薄点位置共同提示角膜扩张

表 1-2



Pentacam 完整的角膜分析在描述圆锥角膜形态特征方面具有独特的优势。在以往传统的测量方法中,圆锥形态仅靠前表面曲率分析来分类,然而仅靠角膜曲率无法很好的描述圆锥的位置和形态。图 1-6 显示了曲率分析在评估圆锥位置中的局限性,不管是由 Placido 系统还是高度分析系统生成的角膜屈光力图,都无法准确描述角膜形态和做出准确定位,前表面屈光力图(左上)错误地将圆锥顶点置于 9.0mm 显示范围的下方靠近边缘处,而圆锥真正的顶点则位于瞳孔边缘稍下方,如厚度图和前后表面高度图所示。

准确识别圆锥位置和了解计划切口处的角膜厚度对于角膜基质环植入术 (INTACS) 和角膜移植都是非常重要的,相比于屈光力图,高度图能更准确地描述圆锥的形态和进行分类。最近关于角膜周边变性 (PMD) 的报道越来越多,在一定程度上可能与曲率分析对圆锥位置的不准确定位有关,在进行适当的高度分析后,可以发现很多 PMD 患者其实已存在典型的下方圆锥病变<sup>9,10</sup>。

如上所述, Pentacam 具有眼前节分析的能力,可将多张 Scheimpflug 图像处理合成得到眼前节三维图像。图 1-7A-B 显示了植入角膜基质环的圆锥角膜图像,可以清楚看到植片的六边形结构,并可确定植入的深度(图中所示深度为 396 μm)。

图 1-8 显示了 Scheimpflug 图像用于观察角膜后弹力层剥除联合深板层内皮移植 (DSEK) 术后情况的价值。光学截面图可以用来观察病情进展情况(例如植片持续变薄),也可用于移植面层间积液和移植床部分移位的辅助诊断。

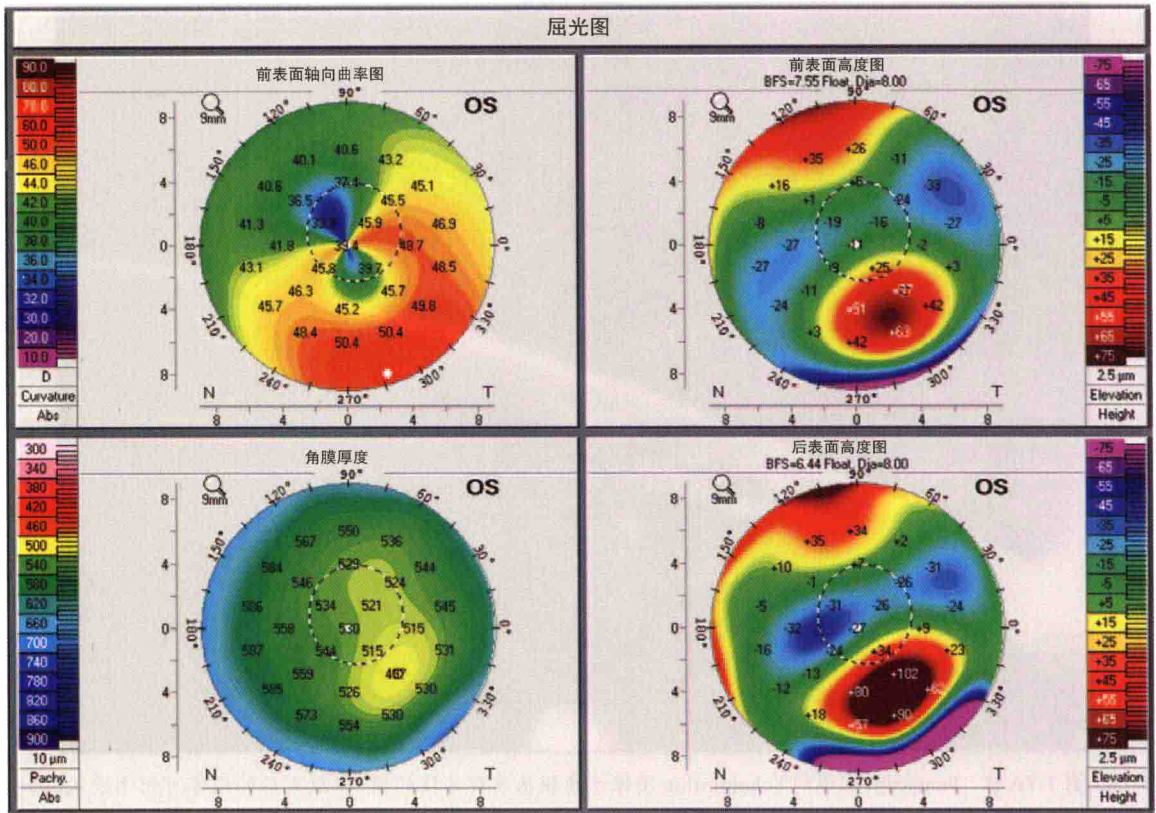


图 1-6 一位进展期圆锥角膜患者的 Pentacam 扫描屈光 4 联图。圆锥真正的顶点如厚度图和前后表面高度图所示。而屈光力图对圆锥顶点的错误定位将导致角膜周边变性的误诊

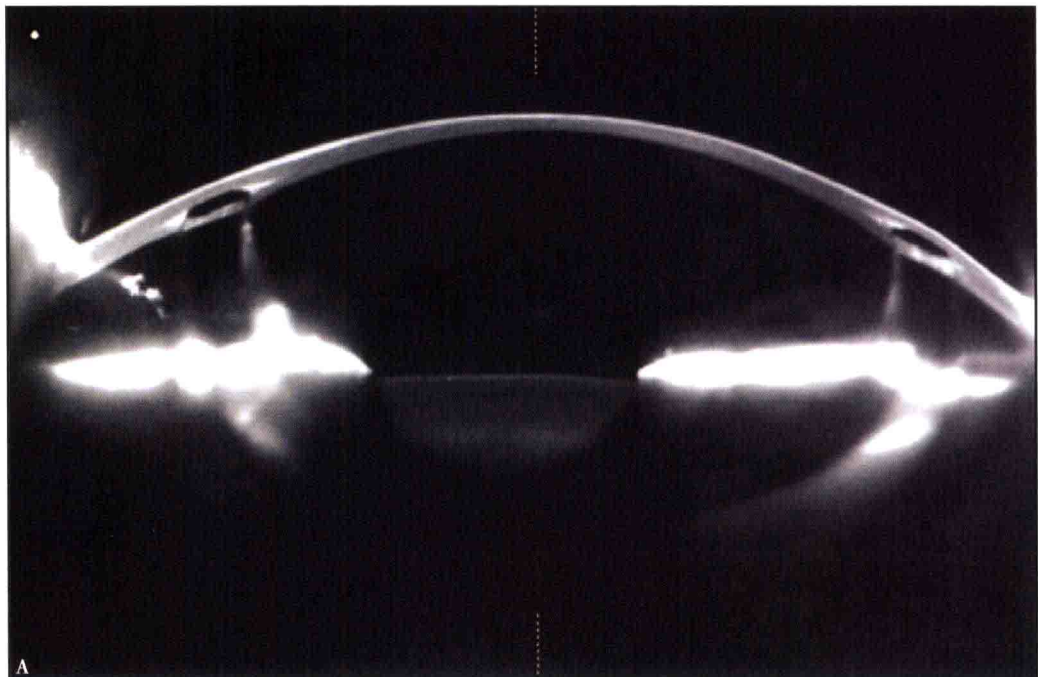


图 1-7A-B Pentacam 生成的 Scheimpflug 图像示角膜基质环片段的植入，放大后的图像可用于确定植入深度

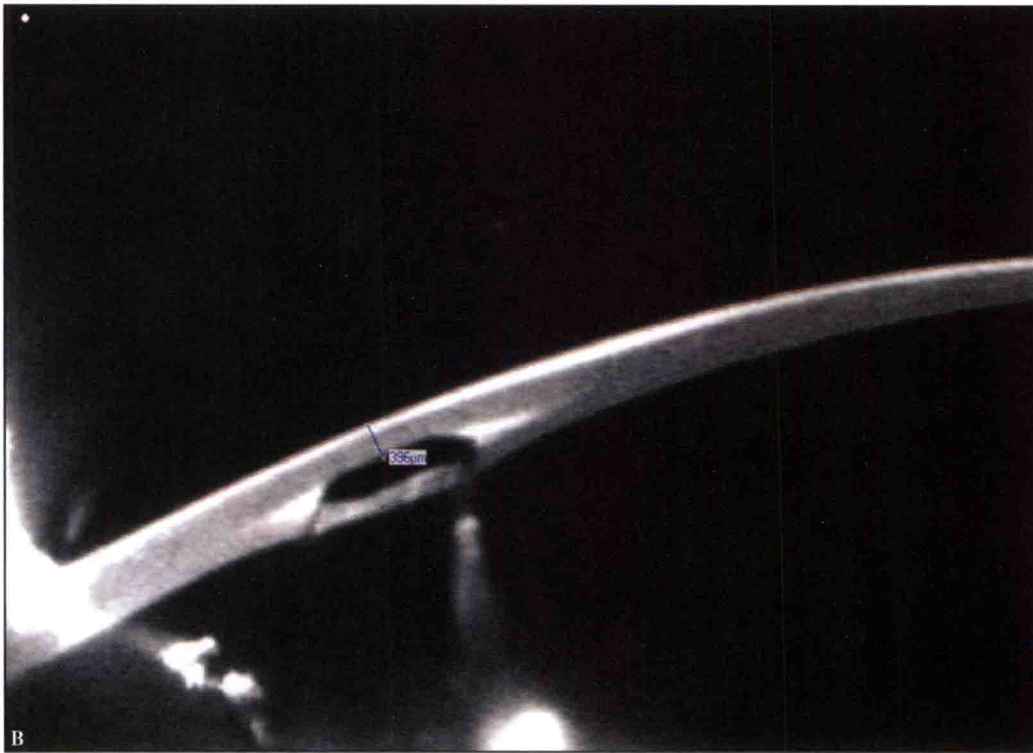


图 1-7A-B Pentacam 生成的 Scheimpflug 图像示角膜基质环片段的植入, 放大后的图像可用于确定植入深度(续)

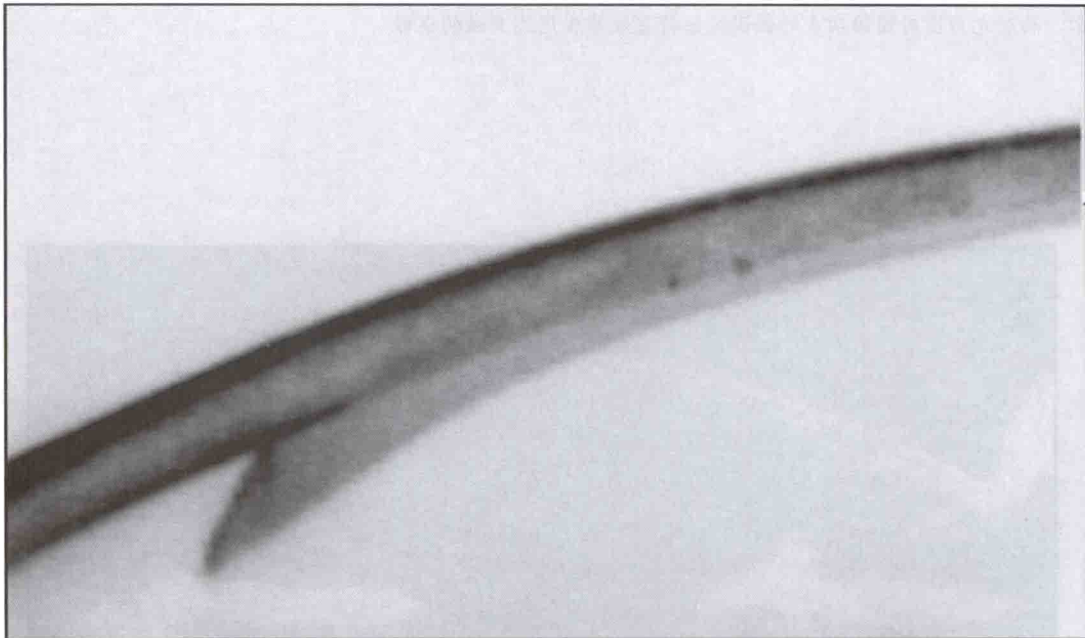


图 1-8 角膜后弹力层剥除联合深板层内皮移植(DSEK)后 1 周的 Scheimpflug 放大图像

## 总结

基于高度图像分析系统的发展标志着计算机化角膜分析的进化式变革, 使得同时评估角膜前后表面成为现实。对角膜表面及完整的角膜厚度分布进行准确测量, 显著增强了我们对角膜形态的认识, 更有利于全面的屈光手术术前评估。我们希望以下的章节及临床图例能帮助读者最大限度地利用这项新技术。

## 参考文献

1. Binder PS, Lindstrom RL, Stulting RD et al. Keratoconus and corneal ectasia after LASIK. *J Refract Surg* 2005; 21: 749-52.
2. Wing M, ed. *Corneal Topography in the Wavefront Era: A Guide for Clinical Application*. New Jersey: Slack Publishing, 2006.
3. Littoff D, Belin MW, Winn SS, Smith RS: PAR Technology Corneal Topography System. *Inv Ophthalmol. Vis Sci* 1991;32: 992.
4. Ciolino J, Belin MW: Changes to the Posterior Cornea after LASIK and PRK. *J Cataract & Refract Surg* 2006; 32: 1426-31.
5. Krachmer JH, Feder RS, Belin MW. Keratoconus and related noninflammatory corneal thinning disorders. *Surv Ophthalmol*. 1984;28: 293-322.
6. Moshirfar M, Marx DP. Incidence of Post-LASIK Ectasia in Patients with Unidentified Preoperative Risk factors. Presented World Cornea Congress, Washington, DC, 2005.
7. Klein SR, Epstein RJ, Randleman JB, Stulting RD. Corneal ectasia after laser in situ keratomileusis in patients without apparent preoperative risk factors. *Cornea* 2006; 25: 388-403.
8. Belin MW, Khachikian SS: New Devices & Clinical Implications for Measuring Corneal Thickness. *Clin & Exp Ophthalmol* 2006; 34: 729-731.
9. Walker RN, Khackikian SS, Belin MW. Scheimpflug Imaging of Pellucid Marginal Degeneration. *CORNEA* 2008 Sep; 27(8):963-6.
10. Belin MW, Khachikian SS, Ambrosio R Jr. The Use of Intracorneal Rings for Pellucid Marginal Degeneration (letter to the Editor). *Am J Ophthalmol* 2011; 151(3): 558-559.



Stephen S. Khachikian, MD;  
Michael W. Belin, MD, FACS;  
Renato Ambrosio Jr., MD, PhD

## 引言

随着屈光手术的流行和角膜移植成功率提高，对角膜形态的了解显得越来越重要。屈光手术前需要检查患者是否患有圆锥角膜、不规则散光、角膜接触镜相关性角膜卷曲(contact lens-induced warpage)或隐性角膜扩张改变(occult ectatic disorder)等眼部疾病。断层摄影术曾经被用来辅助探测眼球的光学性能，但目前某种程度上已被波前分析所替代<sup>1,2</sup>。目前，角膜地形图是大多数屈光手术医生用来对患者进行术前评估的必要手段，也被强烈推荐用于对疑难案例的术后评价。

使用角膜“地形图”这一说法在严格意义上并不恰当，真正的地形图意味着精确绘制的等高线或形状轮廓。目前大多数角膜地形图系统基于 Placido 成像，对角膜表面的反射环进行分析，通过测量发射角(斜率)算得角膜曲率；其他系统则利用栅格投射或光学截面直接测量角膜高度，再以高度数据推导出其地形图。

## 历史背景

在过去的数十年里，角膜成像技术有了很大的发展，但定性和定量地准确评估角膜形态仍充满困难。虽然当前测量的技术很多，但是角膜的非球面性、不规则性及非对称性限制了某些简单测量技术的实用性及可靠性<sup>3</sup>。20世纪80年代摄像角膜地形图的出现，为现代屈光手术奠定了基础，但是多个世纪前人们在角膜形态研究中所遇到的难题至今仍然没有解决。

## 角膜曲率计(Keratometry)

角膜曲率计是基于凸面的曲率半径与其反射像大小成比例这一原理设计的。1619年，老 Christopher Scheiner 观察到不同半径的玻璃球面产生不同大小的反射像，他制作了一系列曲率递增的球面镜，然后通过比较和匹配受试者角膜与校准球面对窗框的反射像大小得到角膜的曲率<sup>4</sup>。

1637年，Descartes 通过实验得到并发表了一个名为 le Dioptrique 的基本光学原理，更重要的是作者在其中详细地描述了角膜和眼球的光学特性<sup>5</sup>。1796年，Ramsden 制作了一个角膜曲率测量仪，并用起来验证 Kepler 提出的角膜曲率会随着调节而变化的假设。Ramsden 随后加入了放大装置，同时也引入了双像系统，通过操作使两个角膜反射像重合<sup>6</sup>，以消除眼球运动和操作者估计所造成的误差。虽然这种方法至今仍在现代角膜曲率计中使用，但是在1854年 Helmholtz 对测量设备“重新改造”之前，并没有得到广泛的应用。Helmholtz 检眼计(ophthalmometer)，正如其名字描述一样，用于角膜曲率的测量。1881年，Javal 和 Schiötz 改进了 Helmholtz 的设备，并制作了用于临床的角膜曲率计，现在临床应用的 Haag-Streit 角膜曲率计依然采用这种设计，只是做了些微小的改进<sup>7</sup>。

Helmholtz 所用的名词“检眼计”容易让人产生误解，因为“检眼计”一般用于测量整个眼球而不仅仅是角膜。如今，检眼计是一个通用名，与某些厂家的商品名一样，例如 AO Scientific Instruments 和 Haag Streit AG。而“角膜曲率计”(Bausch and Lomb 公司所用的商品名)(图 2-1)则能更好地描述了该