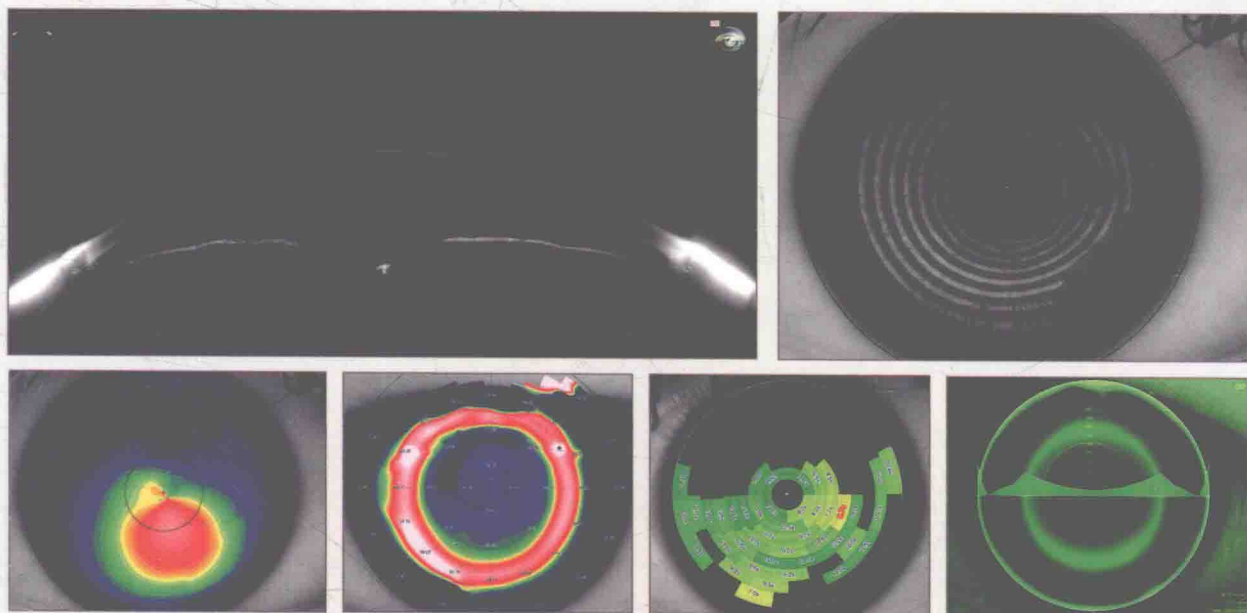


# Clinical Applications of Combined Corneal Topography and Tomography

## 三维角膜地形图的临床应用

主 编 陈跃国 副主编 黄锦海 王 铮



# 三维角膜地形图的临床应用

Clinical Applications of Combined Corneal Topography and Tomography

主 编 陈跃国

副主编 黄锦海 王 铮

编 者 (以姓氏拼音为序)

常 征 深圳爱尔眼科医院

陈 蛟 湖南省人民医院

陈跃国 北京大学第三医院

邓应平 四川大学华西医院

黄浩森 深圳市科裕康医疗器械有限公司

黄锦海 温州医科大学附属眼视光医院

黄子旭 温州医科大学附属眼视光医院

李绍伟 北京爱尔英智眼科医院

李耀宇 北京阿玛施眼科全飞秒专科医院

刘 磊 华中科技大学同济医学院附属同济医院

Francesco Versaci CSO Florence, 意大利

Gabriele Vestri CSO Florence, 意大利

米生健 武警陕西省总队医院

王 华 湖南省人民医院

王玲修 深圳市科裕康医疗器械有限公司

王瑞庭 深圳市科裕康医疗器械有限公司

王 铮 中南大学爱尔眼科医院

殷鸿波 四川大学华西医院

于周兴 北京爱尔英智眼科医院

张 君 杭州明视康眼科医院

张 钰 北京大学第三医院

郑 历 杭州明视康眼科医院

人民卫生出版社

图书在版编目(CIP)数据

三维角膜地形图的临床应用 / 陈跃国主编. —北京: 人民卫生出版社, 2017

ISBN 978-7-117-25042-9

I. ①三… II. ①陈… III. ①角膜疾病—诊疗 IV. ①R772.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 206483 号

人卫智网 [www.ipmph.com](http://www.ipmph.com) 医学教育、学术、考试、健康,  
购书智慧智能综合服务平台  
人卫官网 [www.pmph.com](http://www.pmph.com) 人卫官方资讯发布平台

版权所有, 侵权必究!

三维角膜地形图的临床应用

主 编: 陈跃国

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: 北京人卫印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 889 × 1194 1/16 印张: 18

字 数: 570 千字

版 次: 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-25042-9/R · 25043

定 价: 168.00 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

角膜形态的检查与分析已经成为眼科与眼视光学领域中一个非常重要的内容。例如，在角膜屈光手术前评估中，经常会遇到一些令人头疼、难以确认的“疑似圆锥角膜”，能否手术、术后是否会导致角膜膨隆，总让人犹疑不决；而角膜屈光手术后的人工晶状体度数计算，似乎也是一个比较“复杂”的问题。角膜屈光手术、晶状体屈光手术等的顺利开展、硬性角膜接触镜的验配、青光眼、干眼症等眼表疾病的评估，必须要有精准的角膜形态分析设备。经过数十年的临床验证与改进，角膜地形图仪已发展为 Placido 盘镜面反射结合 Scheimpflug 成像的新型三维角膜地形图检查系统，其内置的角膜形态自动识别与各种应用软件也得到了进一步完善。

尽管国内外每年都有较多的关于角膜形态研究的论著发表，但据我所知，尚缺乏全面、系统阐述三维角膜地形图理论与临床的专著，从而难以充分发挥先进设备的有效作用。由北京大学第三医院陈跃国教授领衔的本书编著团队，长年从事屈光手术、角膜以及眼表疾病的临床、教学与研究，具有丰富的临床经验与扎实的理论功底，由他们撰写此方面内容的专著确实是最合适不过了。我认为本书的出版，可以指导广大眼科临床工作者更好地理解三维角膜地形图的基本原理，更好地掌握检查结果的分析与临床应用，更好地为广大患者服务。基于此，本人很乐意向眼科工作者和读者推荐本书，并荣幸为此书作序。

温州医科大学眼视光学院、医院

瞿佳

2017年2月15日

# 前言

角膜为眼屈光系统的重要组成部分,其屈光力约为 43D,约占眼总屈光力(60D)的 70%,其形态的细微改变,即可影响眼的屈光状态、视力及视觉质量。人们对于角膜形态的观察与研究,可以追溯至 400 年前。近年来,随着角膜屈光手术、晶状体屈光手术的广泛开展,硬性透气性角膜接触镜、角膜塑形镜的普遍应用及对圆锥角膜、角膜膨隆、干眼等疾病的深入认识,对于角膜前、后表面形态测量与分析的精确度提出了更高的要求。

得益于 20 世纪 80 年代计算机技术的飞速发展,图像处理与分析精度得到大幅度提升,以 Placido 盘镜面反射为基础的摄像角膜镜,即目前所称的角膜地形图检查系统得以在临床推广应用。其缺点是只能测量角膜前表面的形态,且受泪膜的影响;由于投影的范围所限,不能获得角膜中周部特别是周边部的信息。旋转裂隙光扫描与 Scheimpflug 成像技术可以形成连续的角膜断层扫描图像,重建角膜与眼前段的三维形态,其优点是既能精确分析角膜的前表面形态,又能反映角膜的后表面形态以及测量全角膜厚度。角膜膨隆性疾病如圆锥角膜,通常初始于角膜后表面,因此,角膜后表面形态的检测与动态观察,显得尤为重要。其不足之处在于受测量原理所限,容易受角膜透明度的影响,当角膜混浊时,容易产生测量误差,特别是出现假性角膜后表面膨隆、假性的角膜变薄或不规则形态。

因此,当前的三维角膜地形图测量系统通常结合 Placido 盘镜面反射测量与 Scheimpflug 成像断层扫描技术,取长补短,以精确反映角膜前、后表面形态以及三维眼前段结构。结合基于数据库与特定统计学方法的自动分析软件,三维角膜地形图可提高圆锥角膜诊断的敏感度与特异度,也是角膜屈光手术后疗效观察、分析和随访的重要工具,尤其是那些有视觉质量不佳主诉的病人,通过三维角膜地形图可以较好地找出其存在的问题及可能原因,为后期的进一步处理提供重要的依据。

当然,三维角膜地形图的作用还不限于圆锥角膜的诊断与角膜屈光手术疗效的分析,还可应用于有晶状体眼人工晶状体的选择、人工晶状体度数计算、硬性角膜接触镜的适配、闭角型青光眼的辅助诊断、干眼及其他眼表疾病的诊断等,成为眼科临床医生日常诊疗工作中不可或缺的工具。

感谢本书作者在百忙之中的辛勤付出与无私奉献,他们多数长期从事相关领域的临床、教学与研究工作,具有丰富的临床经验与扎实的理论水平。本书分别以发展历史、基本理论、操作方法、阅图流程、临床应用、案例分析等方面,对三维角膜地形图进行了全面的介绍,帮助广大读者更快地掌握三维角膜地形图的分析与临床应用,更好地为广大病人服务。

当今相关领域的科技发展日新月异,囿于编著者的眼界及水平,书中文字与图片的疏漏及谬误在所难免,在此,特别恳请广大读者批评指正。

陈跃国

2017 年 2 月

# 目 录

<b>第一章   角膜地形检查的发展历史与展望</b> .....	1
第一节 角膜地形图的发展历史与现状.....	1
一、曲率测量方法.....	1
二、角膜断层扫描及高度测量.....	6
第二节 圆锥角膜辅助诊断系统的发展.....	11
一、基于 Placido 盘地形图的常用指标.....	11
二、Pentacam 系统中的几个重要指标.....	12
三、Sirius 系统对于圆锥角膜的诊断.....	13
第三节 展望.....	13
<b>第二章   基于曲率测量的角膜地形图</b> .....	16
第一节 工作原理及相关参数.....	16
一、Placido 盘成像技术.....	16
二、角膜前表面的参考点与参照轴.....	19
三、角膜前表面的形态及相关参数.....	20
第二节 角膜曲率形态的描述及常见类型.....	23
一、常用图形.....	23
二、弧形递进算法.....	27
三、正常基于曲率测量的角膜地形图的常见类型.....	29
第三节 在角膜屈光手术中的应用.....	30
一、角膜屈光手术前评估.....	30
二、角膜地形图个性化引导与疗效评估.....	30
<b>第三章   基于高度测量的角膜地形图</b> .....	35
第一节 基于高度测量地形图技术的发展.....	35
一、历史回顾.....	35

二、Scheimpflug 成像技术 .....	37
第二节 地形图高度的意义 .....	39
一、曲率地形图的缺陷 .....	39
二、断层扫描地形图的概念 .....	39
第三节 最佳拟合球面 .....	41
一、设定参考球面的目的 .....	41
二、高度图的色彩显示 .....	41
三、曲率与高度的关系 .....	42
第四节 高度地形图与相对高度值 .....	43
一、高度地形图的优势 .....	43
二、相对高度参考值范围 .....	43
三、其他参考值 .....	45
四、高度地形图的缺陷 .....	45
第五节 增强型的最佳拟合球面 .....	46
第六节 非球复曲面拟合 .....	49
第七节 参考球面的定位、区域与形态 .....	49
一、定位 .....	49
二、区域与形态 .....	51
第八节 小结 .....	55
<b>第四章   三维角膜地形图仪概述 .....</b>	<b>57</b>
第一节 基于反射技术与基于光学断层扫描技术的优势与局限性 .....	57
一、基于反射技术 .....	57
二、基于断层扫描技术 .....	58
第二节 Placido 盘投影与 Scheimpflug 成像技术的结合 .....	58
一、Scheimpflug 相机如何协助 Placido 盘的测量 .....	58
二、Placido 盘如何协助 Scheimpflug 相机的测量 .....	61
<b>第五章   角膜地形图仪检查要点及注意事项 .....</b>	<b>64</b>
第一节 Placido 盘地形图仪的检查 .....	64
一、小 Placido 锥形盘 .....	64
二、大 Placido 锥形盘 .....	65
第二节 三维角膜地形图仪的检查 .....	66
一、采集质量评估 .....	66
二、泪膜质量评估 .....	67

三、检查重复性评估	68
四、检查操作注意事项	68
第三节 常见问题及解决方法	69
一、固视问题	69
二、眨眼问题	70
三、干眼问题	72
四、眼睑遮挡问题	73
五、睫毛遮挡问题	74
<b>第六章 三维角膜地形图的阅图流程</b>	<b>76</b>
第一节 准备工作与参数设置	76
第二节 图像筛查	78
一、图像质量评估	78
二、图像的重复性	78
三、图像的可信度	78
第三节 标准化阅图流程	79
一、四联图	79
二、圆锥角膜总结图	80
三、高级分析	82
四、双眼对比图	83
五、随访观察	83
六、原始图像	84
第四节 角膜屈光手术前、后的阅图流程	84
一、禁忌证的筛选和评估	84
二、像差及视觉质量分析	84
三、瞳孔直径	85
四、术前术后差异图	86
五、随访观察	87
六、其他参考图	88
第五节 其他应用方面的阅图流程	89
一、有晶状体眼人工晶状体植入术	89
二、角膜接触镜适配阅图流程	89
三、白内障及人工晶状体度数计算	90
四、青光眼总结图	91
五、干眼的阅图	92



<b>第七章</b>	<b>支持向量机原理与分类技术</b>	<b>94</b>
第一节	圆锥角膜诊断方法的发展	94
第二节	支持向量机	95
一、	神经网络与支持向量机的区别	95
二、	支持向量机原理	96
三、	支持向量机分类策略	97
第三节	基于三维角膜地形图的支持向量机分类技术	98
一、	Sirius 三维角膜地形图仪	98
二、	基于支持向量机的角膜形态分类技术	99
第四节	基于支持向量机圆锥角膜分类的临床意义	102
<b>第八章</b>	<b>圆锥角膜与角膜膨隆的筛查与诊断</b>	<b>104</b>
第一节	基于曲率的角膜前表面形态与参数	104
第二节	角膜后表面形态与参数	107
第三节	Sirius 三维角膜地形图的综合分析	111
一、	与圆锥角膜筛查相关的参考指数	111
二、	Sirius 对于圆锥角膜的分析步骤	115
三、	疑似圆锥角膜及圆锥角膜的追踪随访	119
第四节	早期圆锥角膜与角膜膨隆的临床诊断思路	121
第五节	病例分析	127
一、	病例 1	127
二、	病例 2	127
三、	病例 3	130
四、	病例 4	133
<b>第九章</b>	<b>角膜屈光手术后的疗效评价及随访</b>	<b>139</b>
第一节	屈光四联图	139
一、	前表面矢状(轴向)曲率图及切向曲率图	139
二、	角膜厚度图	148
三、	后表面高度图	152
第二节	Scheimpflug 图像	154
一、	角膜混浊	154
二、	角膜层间积液	155

三、上皮植入·····	156
四、角膜基质环植入·····	157
五、放射状角膜切开术后的角膜切口·····	158
六、角膜伤口·····	158
第三节 角膜像差及光学质量分析·····	159
一、像差分析·····	159
二、光学质量分析·····	160
三、术后高阶像差的改变·····	163
四、术后角膜光学质量的分析·····	164
五、不同情况下的角膜光学质量·····	166
<b>第十章   在有晶状体眼人工晶状体植入术中的应用·····</b>	<b>170</b>
第一节 有晶状体眼后房型人工晶状体植入术的发展历史·····	170
第二节 可植入接触镜的适应证及禁忌证·····	172
一、适应证·····	172
二、禁忌证·····	172
第三节 可植入接触镜的术前常规检查·····	172
第四节 三维角膜地形图检查·····	173
一、检查的意义·····	173
二、角膜直径的测量方法·····	174
三、前房深度与房角的测量·····	177
第五节 术后随访观察·····	180
一、拱高·····	180
二、术后前房深度与房角宽度·····	182
第六节 三维角膜地形图辅助复曲面可植入接触镜的设计与定位·····	184
一、复曲面可植入接触镜适应证·····	184
二、确定预矫散光度数与轴向的原则·····	184
三、术前与术中散光轴向的定位·····	185
四、术后位置的稳定性·····	188
<b>第十一章   在硬性角膜接触镜适配中的应用·····</b>	<b>190</b>
第一节 硬性角膜接触镜设计及验配方法·····	190
一、角膜塑形镜的设计·····	190
二、硬性透气性角膜接触镜的设计·····	191

三、硬性角膜接触镜验配方法·····	191
第二节 应用角膜地形图软件指导试戴片的选择·····	191
一、进入工作界面·····	191
二、工具栏·····	192
三、“选择镜片”下拉窗的使用·····	192
四、录入验光结果,计算镜片屈光度·····	193
五、“自定义镜片”下拉窗的使用·····	194
第三节 应用角膜地形图软件验配实例·····	194
一、病例介绍·····	194
二、病例小结·····	199
第四节 自主分析角膜地形图参数选择试戴片·····	199
一、硬性透气性角膜接触镜试戴片的选择·····	200
二、角膜塑形镜试戴片的选择·····	201
<b>第十二章 光线追迹法在角膜屈光术后人工晶状体度数计算中的应用·····</b>	<b>206</b>
第一节 光线追迹法的原理·····	206
第二节 光线追迹法计算角膜屈光术后人工晶状体度数的优势·····	207
第三节 光线追迹计算人工晶状体度的基本方法·····	208
第四节 Sirius 三维角膜地形图光线追迹法测算人工晶状体度的方法·····	209
一、操作步骤·····	209
二、病例介绍·····	211
第五节 光线追迹法在临床应用的效果·····	215
第六节 总结与展望·····	216
<b>第十三章 在青光眼中的应用·····</b>	<b>218</b>
第一节 原发性闭角型青光眼眼前段的相关检查·····	218
第二节 Scheimpflug 技术在原发性闭角型青光眼筛查中的应用·····	219
第三节 眼压校正的应用·····	220
第四节 眼生物力学分析技术在青光眼中的应用·····	221
<b>第十四章 在干眼及其他眼表疾病中的应用·····</b>	<b>224</b>
第一节 泪膜的检查分析·····	224
一、泪膜·····	224
二、三维角膜地形图测量泪膜的原理·····	225

三、测量方法及注意事项·····	225
四、结果评判·····	227
五、临床实例·····	229
第二节 睑板腺功能不良的检查分析·····	230
一、睑板腺与睑板腺功能不良·····	230
二、睑板腺测量原理·····	230
三、测量方法·····	230
四、睑板腺量化分析技术·····	231
五、临床实例·····	232
<b>第十五章   角膜屈光手术前、后病例分析</b> ·····	<b>234</b>
第一节 角膜屈光手术前筛查·····	234
第二节 治疗后检查及术后随访·····	250
<b>汉英对照索引</b> ·····	<b>263</b>

## 角膜地形检查的发展历史与展望

角膜是屈光系统中最重要屈光介质，角膜地形图(topography)的概念源自地质学用于描述地球表面地势高度的“地形图”概念，采用颜色编码的方法，用颜色代表角膜的弯曲度、相对高度和厚度等。传统的“地形图”是指基于 Placido 盘的角膜屈光力图，当前基于角膜断层扫描的系统也常常被称为角膜地形图，两者的界限越来越模糊。

### 第一节 角膜地形图的发展历史与现状

#### 一、曲率测量方法

##### (一) 角膜曲率计(keratometer)

1851年由德国物理学家 Hermann von Helmholtz 发明，用于测量角膜散光，通常测量范围是中央3~3.5mm(图 1-1-1)。

##### (二) 角膜镜(keratoscope)

一百多年前由 Antonio Placido 发明的等距的黑白相间同心圆盘，即 Placido 盘，投射到角膜上，圆心位于第一 Purkinje 反射点，通过观察和测量这些同心圆形态和距离改变，可了解角膜前表面形态特征。例如，球形角膜表现为圆形，规则散光则表现为椭圆环，而波浪状环则提示不规则散光。带有背光照明的 Placido 盘常被称为角膜镜(图 1-1-2)。



图 1-1-1 角膜曲率计



图 1-1-2 Placido 盘

### (三) 角膜地形图

Placido 盘和角膜镜只能对角膜形态做定性观察, 计算机技术的飞跃发展和图像处理能力的提高, 使临床上对角膜图像进行定量分析成为可能。20 世纪 80 年代初, Stephen Klyce 采用计算机对 Placido 盘的角膜映像进行了定量分析, 并用颜色编码的形式表示, 从此开创了“角膜地形图”的时代。角膜地形图系统测量范围是几乎涵盖整个角膜表面的数千至数万个点, 提供了整个角膜表面的形态数据。

角膜地形图由 Placido 盘投射系统、图像采集系统和测量分析软件三部分组成。早期的基于 Placido 盘的角膜地形图仪有 LSU Corneal Topographic System (LSUCTS)、Topographic Modelling System (TMS)、EyeSys 2000 等(图 1-1-3, 图 1-1-4)。



图 1-1-3 TMS-1 角膜地形图仪

基于 Placido 盘的角膜地形图直接测量的是角膜前表面弯曲度, 对于角膜表面隆起的高度则无法直接测量, 只能间接推算, 而推算过程中可能出现误差。20 世纪 90 年代曾出现过一种 PAR CTS 地形图系统, 采用照相测量技术, 通过对投射到角膜表面的格栅用立体三角法进行点对点测量, 从而直接获得角膜的高度数据, 并可由此推算角膜前表面的屈光力(图 1-1-5, 图 1-1-6)。与基于 Placido 盘的角膜地形图仪不同, PAR CTS 不易受泪膜质量和测量时对焦准确度的影响。但后来由于各种原因, 这种地形图系统在临床上未得到广泛应用。



图 1-1-4 EyeSys 2000 角膜地形图仪

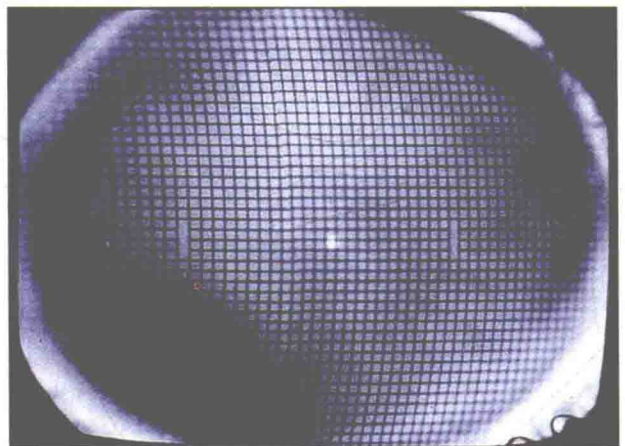


图 1-1-5 PAR CTS 地形图投射到角膜表面的格栅

30 年来, 市场上出现了许多基于 Placido 盘的角膜地形图仪, 原理基本相同, 但从所用的 Placido 锥形盘可分为大锥和小锥两大类。大锥的优点是工作距离较大, 不易受到对焦精度的影响, 但覆盖角膜面积稍小, 易受到鼻梁遮挡, 虽然有些系统用插值外推的方法得出貌似完整的图像, 但这部分的数据是不准确的, 所以, 有必要时应查看原始图像。在临床使用的大多数情形下, 两者在实际应用中差别不大。有些系统采用大小锥结合的方法, 尽可能减少各自的局限性。

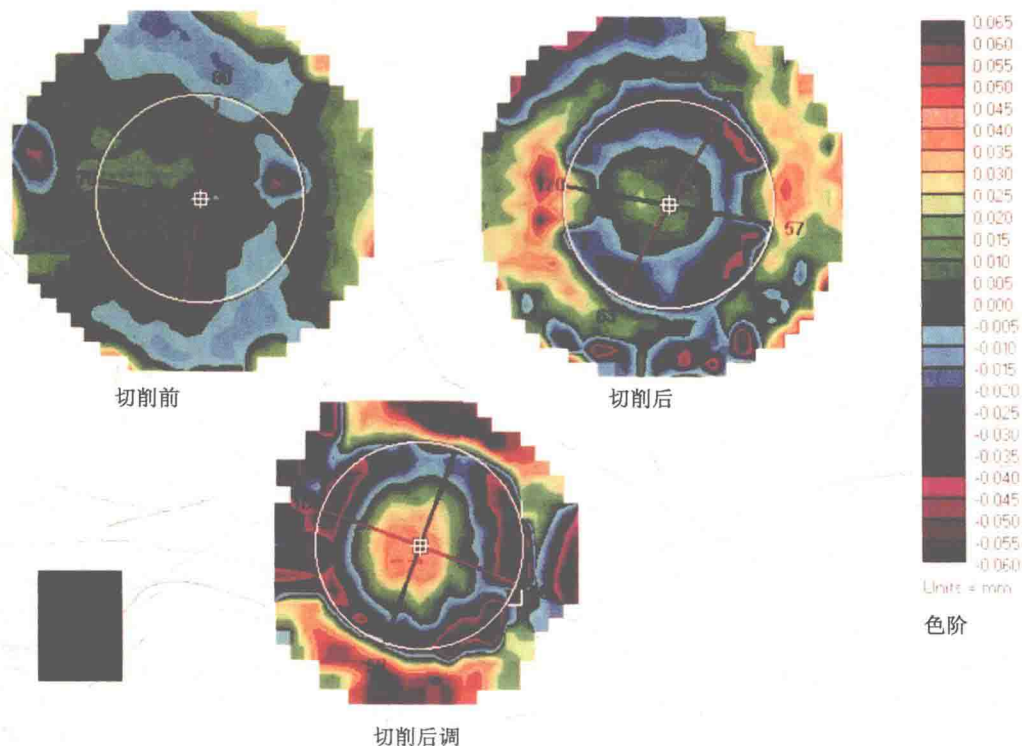


图 1-1-6 PAR CTS 角膜地形图

以下是目前临床上比较有代表性的基于 Placido 盘的角膜地形图系统：

1. TMS 系列 从最早的 TMS-1 发展到 TMS-5。早在 20 世纪 80 年代，TMS-1 是角膜地形图的“金标准”之一，许多指标都是基于这个系统的，TMS-4 是眼科常用地形图仪之一（图 1-1-7）。



图 1-1-7 TMS-4 角膜地形图仪

2. Keratron 系列 基于 Placido 盘原理，由于采用独特的“弧形递进算法(arc-step algorithm)”，角膜曲率和高度数据精确度得到提高，可达  $1\mu\text{m}$ 。产品除标准型的 Keratron 地形图外，还有以下型号：

(1) Keratron Onda: 整合了波前像差仪功能，可测全眼像差和动态瞳孔大小。

(2) Keratron Scout: 小型化设计的 Keratron 地形图，可安装在裂隙灯上或手持使用。

(3) Keratron Piccolo: 具备 Keratron 地形图的全部功能，可安装在大多数裂隙灯上，价格相对低廉（图 1-1-8）。

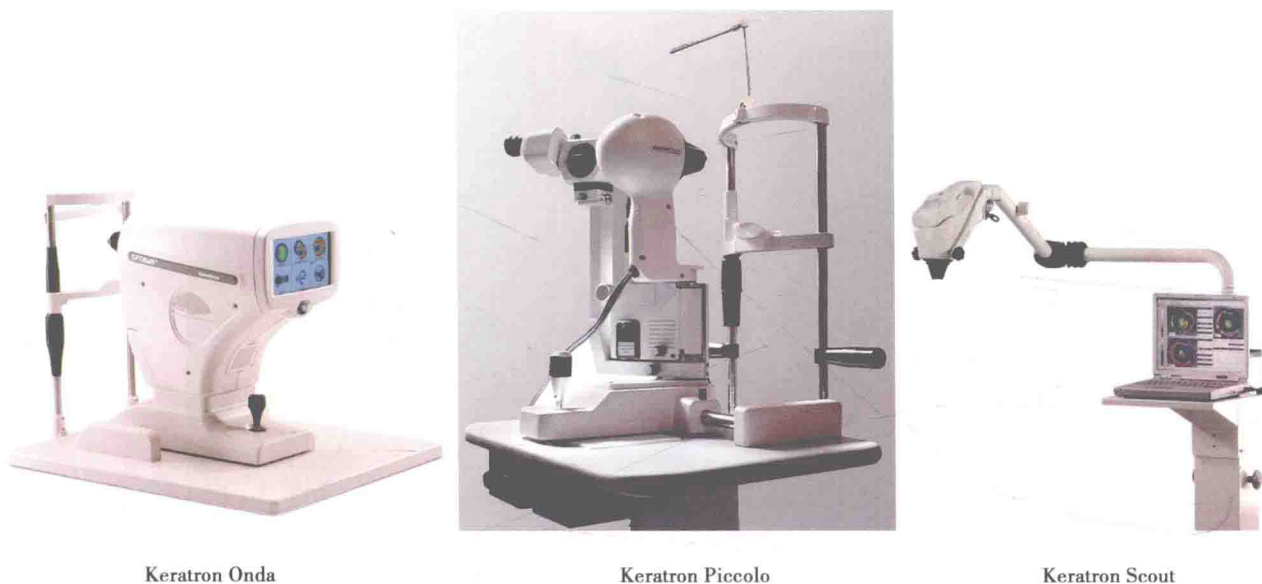


图 1-1-8 Keratron 角膜地形图系列

3. Keratograph 5M 基于 Placido 盘的角膜地形图仪,其特点是整合了眼表功能分析系统,包括睑板腺功能、无创的泪膜破裂时间检查、泪河高度、泪膜脂质层评估等(图 1-1-9)。



图 1-1-9 Oculus Keratograph 5M

4. Atlas 采用 Arc-Step 算法,提高了测量精度。除角膜曲率数据外,还提供高度图、角膜像差、点扩散函数、调制传递函数等(图 1-1-10)。



图 1-1-10 Zeiss Atlas



5. OPD-Scan “多合一”角膜分析系统,包括基于 Placido 盘的角膜地形图仪、像差仪、自动验光仪、瞳孔计等(图 1-1-11)。其像差检测采用光程差原理,可显示总像差、角膜像差和眼内像差。



图 1-1-11 OPD-Scan

6. MODI2 精准角膜地形图 MODI 系列,目前为第二代。集成了角膜地形图,瞳孔测量,睑板腺功能检查,塑形镜适配等多项功能。MODI2 可与 CSO 的裂隙灯 SL990N 和干眼光源 Polaris 组成干眼检查 MSP 系统,具有干眼检查与分析功能(图 1-1-12)。



图 1-1-12 MODI2 角膜地形图 /MSP 干眼检查平台

7. Antares 基于 Placido 盘的地形图仪及干眼诊断系统,集成了地形图以及干眼门诊筛查功能,如:非侵入式的 BUT 检查、睑板腺红外照相、泪河高度、脂质层观察、眼表染色检查等(图 1-1-13)。

此外,针对基于 Placido 盘的角膜地形图仪存在的缺陷,市场上还有一些采用独特测量技术的产品。例如 Cassini 多彩 LED 角膜形态分析系统,采用多彩 LED 阵列投射到角膜前表面,并对其图像进行点对点光线追迹分析,可获得 10mm 范围内角膜前表面曲率和高度数据,特别是可准确测量角膜总散光值及轴向(图 1-1-14)。与传统 Placido 盘不同,在泪膜质量不良或角膜不规则的情形下亦可获得较准确的测量数据。