·综 述·

泪河形态评估方法研究进展

刘文琪 冯珺 接英
首都医科大学附属北京同仁医院 北京同仁眼科中心 北京市眼科研究所 北京市眼科学与视觉科学重点实验室，北京 100730
通信作者：接英，Email：jie_yingcn@aliyun.com

【摘要】 泪河形态的准确评估对干眼的诊断和治疗具有重要意义。研究表明，泪河参数的测量受多种因素影响；随着光学相干断层扫描和眼表综合分析仪等先进设备的引入，泪河参数的测量变得更加精确。此外，人工智能技术的应用，为泪河形态的全自动分析开辟了新路径，提高了测量的效率和准确性。本文系统回顾了泪河参数的测量方法，包括泪河高度、泪河曲率、泪河面积和泪河体积，并阐述了这些参数在干眼诊断中的应用价值。未来，泪河参数评估将向更加自动化、精准化的方向发展，泪河形态评估技术的进步将有助于更好地理解干眼的病理生理机制，推动个性化治疗策略的发展，从而提高患者的生活质量。

【关键词】 泪河形态评估；泪河参数；动态泪河；人工智能
基金项目： 国家自然科学基金（81970764）；青年北京学者计划（022）；首都卫生发展科研专项重点攻关项目（首发2022-1-1081）；北京市医院管理局“登峰”计划专项（DFL20240202）
DOI：10.3760/cma.j.cn115989-20241129-00328

Advances in morphological assessment methods for tear meniscus

Liu Wenqi, Feng Jun, Jie Ying
Beijing Tongren Eye Center, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing Institute of Ophthalmology, Beijing Key Laboratory of Ophthalmology & Visual Sciences, Beijing 100730, China
Corresponding author: Jie Ying, Email: jie_yingcn@aliyun.com

[Abstract] Accurate assessment of tear meniscus morphology is critical for the diagnosis and treatment of ocular surface diseases such as dry eye disease. It has been found that the measurement of tear meniscus parameters is affected by a variety of factors and has become more accurate with the introduction of advanced equipment such as optical coherence tomography and comprehensive ocular surface analysers. In addition, the application of artificial intelligence and deep learning technologies has opened up new possibilities for fully automated analysis of tear meniscus morphology, improving the efficiency and accuracy of measurements. This paper systematically reviews the various methods of measuring tear meniscus parameters, including height, radius, area, and volume, and the value of these parameters in the diagnosis of dry eye disease. The assessment of tear meniscus parameters will become more automated and precise, and the advancement of tear meniscus morphology assessment technology will contribute to a better understanding of the pathophysiological mechanisms of dry eye disease and promote the development of personalized therapeutic strategies, thereby improving the quality of life of patients.

[Key words] Tear meniscus morphological assessment; Tear meniscus parameters; Dynamic tear meniscus; Artificial intelligence
Fund program: National Natural Science Foundation of China (81970764); The Youth Beijing Scholars program (022); Capital Health Research and Development of Special (2022-1-1081); Beijing Hospitals Authority's Ascent Plan (DFL20240202)
DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20241129-00328

泪河是位于眼睑边缘与眼球之间的弯月面液体层，可分为上泪河与下泪河。上、下泪河在外眦及内眦处汇合。单条泪河呈楔体状，矢状面为三角形。瞬目将上、下泪河中的泪液重新分布，并促进泪液排出；泪河在瞬目的睁眼过程中形成，负的静水压力使泪河呈现凹陷的外表面，并阻止水液流向泪小点。睁眼动作完成后，泪河与泪膜分离，该现象在荧光素标记泪液时表现为“黑线”。泪河占泪液总量的75%~90%[1]。在临床实践中，相较于上泪河，下泪河不受睫毛的遮挡，更易于观察和测

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

量，测量的一致性也更高[2]。因此，临床评估多聚焦于下泪河。下泪河高度（lower tear meniscus height，LTMH）是干眼的诊断标准之一，结膜松弛症的分级也常通过比较松弛结膜褶皱高度与LTMH完成[3]。实际上，除LTMH外，其他泪河形态的评估方法也已被广泛研究。本文旨在综述泪河形态评估方法的研究进展，通过系统回顾现有评估技术，以期为临床实践提供参考，并为进一步改进泪河形态评估方法指明方向。

1　泪河高度

泪河高度（tear meniscus height，TMH）是指泪河中央在冠状位的垂直高度，一定程度上能够反映泪液量。通常所指TMH为LTMH，即瞳孔中心正下方的TMH。TMH降低是干眼患者的常见特征，但其特异性受个体差异和技术的影响[4-5]。目前已有多种设备和方法可测量TMH，包括裂隙灯显微镜、光学相干断层扫描（optical coherence tomography，OCT）、眼表综合分析仪等。不同方法测得的TMH值差异见表1。

1.1　裂隙灯显微镜测量

裂隙灯显微镜是测量LTMH的经典方法，医师可直接利用裂隙灯光带宽度估算，或通过裂隙灯显微镜内置测量刻度估计，亦或使用裂隙灯照相系统拍摄泪河图像进行后续分析。裂隙灯显微镜可从2个角度观察泪河：（1）正面　裂隙灯显微镜观察角度多为正面，测得正常人中LTMH均值为0.21~0.31 mm[7-9]。（2）侧面　当从侧面观察时，TMH均值可升高至0.46 mm[6]，这是由于从正面观察到的是泪河轮廓的光学分界，而从侧面能观察到沿睑缘和眼表面分布的泪河实际边缘。

另外，裂隙灯显微镜测量TMH可分为不使用荧光素钠溶液与使用荧光素钠溶液对泪河进行染色2种方式。应用荧光素钠染色可使泪河边界更清晰，但目前大部分研究者认为其会引起反射性泪液分泌，影响测量结果[1]。也有研究结果表明，应用荧光素钠染色并不会使TMH测量值增高[7]。随着泪河评估技术的迭代更新，裂隙灯显微镜测量TMH的应用逐渐减少。新的技术可以在避免使用荧光素钠的同时，清晰观察泪河边缘并得出精确数据。

1.2　OCT

OCT是一种非侵入性、高分辨率的成像技术，可于矢状面同时对上、下泪河进行成像。OCT的设备类型繁多，主要分为时域OCT（time-domain optical coherence tomography，TD-OCT）和频域OCT（frequency-domain optical coherence tomography，FD-OCT）2

表1　不同测量方法下正常人群与干眼患者的LTMH值

参考文献	观察角度	是否染色	设备	分析方法	LTMH（$\bar{x}\pm s$，mm）	
					正常组	干眼组
Mainstone等[6]	侧面	是	裂隙灯显微镜	软件分析	0.46±0.17	0.24±0.09
García-Resúa等[7]	正面	是	裂隙灯显微镜	软件分析	0.27±0.11	
García-Resúa等[7]	正面	否	裂隙灯显微镜	软件分析	0.25±0.08	
Ibrahim等[8]	正面	否	裂隙灯显微镜	目镜刻度尺测量	0.31±0.20	0.15±0.07
Imamura等[9]	正面	否	裂隙灯显微镜	目镜刻度尺测量	0.21±0.05	
Shen等[2]	侧面	否	TD-OCT	软件分析	0.19±0.02	0.14±0.02
Ibrahim等[8]	侧面	否	TD-OCT	软件分析	0.40±0.17	0.25±0.08
Czajkowski等[10]	侧面	否	SD-OCT	软件分析	0.34±0.11	0.20±0.08
Chen等[11]	侧面	否	SD-OCT	软件分析	0.37±0.06	0.27±0.04
Arriola-Villalobos等[12]	侧面	否	SD-OCT	软件分析	0.25±0.07	
Wang等[13]	侧面	否	SD-OCT	软件分析	0.38±0.12	0.20±0.04
Soares等[14]	侧面	否	SD-OCT	软件分析	0.27±0.16	
Imamura等[9]	侧面	否	SS-OCT	软件分析	0.33±0.09	
Akiyama等[15]	侧面	否	SS-OCT	软件分析	0.26±0.06	0.18±0.05
Fukuda等[16]	侧面	否	SS-OCT	软件分析	0.26±0.06	
Chen等[11]	正面	否	K5M	软件分析	0.34±0.05	0.24±0.03
Arriola-Villalobos等[12]	正面	否	K5M	软件分析	0.24±0.06	
Wang等[13]	正面	否	K5M	软件分析	0.29±0.07	0.18±0.07
Soares等[14]	正面	否	K5M	软件分析	0.29±0.16	
Tian等[17]	正面	否	K5M	软件分析	0.27±0.12	0.22±0.07

注：LTMH：下泪河高度；TD-OCT：时域光学相干断层扫描；SD-OCT：光谱光学相干断层扫描；SS-OCT：扫频光学相干断层扫描；K5M：Keratograph 5M眼表综合分析仪

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

种。相较于TD-OCT，FD-OCT因其高分辨率和成像速度，可获取更精细的泪河数据，在评估TMH方面也更有优势[18]。

FD-OCT又分为光谱OCT（spectral-domain OCT，SD-OCT）和扫频OCT（swept source OCT，SS-OCT）。与SD-OCT相比，SS-OCT的扫描速度更快，扫描面积更大，能更好地检测到深层信号[18]。目前文献报道，使用各类型OCT测量健康成人的LTMH范围为0.19~0.40 mm，而干眼患者的LTMH值为0.14~0.27 mm[2,8-10,12]。OCT获取的TMH值通常高于裂隙灯显微镜测量结果，我们认为这是由OCT与裂隙灯显微镜的观测角度不同所致。不同类型OCT测量TMH也存在差异，这可能与其扫描方式、光源类型和成像模式有关[12]。其中TD-OCT由于分辨率和精度较低，其测量的TMH值差异较大。

研究显示FD-OCT的可重复性优于TD-OCT[12]。若将LTMH作为干眼的诊断指标，TD-OCT的测量值显示出67.0%的灵敏度和81.0%的特异性[8]，而SD-OCT的敏感性和特异性分别为80.5%和89.3%[10]。相比于裂隙灯显微镜，OCT能够同时显示上、下泪河边界，并精准测量LTMH与上TMH。且OCT使用的是不可见的低相干光源，不会引起反射性泪液分泌。OCT用于测量TMH具有较好的可重复性，其结果相对客观准确，但处理图像时仍需研究人员手动确定泪河边界，因此尚存在一定的主观偏倚[19]。

1.3 眼表综合分析仪

眼表综合分析仪是一种集成多种功能的诊断设备，常用于全面评估眼表状态，其中可用于泪河参数测量的有IDRA眼表分析仪（意大利SBM SISTEMI公司）、Tearcheck（法国E-Swin公司）、Keratograph 5M（以下简称K5M，德国Oculus公司）等[20]。K5M是较为常见的眼表综合分析仪，在白光或红外光下对泪河进行成像，成像后可利用内置的软件工具计算LTMH。与OCT相同，K5M也需要操作者手动确定泪河边界。K5M测量的LTMH在健康人群中为0.24~0.37 mm，干眼患者中为0.18~0.24 mm[13-14,17,21]。

有研究比较了K5M与FD-OCT测量TMH的差异，二者均显示出对干眼良好的诊断性能，其中K5M与OCT的截断值分别为0.29、0.32 mm，曲线下面积分别为0.971、0.923（P<0.001）[11]。尽管K5M对于干眼的诊断具有明显优势，但其测量重复性低于FD-OCT[11]。Yin等[21]的研究中同样指出了K5M测量TMH的低可重复性。使用K5M测量TMH的操作者内可靠性为89.3%，而OCT的可靠性可达到98.9%[14]。另有研究显示K5M诊断轻度干眼的能力劣于OCT，这可能是由于K5M获取的图像分辨率相对于OCT较低，不能准确捕捉到TMH的变化[13]。

总体而言，K5M可在获取的图像上半自动识别并测量TMH，且具有可接受的重复性[14]。K5M操作简单快速，适用于干眼的筛查，但不同操作者使用K5M测量的TMH变异率较大。OCT虽操作难度高于K5M，但可提供更高分辨率的图像与更细微的眼表结构细节。

2 泪河曲率

泪河曲率是指泪河前表面的弯曲程度，通常用泪河曲率半径（tear meniscus radius，TMR）量化表示。TMR越大说明泪河表面越平坦，反之则越弯曲。Yokoi等[22]通过滴注平衡盐溶液增加泪液量，证实了TMR与泪液体积的线性关系。但需要注意的是，TMR相同并不意味着泪液体积相同。另一项研究发现滴入0.5%羧甲基纤维素钠后瞬间，尽管泪液总量增加，TMR值却降低[23]。基于Young-Laplace方程分析，得出TMR与表面张力呈正相关，而表面张力与泪液组成有关[24]，提示TMR与泪液成分直接相关，而与泪液体积间接相关，且泪液渗透压仅与TMR相关，而与其他泪河参数均无关。泪液渗透压会影响泪膜的稳定性，泪液高渗也是干眼重要的特征之一[4,25]。因此，TMR能够作为反映泪膜稳定性和眼表状态的参数。

既往研究显示，TMR与TMH存在显著的正相关性，两者对干眼都具有良好的诊断准确性[2]。与TMH相比，TMR更多反映了泪河的形态和眼表状态，这一特征使得TMR在评价滴眼液效果方面更具参考价值。滴注滴眼液后，泪河体积会在短时间内恢复至基线水平，但TMR可呈现较基线的长期变化，更有助于评估滴眼液对于眼表状态的改善作用[23]。

TMR的测量方法可大致分为2种：一种是垂直于眼表即从侧面测量，通常使用裂隙灯显微镜或OCT获取眼表的横截面图像，然后根据泪河边界确定TMR[6,26]。另一种是使用相机从正面非侵入性测量下泪河TMR的方法——反射性泪河测量法，是通过泪河的凹面镜特性，根据条纹反射在泪河上的宽度间接计算出下泪河TMR[22]。从侧面测量TMR由于直接观测到泪河的表面轮廓，测量值更直观准确，但可能会受到睑缘不规则造成的干扰。OCT测得的健康人下泪河TMR为0.238~0.259 mm，干眼患者为0.150~0.153 mm[2,26-27]。而反射性泪河测量仅利用泪河的光学特性间接测量，不会受到睑缘干扰，但其成像会受光线及泪液透明度的影响，其测量的对照组下泪河TMR为0.365 mm，干眼组为0.220 mm[22,28]。

3 泪河面积

泪河面积（tear meniscus area，TMA）是指泪河中央矢状面的横截面面积，即泪河前表面与球结膜表面之间区域的面积。使用裂隙灯显微镜或OCT从侧面获取泪河的横截面图像，绘制泪河的边界即可计算出TMA[6,10]。部分研究会将图像中测得的TMA除以平衡盐溶液的折射率（1.343），以校正空气-泪河界面处的折射影响[15-16]。

TMA属于二维参数，相较于TMH、TMR等一维参数，其能够更精准地评估泪液量，提供更多泪河信息[15]。Czajkowski等[10]报道了TMA与Schirmer试验的高相关性。在采用不同OCT设备测量时，TMA均显现出比TMH更高的干眼诊断准确度[16,29]。然而，TMA的测量重复性低于TMH，这可能与TMA涉及多个变量相关，导致其测量值更易受干扰[15]。临床中，TMA常与TMH联合用于评价手术或药物治疗后的泪液状态[30]。

4 泪河体积

由于上泪河的测量受到睫毛干扰，且上泪河体积较小，临床研究通常仅测量下泪河体积（tear meniscus volumes，TMV）。

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

TMV属于三维参数，其数值相对难以测量。传统的TMV通过TMA乘平均眼睑长度计算得出。由于下眼睑呈弯曲状，实际泪河长度需要用眼睑长度乘系数1.294得出。但是该方法存在较大误差，因为眼睑长度存在个体差异，且泪河的横截面积在不同位置也会有变化。Fukuda等[16]研究发现，泪河横截面积在瞳孔中心的切面最大，向周边逐渐减小。而SS-OCT可通过连续采集多张泪河图像实现对泪河的三维重建，能够准确量化出TMV。由于周边部泪河横截面积较小、轮廓不清晰，SS-OCT仅对中央部TMV进行量化[15-16]。TMV是与泪液量最直接相关的参数，但由于其测量过程相对复杂，通常会采用其他相关性强的泪河参数作为替代指标。

5　泪河参数的动态变化

5.1　瞬目对泪河参数的影响

瞬目是一种快速的眼睑开合运动，单次瞬目可在100 ms内完成。瞬目运动由三叉神经第一支眼神经作为感觉支接受刺激，通过中间神经元激活面神经核，最终由面神经支配眼轮匝肌收缩完成动作。2004年，Yokoi等[22]即发现瞬目会对泪河造成影响。TMR在睁眼过程中变小，而保持睁眼时增加。这是由于在睁眼过程中，上睑将泪河中的液体带入泪膜，保持睁眼状态时，泪膜中的水液成分可借助流体压力又回流至泪河。TMH的变化同样与上睑的纵向运动相关[31]。研究发现TMH随瞬目呈现周期性变化。睁眼状态下TMH逐渐升高，但升高速率随时间延长逐渐下降[32]。2007年，Palakuru等[33]采用OCT更加详细地观察到了泪膜及泪河随瞬目的变化，该研究同时探究了正常人自发瞬目和自主瞬目2种情况。受试者自发瞬目的平均瞬目间隔为5 s，自主瞬目则要求受试者主动延长瞬目间隔至20 s。研究录制每种瞬目模式的2次瞬目视频，分析瞬目前后各1 s内的8张图片。结果显示，保持睁眼状态时，泪河各参数均增加。此外，相较于自发瞬目，延迟瞬目使LTMH、泪河横截面面积及TMV在睁眼状态下高于正常瞬目[34]。这可能是由于延迟瞬目造成了反射性流泪和泪液排出减少。Coroneo等[35]使用高分辨红外实时泪膜动态成像，发现泪膜铺展速度与TMH呈正相关，由于TMH是泪液体积的间接指标，更充足的泪液量为泪膜扩散提供了必要基础。水液缺乏型干眼患者的TMH较正常人低，且无论是正常瞬目或延迟瞬目，其睁眼过程中TMH的增加幅度均更小，提示泪河参数的动态变化可作为部分疾病的特征性指标之一[32]。

5.2　测量时间点对泪河参数的影响

正常人TMH会随着昼夜节律而发生周期性变化。相较于上泪河，下泪河的变化更显著。睡前TMH显著低于晨起水平[36]。但晨起睁眼30 min后至睡前，TMH无明显大范围波动。干眼患者的日间泪河参数变化也相对处于动态平衡状态[37]。同时，连续2 d同一时刻测量的泪河参数无明显差异[33,36]。

6　泪河全自动分析方法

由人工或半自动软件评估图像中的定量参数时往往会耗费大量时间，且存在操作者偏倚[4]。为了实现图像分析的全自动化，2019年，Yang等[38]基于多阈值分割和连接组件标记等算法对裂隙灯显微镜下的荧光素钠泪河照片进行图像处理，开发了TMH自动测量软件Tear Meniscus Identification Software。该软件的准确性显著优于裂隙灯显微镜下的估算值，与真实值（ImageJ软件标注值）高度一致，但测量需要通过荧光素钠染色增强TMH图像的可视化。

随着人工智能（artificial intelligence，AI）的发展，AI技术也应用于泪河全自动分析领域。目前AI对泪河参数的分析主要通过深度学习来实现。深度学习是一种机器学习技术，通过多层神经网络来模拟人类大脑处理数据的方式，从而能够从大量数据中学习复杂的模式。

2019年，Stegmann等[39]采用自定义OCT系统结合基于阈值的分割算法来自动分析下泪河。基于此，2020年Stegmann等[40]开发了一个深度学习模型，将单个图像分割的速度提高了228倍，同时显示出在分析不规则泪河图像中的优势。随后，基于K5M获取的泪河图像，研究人员开发了多种深度学习模型（如CNN和U-net等）用于TMH的全自动分析，这些模型在分割泪河任务中交并比达到了82.5%~89.6%[41-43]。2025年Zhang等[44]构建的深度学习模型在TMH自动测量中实现了测试集交并比92.8%，并通过独立外部验证图像显示其良好的泛化能力与临床适用性，Wang等[45]的研究在测试集实现了交并比95.7%的高精度，并进行了5个中心的验证研究，初步证实了其跨区域、跨模态的泛化能力。Nejat等[46]开发了一种仅需智能手机闪光灯拍摄的深度学习算法，通过U-Net+MobileNetV2架构进行眼部分割，以虹膜直径为参考自动测算TMH，整体检测准确率达95.39%。这种检测方法无需额外临床设备，为干眼的居家筛查与远程管理提供了低成本、易普及的解决方案。

AI在测量泪河参数方面的应用是眼科领域的重要进展，这种客观高效的方式可在大规模的眼科筛查中起到重要作用。AI可将多种不同格式的数据结合起来，以进行更全面、深入的眼表评估，有助于提高干眼等疾病诊断的准确性。随着AI技术的不断进步，未来会有更智能化、更准确的全自动化眼表疾病诊断识别模式，这也是未来的重点研究方向。

7　展望

随着泪河形态评估技术的进步，泪河在干眼的诊断及其严重程度的评估中发挥着更加关键的作用。泪河形态学参数，如TMH、TMR、TMA和TMV，已显示出评估干眼状态的重要价值。与泪河相关的指标还包括泪河周转率、泪河混浊度等。需要注意的是，泪河形态受多种因素影响。例如白光刺激可增加泪液分泌；松弛的球结膜堆积会影响泪河流畅性；睑缘不规则会导致泪河扭曲或不连续；泪道异常及眼睑形态异常（如睑外翻）也会引起泪河形态改变。期待未来有更多的高质量临床研究，验证泪河形态参数在干眼诊断中的应用价值，并为临床实践提供更有力的科学依据。这些研究将有助于确立泪河参数作为干眼诊断与评估的标准化工具，进而推动个性化治疗策略的发

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

展，最终改善患者的生活质量。随着AI和深度学习技术在医学影像分析领域的不断进步，可以预见泪河形态评估将朝着更加自动化、精准化的方向发展。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] Niedernolte B, Trunk L, Wolffsohn JS, et al. Evaluation of tear meniscus height using different clinical methods[J]. Clin Exp Optom, 2021, 104(5): 583-588. DOI: 10.1080/08164622.2021.1878854.

[2] Shen M, Li J, Wang J, et al. Upper and lower tear menisci in the diagnosis of dry eye[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2009, 50(6): 2722-2726. DOI: 10.1167/iovs.08-2704.

[3] 韩竹梅, 张兴儒. 结膜松弛症研究进展[J]. 国际眼科纵览, 2011, 35(6): 394-399. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-5803.2011.06.008.

[4] Wolffsohn JS, Benítez-Del-Castillo JM, Loya-Garcia D, et al. TFOS DEWS Ⅲ: diagnostic methodology[J]. Am J Ophthalmol, 2025, 279: 387-450. DOI: 10.1016/j.ajo.2025.05.033.

[5] 吴元, 吴海龙, 李海丽, 等. OCT前节模块测量的上下泪河数值与干眼的相关性[J]. 中华实验眼科杂志, 2014, 32(6): 541-545. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2014.06.013.
Wu Y, Wu HL, Li HL, et al. Correlation between measurement of tear meniscus by anterior segment module of OCT with dry eye signs and symptoms[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2014, 32(6): 541-545. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2014.06.013.

[6] Mainstone JC, Bruce AS, Golding TR. Tear meniscus measurement in the diagnosis of dry eye[J]. Curr Eye Res, 1996, 15(6): 653-661. DOI: 10.3109/02713689609008906.

[7] García-Resúa C, Santodomingo-Rubido J, Lira M, et al. Clinical assessment of the lower tear meniscus height[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2009, 29(5): 487-496. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2009.00634.x.

[8] Ibrahim OM, Dogru M, Takano Y, et al. Application of visante optical coherence tomography tear meniscus height measurement in the diagnosis of dry eye disease[J]. Ophthalmology, 2010, 117(10): 1923-1929. DOI: 10.1016/j.ophtha.2010.01.057.

[9] Imamura H, Tabuchi H, Nakakura S, et al. Usability and reproducibility of tear meniscus values generated via swept-source optical coherence tomography and the slit lamp with a graticule method[J]. Int Ophthalmol, 2018, 38(2): 679-686. DOI: 10.1007/s10792-017-0517-3.

[10] Czajkowski G, Kaluzny BJ, Laudencka A, et al. Tear meniscus measurement by spectral optical coherence tomography[J]. Optom Vis Sci, 2012, 89(3): 336-342. DOI: 10.1097/OPX.0b013e318242042b.

[11] Chen M, Wei A, Xu J, et al. Application of Keratograph and Fourier-domain optical coherence tomography in measurements of tear meniscus height[J]. J Clin Med, 2022, 11(5): 1343. DOI: 10.3390/jcm11051343.

[12] Arriola-Villalobos P, Fernández-Vigo JI, Díaz-Valle D, et al. Assessment of lower tear meniscus measurements obtained with Keratograph and agreement with Fourier-domain optical-coherence tomography[J]. Br J Ophthalmol, 2015, 99(8): 1120-1125. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2014-306453.

[13] Wang Y, Xu Z, Gong Q, et al. The role of different tear volume detection methods in the evaluation and diagnosis of mild dry eye disease[J]. Transl Vis Sci Technol, 2022, 11(3): 15. DOI: 10.1167/tvst.11.3.15.

[14] Soares I, Ramalho E, Brardo FM, et al. Tear meniscus height agreement and reproducibility between two corneal topographers and spectral-domain optical coherence tomography[J]. Clin Exp Optom, 2025, 108(4): 430-436. DOI: 10.1080/08164622.2024.2341833.

[15] Akiyama R, Usui T, Yamagami S. Diagnosis of dry eye by tear meniscus measurements using anterior segment swept source optical coherence tomography[J]. Cornea, 2015, 34 Suppl 11: S115-120. DOI: 10.1097/ICO.0000000000000583.

[16] Fukuda R, Usui T, Miyai T, et al. Tear meniscus evaluation by anterior segment swept-source optical coherence tomography[J]. Am J Ophthalmol, 2013, 155(4): 620-624. DOI: 10.1016/j.ajo.2012.11.009.

[17] Tian L, Qu JH, Zhang XY, et al. Repeatability and reproducibility of noninvasive Keratograph 5M measurements in patients with dry eye disease[J]. J Ophthalmol, 2016, 2016: 8013621. DOI: 10.1155/2016/8013621.

[18] Lange AP, Sadjadi R, Saeedi J, et al. Time-domain and spectral-domain optical coherence tomography of retinal nerve fiber layer in ms patients and healthy controls[J]. J Ophthalmol, 2012, 2012: 564627. DOI: 10.1155/2012/564627.

[19] 林晨, 翁景宁, 喻碧莺. 利用模型探讨泪河的光学相干断层图像特征[J]. 中华实验眼科杂志, 2008, 26(8): 602-605. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2008.08.012.
Lin C, Weng JN, Yu BY. Findings of optical coherence tomography of tears meniscus under the manual model[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2008, 26(8): 602-605. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2008.08.012.

[20] De Luca A, Ferraro A, De Gregorio C, et al. Promising high-tech devices in dry eye disease diagnosis[J]. Life (Basel), 2023, 13(7): 1425. DOI: 10.3390/life13071425.

[21] Yin Chan K, Liao X, Guo B, et al. Ocular surface parameters repeatability and agreement -a comparison between Keratograph 5M and IDRA[J]. Cont Lens Anterior Eye, 2024, 47(6): 102281. DOI: 10.1016/j.clae.2024.102281.

[22] Yokoi N, Bron AJ, Tiffany JM, et al. Relationship between tear volume and tear meniscus curvature[J]. Arch Ophthalmol, 2004, 122(9): 1265-1269. DOI: 10.1001/archopht.122.9.1265.

[23] Napoli PE, Satta GM, Coronella F, et al. Spectral-domain optical coherence tomography study on dynamic changes of human tears after instillation of artificial tears[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2014, 55(7): 4533-4540. DOI: 10.1167/iovs.14-14666.

[24] Yeter V, Koçak N, Kalyoncu M, et al. The relationship of tear osmolarity with tear meniscus curvature and contact angles in healthy subjects: anterior segment optical coherence tomography study[J]. Int Ophthalmol, 2022, 42(1): 261-268. DOI: 10.1007/s10792-021-02022-6.

[25] Xu X, Li G, Zuo YY. Biophysical properties of tear film lipid layer I. Surface tension and surface rheology[J]. Biophys J, 2022, 121(3): 439-450. DOI: 10.1016/j.bpj.2021.12.033.

[26] Wang J, Aquavella J, Palakuru J, et al. Relationships between central tear film thickness and tear menisci of the upper and lower eyelids[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2006, 47(10): 4349-4355. DOI: 10.1167/iovs.05-1654.

[27] Li J, Shen M, Wang J, et al. Clinical significance of tear menisci in dry eye[J]. Eye Contact Lens, 2012, 38(3): 183-187. DOI: 10.1097/ICL.0b013e318252ce0c.

[28] Oguz H, Yokoi N, Kinoshita S. The height and radius of the tear meniscus and methods for examining these parameters[J]. Cornea, 2000, 19(4): 497-500. DOI: 10.1097/00003226-200007000-00019.

[29] Qiu X, Gong L, Sun X, et al. Age-related variations of human tear meniscus and diagnosis of dry eye with Fourier-domain anterior segment optical coherence tomography[J]. Cornea, 2011, 30(5): 543-549. DOI: 10.1097/ICO.0b013e3181fb84ea.

[30] Taniguchi A, Yunoki T, Oiwake T, et al. Association between tear meniscus dimensions and higher-order aberrations in patients with surgically treated lacrimal passage obstruction[J]. Int Ophthalmol, 2023, 43(4): 1135-1141. DOI: 10.1007/s10792-022-02511-2.

[31] Bartuzel MM, Szczesna-Iskander DH, Iskander DR. Automatic dynamic tear meniscus measurement in optical coherence tomography[J]. Biomed Opt Express, 2014, 5(8): 2759-2768. DOI: 10.1364/BOE.5.002759.

[32] Cerretani CF, Radke CJ. Tear dynamics in healthy and dry eyes[J]. Curr Eye Res, 2014, 39(6): 580-595. DOI: 10.3109/02713683.2013.859274.

[33] Palakuru JR, Wang J, Aquavella JV. Effect of blinking on tear dynamics [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2007, 48(7): 3032-3037. DOI: 10.1167/iovs.06-1507.

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

[34]Wang J, Palakuru JR, Aquavella JV. Correlations among upper and lower tear menisci, noninvasive tear break-up time, and the Schirmer test[J]. Am J Ophthalmol, 2008, 145(5): 795-800. DOI: 10.1016/j.ajo.2007.12.035.
[35]Coroneo MT, Kokkinakis J, Lee B, et al. High-resolution ocular surface imaging: real-time visualization of tear film dysfunction[J]. Cornea, 2024, 43(9): 1072-1079. DOI: 10.1097/ICO.0000000000003579.
[36]Shen M, Wang J, Tao A, et al. Diurnal variation of upper and lower tear menisci[J]. Am J Ophthalmol, 2008, 145(5): 801-806. DOI: 10.1016/j.ajo.2007.12.024.
[37]Li M, Du C, Zhu D, et al. Daytime variations of tear osmolarity and tear meniscus volume[J]. Eye Contact Lens, 2012, 38(5): 282-287. DOI: 10.1097/ICL.0b013e31825fed57.
[38]Yang J, Zhu X, Liu Y, et al. TMIS: a new image-based software application for the measurement of tear meniscus height[J]. Acta Ophthalmol, 2019, 97(7): e973-e980. DOI: 10.1111/aos.14107.
[39]Stegmann H, Aranha Dos Santos V, Messner A, et al. Automatic assessment of tear film and tear meniscus parameters in healthy subjects using ultrahigh-resolution optical coherence tomography[J]. Biomed Opt Express, 2019, 10(6): 2744-2756. DOI: 10.1364/BOE.10.002744.
[40]Stegmann H, Werkmeister RM, Pfister M, et al. Deep learning segmentation for optical coherence tomography measurements of the lower tear meniscus[J]. Biomed Opt Express, 2020, 11(3): 1539-1554. DOI: 10.1364/BOE.386228.
[41]Wan C, Hua R, Guo P, et al. Measurement method of tear meniscus height based on deep learning[J]. Front Med (Lausanne), 2023, 10: 1126754. DOI: 10.3389/fmed.2023.1126754.
[42]Wang S, He X, He J, et al. A fully automatic estimation of tear meniscus height using artificial intelligence[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2023, 64(13): 7. DOI: 10.1167/iovs.64.13.7.
[43]Deng XY, Tian L, Liu ZY, et al. A deep learning approach for the quantification of lower tear meniscus height[J]. Biomed Signal Process Control, 2021, 68: 102655. DOI: 10.1016/j.bspc.2021.102655.
[44]Zhang W, Rong H, Hei K, et al. A deep learning-assisted automatic measurement of tear meniscus height on ocular surface images and its application in myopia control[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2025, 13: 1554432. DOI: 10.3389/fbioe.2025.1554432.
[45]Wang K, Xu K, Chen X, et al. Artificial intelligence-assisted tear meniscus height measurement: a multicenter study[J]. Quant Imaging Med Surg, 2025, 15(5): 4071-4084. DOI: 10.21037/qims-24-1948.
[46]Nejat F, Eghtedari S, Alimoradi F. Next-generation tear meniscus height detecting and measuring smartphone-based deep learning algorithm leads in dry eye management[J]. Ophthalmol Sci, 2024, 4(5): 100546. DOI: 10.1016/j.xops.2024.100546.

（收稿日期：2026-02-19　修回日期：2026-09-20）

（本文编辑：施晓萌　骆世平）

读者·作者·编者

眼科常用英文缩略语名词解释

AMD：年龄相关性黄斑变性（age-related macular degeneration）
ANOVA：方差分析（analysis of variance）
BUT：泪膜破裂时间（breakup time of tear film）
DR：糖尿病视网膜病变（diabetic retinopathy）
EAU：实验性自身免疫性葡萄膜炎（experimental autoimmune uveitis）
EGF：表皮生长因子（epidermal growth factor）
ELISA：酶联免疫吸附测定（enzyme-linked immunosorbent assay）
ERG：视网膜电图（electroretinogram）
FFA：荧光素眼底血管造影（fundus fluorescein angiography）
FGF：成纤维细胞生长因子（fibroblast growth factor）
GFP：绿色荧光蛋白（green fluorescent protein）
IFN-γ：γ干扰素（interferon-γ）
IL：白细胞介素（interleukin）
IOL：人工晶状体（intraocular lens）
IRBP：光间受体视黄类物质结合蛋白（interphotoreceptor retinoid binding protein）
LASIK：准分子激光角膜原位磨镶术（laser in situ keratomileusis）
ICGA：吲哚菁绿血管造影（indocyanine green angiography）
LECs：晶状体上皮细胞（lens epithelial cells）
miRNA：微小RNA（microRNA）
MMP：基质金属蛋白酶（matrix metalloproteinase）
mTOR：哺乳动物类雷帕霉素靶蛋白（mammalian target of rapamycin）
MTT：四甲基偶氮唑盐（methyl thiazolyl tetrazolium）
NF：核转录因子（nuclear factor）
OCT：光学相干断层扫描（optical coherence tomography）
OR：优势比（odds ratio）
PACG：原发性闭角型青光眼（primary angle-closure glaucoma）
PCR：聚合酶链式反应（polymerase chain reaction）
RGCs：视网膜节细胞（retinal ganglion cells）
POAG：原发性开角型青光眼（primary open angle glaucoma）
RB：视网膜母细胞瘤（retinoblastoma）
RPE：视网膜色素上皮（retinal pigment epithelium）
RNV：视网膜新生血管（retinal neovascularization）
RP：视网膜色素变性（retinitis pigmentosa）
SⅠt：基础泪液分泌试验（Schirmer Ⅰ test）
shRNA：短发夹RNA（short hairpin RNA）
siRNA：小干扰RNA（small interfering RNA）
α-SMA：α-平滑肌肌动蛋白（α-smooth muscle actin）
TAO：甲状腺相关眼病（thyroid-associated ophthalmopathy）
TGF：转化生长因子（transforming growth factor）
TNF：肿瘤坏死因子（tumor necrosis factor）
UBM：超声生物显微镜（ultrasound biomicroscope）
VEGF：血管内皮生长因子（vascular endothelial growth factor）
VEP：视觉诱发电位（visual evoked potential）

（本刊编辑部）

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究