

隐形眼镜的透氧性及测试方法介绍

济南兰光机电技术有限公司

摘要: 氧气,是眼角膜正常生理代谢的基础,佩戴隐形眼镜会使角膜的摄氧发生不同程度的折损,造成角膜水肿、血管增生等一系列病变。因此,隐形眼镜的透氧性越高,对角膜的损伤越小,更适合于长期佩戴。透氧系数 Dk 是国际统一的隐形眼镜透氧性指标,采用库伦法能快速精确的测定出硬性和非水凝胶弹性隐形眼镜材料的透氧系数和透氧量,对企业新型镜片材料的选择、含水量和厚度的设计以及消费者的选购提供了有效的参考依据。

关键词: 隐形眼镜、透氧系数、库伦法

隐形眼镜,即角膜接触镜,是一种戴在眼球角膜上改变眼睛的屈光能力,而达到矫正近视、远视、散光,以及治疗某些眼部疾病的目的。佩戴隐形眼镜既美观方便,又视野宽广,令越来越多人抛弃框架镜投入到隐形眼镜族中。佩戴者在选择隐形眼镜时多注重镜片材质、厚度和含水量的高低,实际上,这些设计多是为了提高镜片的透氧性。透氧性才是关系到角膜健康、佩戴舒适的重要指标。

一、隐形眼镜的透氧性

角膜的正常生理功能所需能量依赖于其葡萄糖代谢产生的三磷酸腺苷(ATP)。当角膜摄取氧充足时,一个分子的葡萄糖代谢后能产生 36 个 ATP,而缺氧状态下生成 ATP 的数量大幅下降,无氧供给时仅产生 2 个 ATP,能量供给严重不足,从而使角膜的水平衡遭到破坏,电解质代谢紊乱,角膜实质层发生水肿增厚。由此可见,角膜的氧气摄取量是促进角膜糖代谢、保证其正常运转的关键。

当佩戴隐形眼镜后,角膜氧供主要来自两个渠道:一是泪液运载氧气透过镜片,二是镜片边缘泪液的排吸交换。隐形眼镜有硬性和软性之分,因材质和特点的不同,两种镜片的摄氧方式存在一定的差异。硬性隐形眼镜是由透明塑胶聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)制成,具有良好的加工性,适合各种屈光不正患者的针对性设计,但 PMMA 几乎无透氧性,角膜的供氧主要由镜片边缘泪液的排吸交换完成。从 20 世纪 70 年代后,逐渐将硅、氟、酮以有机组合的形式添加到 PMMA 中,大大增加了镜片的氧气透过性,最终形成了今天的硬性隐形眼镜新形式——高透氧硬性隐形眼镜(RGP)。软性隐形眼镜(SCL)由亲水性合成高

分子化合物制成,含水量高、氧透过性好,与 RGP 一样主要通过镜片的透氧性直接向角膜供氧。

基于目前使用最为广泛的 SCL 和 RGP 皆依靠自身的透氧性维持角膜的氧代谢,因此镜片的氧气透过性越高,引发角膜损伤或病变的几率越低,佩戴体验更加舒适。隐形眼镜的透氧性一方面与自身材质特性有关,另一方面也与含水量、厚度以及镜片老化程度密切相关。一般情况下,镜片的透氧性与含水量成正比、与镜片厚度成反比,但二者却存在着矛盾。若镜片制的过薄且含水量高,虽有利于氧气的透过,但镜片中心材料太少,极易蒸发脱水,继而吸收泪液维持原含水量,造成眼睛脱水干涩。如何在研发隐形眼镜时平衡含水量和厚度设计,获得最佳透氧性成为研究的重点。为了便于衡量隐形眼镜的透氧性,业界采用测定成品镜片的氧气透过量 Dk/t 和氧气透过系数 Dk 的方法。 Dk 是指在规定条件和单位压力差作用下,氧分子通过单位面积、单位厚度镜片材料的速度,反映了某种镜片材料容许氧气透过的性能。 Dk/t 则是针对具体厚度的镜片的透氧量,二者相比这下 Dk/t 更能反映成品眼镜的氧气透过性能。

二、测试方法介绍

上述隐形眼镜透氧性指标的测试主要有极谱法和库伦法,二者皆具有方便、实用和重复性好的特点。围绕极谱法已有较多的文献研究,因此本文将重点介绍库伦法的测试过程。这种方法适用于硬性和非水凝胶弹性接触镜材料的透氧系数和透氧量,其原理为:将隐形眼镜装入测试腔,测试腔被分为上下两部分,在 35°C 、 $100\%RH$ 下使用接触镜前、后表面区域(即腔体上下两部分)分别接触到氧气和作为载气的氮气。隐形眼镜两边的压力相等,但氧气分压不同,氧气在浓度差作用下透过镜片进入载气流,被送至库仑传感器中,该传感器产生一个与流经探测器的氧浓度成比例的电流,从而计算出材料的氧流量量率,进而计算出透氧系数。具体测试方法如下:

1、试样和仪器准备。准备 99.9%的氧气和含氮 2%的氮气分别作为试验气体和载气备用。仪器采用 OX2/230 氧气透过性测试系统,其包含氧气传输分析部分和测试腔部分(见图 1)。前者由库仑传感器、记录分析系统、控温控湿系统及相关管路构成,用于氧气和载气的流通、电流的转化与记录、温湿度控制等作用。测试腔不透氧且分成两半,外侧包围一圈水面略低于槽壁的凹槽,为镜片提供 $100\%RH$ 的湿度以模拟使用环境。



图 1 OX2/230 氧气透过率测试仪测试隐形眼镜透氧性

测试前,应当去除测试样品材料和系统中所有的氧。对高透氧材料而言,测量前从测试腔中除氧即可。然而,对非水凝胶低透氧材料,如 PMMA,在测试腔封闭并随后净化除氧前,镜片试样应在氯化钙的干燥剂下放置至少 48h。

2、安装试样。将镜片试样的后表面外围放置于下测试腔的涂有真空油脂的环形光滑表面上,确保样品无褶皱。将测试腔的上部分扣合在装有试样的下半部分测试腔体上,夹紧,并在周围凹槽中注入一定量的蒸馏水,封闭测试腔罩盖,如图二。



图 2 试样装夹

3、除氧。设定载气以 50mL/min~60 mL/min 的速率流入测试腔上下部分。3min~4min 后,流速下降到 5mL/min~15 mL/min 并维持 10min~30min。此时测试腔残留的氧气从镜片试样中连续脱出,携带氧气的载气流被输送到库伦传感器,传感器的输出起先会快速升高达到峰值,后逐渐稳定在一个较低的值,即零电压输出 (V_0),根据测试材料透氧性的不同,除氧过程通常持续 30 分钟至十几个小时。

4、测试。将氧气和载气维持以除氧的最终速率分别流入测试腔上下两侧,氧气透过镜片样品,进入库伦传感器输出电压,当输出值稳定为一个数值时,此时的电压值为最终值 (V_E)。

5、测试结果计算。首先根据式 1,计算出氧流量量率 ($\mu\text{LO}_2/\text{s}$)。进而据式 2 推算出镜片的透氧系数。

$$q_{\text{O}_2} = K \times (V_E - V_0) / R_L \quad \text{-----} \quad (1)$$

其中, K ——校正常数; V_E ——最终电压输出; V_0 ——零电压输出; R_L ——负载阻抗;

$$Dk = t \times q_{\text{O}_2} \times 0.001 / (P_A \times A) \quad \text{-----} \quad (2)$$

其中, D_k ——测试样品的透氧系数, $10^{-11} (\text{cm}^2/\text{s})[\text{mLO}_2/(\text{mL}\cdot\text{hPa})]$; P_A ——(大气压-水蒸气压), hPa; t ——径向厚度或平均调和中心厚度, cm; A ——测试样品的暴露面积, cm^2 ; q_{O_2} ——流经探测器的氧流量量率, $\mu\text{LO}_2/\text{s}$; $1/103$ ——将 μL 转化为 mL 的系数;

式 1 涉及到一个校正常数 K , 这就引出了系统标定的概念。经验表明, 在某些条件下, 库伦传感器可能会耗尽或损坏, 以至于其效率和响应时间被削弱。因此使用库伦传感器测试透氧性需结合定期的传感器校验, 这依靠于一个已知透氧量 (D_k/t) 的标准材料。通常采用的标准材料为 SRM1470, 其 D_k/t 为 0.072 ± 0.004 D_k/t 单位。通过上述方法测试标准材料, 据式 2 推导出氧流量量率 q_{O_2} , 继而再根据式 1 得出校正常数 K 值。利用校正常数能够实现测试系统和结果的初步校正。

三、典型案例测试

笔者依照上述方法利用 OX2/230 氧气透过率测试系统对三款不同品牌的硬性隐形眼镜的 D_k 值进行了测试, 测试结果如下:

表 1 三种品牌硬性隐形眼镜的透氧系数 D_k

试样	D_k $10^{-11} (\text{cm}^2/\text{s})[\text{mLO}_2/(\text{mL}\cdot\text{hPa})]$
品牌一	150
品牌二	66
品牌三	48

在现实中, D_k 是衡量材料透氧系数的标准参数, 虽精确但缺乏形象感, 对于新人和消费者来说很难把 D_k 值与具体角膜摄氧量以及舒适度联系在一起。因此, 业界有时会采用等效氧百分比 (EOP) 的形式表示角膜上的氧含量, 即隐形眼镜的透氧性。EOP 表示混合气体中氧气的浓度, 大气中氧含量为 21%, 闭眼时为 7% 左右, 隐形眼镜长期佩戴的最低需求和理想含量分别为 12% 左右和 18% 左右。对于 D_k 值为 150 的品牌一隐形眼镜, 佩戴后角膜的氧含量基本能达到 17%~19%, 佩戴品牌三和品牌二的隐形眼镜后角膜氧含量能达到 11% 和 14%, 均适宜长期佩戴。

四、结语

济南兰光机电技术有限公司

中国济南无影山路 144 号 (250031)

总机: (86) 0531 85068566

传真: (86) 0531 85062108

E-mail: marketing@labthink.com

网址: <http://www.labthink.com>

氧气,是眼角膜正常生理代谢的基础,佩戴隐形眼镜会使角膜的摄氧发生不同程度的折损,造成角膜水肿、血管增生等一系列病变。因此,隐形眼镜的透氧性越高,对角膜的损伤越小,更适合于长期佩戴。透氧系数 Dk 是国际统一的隐形眼镜透氧性指标,采用库伦法能快速精确的测定出硬性和非水凝胶弹性隐形眼镜材料的透氧系数和透氧量,对企业新型镜片的材料选择、含水量和厚度的设计以及消费者的选购提供了有效的参考依据。