

隱形眼鏡透氧率之量測方法－極譜法
Method of Test for Oxygen Permeability of Contact Lens
- Polarographic method

1. 適用範圍：本量測方法適用於隱形眼鏡透氧率(oxygen permeability, Dk)之量測。
2. 檢驗方法：檢體經適當處理後，以厚度儀(thickness meter)及透氧儀(oxygen transmission instrument)分析之方法。

2.1. 裝置：

- 2.1.1. 透氧儀：具夾持及電極裝置，示意圖如圖一及圖二。
- 2.1.2. 恆溫恆濕機。
- 2.1.3. 厚度儀：儀器量測接觸力不得超過0.015 N (小於1.5 g)。
- 2.1.4. 壓力計。

- 2.2. 試藥：氯化鈉、磷酸二氫鈉(NaH_2PO_4)及磷酸氫二鈉(Na_2HPO_4)均採用試藥特級；去離子水(比電阻於25°C可達18 $\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上)。

2.3. 緩衝溶液之調製：

稱取氯化鈉8.3 g、磷酸二氫鈉0.406 g及磷酸氫二鈉2.376 g，以去離子水溶解使成1000 mL。

2.4. 器具及材料：

- 2.4.1. 鑷子：附軟墊。
- 2.4.2. 金屬磨光膏。
- 2.4.3. 濾紙或菸草紙。

2.5. 量測方法：

2.5.1. 厚度儀：

2.5.1.1. 中心平均厚度(t)量測：分別測量檢體中央部分之厚度三次，取平均值。

2.5.1.2. 調和平均厚度(t_{HM})量測：從中心點(t_0)至鏡片邊緣點(t_h)等距取h個點，各點厚度值量測後，依下列計算求得 t_{HM} ：

$$t_{\text{HM}} = \frac{h+1}{\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_3} + \dots + \frac{1}{t_h}}$$

2.5.2. 透氧儀：

2.5.2.1. 自我調校：

儀器使用前或定期使用電阻標準件確認其功能是否正常，且電阻標準件需定期校驗。

2.5.2.2. 量測：

先將恆溫恆濕機設定至 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 及至少95% RH (飽和水蒸汽壓環境)，將檢體浸泡於緩衡溶液中，再置於恆溫恆濕機中放置4小時以上，直至平衡狀態後，以電極探頭開始量測其平衡電流值(I)，依下列計算式求出檢體之初始透氧量 $(Dk/t)_{\text{初始}}$ 。

$$\text{檢體之初始透氧量}(Dk/t)_{\text{初始}} = \frac{(I - I_d) \times 5.804 \times 10^{-2}}{P_a \times A_{\text{cathode}}}$$

P_a ：氧氣分壓，其為大氣壓力扣除該溫度下之飽和水蒸氣壓值後，
乘上氧氣分率(在空氣中約為0.209)(mmHg)

t ：檢體之中心平均厚度(cm)或調和平均厚度(cm)

I ：測得之平衡電流值(A)

I_d ：電極探頭之暗電流(無氧氣流動之電流)(A)

A_{cathode} ：電極探頭之陰極面積(cm^2)

5.804×10^{-2} ：每庫侖電量所移走之氧氣量($\text{mL} \cdot \text{O}_2 / \text{A} \cdot \text{s}$)，其計算式如下：在標準狀態下，1莫耳濃度的氧分子通過隱形眼鏡發生了電解反應，其所耗電量為 4×96484.6 (庫倫)，其中96484.6為法拉第常數。因此每庫侖電量($\text{A} \cdot \text{s}$)所移走的氧氣量為 $[\text{22.4} \times 1000 \text{ (mL)}] / [4 \times 96484.6 \text{ (A} \cdot \text{s)}] = 5.804 \times 10^{-2} \text{ (mL} \cdot \text{O}_2 / \text{A} \cdot \text{s)}$ ，其中22.4 L為標準狀態下1莫耳物質氣體的體積。

2.5.2.3. 邊緣效應修正(Correction for edge effects)：

依據電極探頭形狀與檢體材質將2.5.2.2節檢體之初始透氧量代入以下公式以修正邊緣效應：

以球形電極探頭測試水凝膠隱形眼鏡：

$$\left(\frac{t}{Dk}\right)_{\text{修正}} = \left(\frac{t}{Dk}\right)_{\text{初始}} \times \left(1 + \frac{2.35 \times t}{D_{\text{cathode}}}\right)$$

以平面電極探頭測試水凝膠隱形眼鏡：

$$\left(\frac{t}{Dk}\right)_{\text{修正}} = \left(\frac{t}{Dk}\right)_{\text{初始}} \times \left(1 + \frac{1.89 \times t}{D_{\text{cathode}}}\right)$$

以球形電極探頭測試非水凝膠隱形眼鏡：

$$\left(\frac{t}{Dk}\right)_{\text{修正}} = \left(\frac{t}{Dk}\right)_{\text{初始}} \times \left(1.01725 + \frac{4t \times [0.587 - 0.00193(Dk)]}{D_{\text{cathode}}}\right)$$

以平面電極探頭測試非水凝膠隱形眼鏡：

$$\left(\frac{t}{Dk}\right)_{\text{修正}} = \left(\frac{t}{Dk}\right)_{\text{初始}} \times \left(1.01575 + \frac{4t \times [0.471 - 0.00193(Dk)]}{D_{\text{cathode}}}\right)$$

其中Dk可以通過使用以下回歸公式來得到^(註)：

$$Dk = \frac{(i \sum t_i^2) - \frac{(i \sum t_i)^2}{n}}{\left\{ i \sum t_i (t/Dk)_i - \frac{(\sum t_i) \left[i \sum \left(\frac{t}{Dk} \right)_i \right]}{n} \right\}}$$

$i \sum$ ：n個不同厚度(t_i)和電阻值(t/Dk)_{*i*}的測量值總和

D_{cathode} ：電極探頭之陰極直徑(cm)

$Dk_{\text{初始}}$ ：初始透氧量(Dk/t)× 檢體之中心平均厚度或調和平均厚度(t)

註：Dk也可使用(Dk)初始值直接代入校正公式修正邊緣效應

2.5.2.4. 邊界層效應修正(Correction for boundary layer effects)：

受測檢體至少需量測4個不同厚度之檢體，疊加及分別計算其修正透氧量後，以透氧量之倒數(t/Dk)與厚度(t)繪製最小平方迴歸線，此迴歸線之斜率($1/Dk$)之倒數即為透氧率(Dk)。

2.5.2.5. 透氧率測試之標準化流程：

測試透氧率(Dk)前，建議可建立標準化測試流程，先測試已知透氧率之參考鏡片(Reference lenses)，以此來確認儀器的準確度及測試方法。選擇參考鏡片之規格，其透氧率(Dk)應能涵蓋檢體之欲測試範圍。每個參考鏡片之透氧量(Dk/t)值至少應測試4次，並進行邊緣及邊界層效應之修正，所得透氧率(Dk)之偏差應在±10%內。

2.5.2.6. 紀錄：

檢體量測前之平衡條件以及實驗室當地之氣壓均需記錄於測試報告。

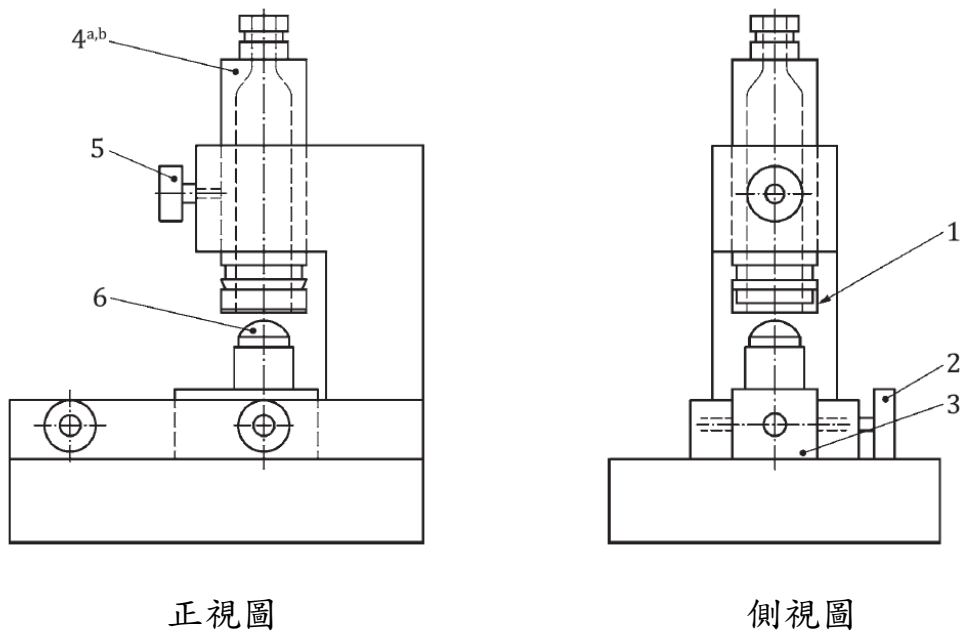
附註：1. 透氧率(oxygen permeability, Dk)之單位為 $10^{-11}(\text{cm}^2/\text{s})[\text{mL O}_2/(\text{mL} \times \text{mmHg})]$ 。

2. 電極探頭易生成黑色之氯化物，故量測6~8次後，建議使用金屬磨光膏拋光，並以拭鏡紙沾去離子水擦拭乾淨。

3. 檢體中有影響檢驗結果之物質時，應自行探討。

參考文獻：

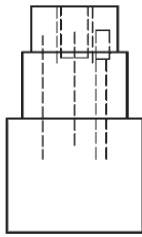
1. ISO. 2017. Ophthalmics optics – Contact lenses – Part 3: Measurement methods. ISO 18369-3.
2. ISO. 2017. Ophthalmics optics – Contact lenses – Part 4: Physicochemical properties of contact lens materials. ISO 18369-4.
3. Benjamin, W. J. and Cappelli, Q. A. 2002. Oxygen permeability (Dk) of thirty-seven rigid contact lens materials. Optom. Vis. Sci. 79:2 103-111.



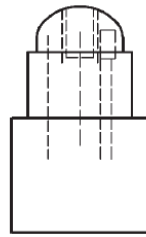
說明：

1. 於套筒末端固定測試檢體的尼龍網
2. 電極固定螺釘
3. 電極固定裝置
4. 可移動套筒
5. 套筒固定螺釘
6. 電極
- a. 可移動套筒用來固定平面檢體之小口端
- b. 可移動套筒用來固定曲面檢體之大口端

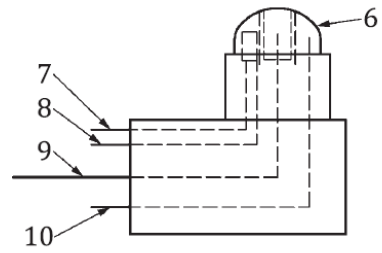
圖一、透氧儀之夾持裝置示意圖



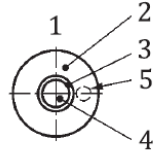
平面電極正視圖



曲面電極正視圖



側視圖



說明：

1. 平面電極或曲面電極之正視圖
2. 銀電極(陽極)
3. 絕緣裝置
4. 金或鉑電極(陰極)
5. 溫度感測器
6. 與檢體曲線匹配之曲率
7. 溫度輸出連接裝置
8. 溫度感測器
9. 陰極
10. 陽極

圖二、透氧儀之電極裝置示意圖