



CHAPTER 01

基礎概念和 設計原理

- 1-1 隱形眼鏡的歷史、現狀和展望
- 1-2 眼應用解剖和生理基礎
- 1-3 隱形眼鏡配戴與角膜供氧
- 1-4 基本設計理念和專業術語
- 1-5 隱形眼鏡材料及基本特徵

FITTING
TECHNIQUES FOR
CONTACT LENSES



學習目標

- 瞭解隱形眼鏡材料發展的歷史。
- 掌握隱形眼鏡相關的眼應用解剖和生理基礎。
- 掌握角膜、氧氣、隱形眼鏡三者之間的關係。
- 掌握隱形眼鏡設計術語。
- 理解隱形眼鏡設計是如何影響鏡片表現及功能的。
- 掌握影響鏡片配戴穩定性的其他設計。
- 掌握隱形眼鏡不同材料如何影響鏡片功能。
- 掌握選擇合適的隱形眼鏡材料需要考慮的因素。



隱形眼鏡的歷史、現狀和展望

作為一種醫療器具，隱形眼鏡的配戴目標是安全、舒適、增加視力，因此必須在設計、材料、配戴方式和更換週期上達到要求。隱形眼鏡的發展歷程也是在這幾方面逐步實現的。

一、理想的隱形眼鏡

隱形眼鏡的發展是一部充滿嘗試和失敗的歷史，也是充滿挑戰和不斷進步的過程。科學技術的進步是現代隱形眼鏡發展的原動力。人們一直在尋找理想的隱形眼鏡，即符合以下這些條件。

清晰：成像品質好，提供優良的矯正視覺。

舒適：配戴者不會有明顯的不適感。

持久：能夠長時間地配戴。

安全：不會對眼睛產生刺激和毒性。

透氧：能夠保證配戴時眼睛所需要的氧氣供應。



穩定：不容易和眼睛生物組織和淚液成分發生反應。

耐用：使用壽命長。

濕潤性好：保持鏡片表面良好的濕潤性，提高配戴舒適度。

抗沉澱：鏡片表面不容易形成沉澱物，鏡片使用壽命長。

簡便：容易護理和保養。

容易驗配：驗配流程簡單容易，便於推廣。

為實現這樣的目標，隱形眼鏡從天才科學家的靈感，到無數醫學、材料化學、光學等領域傑出人士不斷的開發中，在驗配理念、材料和設計、配戴方式和更換週期等各方面都經歷了巨大的發展。雖然至今隱形眼鏡仍未達到十全十美的程度，但已擁有從未有過的成功和數量眾多的配戴者。在發達國家，隱形眼鏡配戴者占屈光不正矯正者的 5~15%。

二、隱形眼鏡的發展簡史

（一）隱形眼鏡的設想者

16~19 世紀的許多文獻記錄了隱形眼鏡理念的雛形。文藝復興時期的達文西是歷史記載中第一位描述“隱形眼鏡”的人，1508 年他在一幅圖中介紹了將眼睛浸泡到盛水容器中時，可以中和角膜屈光力的機制（圖 1-1）。儘管當時他是為了瞭解眼的調節機制，但卻無意中表達了隱形眼鏡的基本原理。



▲ 圖 1-1 達文西描述的“隱形眼鏡”

1637 年，Rene Descartes 介紹了一種充水玻璃管裝置，可實現軸長的增加，增大視網膜像，使人獲得更好的視力。如果用透鏡來代替玻璃，同樣實現像的放大。物理學家 Thomas Young 在 1801 年研究眼調節時，使用一根 25 mm 長的管子與眼接觸，管內充滿水，一端用雙凸鏡封閉。

John Herschel 爵士是英國天文學家，1845 年他根據 Thomas Young 和 George Airy 等人的思想，推測用接觸眼睛的器具矯正角膜散光，設想在角膜表面放置球面玻璃或覆蓋膠狀物質制模。John Herschel 可能是第一位描述美容隱形眼鏡的人。

在 19 世紀後期，白內障手術時醫生不使用縫線，導致角膜感染率很高。1886 年，Xavier Galezowski 通過在角膜創口上覆蓋 0.25~0.50 mm 厚的在藥水中浸泡過的凝膠，顯著減少了術後感染的發生率。他是第一位應用治療性接觸器具的人。

(二) 隱形眼鏡的發明人

1886 年以後的幾年中，大量的隱形眼鏡研究在開展，但是誰是世界上第一位真正將隱形眼鏡戴入人眼的發明者呢？

1888 年，德國眼科醫師 Adolf E. Fick 嘗試研製與眼接觸的矯正鏡片，最早在兔子眼上嘗試，而後在自己眼睛和不規則癩痕角膜的患者眼上配戴，從而避免了眼球的摘除。但他設計的鏡片難以製作和戴入，會導致比較明顯的機械刺激。同年，法國人 Eugene Kalt 在為圓錐角膜患者治療的過程中，應用了玻璃殼來代替壓迫敷料，玻璃殼的曲率與角膜一致，可顯著改善患者的視力。

根據 1910 年的教科書記載，德國人 August T. Müller 曾宣佈 1887 年他們給患者戴上了部分透明的玻璃保護殼套。與前兩位不同的是，Müller 是第一位研究屈光矯正作用的醫生。他本人就是高度近視眼，他將鏡片後表面製成與角膜前表面相似的形狀，與眼睛相接觸，可以矯正他高達 14 D 的近視。他認為淚膜的虹吸作用可使鏡片吸附在角膜上，並可通過使鏡片邊緣上翹以此改善淚液迴圈。因此，為患者配戴有屈光力的隱形眼鏡的榮譽無疑要給他。他在 Kiel 大學就職演講中描述了他的發明，並稱之為“contact lens”。

在此後的幾十年裡，人們對隱形眼鏡的興趣一度消退，該領域的進展甚微。



三、隱形眼鏡材料的發展

(一) 聚甲基丙烯酸甲酯

最初的隱形眼鏡是用玻璃材料製作的。20 世紀 30 年代聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)在美國問世，與玻璃相比，它更適合作為隱形眼鏡材料。

當時用 PMMA 材料製成的鏡片形式是鞏膜鏡，後來 Kvein Tuohy 在 1946 年設計出了 PMMA 隱形眼鏡，並獲得專利。此後，鏡片的設計也逐漸由單弧隱形眼鏡進展到多弧隱形眼鏡。PMMA 透明度高，而且密度比玻璃低，能被設計、加工成更薄的隱形眼鏡，所以 PMMA 鏡片很快風靡全球。

PMMA 鏡片有許多優點，包括容易製造、耐用、參數可以改變、光學性能佳、表面濕潤性好、參數穩定、能矯正角膜散光等。可以說，PMMA 幾乎是完美的隱形眼鏡材料，但它存在一個致命的弱點——不透氣，導致了缺氧引起的諸多臨床併發症，如新生血管、內皮多形變等。雖然人們努力通過改進設計和配戴方式試圖彌補這個缺陷，但是 PMMA 的非透氧性最終還是基本結束了其作為隱形眼鏡材料的命運。現在世界上只有在很少數情況下才嘗試用 PMMA 鏡片進行臨床驗配。

人們開始認為，最理想的隱形眼鏡材料是 PMMA 的所有優點加上透氧性，這就是此後尋找和發展隱形眼鏡材料的方向。

(二) 水凝膠

軟性隱形眼鏡（軟鏡）佔據當前全球隱形眼鏡市場的 80% 以上。最早的軟鏡材料為聚甲基丙烯酸羥乙酯(HEMA)，是捷克斯洛伐克科學家 Otto Wichterle 於 1954 年開發出的一種親水性高分子聚合物（含水量為 38.6%），對營養物質和代謝物有一定的通透性。經過不斷改進，該材料製成的隱形眼鏡成功問世，並獲得專利。Wichterle 還發明瞭隱形眼鏡的旋轉成形自動化生產線，他開發的旋轉成形生產技術、鏡片材料和設計引起了美國產業界的興趣，美國博士倫公司購買了這些專利並開始了大規模的商業化運作，於 1972 年進入市場。

隨著人們對隱形眼鏡連續配戴的需求，研究者們試圖通過增加鏡片含水量來提高透氧性，也開發出了其他不同類型的軟鏡材料，包括含水量高達 71% 的水凝膠材料，由於分子結構與 HEMA 材料不同，它們統稱為非 HEMA 材料。

軟鏡的出現使隱形眼鏡進入了迅速普及發展的新紀元，配戴人數迅速增加。但是隨之而來對鏡片配戴的誤解和使用不當導致了臨床併發症的不斷出現，促使人們在新材料開發、配戴方式、更換週期上進行改進，以實現安全、健康的配戴目標。

（三）矽膠

矽膠是一類獨特的隱形眼鏡材料，根據其物理特性，它屬於軟鏡類，但又不同於普通的水凝膠軟鏡，矽膠彈性體不含水，因此在某些方面它又與硬鏡材料有些相似。矽材料對氧和二氧化碳高度通透，因此對角膜呼吸干擾很少。不過由於矽材料的疏水性，增加了製作上的難度，必須經過處理才能舒適地配戴。由於提高表面濕潤性相當困難，矽膠鏡片在 20 世紀 50 年代後期間世後很少有大的進展，直至 20 世紀 90 年代新技術的發展，使得矽與水凝膠材料獲得穩定的結合，形成矽水凝膠 (silicone hydrogel) 材料，這種材料既保持了矽高透氧的特點，又兼備水凝膠材料親水的優勢，顯著改善了材料的濕潤性，在美國等國家獲得允許可連續配戴 30 日夜。

矽水凝膠材料中加入有機矽之後，大大提升了其透氧性，但是怎樣做到透氧與柔韌性、濕潤性的平衡，成為新的研究話題。

（四）硬性透氧性隱形眼鏡

硬性透氧性隱形眼鏡 (rigid gas permeable contact lens, RGP) 材料，是一類兼備較高硬度和透氧性的隱形眼鏡材料的總稱。我們已經知道，理想的隱形眼鏡材料，可以近似地理解為 PMMA 加上較高的透氧性。因此最早的嘗試是將高透氧的矽材料加入 PMMA 結構中，這種材料被稱為矽



丙烯酸酯。後來出現的氟矽丙烯酸酯改善了矽丙烯酸酯表面因矽含量較高導致的濕潤性差和容易形成蛋白沉澱的缺點。

對角膜的健康來講，RGP 是目前最好的鏡片，而且光學性能好，矯正散光的效果佳。但是 RGP 的驗配需要驗光師掌握更多的臨床驗配知識和技能，需要配戴者有一定的素質和理解程度，才能成功適應這種鏡片，同時還要求有比較個性化的設計和鏡片製作實驗室提供製作良好的鏡片。

四、隱形眼鏡設計的發展

最早的隱形眼鏡的設計形式是鞏膜隱形眼鏡。歷史上第一片隱形眼鏡的出現，可以追溯到一個“無心插柳式”的失誤：1946 年當 Kevin Tuohy 在製作 PMMA 隱形眼鏡（當時為鞏膜鏡設計）中出現了失誤，他在車削鏡片時，把鞏膜部分和角膜部分分開了，當時他突發奇想，將角膜部分拋光，並將該鏡片戴入自己的眼中，發現鏡片能耐受，於是進行了進一步的試驗，研製出早期的隱形眼鏡。

Tuohy 設計的鏡片是單弧球面設計，存在兩個缺點：鏡片對角膜中央區過度壓迫和邊緣過度翹起，導致角膜中央磨損、水腫，且鏡片容易從眼內掉出。這個問題後來通過改變鏡片後表面周邊曲率得到妥善解決，形成了多弧設計。

後來的設計師還從角膜表面非球面形狀中得到啟發，將隱形眼鏡後表面也設計成非球面，以期獲得更加良好的配戴。多焦設計的隱形眼鏡為老花眼者的矯正帶來了新的方式。針對術後角膜和角膜塑型術開發出來的反幾何設計的隱形眼鏡，具有中央平坦、周邊陡峭的特點。

五、隱形眼鏡配戴方式和更換週期的發展

理想隱形眼鏡的一個重要標準是便利的配戴方式，在隱形眼鏡配戴方式和更換週期上發展的趨勢是兩極化：要麼越戴越長 - 長戴或者連續配戴，要麼越戴越短 - 拋棄甚至一日拋棄。

(一) 配戴方式的發展

20 世紀 70 年代出現的早期軟鏡為低含水量水凝膠軟鏡，在美國，隱形眼鏡由食品藥品監督管理局(FDA)作為醫療器材進行管理。FDA 當時規定其為日戴型鏡片，可以滿足大多數消費者的需求。

到 20 世紀 70 年代後期，消費者期望能配戴鏡片過夜。當時的驗光師認為通過提高軟鏡材料的含水量能實現這一目標，但因為許多長戴引起的角膜缺氧和鏡片汙染等臨床問題的連續報導而使長戴的概念一度受到嚴峻挑戰。

經過不斷的研究，人們逐漸瞭解了配戴隱形眼鏡條件下角膜供氧的基本需求，根據這些研究結果，人們開始能夠比較主動地對鏡片設計和材料進行改進以達到安全甚至理想的長戴。高氧通透性值的 RGP 材料和新型矽水凝膠材料的出現使得長戴甚至連續配戴成為可能，戴鏡過夜的危險性降低。但是與日戴的配戴方式相比，其危險性仍不可忽視。在過夜配戴過程中，配戴者應該主動多次定期回診並自我嚴格監控以免出現嚴重不良後果。

(二) 更換週期的發展

20 世紀 80 年代前，人們認為只要鏡片保持相對清潔、無破損，能持續有效矯正患者的屈光不正，那麼該鏡片就可以繼續使用。即使鏡片有裂痕或表面有不同程度的沉澱物沉積，仍應盡量延長鏡片壽命。這種更換方式的隱形眼鏡稱為傳統型隱形眼鏡。根據鏡片的類型不同，一般隱形眼鏡按照傳統型配戴的壽命即更換週期為：PMMA 硬鏡 3~5 年，RGP 鏡片 1~2 年，傳統型軟鏡大約 1 年。

拋棄型鏡片於 1987 年獲得美國 FDA 許可批准，由嬌生(Johnson & Johnson)公司推出。拋棄型鏡片的特點是作為一次性使用的醫療器具，意味著僅戴用一次，可以是日戴 1 天，或者是日夜連續配戴 1 週或 30 天，然後丟棄。



拋棄型鏡片顯著減少了傳統型鏡片的沉澱物沉積和表面損傷等問題；不用或簡化鏡片護理保養使得配戴更加方便。拋棄型鏡片在一些發達國家如美國、日本成為常見的鏡片更換方式，它普及的關鍵原因就在於重複性好、適合大批量生產並且成本低廉。

六、隱形眼鏡發展里程

按照時間順序，隱形眼鏡的發展過程中重要的里程碑如表 1-1。

▼ 表 1-1 隱形眼鏡發展里程

時間	代表性人物	事件	意義
1508 年	達文西	在著作 Codex of the Eye 中表達了與隱形眼鏡類似的原理	被認為是第一個有記錄的描述“隱形眼鏡”的人
1845 年	John Herschel	在論文中闡述隱形眼鏡的原理	被認為是“隱形眼鏡之父”
1888 年	Adolf E.Fick, Augus. T. Müller 等	率先研製鞏膜鏡，在動物和人眼上嘗試	從概念到實物，進入玻璃鞏膜鏡時代
20 世紀 30 年代		PMMA 面世並用於製作隱形眼鏡	進入塑膠鞏膜鏡時代
1946 年	Kvein Tuohy	無意中製作出隱形眼鏡	進入隱形眼鏡時代 (PMMA)
20 世紀 50 年代	Otto Wichterle	研製出 HEMA 材料	進入軟鏡時代
20 世紀 50 年代後期		矽膠材料問世，受限於表面濕潤性問題而未有較大進展	
20 世紀 60~70 年代		博士倫公司購買了軟鏡旋轉成形技術專利並開始大規模生產	軟鏡時代全面來臨

▼ 表 1-1 隱形眼鏡發展里程 (續)

時間	代表性人物	事件	意義
20 世紀 70 年代	John de Carle	提出長戴型鏡片概念, 受限於材料和設計未能有較大進展	
20 世紀 70 年代		RGP 材料開始出現, PMMA 鏡片逐漸退隱	RGP 時代的萌芽
20 世紀 80 年代		美國嬌生公司提出拋棄型鏡片概念	帶來配戴方式上的重要變化
20 世紀 90 年代		不斷改進 RGP 材料和設計, 透氧性極大提高	RGP 在發達國家日益普及
20 世紀末~21 世紀初		新一代矽水凝膠隱形眼鏡材料開發成功	新型高透氧軟鏡問世, 可用於連續配戴



眼應用解剖和生理基礎

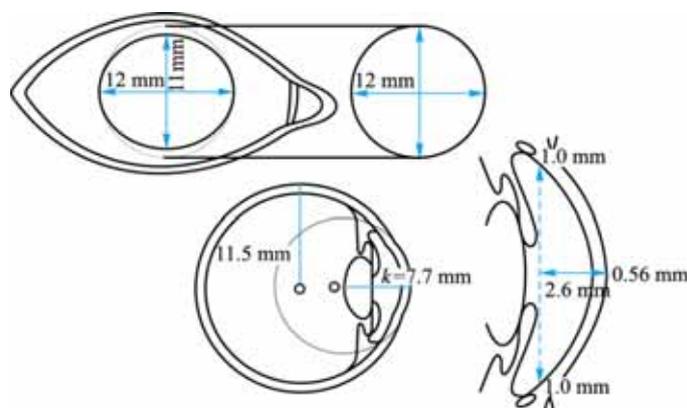
隱形眼鏡配戴後與角膜、淚膜、結膜和眼瞼等接觸, 導致這些組織形態學和生理學方面發生變化, 因此需要瞭解隱形眼鏡配戴有關的眼部解剖結構和生理功能, 以便認識配戴後眼部解剖和生理的改變。

一、角膜

(一) 角膜的解剖和組織學

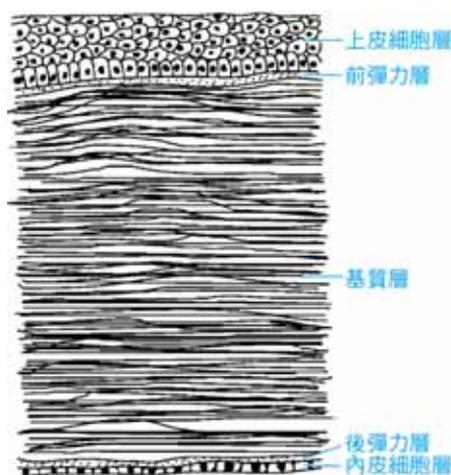
角膜(cornea)位於眼球前極中央, 為一透明、無血管的水平橢圓形組織。水平徑為 11.5~12 mm, 垂直徑為 10.5~11 mm。角膜中央厚度為

0.5~0.55 mm，周邊厚度約 1 mm。角膜的前表面曲率半徑約 7.8 mm，後表面曲率半徑約 6.8 mm。角膜中央部基本呈圓形，是角膜的光學區，中央到周邊部逐漸變平坦，其中鼻側、上方較顯側和下方變化快，在驗配隱形眼鏡時要注意這些形態學特徵（圖 1-2）。



▲ 圖 1-2 眼球的大體解剖結構

組織學上，角膜自外向內通常分為 5 層（圖 1-3）：(1) 上皮細胞層：厚約 35 μm ，由 5~6 層上皮細胞組成，無角化，易與其內面的前彈力層分離；(2) 前彈力層 (Bowman's membrane)：厚約 12 μm ，為一層均質透明膜，無細胞成分；(3) 基質層：厚約 500 μm ，占角膜厚度的 90%，由約 200 層排列規則的膠原纖維束薄板組成，其間有角膜細胞、黏蛋白和糖蛋白；(4) 後彈力層 (Descemet's membrane)：厚 10~12 μm ，為較堅韌的均質透明膜，富於彈性；(5) 內皮細



▲ 圖 1-3 角膜的組織學結構

胞層：厚約 5 μm ，由一層六角形扁平細胞構成。2013 年，英國學者杜瓦報導發現角膜基質層和後彈力層之間存在只有 1 μm 的新角膜層，其韌性非常好，可能是導致多種眼疾發生的源頭，並將之命名為“杜瓦層”。

角膜緣是角膜和鞏膜的移行區，寬為 1.5~2.5 mm，其移行變化對隱形眼鏡的周邊和邊緣設計有參考意義。

（二）角膜的生理學

1. 屈光和自我保護作用：角膜組織透明，是眼的主要屈光介質，其折射率為 1.376，屈光力為 +43.05 D，占眼球屈光系統總屈光力的 70% 左右。角膜上皮細胞層神經末梢豐富，感覺十分敏銳，具有良好的自我保護功能。
2. 代謝：角膜的營養代謝主要來自房水、淚膜和角膜緣血管網。代謝所需的氧大部分由外界空氣經淚膜提供給上皮細胞，而內皮細胞的供氧來自房水。能量物質主要是葡萄糖，大部分通過內皮細胞從房水中獲取，另約 10% 由淚膜和角膜緣血管供給。角膜糖代謝的主要形式有：有氧代謝、無氧糖酵解和磷酸戊糖途徑。
3. 角膜各層的生理特點、再生和主要功能
 - (1) 上皮細胞層氧溶解入淚膜後到達上皮，使角膜獲得充足的供氧；上皮細胞損傷後再生能力強。主要功能：角膜上皮形成一個光滑、透明的光學表面，表面的微絨毛和微皺襞是淚膜的黏附表面，能阻止微生物、異物和化學物質的侵入。
 - (2) 前彈力層：損傷後不能再生，留下不透明癍痕。主要功能：維持上皮結構。
 - (3) 基質層：需要氧氣來維持相對脫水狀態和相對恆定的厚度，如果缺氧將導致無氧代謝，乳酸堆積而造成水腫；基質層損傷後不能

再生，由不透明的癍痕組織所代替。主要功能：透光和維持角膜形狀。

- (4) 後彈力層：富於彈性，抵抗力較強，損傷後可以再生。主要功能：起到角膜內皮基底層的作用。
- (5) 內皮細胞層：有 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶即內皮泵，主動泵出水分，維持角膜相對脫水狀態；內皮細胞的數量隨年齡增加而減少，損傷、炎症、內眼手術等也會引起內皮細胞數量的減少，由於內皮細胞不能再生，減少的部分只能通過鄰近細胞移動變形來代償。主要功能：具有角膜 - 房水屏障功能，內皮層允許營養物質彌散到角膜；通過主動轉運的方式將水分從角膜基質中泵到前房，保持角膜相對脫水的狀態。

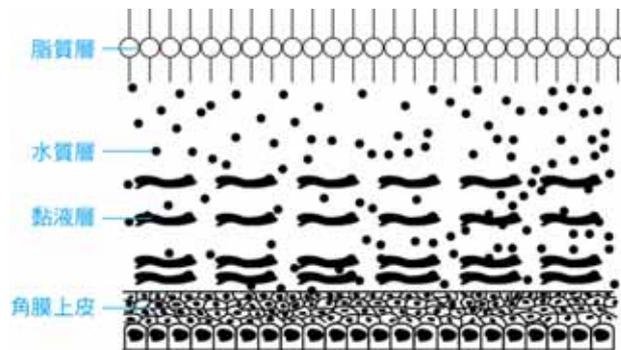
4. 配戴隱形眼鏡對角膜的影響

- (1) 缺氧的影響：配戴隱形眼鏡會減少角膜的供氧，缺氧會引起乳酸和二氧化碳堆積、pH 下降、滲透壓升高。常見的變化包括角膜水腫、上皮脫落、角膜新生血管、內皮泵功能下降和角膜敏感度下降等，程度輕微的併發症可以逆轉，嚴重者則不可逆轉。
- (2) 機械性影響：配戴隱形眼鏡後，細胞代謝碎片的聚積、壓迫、摩擦等會導致對角膜的機械性影響。

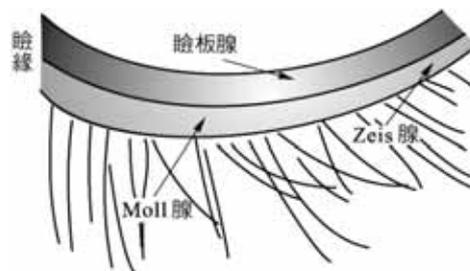
二、淚膜

(一) 淚膜的解剖學

淚膜(tear film)是覆蓋在眼球前表面的一層液體，為眼表結構的重要組成部分，分為眼球前淚膜（結膜表面）和角膜前淚膜（角膜表面）。淚膜的總厚度約為 $7 \mu\text{m}$ ，淚膜結構由外到內通常分為 3 層：脂質層、水濛層和黏液層（圖 1-4）。



▲ 圖 1-4 淚膜的結構



▲ 圖 1-5 淚膜脂質層的分泌腺體

脂質層厚約 $0.1 \mu\text{m}$ ，主要由睑板腺分泌，Zeis 腺和 Moll 腺也參與分泌，主要是蠟脂、膽固醇和磷脂等（圖 1-5）。脂質層增加淚膜表面張力，減少蒸發率，防止淚液自睑緣外溢。

水漾層厚 $6\sim7 \mu\text{m}$ ，是淚膜的主體，由 Krause 和 Wolfring 副淚腺分泌，包含水、電解質、蛋白質。其作用是維持角膜表面的親水性，為角膜運送營養物質，並含有抵抗微生物的保護因子。

黏液層厚 $0.02\sim0.05 \mu\text{m}$ ，主要由結膜杯狀細胞分泌，主要成分為糖蛋白和黏多糖。附著於角膜上皮表面的微絨毛形成水漾層所吸附的親水表面，降低淚膜表面張力，從而使淚膜的水漾擴張開。

(二) 淚膜的生理學

1. 淚液分泌和淚膜的成分：淚腺分泌系統包括淚腺和副淚腺。淚腺提供反射性分泌，物理性刺激（刺激瞼緣、結膜、角膜）、心理性刺激和對視網膜的亮光刺激等都會引起淚液反射性分泌。Krause 和 Wolfring 副淚腺提供基礎分泌。正常人基礎淚液的分泌率約為 $1.2 \mu\text{L}/\text{min}$ ，24 hrs 的總分泌量約為 10 mL，淚液的更新速率為 12~16%/min，淚液的 pH 為 6.5~7.6，滲透壓為 296~308 mOsm/L。正常的眨眼頻率為 12 次/min，每次眨眼使淚膜在眼表重新分布。
2. 淚膜的功能：(1)濕潤眼球前表面，維持角膜的透明性。(2)形成光滑的光學介面，為形成清晰的視覺提供良好的光學介質。(3)淚液含有免疫球蛋白和抗菌物質，可破壞細菌的細胞壁，抵抗感染，並可稀釋和排出毒素。(4)營養角膜，為角膜提供葡萄糖和氧氣。(5)淚液帶走脫落的上皮細胞和二氧化碳等代謝產物。
3. 配戴隱形眼鏡後的淚膜變化：配戴隱形眼鏡後對淚膜結構有較大的影響，往往會加速淚膜破裂。隱形眼鏡使淚液重新分布，分別在鏡片前、後各形成一層淚膜。鏡前的淚膜形態與鏡片的材料和設計有關。高含水量、大直徑鏡片的鏡前淚膜較穩定，標準厚度鏡片比超薄鏡片的淚膜穩定。

鏡片運動也對淚膜產生影響。眨眼初期，軟鏡變形，降低了對鏡後淚膜的壓力；眨眼過程中，鏡片呈眼瞼運動的反向運動，淚膜的厚度增加，故當鏡片材料的彈性模量下降時，患者的舒適度會增加。因為軟鏡的彈性模量比硬鏡小，鏡後的淚膜能保持相對厚度，所以比配戴硬鏡舒適。

淚膜各層的特徵和功能總結見表 1-2。

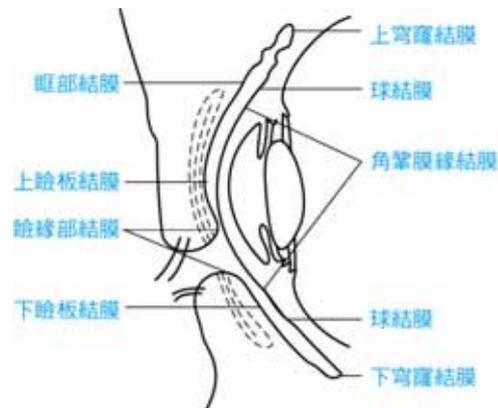
▼ 表 1-2 淚膜各層的特徵及功能

淚膜層	來源	厚度/ μm	主要功能
脂質層 / 類脂層	瞼板腺、Zeis 腺、Moll 腺	0.1	減少淚液蒸發
水漾層	Krause 和 Wolfring 副淚腺	6~7	淚膜的主體，維持角膜表面親水性，為角膜運送營養物質
黏液層	結膜杯狀細胞	0.02~0.05	使淚膜與角膜上皮附著

三、結膜

結膜(conjunctiva)是一層半透明薄黏膜，覆蓋於眼瞼的後面，再從穹隆部折彎過來覆蓋鞏膜的前面，形成結膜囊(conjunctival sac)。結膜分為瞼結膜、穹隆結膜和球結膜 3 部分(圖 1-6)。

1. 瞼結膜(palpebral conjunctiva)：與瞼板緊密粘連不能被推動，正常情況下可見垂直走行的小血管和透見部分瞼板腺管。
2. 穹隆結膜(fornical conjunctiva)：此部分結膜組織疏鬆、皺摺多，便於眼球活動。
3. 球結膜(bulbar conjunctiva)：是結膜最薄最透明的部分，球結膜與其下面的組織疏鬆相連，故易於移動。



▲ 圖 1-6 結膜分布

結膜腺體包括杯狀細胞（分泌黏液）、Wolfring 副淚腺和 Krause 副淚腺（分泌淚膜水漾層）等。

在組織結構上，結膜由上皮層和固有層組成。

結膜上皮層：由 2~5 層細胞組成，各部分的厚度和細胞形態不同。杯狀細胞在穹隆結膜（尤以下穹隆）和結膜半月襞最多，如果被破壞會導致結膜乾燥。

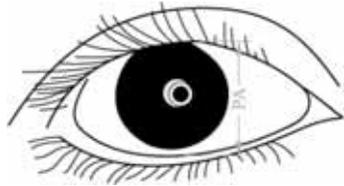
結膜固有層：又分為淺層的腺樣層和深層的纖維層。腺樣層很薄，在穹隆結膜部發育最好，它由纖細的結締組織網組成，其間有多量淋巴細胞，病理情況下這些淋巴結使結膜表面起伏不平，稱為假乳頭。纖維層由膠原纖維和彈力纖維交織而成。

四、眼瞼

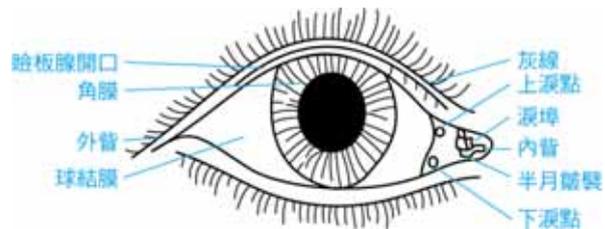
眼瞼(eye lids)位於眼眶前部，覆蓋於眼球表面，分為上瞼和下瞼，其遊離緣稱為瞼緣。上、下瞼緣間的裂隙稱為瞼裂（圖 1-7），

睜眼時瞼裂的大小因年齡和種族而異，亞洲成年人約為 28 mm × 8 mm，白種成年人約為 30 mm × 10 mm。瞼裂內外連結處分別稱內眦和外眦，中國人雙外眦平均相距 88.98 mm，雙內眦平均相距 33.90 mm。正常人平視時上瞼遮蓋角膜上部 1~2 mm。內眦有一小的肉樣隆起稱為淚阜。

瞼緣長為 25~30 mm，寬約 2 mm，有前、後唇，前唇圓，有 2~3 排睫毛。上瞼睫毛較長，為 8~12 mm，數目較多，為 100~150 根，向前下曲；下瞼睫毛較短，為 6~8 mm，數目較少，為 50~75 根，向前上彎曲（圖 1-8）。



▲ 圖 1-7 瞼裂



▲ 圖 1-8 眼瞼正面觀

在組織結構上，眼瞼從外向內分為 5 層：皮膚層、皮下組織層、肌層、瞼板層和結膜層。眼瞼的腺體中除了皮膚和結膜腺體外，還有瞼板腺 (meibomian gland)、Moll 腺、Zeis 腺。瞼板腺是位於瞼板的皮脂腺，是淚膜脂質層的主要來源。瞼板腺腺管互相平行，垂直於瞼緣排列，開口於瞼緣；Moll 腺是變態汗腺，開口於睫毛毛囊或與 Zeis 腺管相通；Zeis 腺是睫毛毛囊周圍的變態皮脂腺，直接開口於睫毛毛囊。眼瞼的血供主要來自頸外動脈和眼動脈兩大系統，並通過瞼結膜血管向角膜供氧。



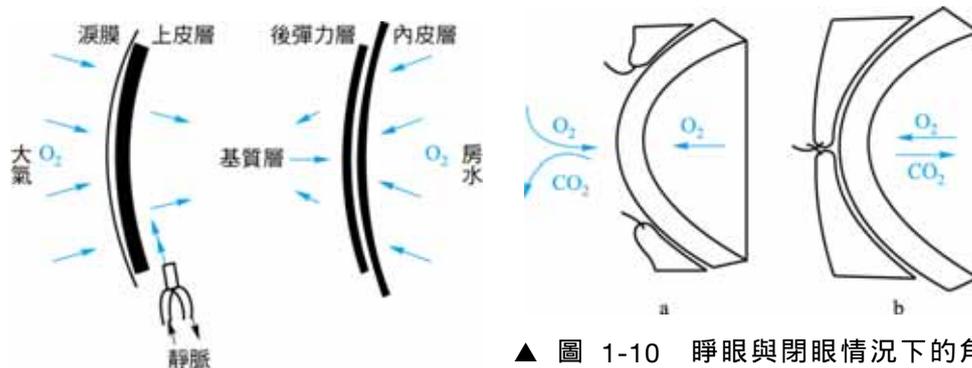
隱形眼鏡配戴與角膜供氧

一、角膜的供氧

氧氣在地表空氣中的體積比例約為 21%，在標準大氣壓下，氧分壓 (PO_2) 為 156.54 mmHg，通常取近似值 155 mmHg (圖 1-9)。

睜眼時，角膜上皮的供氧主要通過空氣中的氧溶解到淚膜中獲取，小部分來自於角鞏膜緣和瞼結膜血管，再傳送到角膜基質。角膜內皮的氧主要來源於房水，然後到角膜基質。閉眼時，來自空氣的供氧中斷，僅能從瞼結膜血管、房水、角鞏膜緣血管獲取氧 (圖 1-10)。閉眼時氧

分壓約為 55 mmHg，不戴隱形眼鏡閉眼 8 hrs 後角膜水腫量為 3.5%，睜眼後水腫很快消退。角膜的氧氣來源見表 1-3。



▲ 圖 1-9 角膜的氧氣供應

▲ 圖 1-10 睜眼與閉眼情況下的角膜供氧 (a.睜眼 ; b.閉眼)

▼ 表 1-3 角膜的氧氣來源

狀態	睜 / 閉眼	氧氣來源
不戴鏡	睜眼	主要來源：大氣；次要來源：角膜緣血管網、瞼結膜血管、房水
	閉眼	角膜緣血管網、瞼結膜血管、房水
戴鏡	睜眼	主要來源：大氣（部分被鏡片阻斷）；次要來源：角膜緣血管網、瞼結膜血管、房水
	閉眼	角膜緣血管網、瞼結膜血管、房水（其中經淚膜溶解後到達角膜的一部分被鏡片阻斷）

二、影響角膜供氧的因素

1. 海拔高度：海拔高於海平面時，氧分壓下降，角膜獲得的氧氣減少。
2. 配戴隱形眼鏡：隱形眼鏡直接影響大氣與角膜之間的氣體交換，其影響程度與鏡片材料、厚度、配戴狀況等有關。

三、角膜氧供需指標

1. 氧通透性(oxygen permeability, Dk)和氧傳導性(oxygen transmissibility, Dk/L 或 Dk/t)：氧通透性又稱 Dk 值，是鏡片材料在單位時間內容許氧氣通過的能力，由材料彌散係數(D)與溶解係數(k)的乘積得出，是鏡片材料的重要參數之一，用於描述隱形眼鏡材料傳導氧氣的能力。氧通透性是隱形眼鏡材料本身的固有屬性，不隨鏡片厚度、形態、後頂點屈光力的變化而變化。氧傳導性用 Dk/L 或 Dk/t 表示，其中 L 或 t 代表鏡片中央厚度或者局部厚度。 Dk/L 值既受 Dk 值的影響，又受鏡片厚度的影響。氣體通過硬性隱形眼鏡到達角膜表面的途徑是：氣體首先溶解到鏡片前表面，然後擴散入鏡片材料基質；氣體到達鏡片後表面後，溶解到鏡後淚膜並到達角膜表面。氣體通過水凝膠軟性隱形眼鏡到達角膜表面的途徑則不同，氣體是經鏡片材料中的水分傳遞的，因此受材料含水量的影響。鏡片材料中的水分為結合水和自由水，只有自由水才能傳遞氣體，因此結合水和自由水比率非常重要。矽水凝膠材料的基質中存在許多微小“通道”，使得氣體分子、離子和水分子可較自由地通過鏡片，所以氧通透性很高，並且不受鏡片材料含水量的限制。
2. 臨界氧需求(critical oxygen requirement, COR)：臨界氧需求是指能維持角膜正常生理代謝所需的最低氧分壓，一般用 Dk/L 值來表示，臨床常用的參數是根據 Holden 和 Mertz 等的研究得出，具體如下：