

## コンタクトレンズの洗浄 Cleaning of contact lens

中村 美穂・駒城 素子

Miho NAKAMURA and Motoko KOMAKI

(お茶の水女子大学ライフサイエンス)

### (1)市販コンタクトレンズの種類とその特性<sup>1)</sup>

#### ◎ハードコンタクトレンズ (HCL)

##### ①PMMAハードコンタクトレンズ

最も歴史のあるコンタクトレンズでポリメタクリル酸メチル (PMMA) からできており、キズが付きにくく比較的安価なレンズである。酸素を通さないという欠点がある反面、タンパク質などの汚れが付きにくい。

##### ②酸素透過性ハードコンタクトレンズ (GPHCL)

気体を透過させるコンタクトレンズ。角膜は大气から酸素を取り入れ、炭酸ガスを出し呼吸をしている。GPHCLは角膜と大气をレンズで区切ることによって起こる角膜の障害を防ぐことができる。気体は化学的に (分子レベルで) 通過し、気体透過係数は次の式で表される。

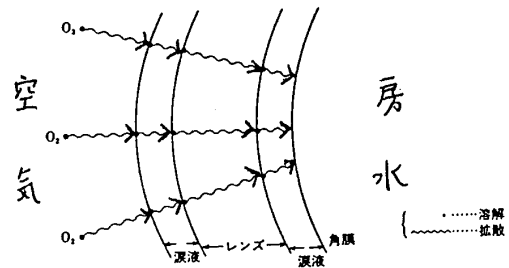
$$D_k = D \cdot k$$

$D_k$  : 透過係数 ( $\text{ml} \cdot \text{cm}^2 / \text{cm}^3 \cdot \text{sec} \cdot \text{mm Hg}$ )  
 $D$  : 拡散係数 ( $\text{cm}^2 / \text{sec}$ )  
 (物質中での気体の移動しやすさ)  
 $k$  : 溶解度係数 ( $\text{ml} / \text{cm}^3 \cdot \text{mm Hg}$ )  
 (物質の気体の通しやすさ)  
 材質の単位厚み (cm) を通して単位時間 (sec) に流れる気体の容積 (ml) を両側の圧力差 (mm Hg) で割った値を示す。

市販のコンタクトレンズでは  $Dk / (\text{ml} \cdot \text{cm}^2 / \text{cm}^3 \cdot \text{sec} \cdot \text{mm Hg})$  が  $100 \times 10^{-11}$  を超えるものも多く、 $200 \times 10^{-11}$  以上の GPHCL も現れている。

角膜上皮への酸素補給はレンズ素材を透過する方法の他に、涙液交換で伝達する方法、房水中から伝達する方法がある。コンタクトレンズ着用時の空気中から角膜上皮への酸素の透過メカニズムは Fig.1 のような段階で進む。

GPHCL は PMMA レンズに比べるとキズやタンパク質の汚れが付きやすいという欠点がある。



- (1) 空気中→涙液 (溶解)
- (2) 涙液中 (濃度勾配による拡散)
- (3) 涙液→レンズ外面側の高分子 (溶解)
- (4) レンズ材質内 (拡散)

Fig.1 レンズ着用時の酸素の拡散・溶解による透過<sup>1)</sup>

#### ◎ソフトコンタクトレンズ (SCL)

##### ①含水性ソフトコンタクトレンズ

水を含んだソフトコンタクトレンズで、その含水率は 38~78% である。水分子はコンタクトレンズの高分子内または高分子間に形成された小さな空間に束縛されている。含水率の求め方は次のようである。

$$\text{含水率}(\%) = \{(W - D) / W\} \times 100$$

$D$  : 乾燥時のレンズの重量  
 $W$  : 湿潤時のレンズの重量

レンズの性質は非常にやわらかく、少量の酸素を透過できる。含水性高分子では、高分子鎖の熱運動による酸素の拡散よりも、水の拡散の方が大きい。従って、含水性 SCL においては含水率を上げることにより酸素透過性を高めることができ、また角膜の代謝に必要な無機イオンの透過性も向上させることができる。

SCL は装着感が良い反面、水分を含んでいるためカビや細菌などが附着しやすく、含水率を上昇させると細菌類の繁殖、汚染も起こりやすくなる。そのため、殺菌消毒する必要がある。また、爪などで破れやすい。

②シリコンラバー・アクリルラバー

水分は含んでいないが、含水性 SCL のように装用感が良い。水分が含まれていないので菌の繁殖も少なく、透明性、機械的強度、耐薬品性にも優れている。シリコンラバーは角膜にぴったりと固着し過ぎる点、煮沸によって変性する点が問題である。

(2) コンタクトレンズ (CL) の材料の性質<sup>i</sup>

プラスチックレンズ材料に要求される性能は熱伝導性、涙液による濡れ性、酸素透過性、無毒性、易消毒性などがあげられる。

◎ハードコンタクトレンズ (HCL)

①酸素低透過性のもの

- ポリメタクリル酸メチル (PMMA)

②酸素透過性のもの

- セルロース誘導体

セルロース・アセテート・ブチレート (CAB)  
セルロースの-OH と酢酸、酪酸とでエステル化させたもの。MMA などとブロック共重合させる。

- シロキサメタクリレート (SiMA)

- スチレン共重合体

- 含フッ素重合体⇒高 Dk 値

(高い Dk 値の GPHCL はシロキサニル系モノマーと含フッ素系モノマーの共重合体が多い。)

◎ソフトコンタクトレンズ (SCL)

①含水性のもの

- ヒドロキシアクリル系

(ヒドロキシエチルメタクリレート (HEMA)。水酸基を持っていて親水性があるために眼の角膜と親和性がある。30~50%の含水率。)

- ビニルピロリドン (VP)

(環状ラクタムを持つ。D<sub>k</sub> 値の高い材料としてハイドロゲルに着目。含水率 40~80%。)

- アミド系

②非含水性のもの

- ジメチルシロキサン (シリコンラバー)

- アクリル酸ブチルとメタクリル酸ブチルの共重合体

次に代表的な素材及びメーカー名、レンズ名を示す<sup>i</sup>。

Table 1 contact lens material and brands

Category	Material	Brand	Manufacturer	
Hard Contact Lens	P.M.M.A.	(conventional hard contact lenses)		
Soft Contact Lens	HEMA	Hydron	Hydron (U.S.A.)	
		Soflens	Bausch & Lomb (U.S.A.)	
		Weicon	Titmus Eurocon (W.Germany)	
		Hydroflex	Wöhik Contactlinsen (W.Germany)	
		Alcon 38	Alcon Laboratories (U.S.A.)	
		Profil-h	Essilor (France)	
		AO Soft	American Optical (U.S.A.)	
		HEMA + NV-2-P + MMA	Tre Soft	TRE Corp. (U.S.A.)
		HEMA + MA	Menicon	Toyo Contact Lens (Japan)
		HEMA + Hydroxyl Group	Soft	
	GMA + PMMA	CSI	Syntex Ophthalmics (U.S.A.)	
	HEMA + NVP + MA	Permalens	Cooper Laboratories (U.S.A.)	
	VP + MMA	Sauflon	Contact Lens Manufacturer (U.K.)	
	Amino Amido	Duragel	Scanlens (Sweden)	
		Focus 66	Focus Contact Lens (U.K.)	
	Silicone	Silsoft	Dow Corning Ophthalmics (U.S.A.)	
Gas Permeable	CAB	Persecon	Titmus Eurocon (W.Germany)	
Hard Contact Lens		Hartflex	Wöhik (W.Germany)	
		Meso	Danker Laboratories (U.S.A.)	
		Rx56	Rynco Scientific (U.S.A.)	
	Silicone copolymer SMA + MMA	Polycon	Syntex Ophthalmics (U.S.A.)	
		Menicon O,	Toyo Contact Lens (Japan)	

(3) 汚染

コンタクトレンズの汚れや沈着物には次のようなものがある。

①涙液成分

[脂質、タンパク質、無機質 (カルシウム、ナトリウム、カリウム)、角膜・結膜の細胞]

②外界からの汚れ

[化粧品 (ファンデーション、マスカラ、アイシャドー)、タバコの煙、粉塵、指の汚れ]

③微生物 (細菌、真菌など)

⇒SCL (レンズの中に水分が保持されているので、細菌が繁殖しやすい。)

この中でも涙液由来のタンパク質や手指、化粧品からの脂質が多い。

<タンパク質汚れについての従来の研究>

涙液に含まれる主なタンパク質は、アルブミン、グロブリン、リゾチムなどである。

タンパク質はアミノ酸が重合して互いにペプチド結合 (-CONH-) で結ばれたペプチド鎖からなる天然高分子であり、疎水性と親水性

を合わせ持つ。コンタクトレンズの場合、涙液中に存在するタンパク質の疎水基が水との接触を少なくなるように、涙液中からレンズの疎水性表面に吸着する。従ってタンパク質の吸着は非常に早いと考えられる。親水性表面では水和した水が存在するので、タンパク質が吸着する際には、レンズ表面に水和した水とタンパク質の親水基が置換するほど大きな親和力をレンズに対して必要とする。このため表面へのタンパク質の吸着は発生しにくいと考えられる。

Fig.2 はタンパク質であるアルブミン、 $\gamma$ -グロブリン、フィブリノーゲンと高分子表面の関係を示したものである。アルブミンは親水性重合体に、 $\gamma$ -グロブリン、フィブリノーゲンは疎水性重合体に吸着しやすいことがわかる。

コンタクトレンズ装用中のレンズ表面では上記の吸着以外に、水分の蒸発がレンズの外側で生じるため、タンパク質の乾燥付着も起こる。このタンパク質は変性も起こると思われる。

レンズ表面とその表面に吸付着したタンパク質との間には、ファン・デル・ワールスカ、静電的相互作用、疎水結合などが働くため、タンパク質によるレンズの汚れを取り除く際には、固着力の強弱および種類に左右される。

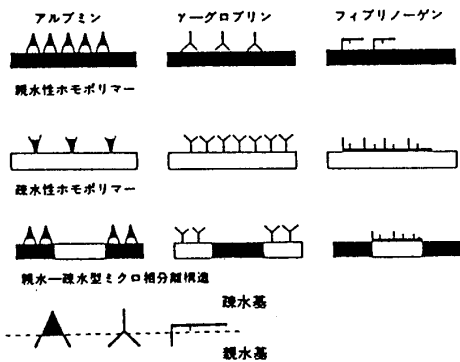


Fig.2 親水性・疎水性表面でのタンパク質の吸着

ハードコンタクトレンズにおいて酸素透過性を向上させると、疎水性および汚れ付着性が高くなる。疎水性を改善するには、親水性物質をレンズ材質内に付加する方法と、レンズの表面処理を行う方法の2つに大別される。澤はコンタクトレンズの接触角を調べ、表面処理GPHCLの接触角は極めて低いが、親水基を付

加したGPHCLではおおむね酸素透過性の増大と共に接触角が低くなる傾向を示した。

貫和ら<sup>6)</sup>はタンパク質汚れに着目し、GPHCLに対する4種類の<sup>125</sup>Iラベル化タンパク質(卵白リゾチーム、ヒト血清アルブミン、ヒト血清免疫グロブリンG、ウシ乳ラクトフェリン)の吸着をPMMA(ポリメタクリル酸メチル)レンズの場合と比較した。結果を次に示す。

- 吸着量(いずれのレンズでも)  
卵白リゾチーム>ウシ乳ラクトフェリン>アルブミン、グロブリン
- 卵白リゾチーム、ウシ乳ラクトフェリン吸着量;GPHCL>PMMAレンズ
- ヒト血清アルブミン、ヒト血清免疫グロブリンG吸着量;GPHCL=PMMAレンズ

この実験では条件pH7で、卵白リゾチーム(等電点11~11.4)とウシ乳ラクトフェリン(等電点7.8)はプラスに荷電しているのに対し、GPHCLは濡れ性を付与するためメタクリル酸が添加されているので表面は強くマイナスに荷電している。涙液中を考えてみると涙液リゾチーム(等電点9.7)は卵白と同じ塩基性だが、ヒト涙液ラクトフェリン(等電点3.8~5.3, 5.3~7.1)は酸性~中性タンパク質となりpH7ではマイナスに荷電し、ウシ乳ラクトフェリンの塩基性とは異なる。

このことから涙液タンパク質のGPHCLへの吸着ではリゾチームが一番問題になり、GPHCLへのタンパク質の吸着性にはタンパク質およびレンズ両者のイオン性が大きく関与していることが結論づけられた。

一方、伊藤ら<sup>7)</sup>は装用済のコンタクトレンズをアミノ酸分析したところ、リゾチーム、グロブリン、アルブミンのいずれにも同定できず、コンタクトレンズに沈着したタンパク質は1種類に片寄ることなく混在しているのではないかと述べている。

これまでにGPHCLのタンパク質汚染については、いくつか報告があるが、メカニズムについては明らかにされていない。タンパク質の汚れ吸付着には静電的な要因が考えらる。

筆者らは、貫和ら<sup>6)</sup>が導いたリゾチームが最

も問題であるという結果に基づいて、PMMA へのリゾチームの吸着等温線を描き、吸着機構を探っている。

汚れのついたCLを使用すると異物感、くもり、充血、乾燥感、まぶしさ、視力低下、通気性の低下など、障害が引き起こされる。そこで眼から外す度に汚れの除去—洗浄をしなければならない。Fig.3 にタンパク質が付着したレンズの写真を載せた。

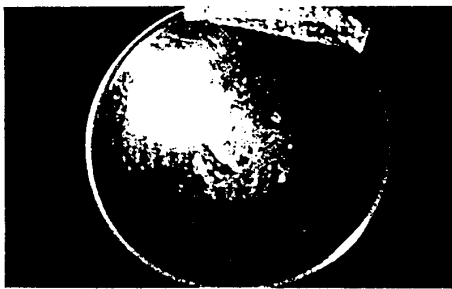


Fig.3 タンパク質が付着したコンタクトレンズ

#### (4)洗浄

コンタクトレンズを洗浄することによりレンズに付いた異物を取り去り、表面を清潔に保つことができる。SCLは水分を含んでいるので、細菌の繁殖を防ぐための消毒が必要となる。

- 煮沸消毒→確実に細菌は殺せるが、毎晩するため材質自体を傷めやすい。レンズに汚れが付着したまま熱を加えると、汚れがこびりつきレンズの性能の低下、レンズの劣化を起こす。
- 化学消毒→日本では92年から。過酸化水素を含む消毒液を用いるので、中和が必要。中和を忘れると眼が充血する。

GPHCLの汚れの除去方法には界面活性剤、酵素、微粒子入り洗浄剤、次亜塩素酸系処理剤、研磨などがあげられる。塩谷ら<sup>vi</sup>は洗浄剤によるGPHCL汚れの洗浄効果について調べ、自覚症状がない程度の汚染レンズでは、汚れの約65%以上を除去することはほとんど不可能であるとしている。また、レンズ上の汚れが肉眼で認められるものでは、酵素剤を使用しても約70%しか汚れが除去できないとしている。

酵素は一般に温度の高い溶液では不安定で

あるし、レンズ表面に親水性の処理を施したGPHCLでは、研磨剤や微粒子入り洗浄液で洗浄することによって、親水性が失われてしまうこともある。金井ら<sup>vii</sup>はGPHCL汚れの除去に効果的で、誤った方法で洗浄液を使用しても角膜に障害を引き起こさないようなレンズ洗浄液や、汚れのつきにくいレンズ材料の開発が期待されると述べている。

そこで筆者らはGPHCLについて従来の洗浄方式とは異なる新しい洗浄溶媒等を開発するため、眼に最も安全と思われる水を中心にエタノールも含めてその可能性を探った。

その結果、エタノールはGPHCLに対し臍潤を引き起こし、その形状を変えてしまうため、GPHCLの洗浄には向かないこと、超純水と比べ、超純水を電解して得たアノード水、カソード水の方がGPHCLのタンパク質汚れを除去する力があるが、実用できるほどの効果はないことがわかった<sup>viii</sup>。

コンタクトレンズの洗浄研究については、メーカーは汚れをとることを目的とし、眼科医は生理学的影響を中心に見るため、そのメカニズムは汚れの付着、脱着ともにまだ明らかにされていないのが現状である。

- 
- i) Menicon 創業30周年記念論文集 発行；東洋コンタクトレンズ株式会社 (1982)
  - ii) コンタクトレンズ，坪田一男，日本評論社 (1993)
  - iii) 澤充，日本コンタクトレンズ学会誌，36，24-29 (1994)
  - iv) 貫和紀子ら，同上，36，112-116 (1994)
  - v) 伊藤孝雄ら，同上，28，259-269 (1986)
  - vi) 塩谷浩，同上，29，266-269 (1987)
  - vii) 金井淳ら，同上，32，71-78 (1990)
  - viii) 中村美穂，お茶の水女子大学卒業論文 (1998)