



眼の健康ジャーナル

Vol. 4. No. 1 - 4

三島眼科医院発行

〒213-0001 川崎市高津区溝口 1-9-1

三井住友銀行溝ノ口ビル 4 F

Phone: 044-814-4138

コンタクトレンズの話 : 1 - 4

コンタクトレンズ発展の歴史



コンタクトレンズの話 1

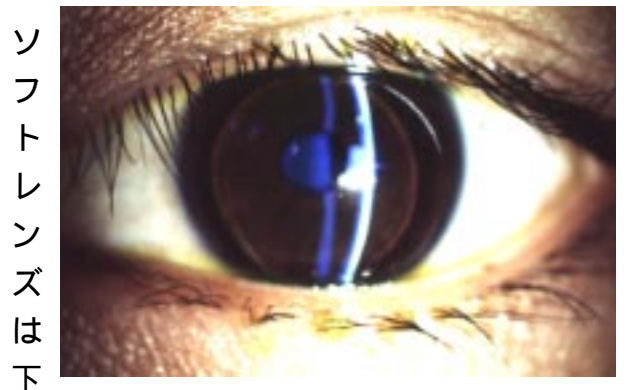
1. コンタクトレンズを安全・快適に装用するために

コンタクトレンズは、近視、乱視等の屈折異常を矯正する手段として眼鏡と同じくなくてはならない用具で、日本のコンタクトレンズ装用者は1,000万人近くになります。コンタクトレンズは眼鏡と違い、**角膜という眼のもっとも大切な組織上にのせる**ものですから、不注意な取り扱いによって角膜に傷害をおこし、その後混濁が残ってよく見えなくなったり、また最悪の場合は感染をおこして失明するという例が報告されています。眼は我々の近代生活にとって、もっとも基本的な感覚器官ですから、コンタクトレンズによって、眼に傷害を起こさないよう万全の注意が必要です。コンタクトレンズを正しく取り扱うことは、コンタクトレンズと眼とのかかわり合いについて、十分に正しい知識を持つことによって初めて可能になります。この話のシリーズでは、皆様にコンタクトレンズを長期間、安全に、そして快適に装用していただきたいと願って、コンタクトレンズに関わる眼の生理、今のコンタクトレンズが長年の試行錯誤を経て今日まで発展してきた経緯等についてお話をします。

2. コンタクトレンズの種類

現在のコンタクトレンズには水を含まない堅い高分子材料で出来ているハードコンタクトレンズ(ハードレンズ)と水を含む高分子物質で出来たソフトコンタクトレンズ(ソフトレンズ)の2種類があります。ハードレンズは右上の図にあるように直径

が8-9mmと小さく、角膜(直径10.5mm)の上ののるようになっています。



ソフトレンズは下図のように角膜より大きくて13-14mmの直径があり、角膜をすっぽりとおおうように出来ています。いずれの図もレンズは透明でわかりにくいので、見えやすいように着色してあります。



ハードレンズとソフトレンズは材質が違っただけでなく、眼の上ののせたときの眼とのかかわり合いの生理も違ってきます。また、コンタクトレンズは常に清潔に保ち、消毒をしてから眼に装用する必要がありますが、その方法も2つのレンズの間に違いがあります。眼の方の状態によって、ハードレンズの方がよい場合、ソフトレンズの方がよい

(裏へ続く)

場合があるといった違いもあります。コンタクトレンズに直接関わる眼の組織は角膜、涙液、結膜等ですが、これらの組織の状態はコンタクトレンズによって影響を受け、炎症を起こしたり、傷害を受けたりすることがありますので、これらの組織についてもお話をする予定です。

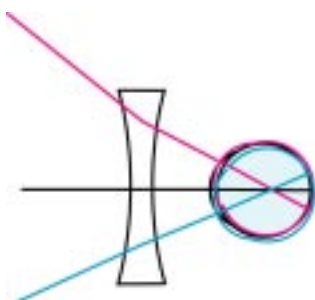
3. メガネとコンタクトレンズ

屈折異常の矯正にはメガネが第一選択でしたが、コンタクトレンズの進歩により、今ではメガネと並んで重要な矯正手段になりました。しかし、メガネにはその利点、コンタクトレンズにも利点があり、そのいずれもそれぞれ欠点を持っています。

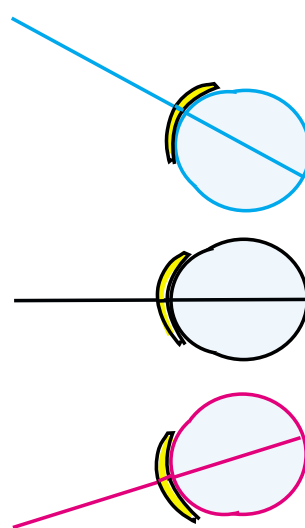
メガネの利点は、かけたりはずしたりするのが非常に手軽で便利、そのうえ枠を選ぶことによりファッション性があり、なかなかよいものです。最近のメガネは高品質の硝子を使い薄くてよいものになりました。そのほか合成樹脂(プラスチック)製のメガネも軽くて安全なのでスポーツ等に広く使われるようになりました。

しかし近視・乱視がある程度以上強くなると、メガネではどうしても克服できない光学的な問題があります。その幾つかをお話しします。

メガネレンズには光学中心があり、これを眼がまっすぐ向いている方向(右図、黒線)に一致させることになっています。しかし眼は色々な方向を向きますので、横や上を向いたとき、レンズの周辺を通る光(青、赤の線)がレンズのプリズム作用で曲げられて眼に入ります。メガネの度が弱いときはあまり問題になりませんが、4 D(ジオプリー)程度以上の近視ではこのために眼が疲れま



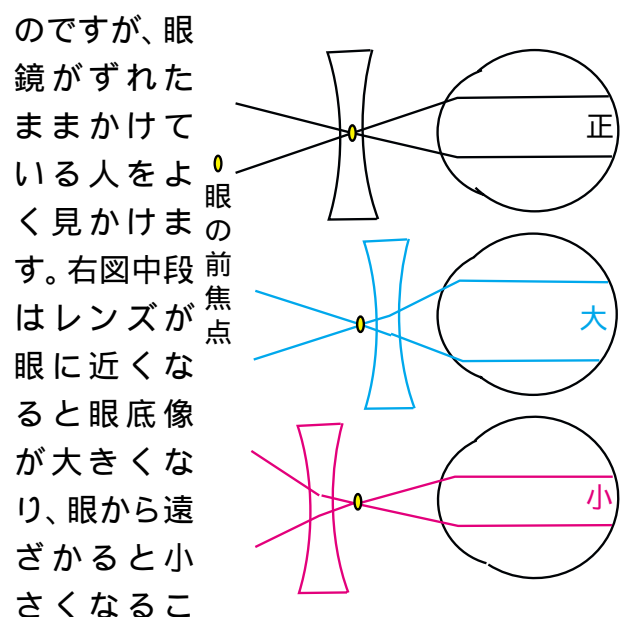
コンタクトレンズでは左下の図にあるように、レンズは眼の上ののっている



を自由に動かしても、メガネのような光学的変化がありませんし、視野が制限されるということもありません。スポーツ選手等で、視線を急に变化させなければならぬとき等、レンズがずれないようにする工夫が必要で、最近そのような

コンタクトレンズでできました。

眼鏡は眼の前焦点即ち眼前 12 mm にかけることになっています。このときは右図上のように正しい大きさの像が眼底に結ぶ



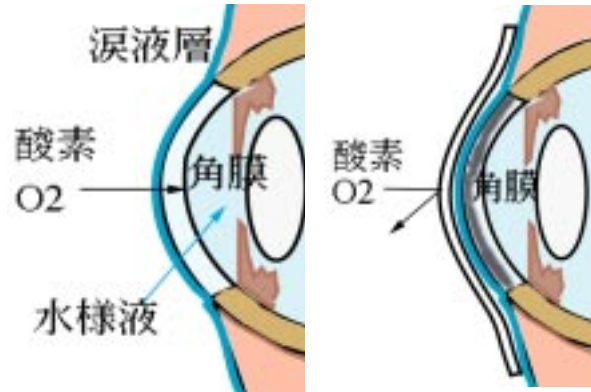
のですが、眼鏡がずれたままかけている人をよく見かけます。右図中段はレンズが眼に近くなると眼底像が大きくなり、眼から遠ざかると小さくなることを図で示してあります。ですから眼鏡がずれると左右眼の像の大きさが異なり、両眼視が困難で、眼がとても疲れることになります。コンタクトレンズではこのような問題がありません。

コンタクトレンズは光学的には良い点が多いのですが、よいことづくめではなく、多くの問題がありますので次号以下にこれをお話しします。(以下次号に続く)

コンタクトレンズの話 2

1. ハードコンタクトレンズの生い立ち

今から100年前、不正乱視の角膜をガラスの球面で覆って見えるようにしたのが、コンタクトレンズの始まりです。かけた瞬間はよく見えたが、1-2時間もすると、右下図のように、角膜が濁って見えなくなりました。このレンズを何とか利用しようと多くの人が改良を加え、眼の鑄型をつくってぴったり眼に合わせたりしましたが、結局この角膜混濁の原因も分からず、問題も解決することができないまま、世界は第2次大戦に突入し、約50年が過ぎてしまいました。



2. 角膜呼吸の発見とコンタクトレンズ

角膜が大気中から酸素を吸って呼吸をしていることを発見したのは日本の金沢大学の先生で昭和10年(1935)のことでした。この重大な発見は戦争のため、あまり知られないまま時間が過ぎてしまいました。1952年(昭和27年)になってから、ニューヨークのコロンビア大学で、コンタクトレンズで角膜が濁るのは、レンズが酸素を遮断して角膜の呼吸を阻害するためだと云うことが証明されました。右上の左図は角膜が大気中から涙液層を経由し酸素を呼吸して生きている図で、右図はコンタクトレンズのため酸素が角膜に到達できず、角膜混濁がおきていることを示しています。

3. 酸素がないと角膜が濁るわけ

角膜は眼のレンズですから透明でなければなりません。また、人体の一部ですから、多くの細胞からできており、角膜の後の眼の中の水様液(上左図参照)から、ブドウ糖、アミノ酸等の栄養素を取り込んで、新陳代謝をし、そのエネルギーを使って角膜を透明に保っています。この新陳代謝には酸素が不可欠で、酸素がなくなると角膜を透明に保つエネルギーを作り出すことができなくなるのです。この事実は1955年頃から1960年頃までに分かってきました。

4. 角膜コンタクトレンズの発明

第2次大戦の終わりごろ、アメリカで合成樹脂が発明され、これを使って、思い切って小さい(直径7-9mm)角膜の上にだけつけるコンタクトレンズが製作されました。当時はまだ角膜の呼吸のことは知られていませんでしたが、角膜全体を覆った古いレンズと違って何とかかけられるようになりました。これは今日のハードコンタクトレンズの始まりで、裏頁の上の図のように角膜上の涙液層に吸着されて、角膜中央

(裏へ続く)

部に止まることのできるレンズになりました。なぜこの小さいコンタクトレンズは角膜混濁をおこさないで、かけられたのでしょうか。これは瞬きとともにレンズが角膜上を動き回るからだと云うことが分かってきました。

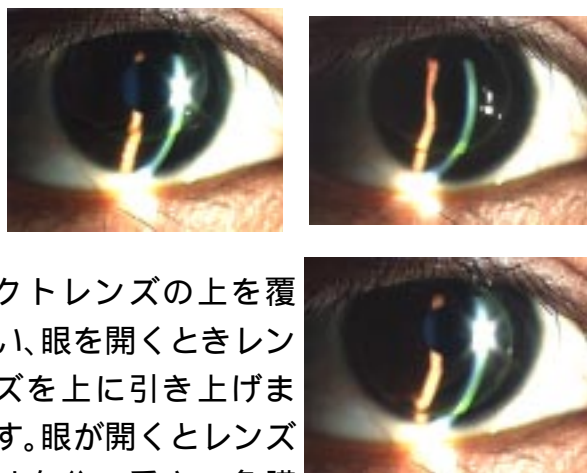


5. ハードレンズが角膜上を動き回れるわけ

角膜・結膜の表面はいつも涙で濡れています。この涙液の層は約1000分の7mmという非常に薄い層ですが、いつも一定の厚さに保たれ、角膜の上を滑らかな光学面にして、眼を健康に保つ重要な働きをしています。右上図では角膜・結膜上に涙液層があり、その上に角膜の表面の湾曲(曲率)にうまく一致したハードレンズをおくと、レンズと角膜の間に涙が入り、涙の表面張力という力でハードレンズの下がやや陰圧になってレンズが角膜に吸い付けられているのです。ハードレンズが角膜の上ののって落ちないのはそのためですが、レンズは瞬きによって横滑りをします。

6. 瞬きとハードコンタクトレンズ

人は無意識に、約5秒に1回の割合で瞬いています。眼をつむる時、上眼瞼がコンタ



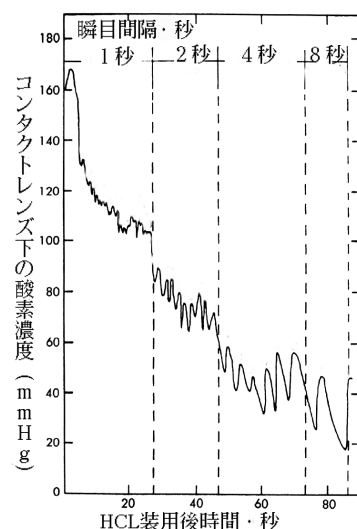
クトレンズの上を覆い、眼を開くときレンズを上を引き上げます。眼が開くとレンズは自分の重さで角膜上を滑り下りてきて、角膜中央部に固定します。上右、上左、右図の順に瞬きのたび

におこるレンズの動きを示してあります。レンズの内面カーブがうまく角膜の湾曲に合っていると、スムーズにレンズが動き、この間にレンズの下に新しい涙が入り込みます。レンズのカーブをうまく角膜に合わせるの「フィッティング」と呼ばれ、コンタクトレンズ処方技術ですので別の機会にお話します。

7. コンタクトレンズの動きと酸素供給

大気中には約20%の酸素が含まれ、人はそれを肺から吸収し、血液を介して体中に酸素を送り込み、ブドウ糖等の栄養素を使って新陳代謝をし、できた炭酸ガスを肺から外に排出して生きています。角膜は直接外界から酸素を吸収し新陳代謝をし、できた炭酸ガスは直接大気中に排出します。この酸素供給はコンタクトレンズにさえぎられるので、レンズが動いて、涙の中の酸素をいつもレンズ下に供給していなければ駄目なのです。瞬きの間隔が1、2、4、8秒であったときにコンタクトレンズ下の酸素濃度がどうなるかを示したのが下の図です。1秒ごとに瞬くと、レンズ下の酸素は大気中の約3分の

2、2秒毎で約2分の1、4秒毎で約3分の1になります。眠って眼をつむった状態での角膜上の酸素濃度は大気中の約3分の1ですから、4秒ごとに瞬けば眠ったときと同じで、酸素供給からすると安全圏です。



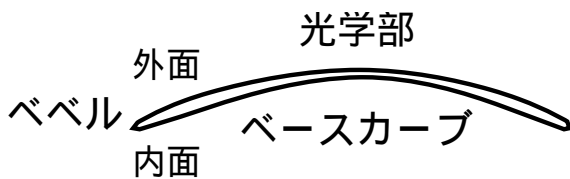
(以下次号に続く)

コンタクトレンズの話 3

ハードコンタクトレンズの改良

1. ハードコンタクトレンズの改良: その1

ハードコンタクトレンズ(ハードレンズ)が角膜の上で動き回られるのが成功のもとであると分ると、ハードレンズをさらに改良して、角膜とうまく合わせられるような工夫が試みられました。まず角膜の湾曲とうまく合致して、具合よく涙の上にのるようになるため、ハードレンズの内面のカーブに工夫がこらされました。それが下の図です。



まず、オートレフラクトメータ(下図)で角膜の湾曲(曲率)を測定し、ハードレンズのベースカーブという中心



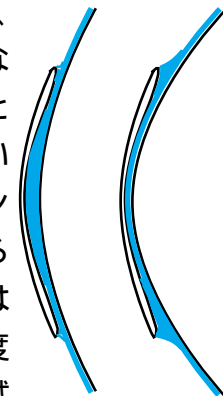
内側の湾曲を角膜の湾曲と合わせます。これはコンタクトレンズの「フィッティング」といわれる技術です。人により、角膜の曲率は異なり、また、縦方向と横方向でも少し違っているので、どの方向にも丁度よい様に合わせ、レンズの下にうまく涙の層ができるようにします。

ベースカーブだけがレンズ周辺まで続いているとレンズの下にうまく涙が入らず、レンズの動きが悪いので、レンズ周辺部は

ベベルといって中心から周辺に向かって湾曲を少しずつ変えて滑らかに周辺部に移行し、前面の湾曲につながるように工夫されています。ハードレンズ製作の初期の頃にはこの湾曲の移行をどうするかという研究が盛んで、現在のものに到達したわけです。こうすると右図のように、角膜の上にレンズがよく合致し、レンズがうまく涙液層の上のり、涙液の表面張力によってレンズが角膜に吸い付けられ、角膜中心で安定します。さらに、瞬きによってよく動き回り、瞬きの度毎にレンズ下に新しい涙液が入り込み角膜を守ってくれることとなります。



下左図ではレンズのベースカーブが角膜の曲率より強い場合、下右図は逆に弱い場合です。下左図の場合はレンズのフィッティングがタイトであるといい、角膜上でのレンズの動きが悪くなり、角膜の酸素不足の原因になります。下左はフラットと言ひ、レンズが角膜に吸い付けられる力が弱く、レンズが動き回って、はずれる原因になります。私どもはレンズが上図のように丁度よくフィットするように試みるわけです。 (裏へ続く)



2. ハードコンタクトレンズの改良: その2

初期のハードコンタクトレンズはポリメチルメタアクリル(PMMA)と云う合成樹脂で出来ていました。このレンズは全く酸素を透過しません。従って、瞬きによるレンズの動きが重要な鍵をにぎっていました。しかし、いつもレンズが理想的に動いてくれるとは限りませんので、酸素欠乏による障害がしばしばおこりました。これを解決するためには、レンズが酸素を透過すればよいと言う考えで、酸素を透過する材料の開発が試みられました。シリコン樹脂は酸素を透しますが、それ自身は水になじまないため、PMMAとシリコンを適当に混ぜた材料でコンタクトレンズをつくることできるようになりました。これが現在の「酸素透過性ハードコンタクトレンズ」です。眼を開いている間は、このレンズを通して酸素が角膜に到達するので、従来のPMMAレンズよりは安全であるということで、盛んに用いられるようになりました。

3. ハードコンタクトレンズと瞬き

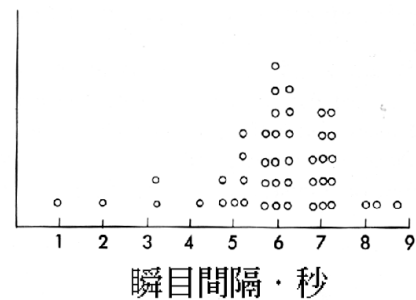
我々は無意識に瞬いています。これは、眼を開いている限り、外からの刺激から眼を守る涙の層をいつも正常に作りなおしている必要があるからです。これについては次号で詳しくお話するとして、今回はコンタクトレンズを装用する事によって瞬きがどう変わるかについてお話します。

右上の図はある人が何秒間隔で瞬くかを調べたものですが、上半分の図はコンタクトレンズを装用する前の自然の室内での状態です。瞬きの間隔には非常に変化があり、短いときには2秒、長いと8秒くらいの間隔で瞬いています。もっとも多いのは6秒前後の間隔です。

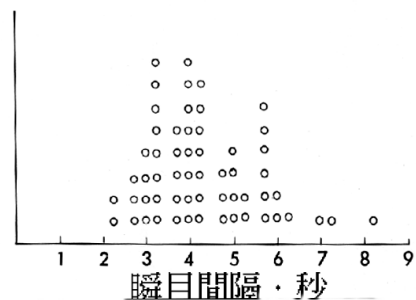
さて、コンタクトレンズを装用した後で、瞬きの間隔を計ったのが下半分の図です。

回瞬いていることが分かります。これは、前号でお話した角膜への酸素供給という点から見ると、非常に好ましい瞬目間隔です。レンズ自体が全く酸素を透過しないPMMAで作った従来型のレンズでもこの程度瞬きをしていると、角膜上の酸素濃度は大気中の約3分の1程度で、眼をつむって寝ている状態の酸素濃度とほぼ同じですから、まず安全です。最近の酸素透過性ハードレンズ

コンタクトレンズ装用前



装用後



でもこの程度の瞬きをしていますので、さらに安全になったと云うことができます。

4. 瞬き不十分による障害

ハードレンズを装用すればいつも瞬きが増えるかということ、必ずしもそうではありません。また瞬きも不十分で、前号で述べたような良いレンズの動きが見られない人もいます。このような場合にはレンズは角膜の下の方に固定して動かなくなるので、その下の角膜に障害がおきます。従来型レンズでも、酸素透過性レンズでも同じです。パソコンの画面などを注視していると、こういう現象がおきやすくなりますので、ハードレンズを装用している人は十分な瞬きをするように注意しましょう。

(以下次号に続く)

コンタクトレンズの話 4

ソフトコンタクトレンズの発展：その1

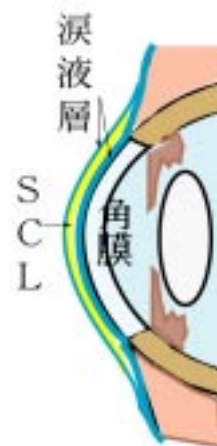
1. ソフトコンタクトレンズの出現

1960年代にチェコ共和国の科学者ピヒターレが、「ヘマ」(HEMA, Hydroxyethylmethacrylate)という透明で水を含む柔らかい高分子材料を発明し、これをコンタクトレンズに加工することに成功しました。アメリカの会社がこの技術の特許を買い、1970年頃、新しい種類のコンタクトレンズ製造を始めました。これが、ソフトコンタクトレンズ(ソフトレンズ)の始まりです。当時のハードレンズは酸素を透過しなかったため、水を含み、酸素を透し、そのうえ初めての装用者にも異物感のない心地よいソフトレンズの出現は、夢のレンズが現れたと云う希望を持たせました。

しかし、しばらくするうちに、このレンズにも多くの問題があることがわかってきました。まずレンズの消毒が大変面倒で、黴菌がつきやすいこと、レンズに涙の成分が吸着して変質し炎症を起こす可能性があること、酸素の透過性が予期したほどではないので角膜の酸素欠乏問題が解決されなかったこと、等でした。また、アメリカの厚生省はソフトレンズを医薬品と位置づけ、慎重な開発研究と臨床試験を要求しました。しかし、ソフトレンズの装用感は優れていたため、このレンズの出現を契機にして、コンタクトレンズに関する研究が急激に進歩し、今日まで約30年の間に多くの高分子材料が開発され、ソフトレンズ製造技術も改良されたので、非常に普及する事になりました。これからソフトレンズの話連載します。

2. ソフトレンズの形と使用法

下左図はソフトレンズを装用した眼の写真で、下右図はソフトレンズ(SCL)と涙液層、角膜との関係を示す模型図です。ハードレンズは角膜より小さいレンズを作って初めて成功しましたが、ソフトレンズは柔ら



かいので、小さいとすぐ角膜からはずれますので、角膜をすっぽりと覆い白目(眼球結膜)まで達する大きいものでなければ安定しません。そこで、図のように直径が13 - 14.5mmと大きく作られています。また、ハードレンズほど、厳格ではありませんが、レンズ内面の彎曲(ベースカーブ)を角膜の彎曲に合わせなければなりません。ハードレンズの場合と同じく、これをレンズの「**フィッティング**」といい、レンズ処方技術です。良いレンズは瞬きにより適当に動き、ポンプのような動きをして、レンズ下の涙液とレンズ外の涙液とが交換出来るという条件にかなわなければなりません。また、上図のようにソフトレンズ表面にも薄い涙の層があり、瞬きによって新しい涙液が表面を覆います。ハードレンズとはたらは異なりますが、ソフトレンズにも瞬きは非常に重要です。(裏へ続く)

3 . 医療用具とコンタクトレンズ

アメリカの厚生省がソフトレンズについて医薬品と同じような研究開発をし、その有効性と安全性を確かめないと認可をしないと決定しました。即ち、ソフトレンズは眼に重大な障害をおこす可能性のある物として慎重に扱われることになったわけです。

日本でも、これにならいコンタクトレンズはハードレンズ、ソフトレンズの両方とも「医療用具」であると定められました。これは体の中に埋め込んだり、接触させて用い、病気の治療や、治療の補助に使う道具のことで、一定のルールにより、用いなければ人体に危険があるので、政府がその品質を規制して、開発研究の結果を診査して、認可するかどうかを決定するものです。この道具を用いることは、医療行為で医師以外の人には許されていません。政府厚生省は医療用具を診査する審議会を開いて認可するかどうかを決定します。医療用具の例としては、白内障手術で使う眼内レンズ、心臓ペースメーカー、人工血管、人工関節といった人工臓器等があります。

また、日本にもPL法即ち製造物責任法が制定され、コンタクトレンズも対象になりますので、コンタクトレンズの装用には非常な注意が要求されます。コンタクトレンズにより眼の大切な角膜に障害がおきると、混濁が残り、視力が低下するだけでなく、重篤な場合には失明の危険もあるので、慎重な上にもなお慎重でなければなりません。厚生省では、「医療用具調査会」を組織し、医療用具による事故等の問題点を常に調査し、使用上の注意を喚起したり、医療用具改善の行政指導をしています。コンタクトレンズもこの対象になっています。

4 . ソフトレンズの開発と発展

ソフトレンズは医薬品と同等の慎重な開発が要求されますので、膨大な開発研究費が必要ですが、それでも、非常に多くの良質な高分子物質が開発されコンタクトレンズ

に加工され、今日では数百種類のコンタクトレンズがあります。

アメリカの厚生省は多数のソフトレンズ材質をその物理的性質によって、4つのグループに分類しました。1)含水量が低く(50%以下)イオン化していないもの(電気を帯びていないもの)、2)含水量が高く(50%以上)イオン化のないもの、3)含水量が低く(50%以下)イオン化しているもの、4)含水量が高く(50%以上)でイオン化しているもの。これは高分子物質の物理的性質による分類で、レンズとしての優劣を示すものではありません。このような分類は、消毒、清浄の方法が物理的性質によって異なるので、非常に便利です。

初期のソフトレンズは含水量も低く、厚いものしか出来なかったので、角膜に十分酸素を供給することが出来ませんでした。そこで含水量を高くして70%にもなるものが出来ましたが、それだけでは十分ではなかった。レンズ加工技術と材質の強度を高め、非常に薄くて丈夫なレンズが開発されました。ソフトレンズは薄いほど角膜への酸素供給がよくなるからです。

ソフトレンズの消毒方法も変遷を重ね、ソフトレンズの変化による眼の炎症などをさけるために、レンズ使用に期限をもうけて、頻回に交換するもの、極端には1日で使い捨てるものなどが現れ、ソフトコンタクトレンズの世界は最近急激に変化を遂げています。また、コンタクトレンズ装用によりおこる眼の変化に関する生理学的研究も、技術革新とともに進歩し、新しい知識が加わりました。これによってソフトレンズの使用法にも変化がおこりつつあります。ソフトレンズはこれからまだまだ進歩することでしょう。過去約30年にわたるソフトレンズの変遷を知ることはソフトレンズを正しく使用するために必要であると思いますので、次号以下にお話します。