

# 空気噴流印加時角膜変形状からのメッセージ

## 1. はじめに

緑内障は、眼球内で発生する眼圧上昇が引き金となって視神経障害が発生し、視野が徐々に失われていく眼疾患である。一度失われた視野は回復することはなく、唯一の対処法は、点眼薬等により眼圧上昇を防止し、進行を防ぐことである。緑内障は65歳以上の高齢者100人に対して約5人程度発症するきわめて発症リスクの高い眼疾患である。

緑内障診断の出発点は眼圧計測である。眼球に外部から圧力を印加し、角

膜が規定量変形したときの外圧が眼圧値として定義される。この原理は、サッカーボールの空気圧を調べるのにボールを指で凹ませ、そのとき指先が感じる圧力で判断するのと全く同じである。このように眼圧計測原理はきわめて単純であるが、そう簡単に眼球内圧力が正確に推定できるわけではない。本稿では、非侵襲で正確な眼圧計測を行うことは原理的に不可能であることを説明したうえで、どうすればより正確な眼圧評価ができるのかといった点について筆者らの最新の研究成果を紹介してみたい。

## 2. 眼圧計測の問題点と対処法

眼圧計測には、純粋な眼圧成分のほかに角膜硬さが関係する構造剛性に起因する圧力成分が含まれる。眼圧計測がむづかしいのは、眼の構造剛性に起因する圧力成分がわからないからである。たとえば、図1のように計測値20mmHgであっても、眼圧10mmHg、構造剛性に起因する圧力10mmHgという組合せだけでなく、無限の組合せが考えられるため、非侵襲で真の眼圧値を求めることは原理的にできない。角膜を切り出して、計測した剛性は、In-vivoの状態では角膜は周囲組織と干渉し合うため眼圧計測時における構造剛性とは全く異なる。このような現状を容認したうえで、ここでは最も汎用的な空気噴流方式の非接触眼圧計を例にとりて構造剛性を評価するアイデアについて説明してみたい。

空気噴流が眼に印加されると、角膜は変形をはじめ、やがて平坦形状から凹形状へと変形する。この角膜変形過程で筆者らがとくに着目した点は、角膜が凹形状になったときの最大曲率である。同一眼圧値の眼に対して空気噴流を印加した場合、もし角膜曲げ剛性が低い場合には、角膜の曲がり方が大きく、つまり曲率が大きく、逆に角膜曲げ剛性が高い場合には、角膜の曲率は小さくなることが予想される。したがって、この角膜の最大曲率を計測すれば、眼の構造剛性を評価できるというのがアイデアの骨子である。

## 3. 実験および実験結果

眼に刺激が入ると、ヒトは約50ミ

リ秒後に本能的に眼を閉じ始める。空気噴流印加後、この時間内に計測を完了しなければならない。眼の変形計測はまさに時間との戦いである。1秒間に30枚の画像を取得する通常のカメラでは、50ミリ秒で取れるのはたかだか2枚で、眼の変形の様子を忠実に追跡することはできない。

図2は、1秒間に5000枚取得できる高速度カメラを用いて250マイクロ秒ごとに眼の三次元変形を取得する計測システムである。図3は高速度カメラによって計測された角膜の二次元および三次元変形状の一例である。これより二次元変形状ではうまく計測できていない角膜の凹形状が三次元変形状によって明確に捕えられていることがわかる。図4は、このようにして角膜変形の最大曲率を調べたグラフである。図4において横軸は最も正確な眼圧計測が行われる接触式眼圧計(GAT)によって計測された眼圧値で縦軸は最大曲率を示す。また図4には、比較のため高齢者と若者に対する臨床実験結果が示されている。

図4より一般的な傾向として、眼圧値が高くなると、最大曲率は小さくなっていくことが見てとれる。これは眼球内圧力が増加した結果として、角膜が変形しにくくなったことを意味し、直観ともよく合う。一方、同じ眼圧値に対して高齢者と若者の最大曲率を比較すると、全体的に若者よりも高齢者のほうが最大曲率が大きくなっていくことがわかる。

## 4. 本研究からのメッセージ

図4の結果は、高齢者になると眼の構造剛性が小さくなっていることを意味する。構造剛性が小さくなるということは、結果的に計器は眼圧値を過小評価することを意味する。このことは緑内障の発症リスクの高い高齢者に対して、眼圧計が低めに出ることを意味し、緑内障候補者を見逃してしまう可能性がある点を指摘しておきたい。

(原稿受付 2011年3月16日)

[金子 真 大阪大学]

### ●文 献

- (1) 山田憲嗣・ほか, 空気噴流印加時における角膜の凹部変形を考慮したダイナミックセンシング, 計測自動制御学会論文集, 45-10 (2009), 495-501.

