

平成 21年 5月15日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19300183
 研究課題名（和文） 生体眼角膜変形遅れ特性の発生メカニズムの解明
 研究課題名（英文） Analysis of the Mechanism of the Delay Characteristics in Cornea Deformation of Living Eye

研究代表者
 金子 真（KANEKO MAKOTO）
 大阪大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：70224607

研究成果の概要：角膜の動的な挙動を三次元的に観測するシステムを構築し、従来、観察することのできなかつた凹部を含めた角膜変形挙動の可視化および数値データ化を実現した。角膜変形の個人差に着目し、非接触眼圧計による眼圧値と角膜変形の度合い表す曲率との相関関係を調査することにより、老年層の角膜の張りが失われ、同じ力で印加しても若年層に比べ角膜が変形しやすく、眼圧を過小評価してしまう危険性があるという知見を得た。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	10,500,000	3,150,000	13,650,000
2008年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：検査・診断システム、非接触眼圧計、眼剛性計測、緑内障診断

1. 研究開始当初の背景

緑内障は眼球内の圧力があがって、視神経を圧死させることにより、視野が低下し、最終的には失明に至る眼科疾患である。統計的には50歳以上の人口の約4%は緑内障であると言われている。緑内障診断では眼圧推定が出発点になっているものの、針を眼球に刺さない限り、眼圧の真値はわからない。現実的には、このような浸襲方式ではなく、外部から角膜に力を加えて、角膜の変形の様子から眼圧を推定する非浸襲方式が採用されている。眼圧 p_{in} は圧平面積 A が直径 3.06mm の円になったときの外部圧力 p_{ex} として定義されている。このとき、角膜の厚さや眼球の

大きさに個人差があると、圧平面積 A が同じであっても外圧 p_{ex} が必ずしも内圧 p_{in} に 1 対 1 に対応するとは限らない。例えば、同じ圧平面積 A 、同じ外圧 p_{ex} であったとしても角膜の変形形状が異なる場合がある。それにも係わらず、現在の眼圧計は両者の内部圧力が同じであるという結果を吐き出してしまふ。このような問題に対処するには、外圧 p_{ex} だけでなく、眼軸方向の角膜変位 x も p_{in} に影響を与えると考えるべきである。角膜変位 x は、角膜厚、眼軸長といった眼球各部位の幾何学的パラメータだけでなく、各部位の境界条件を介して互いの力学的干渉効果まで加味された硬さパラメータであるから角膜

変位 x の導入はより質の高い眼圧推定に必要不可欠と言える。

2. 研究の目的

(1) 角膜の動的な挙動を三次元的に観測する新システムを構築し、従来、観察することのできなかった凹部を含めた角膜変形挙動の可視化および数値データ化を目的とする。

(2) 角膜変形の個人差に着目し、非接触眼圧計による空気噴流印加時の角膜変形の度合いを曲率で表現し、眼圧値との相関関係を明らかにする。

3. 研究の方法

角膜の動的な挙動を三次元的に観測するための方法として、図1に示すように、NCT (Non-contact tonometer) を用いて角膜に空気噴流を印加している様子を斜めから高速度カメラで撮影し、鏡を用いて仮想的なステレオ視を行う。また透明物体である角膜に赤外線スリットを照射することにより特徴点を与えることで角膜中央の凹部の三次元情報を取得し、三次元モデルを作成する方法を確立する。

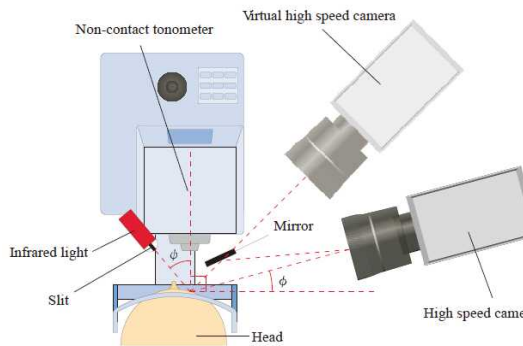


図1 実験システム

また、本実験システムでは、高速度カメラ位置を変更することにより、NCTの空気噴射軸上の任意の射影面における2D角膜表面変形挙動をエッジ処理によって取得することも可能である。ここで、得られた角膜の変形形状データに基づき、高速度カメラで得られた印加時の角膜挙動の映像に画像処理を施すことにより角膜表面のエッジを取得し、そのエッジを最小二乗法により求められた回帰曲線で近似する。関数化されたエッジの曲率と眼圧値との相関を調べることで、角膜形状変化の個人差が眼圧測定にどのように影響するのかを明らかにする。

4. 研究成果

(1) 図2に赤外線スリットを付与した生体眼を撮影した様子を示す。中央の赤い破線は赤外線スリットが照射されている部分を示す。この図に示すような、生体眼の凹形状を

含めた動的変形挙動を可視化した例は、我々の知る限り本研究が初と言える。一方、図2における赤外線スリットを特徴点として、各

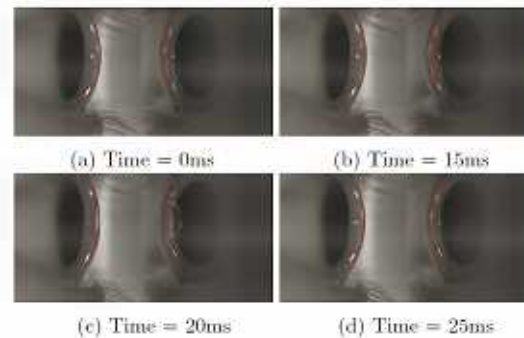


図2 角膜動的挙動の可視化

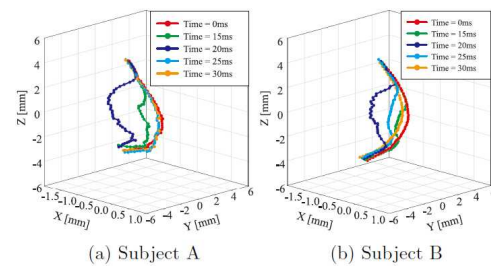


図3 角膜動的挙動の数値データ化

画像から49個抽出し作成したモデルを図3(a)に示す。三次元モデルは初期状態の測定開始時間 $T=0ms$ 及び、 $T=15 \sim 30ms$ までの $5ms$ 間隔の状態を作成した。モデル結果を見ると、角膜断面が円弧に近い初期状態から、空気が印加され徐々に押し込められ、空気の印加を止めると徐々に元に戻っていく様子が確認できる。別の被験者における角膜変形映像から作成した三次元モデルを図3(b)に示す。同様に、角膜が変形している様子が確認できる。

(2) 角膜の挙動を撮影する高速度カメラを、NCT噴射軸と眼軸の両者に対して垂直に設置し、空気噴流印加時の角膜変形を撮影した。図4に、角膜表面のエッジ、エッジの近似曲線、曲線の曲率を求めた結果を示す。グラフ左上の R^2 は R 二乗値であり、エッジデータと求めた近似曲線が一致している割合を表している。一般的に 0.95 以上であればよく一致していると言えるので、最小二乗法で求めた近似曲線はエッジデータをうまく関数化していると言える。また、曲率に注目すると、角膜が曲がっているところでピークを示していることがわかる。この曲率は、角膜が急激に曲がっているほど大きな値を示す。図5に、曲率のピーク値を用いて、前も

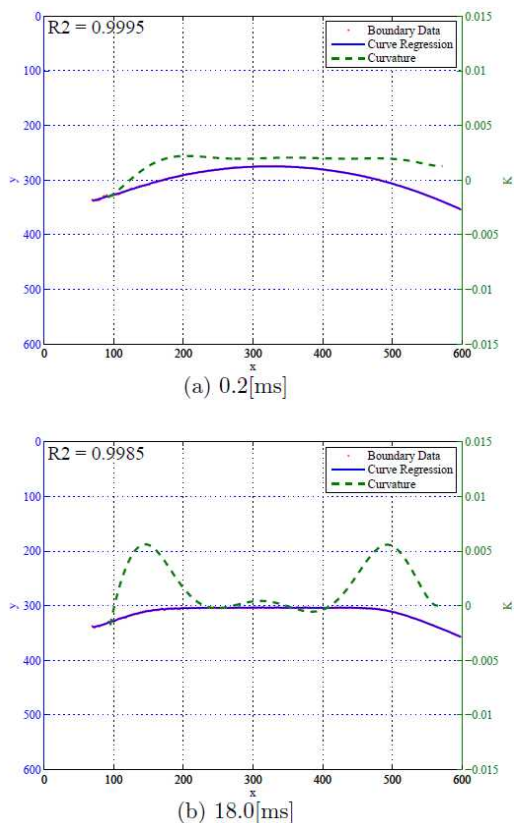
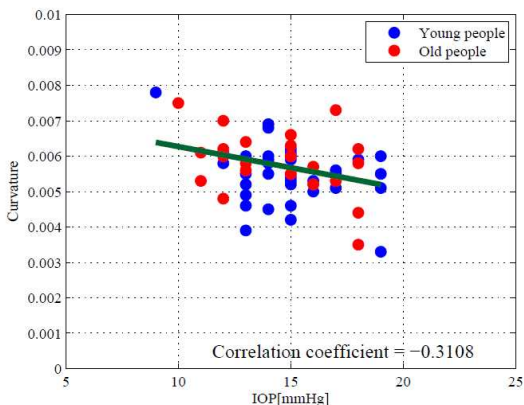


図4 角膜表面形状と曲率



って測定していた眼圧値との相関を調べた結果を示す。ここでは、角膜の老化による性質の変化も考慮して、総被験者数 54 名のうち、20 代の若年層と 50 歳以上の老年層の二つに分類している。眼圧値と曲率との相関係数を求めると、-0.3108 と弱い負の相関が得られた。この結果は、眼圧が低いほうが角膜が変形しやすいという直感的な予想と一致する。また、若年層と老年層の曲率の平均値を比べると、老年層の曲率平均値の方が若干大きくなっている。このことから、(I)老年層の角膜の張りが失われている可能性がある、(II)同じ力で印加しても若年層に比べ角膜が変形しやすく、眼圧を過小評価してしまう危険性がある、という二つの知見を得ることができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

杉本栄一郎、三嶋弘、塚本秀利、竹中丈二、望月英毅、木内良明、金子真、栗田雄一、ケンフ ローランド、飯田義親、徳田寛一、川原知洋、非接触型眼圧計を用いた角膜の変形のしやすさの測定、眼科臨床紀要、no.1、vol.6、pp.556-560、2008、査読有

Yuichi Kurita, Roland Kempf, Yoshichika Iida, Jumpei Okude, Makoto Kaneko, Hiromu K Mishima, Hidetoshi Tsukamoto, Eiishiro Sugimoto, Seiki Katakura, Ken Kobayashi, and Yoshiaki Kiuchi, Contact Based Stiffness Sensing of Human Eye, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol.55, no.2, pp.739-745, 2008, proceeding

〔学会発表〕(計 2 件)

五所卓巳、山崎直幸、山田憲嗣、東森充、木内良明、金子真、生体眼のアクティブダイナミックセンシング - 曲率と眼圧との相関 -、第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2008)、2008 年 12 月 7 日、岐阜
山田憲嗣、東森充、木内良明、金子真、空気噴流印加時の生体眼角膜変形のダイナミック計上計測、生体医工学シンポジウム、2008 年 9 月 20 日、大阪

〔その他〕

2008 年 計測自動制御学会論文賞

6. 研究組織

(1)研究代表者

金子 真 (KANeko MAKOTO)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：70224607

(2)研究分担者

東森 充 (HIGASHIMORI MITSURU)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：30346522

(3)連携研究者

木内 良明 (KIUCHI YOSHIAKI)

広島大学・医歯薬学総合研究科・教授

研究者番号：40214738