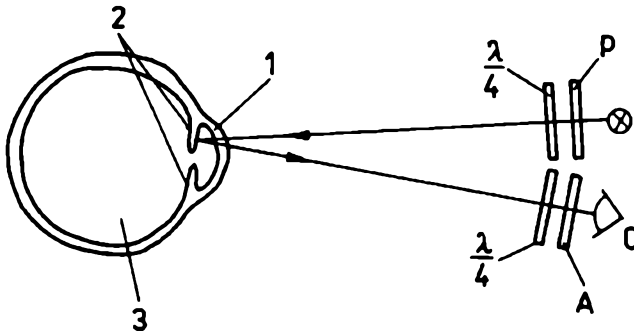




Wykorzystanie zjawiska wymuszonej dwójłomności optycznej rogówki, a więc możliwości zastosowania metod elastooptyki do pomiaru ciśnienia śródgałkowego, zostało zbadane przez F. Z a n d m a n a [5]. Autor badał efekt elastooptyczny występujący w rogówce żywych ludzkich i zwierzęcych oczu, stosując do tego celu metodę badań elastooptycznych w świetle odbitym. Jako powierzchnię odbijającą wykorzystywano tęczęwkę.

Konstrukcja urządzenia służącego do tych badań wzorowana była na polaryskopie typu „V” (Ryc. 1)

W urządzeniu tym światło spolaryzowane przez polaryzator przechodzi przez rogówkę i po odbiciu od tęczęwki wraca inną drogą do analizatora. Polaryzator i analizator składają się z jednakowych elementów — w przypadku stosowania polaryzacji liniowej są to dwa jednakowe polaroidy. W celu uzyskania polaryzacji kołowej ustawia się ćwierćfalówki za polaroidem polaryzatora i przed polaroidem analizatora. Polaryzator i analizator umieszczone są obok siebie w jednej obudowie.



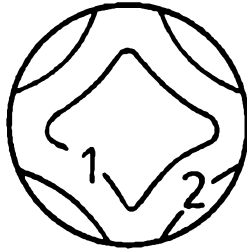
Ryc. 1. Polaryskop do badania efektu elastooptycznego rogówki (wg Zandmana): 1 — rogówka; 2 — tęczęwka; 3 — ciało szkliste; P — polaryzator; A — analizator,  $\lambda/4$  — ćwierćfalówka; O — obserwator

Polariscope for investigating the photoelastic effect of cornea (after F. Zandman): 1 — cornea; 2 — iris; 3 — vitreous body; P — polarizer; A — analyser;  $\lambda/4$  — quarter-wave plate; O — observer

Zandman stosował z powodzeniem powyższą metodę badania rogówki stwierdzając, iż obraz elastooptyczny obserwowany u ludzi chorych różni się znacznie od takiego obrazu u ludzi zdrowych i zależy w dużym stopniu od wielkości ciśnienia śródgałkowego. W polaryskopie liniowym (bez ćwierćfalówek) ze skrzyżowanymi polaroidami widoczne są u ludzi zdrowych ostre, czarne izokliny. Izoklina  $0^\circ$  ma zazwyczaj kształt krzyża. W polaryskopie kołowym, przy oświetleniu białym światłem, obserwowany obraz elastooptyczny składa się z izochrom barwnych, jeśli tęczęwka jest niebieska lub, ogólnie rzecz biorąc,

jasno zabarwiona. Jeśli tęczówka jest ciemna, to izochromy są takie, jak w świetle monochromatycznym. Izochroma rzędu 1 ma zazwyczaj kształt rombu. Na brzegach rogówki widoczne są części izochromy rzędu 2.

Na rycinie 2 przedstawiono typowy obraz izochrom w rogówce zdrowego ludzkiego oka. Aby uzyskać powtarzalność wyników, w polaryskopach stosowanych do badań ciśnienia śródgałkowego kąt między kierunkiem oświetlenia i kierunkiem obserwacji powinien być stały i możliwie jak najmniejszy.



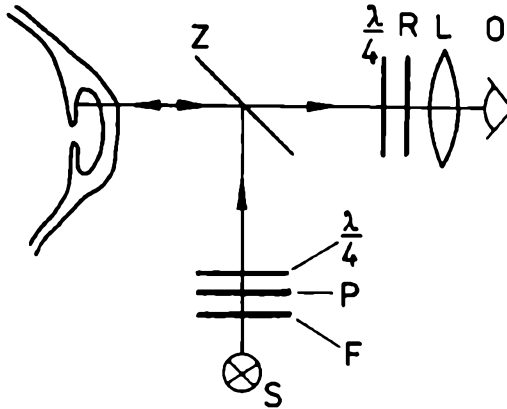
Ryc. 2. Obraz izochrom całkowitych w zdrowym oku człowieka  
Dark-field isochromatic pattern in a "normal" human eye

W urządzeniu proponowanym przez Zandmana zmniejszenie tego kąta możliwe jest wówczas, gdy zmniejszymy wymiary polaryzatora i analizatora lub wówczas, gdy ustawimy przyrząd w większej odległości od oka. W pierwszym przypadku uzyskuje się bardzo małe pole widzenia, w drugim konieczne jest stosowanie silnych źródeł światła, a ponadto obserwacja obrazu elastoptycznego z dużej odległości zmniejsza dokładność wyniku badania.

W skonstruowanym przez autorów tonometrze optycznym uniknięto powyższych niedogodności. Budowę tego urządzenia wzorowano na typowym polaryskopie z półlustrzem, stosowanym do badań elastoptycznych metodą warstwy powierzchniowej [2]. Wprowadzenie kilku uproszczeń konstrukcyjnych umożliwiło zminiaturyzowanie urządzenia. Działanie tego przyrządu przedstawione jest na rycinie 3 (schemat optyczny), a przykład wykonania na rycinie 4.

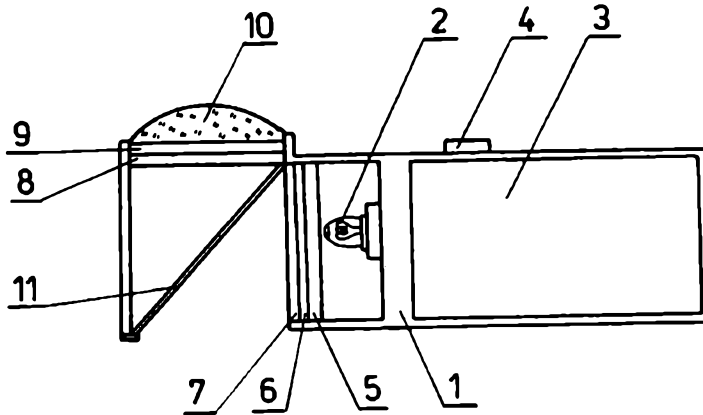
Tonometr optyczny składa się z umieszczonych w obudowie (1) dwóch części: optycznej oraz oświetlacza. Oświetlacz składa się ze źródła światła białego (2), pojemnika na baterie (3) oraz wyłącznika (4). Część optyczna składa się z pojemnika z filtrem monochromatycznym (5), polaryzatora (6), ćwierćfalówki (7). Prostopadle do tych elementów umieszczona jest druga ćwierćfalówka (8), analizator (9) oraz soczewka skupiająca (10) spełniająca rolę lupy.

Między analizatorem a polaryzatorem umieszczone jest pod kątem  $45^\circ$  względem tych elementów lustro półprzepuszczalne (11).



Ryc. 3. Schemat tonometru optycznego: S — źródło światła; F — filtr monochromatyczny; Z — zwierciadło półprzepuszczalne;  $\lambda/4$  — ćwierćfalówki; P — polaryzator; A — analizator; L — soczewka pełniąca rolę lupy; O — obserwator

Schematic diagram of an optical tonometer: S — light source; F — monochromatic filter; M — half-mirror;  $\lambda/4$  — quarter-wave plate; P — polarizer; A — analyser; L — lens being a magnifying glass; O — observer



Ryc. 4. Tonometr optyczny według konstrukcji autorów: 1 — obudowa; 2 — żarówka; 3 — pojemnik na baterie; 4 — wyłącznik; 5 — filtr monochromatyczny; 6 — polaryzator; 7, 8 — ćwierćfalówki; 9 — analizator; 10 — lupa; 11 — zwierciadło półprzepuszczalne

The optical tonometer — the authors' construction: 1 — housing; 2 — bulb; 3 — battery holder; 4 — switch; 5 — monochromatic filter; 6 — polarizer; 7, 8 — quarter-wave plate; 9 — analyser; 10 — magnifying glass; 11 — half-mirror

Światło ze źródła (2) przechodzi przez filtr monochromatyczny (5), polaryzator (6), ćwierćfalówkę (7) i pada na lustro półprzepuszczalne (11), gdzie jego część odbija się w kierunku badanego oka. Po przejściu przez rogówkę światło

odbija się od tęczówki i wraca tą samą drogą do lustra. Część światła przechodzi przez lustro, a następnie przez ćwierćfalówkę (8), analizator (9) oraz przez lupę (10) i trafia do oka osoby prowadzącej obserwację.

Stosowanie filtra monochromatycznego nie jest konieczne, jednak w przypadku jasnej tęczówki w oku badanym obraz będzie ostrzejszy, jeśli umieścimy filtr na drodze światła.

Leczenie jaskry jest najbardziej skuteczne we wczesnych okresach tej choroby, dlatego bardzo ważne jest jej wczesne ujawnienie. Opisujący tonometr umożliwia natychmiastowe stwierdzenie odchylenia od normy ciśnienia śródgałkowego, a co za tym idzie wczesne wykrycie stanu chorobowego. Badanie polega na skierowaniu światła wychodzącego z przyrządu na oko i obserwowaniu powstałych prążków interferencyjnych. Gdy stwierdzi się, że kształt i rozmieszczenie prążków są inne, niż to ma miejsce w przypadku oka zdrowego, wówczas pacjenta należy skierować na dokładne badania.

Tonometr optyczny mógłby zastąpić stosowany czasem w badaniach profilaktycznych impresyjny tonometr Berensa-Tolmana, przy pomocy którego tylko oznacza się, czy ciśnienie jest normalne, czy też podwyższone.

#### LITERATURA

- [1] W. Arkin, *Jaskra i jej leczenie*, PZWL, Warszawa 1996.
- [2] *Fortschritte in der Diagnostik und Therapie des primären Glaukoms*, multiautor work, Meyer-Schwickerath, K. Ulrich, Bucherei des Augenarztes, 69, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1976.
- [3] B. Grolman, *A new non-contact applanation tonometer*, *Opt. Belg.*, 207 (1) (1974).
- [4] F. Zandman, *Photoelastic effect of the living eye*, *Exp. Mech.*, 5 (1966).
- [5] R. S. Doroszkiewicz, *Elastoptyka*, PWN, Warszawa-Poznań 1975.

#### SUMMARY

The cornea of human eye is birefringent, and the birefringence depends on intraocular pressure value. It makes possible the photoelasticity to be a diagnostic tool in ophthalmology. The paper presents a simple non-contact optical tonometer which can be used in preventive examinations for early glaucoma diagnosis.

One of the diagnostic methods in ophthalmology is based on the measurement of intraocular pressure. All the deviations from the standard value of this pressure could be the morbid symptoms in an eye. It is for example a usual method for glaucoma diagnosis.

The apparatus for the intraocular pressure measurement is called tonometer. There are two types known: impression tonometer and applanation tonometer. With impression tonometer the measurement is done through the pressing on the eyeball with constant force using a special flat-ended penetrator. The size of the cornea deflection corresponds to the pressure value. In applanation tonometry the instrument causes the flattening of cornea, and the area of flattened surface is always the same - what is measured is the force which causes that flattening.

The use of impression or applanation tonometer requires the contact between the eyeball and the instrument, which means that the anaesthesia of the eyeball is necessary. And this is why that type of apparatus cannot be used commonly.

There is one type of the non-contact tonometer known, where flattening of cornea is achieved by a pulse of compressed air. The intensity of that pulse increases in time linearly. The flattening is measured by means of the optical-electronic method, and the finite time interval of the flattening of cornea depends linearly on the internal pressure. Here the anaesthesia is not needed, nevertheless the construction of the instrument is very complex and therefore it cannot be used widely.

In the tonometer constructed by the authors of this paper the mentioned above inconveniences are omitted. The apparatus is similar to the polariscope with the half-mirror used in the photoelastic coating technique. Several constructional simplifications have been introduced to miniaturize the instrument.

The schematic diagram (Fig. 3) gives the idea how the instrument works. The instrument itself is shown in Figure 4.