

FACTORES FISICOS QUE INFLUYEN EN LA MEDIDA DE LA PRESION INTRAOCULAR CON EL TONOMETRO DE GOLDMANN

**ALEJANDRO ARCINIEGAS, M. D.
LUIS ENRIQUE AMAYA, Ph. D.
Bogotá, Colombia**

Se practican, en ojos de conejos vivos, medidas simultáneas de la presión ocular, sobre la córnea con tonómetro de Goldmann y en la cámara vítrea con sensor de presiones.

Los diferentes experimentos realizados muestran que las lecturas de la presión ocular, tonómetro de Goldmann vs. sensor de presión, es en promedio 2.5 veces mayor con el sensor de presión que con el tonómetro de Goldmann.

Obviamente, la presión tomada en la cámara vítrea es mucho más real que la tomada sobre la córnea.

Se da asimismo las explicaciones para esta gran diferencia, mostrando que el tonómetro de Goldmann no tiene en cuenta aspectos físicos importantes que influyen en la toma real de la presión ocular, tales como:

- a) Espesor de las cubiertas oculares (córnea y esclera).
- b) Propiedades mecánicas de las envolturas oculares, córnea y esclera, tales como el módulo de Young. Esta propiedad mecánica, que Friedenwald denominó rigidez escleral no es constante, sino por el contrario varía con la edad.
- c) Forma geométrica del ojo.
- d) Fluencia elástica o creep.

Con el objeto de conocer si la presión ocular tiene el mismo valor, cuando se toma sobre la córnea (tonómetro de Goldmann) que cuando se mide dentro de la cámara vítrea, se hicieron una serie de experimentos consistentes en la introducción en la cavidad vítrea de unos dispositivos denominados SENSORES DE PRESION CON STRAIN GAGES (Fig. 1), haciendo la toma

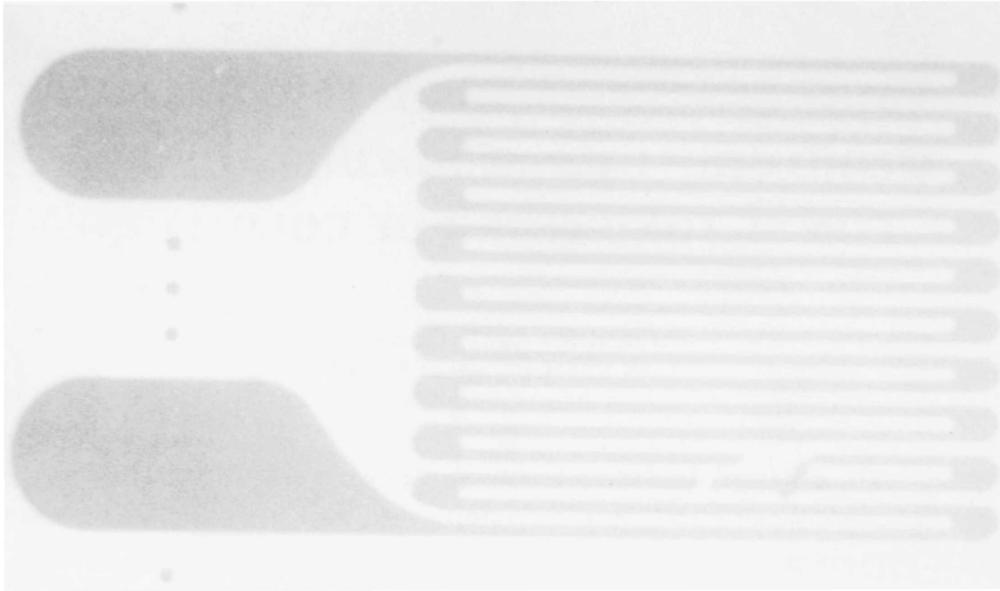


FIGURA 1A
Strain Gage

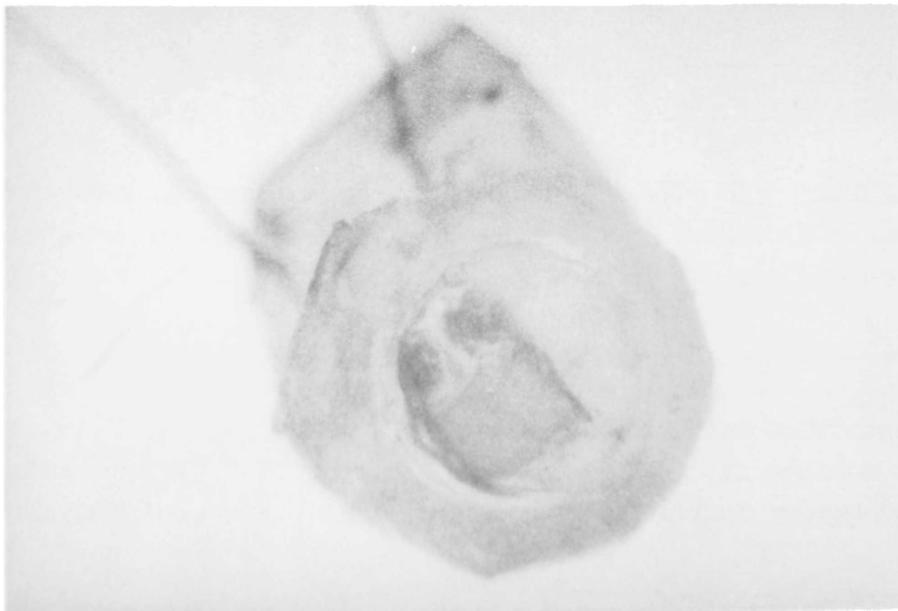


FIGURA 1B
Sensor presión

FACTORES FISICOS QUE INFLUYEN EN LA MEDIDA DE LA PRESION

simultanea de la presión ocular. El sensor de presión no es otra cosa que un deformímetro eléctrico, el cual convierte sus deformaciones en cambios de voltaje, que son medidos en un puente de Wheatstone (Fig. 2).

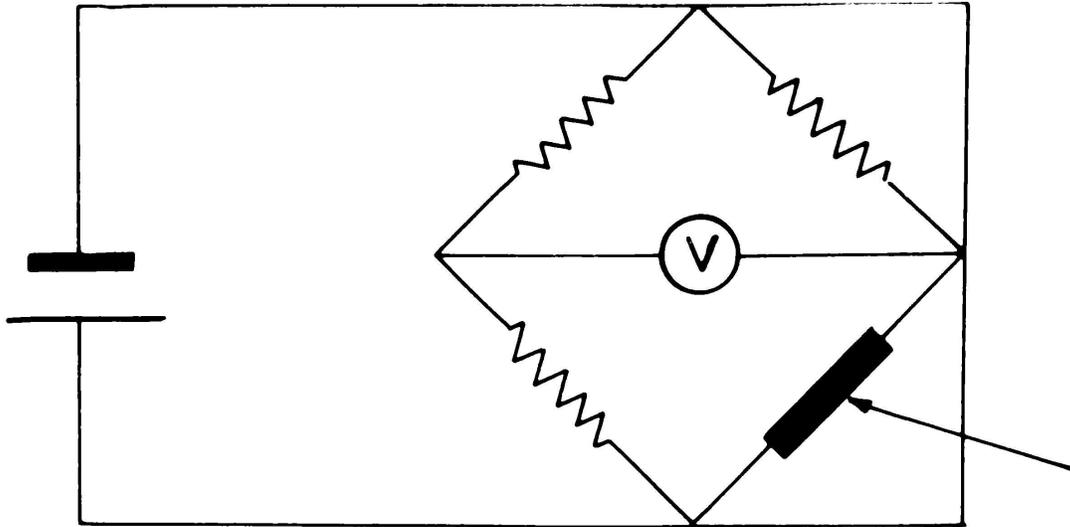


FIGURA 2A
Puente de Wheatstone



FIGURA 2B
Deformímetro eléctrico

MATERIALES Y METODOS

En el presente trabajo de investigación se presentan los resultados de 9 conejos a los cuales se les introdujo un sensor de presión en la cámara vítrea.

El sensor de presiones debe calibrarse previamente; la calibración se hace aumentando poco a poco la presión aplicada sobre el sensor y midiendo la deformación para cada intervalo. Luego se invierte el proceso, disminuyendo la presión por los mismos intervalos y midiendo la deformación para cada uno de estos.

Para aumentar la presión sobre el sensor, se coloca a este dentro de una probeta con agua, de tal forma que la presión estática es igual a la altura de la columna de agua sobre el sensor (Fig. 3).

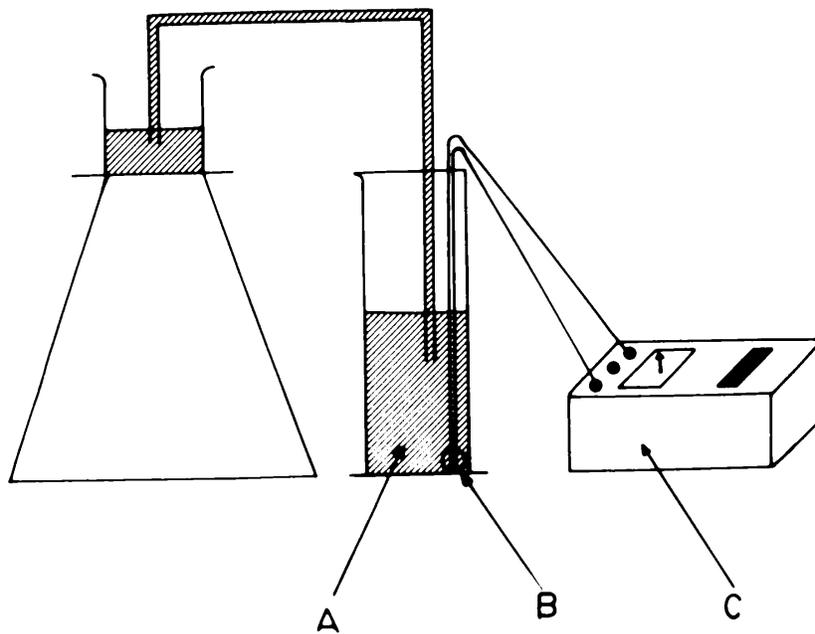


FIGURA 3
Calibración del sensor.

Luego se construye una curva de calibración, presión (mmH_2O) vs deformación unitaria ($\mu\text{mm/mm}$), para cada sensor. Esta curva se utiliza para el cálculo de presiones de acuerdo con las deformaciones unitarias observadas (Fig. 4).

FACTORES FÍSICOS QUE INFLUYEN EN LA MEDIDA DE LA PRESIÓN

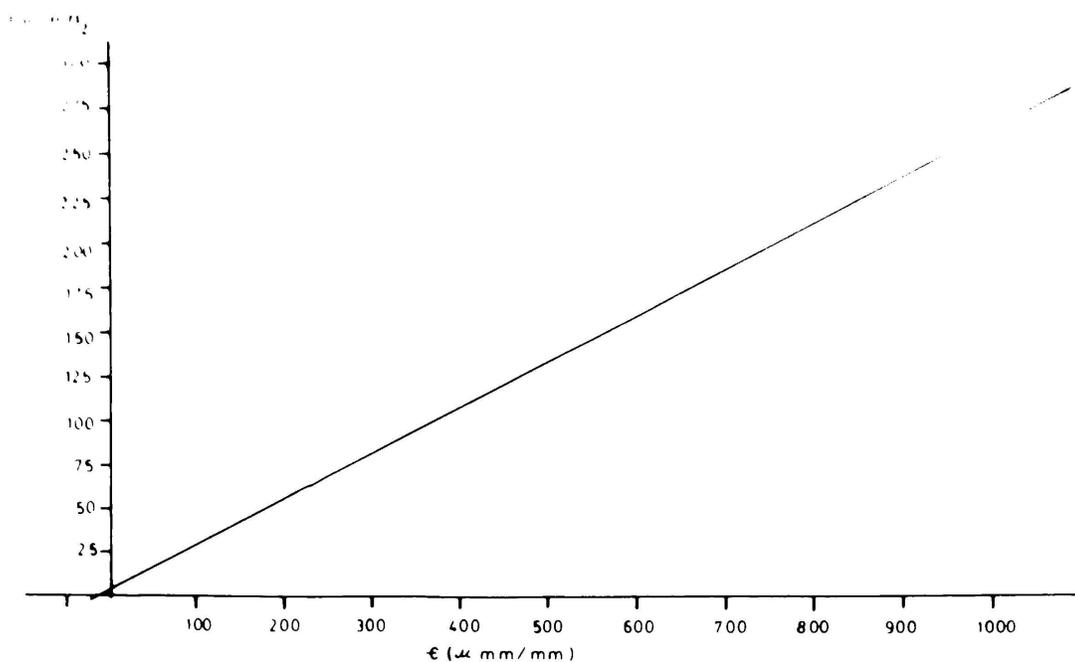


FIGURA 4

Curva de calibración (presión en mm. de H₂O vs. Deformación unitaria)

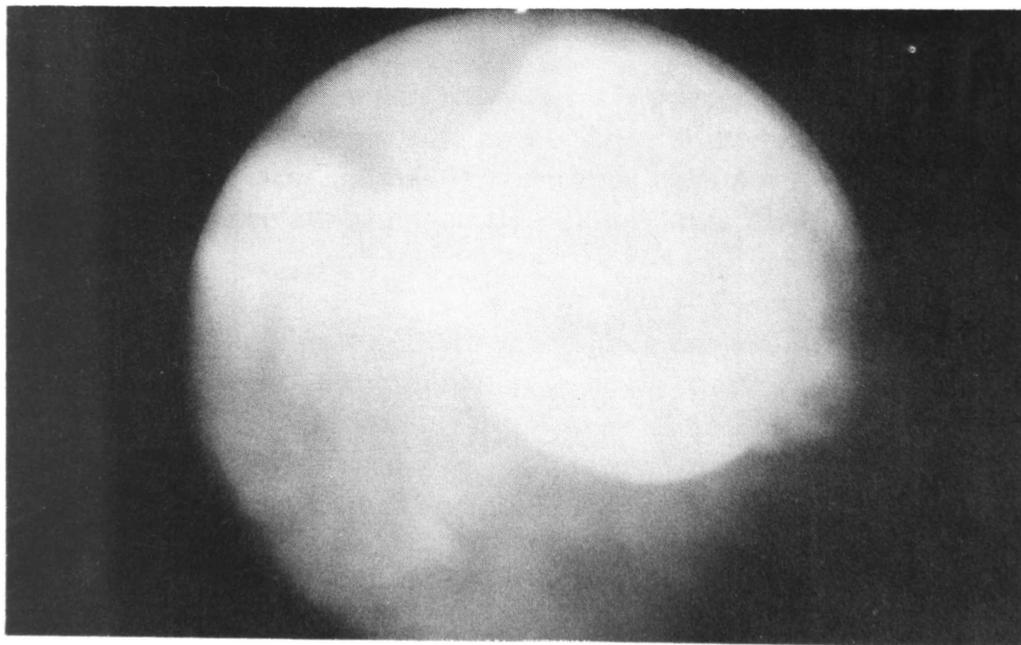


FIGURA 5

Sensor en la Cámara vítrea del conejo

El sensor calibrado se introduce en la cámara vítrea del conejo (Fig. 5); se esperan 2 a 3 días, para que se selle la herida y así poder realizar tomas simultáneas y continuas de la presión ocular. (Tonómetro de Goldmann vs. sensor presiones). (Fig. 6).



FIGURA 6

Toma de la presión simultánea con tonómetro de Goldmann y el sensor de presión intravítreo

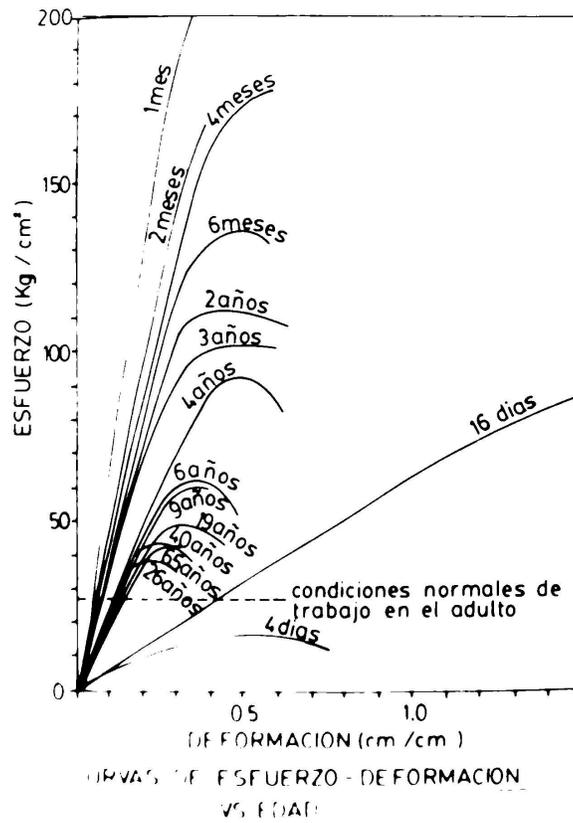


FIGURA 7

Curvas de esfuerzo vs. deformación de la esclera (Módulo de Young)

FACTORES FISICOS QUE INFLUYEN EN LA MEDIDA DE LA PRESION

Hay que tener en cuenta que el sensor de presión ha sido calibrado previamente, de tal manera que los valores de deformación unitaria obtenidos con el sensor dentro del ojo corresponden a un valor de presión, en mm de H₂O, la cual puede determinarse con la curva de calibración correspondiente al sensor.

Debido a que los datos de la presión obtenidos mediante el sensor se dan en mmH₂O y tradicionalmente la presión ocular se da en mmHg, será necesario hacer la conversión dividiendo la presión en mm H₂O por 13,55 que es la densidad del mercurio.

RESULTADOS

Los datos experimentales obtenidos (Tabla I) muestran en promedio una diferencia de 2,5 veces mayor la presión ocular con el sensor de presiones que con el tonómetro de Goldmann, resultados obtenidos en los 9 experimentos diferentes.

DISCUSION

Sobra decir que es mucho más real y cierta la presión ocular medida desde el centro del cuerpo vítreo (sensor de presión) que la medida sobre la superficie corneal (tonómetro de Goldmann). Tomemos ejemplos de la vida diaria: la presión del líquido cefalorraquídeo, la de una llanta de automóvil, la de un balón, etc.

En todos estos ejemplos se mide directamente la presión interna. Lógicamente esto sería imposible en un ojo humano, fuera de condiciones experimentales.

Pues bien, teniendo en cuenta que la presión verdadera es la que se mide internamente, ¿por qué existe esa gran diferencia entre una y otra? Creemos que se debe a 4 razones fundamentales a saber:

a) El tonómetro de Goldmann no tiene en cuenta el espesor de las cubiertas del ojo en su medida; o sea, es más fácil indentar o aplanar una superficie corneal de poco espesor que una de mayor espesor a pesar de que exista en ambos casos la misma presión intraocular. Tenemos el ejemplo de un queratocono (siempre su presión es baja) o el de una cicatriz corneal (siempre su presión es alta).

b) El tonómetro de Goldmann no tiene en cuenta el valor cambiante de la rigidez corneal y escleral (Ref. 1, 2). (Fig. 7). Según Newton (3a. ley), "a toda

acción, le corresponde una reacción igual y contraria”, para que no haya movimiento. Ahora bien, en el ojo, ¿quiénes soportan la presión interna? Pues sus envolturas, córnea y esclera.

Teniendo en cuenta que el módulo de elasticidad o de Young (rigidez escleral y corneal), varía con la edad, arrojando valores altos en el recién nacido y la niñez, para decrecer en la edad adulta; o sea, que la capacidad para soportar presión sin deformarse, es mayor a edades tempranas que en la adulta. Esto quiere decir que es mucho más difícil indentar o aplanar una córnea de un paciente joven que la de un adulto a pesar de que en ambos exista la misma presión intraocular.

c) El tonómetro de Goldmann tampoco tiene en cuenta la forma geométrica del ojo.

Haciendo una simplificación, y comparando al ojo con una “concha delgada”, la tensión de las capas oculares es la fuerza con la cual estas se oponen a la

deformación; o sea
$$T = \frac{PD}{4t}$$

Donde P (presión) es la presión interna, D el diámetro y t el espesor.

A mayor D le corresponde una mayor T, lo que significa que la córnea se indenta o aplanan en menor cantidad haciendo que la medida con el tonómetro sea diferente a la real.

d) El tonómetro de Goldmann tampoco tiene en cuenta el denominado “creep” o fluencia elástica, en la cual un cuerpo aumenta su deformación sin aumentar la presión interna (Ref. 3).

Este concepto aplicado al ojo significa que el globo ocular puede aumentar su tamaño sin aumentar su presión; al aumentar el tamaño ocular, aumenta el volumen del ojo, lo que hace que la presión interna disminuya permitiendo a su vez que la aplanación o indentación corneal sea más fácil, produciendo una lectura tonométrica diferente a la real.

Hay que ser muy claros en los conceptos de P (presión) y T (tensión). Según Newton, 3a. ley, “a toda acción le corresponde una reacción igual y contraria”. O sea que en el caso del ojo P (presión) es la fuerza por unidad de área que se hace internamente en el ojo y T (tensión), es la fuerza por unidad de área ejercida por las cubiertas del ojo (córnea y esclera).

FACTORES FISICOS QUE INFLUYEN EN LA MEDIDA DE LA PRESION

DAY	HOUR	TONOMET. PRESSURE (mm Hg)	PRESSURE WITH SENSOR			SENSOR PRESSURE
			E (μ mm/mm)	PRESSURE (mm H ₂ O)	PRESSURE (mm Hg)	
DIA	HORA	PRESION TONOMET. (mm Hg)	PRESION CON SENSOR			SENSOR/ P TON
			E (μ mm/mm)	PRESION (mm H ₂ O)	PRESION (mm Hg)	
1o.		5.0	1060	143.05	10.56	2.11
2o.	6.00 pm	4.0	1160	158.00	11.66	2.92
3o.	6.30 pm	7.0	1825	257.49	19.00	2.71
4o.	6.15 pm	9.0	2155	306.86	22.65	2.52
5o.	1.00 pm	9.0	2330	33.04	24.58	2.73
7o.	6.00 pm	11.0	2735	393.63	29.05	2.64
8o.	5.45 pm	11.0	2860	412.33	30.43	2.77
9o.	6.30 pm	11.0	3000	433.27	31.98	2.91
10o.	6.40 pm	12.0	2910	419.81	30.98	2.58
11o.	6.30 pm	12.0	3070	443.74	32.75	2.73
12o.	1.00 pm.	11.0	2900	418.31	30.87	2.81
14o.	7.30 pm	11.0	2930	422.80	31.20	2.84

TABLA I

Resumen de los datos obtenidos de la toma simultánea de la presión en los 9 experimentos realizados.

CONCLUSIONES

1) Para que el tonómetro de Goldmann produzca una medida exacta de la presión ocular es necesario que tenga en cuenta los factores mencionados o sea las "condiciones mecánicas" de cada ojo.

2) Volviendo al ejemplo simplificado de considerar al ojo como una concha de paredes delgadas y recordando que $T = \frac{PD}{4t}$, lo más importante, para los casos que cursan con aumento de la presión, es cuidar a T, que a su vez depende directamente de la presión real ocular, del diámetro ocular, de la rigidez corneal y escleral (Módulo de Young) e inversamente del espesor corneal y escleral.

REFERENCIAS

1. ARCINIEGAS A.; AMAYA Luis E. *Myopia: A Bioengineering Approach*. Annals of Ophthalmology. Vol. 12 No. 7, 1980. Pp. 805-810.
2. ARCINIEGAS A. *Vitreotomy: Approach for progressive myopic disease*. Journal ocular therapy. Vol. 3 No. 2, 1984. Pp. 71-74.
3. ARCINIEGAS A., AMAYA Luis E. *Comportamiento mecánico de la esclerótica "In vivo"*. S. A. O. O. Vol. 18 No. 1, 1984. Pp. 7-27.