

LA MIOPIA: ENFOQUE BIO - ESTRUCTURAL¹

POR:

A. ARCINIEGAS C.² Y L. E. AMAYA I.³

Introducción

La miopía, o visión corta ha sido un problema que ha preocupado a la humanidad por mucho tiempo.

Aristóteles ya diferenciaba entre la miopía y la hipermetropía, como también intuía que los defectos de visión estaban relacionados con el tamaño del ojo, puesto que decía que los animales grandes no tenían tan buena visión como aquellos que tenían los ojos pequeños.

Kepler, en 1604, fue el primero que elucidó la óptica de la miopía asumiendo que ésta era causada porque el foco se produce en un plano anterior a la retina. Esta teoría fue posteriormente aceptada por Newton en 1704.

Vopiscus Plempius, en 1632, describió anatómicamente la distancia entre el cristalino y la retina en los casos de visión corta.

1 Basado en un proyecto de investigación titulado Bio-Mecánica de la Miopía, bajo patrocinio conjunto de COLCIENCIAS, la Universidad de los Andes y el Instituto Barraquer de América.

2 Alejandro Arciniegas Castilla, M.D., jefe del Departamento de Retina de la Clínica Barraquer de Bogotá y profesor de la Escuela Superior de Oftalmología. Investigador principal (médico) del Proyecto Bio-Mecánica de la Miopía.

3 Luis Enrique Amaya Isaza, ingeniero civil, M.S., Ph.D., profesor y coordinador de programas de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes. Investigador principal (ingeniero) del Proyecto Bio-Mecánica de la Miopía.

Boerhave, en 1708, atribuyó la miopía a un defecto en la curvatura corneal o a un aumento en la longitud del globo ocular; esta última suposición fue confirmada posteriormente por otros observadores.

Donders, en 1864, fue el primero que consideró la miopía como una enfermedad ocular; posteriormente, tratando de explicar el fenómeno, consideró la miopía como un ajuste evolucionario al desarrollo y postuló que la presión de los músculos durante la convergencia era la causa del alargamiento del globo ocular.

Randell, en 1885, creyó que la miopía era debida a un exceso de convergencia sin acomodación.

Koster, en 1895, fue el primero en estudiar la relación entre la presión intraocular y el tamaño del ojo.

Levinsohn, en 1925, basándose en el concepto de la mala postura, postuló la teoría gravitacional aduciendo que durante un trabajo cercano "el ojo está colgado" y por lo tanto se estira causando tensiones sobre el nervio óptico que a su vez "sufre obstrucciones que causan malnutrición ocular".

Henderson, en 1934, expone el concepto de que el raquitismo escleral predispone al polo posterior a ceder ante la presión intraocular. Ince, dos años después, está parcialmente de acuerdo con Henderson, pero introduce nuevamente el efecto de la mala postura agregando una relación de las secreciones hormonales con la isquemia del tejido escleral.

Friedenwald, en 1937, trató de expresar matemáticamente la relación entre la presión intraocular y los cambios de volumen en el ojo. Experimentalmente llegó a una fórmula que relaciona directamente el logaritmo de la relación de presiones intraoculares finales e iniciales con el cambio de volumen. El factor de proporcionalidad, que asumió constante y lo llamó el "coeficiente de rigidez K", ha sido conocido como la "constante de Friedenwald". La ecuación fue aceptada rápidamente, dando origen a los "Normogramas de Friedenwald", que actualmente sirven para calcular las ratas de drenaje del acuoso y las presiones en los estudios de tonografía.

Prangen, en 1939, apoya el concepto endocrino introducido por Ince y sugiere, además, que la herencia puede jugar un papel importante en la enfermedad miópica.

Sorsby, también en 1939, llega a la conclusión de que la miopía es de dos tipos: uno, debido a errores de correlación, tal como una variante

LA MIOPIA: ENFOQUE BIO-ESTRUCTURAL

biológica; y otro, más extremo, debido a la irregularidad de los componentes, principalmente irregularidades en la longitud axial.

Perkins, Gloster y Pommer⁵, en 1957, en estudios hechos sobre tiras de esclera de ojos de conejo ponen en duda la validez universal de la ecuación propuesta por Friedenwald, especialmente en lo que respecta a la denominación de K , como una constante.

Curtin³, en 1970, establece que cualquier enfoque a la miopía, en cuanto a factor etiológico se refiere, debe ir hacia el principal determinante; longitud axial del ojo. En sus estudios en ojos de embrión de pollo, encontró dos factores opuestos como determinantes principales del tamaño y de la forma de la capa escleral; una fuerza de expansión producida por un aumento de presión intraocular resultante de un aumento volumétrico del vítreo; y una fuerza resistiva de la envoltura escleral.

Tokoro¹¹, también en 1970, con experimentos en conejos llega a los mismos resultados que Curtin y concluye que un desbalance entre las fuerzas, la presión intraocular y la resistencia de la esclera, producen miopía.

Pereira⁹, en 1972, en estudios sobre la hidrodinámica de ojos miopes, verifica la observación de la relación entre la miopía elevada y la hipertensión ocular.

Barraquer², también en 1972, concuerda con Pereira y sugiere un tratamiento empleado por la Clínica Barraquer de Bogotá, con resultados satisfactorios. El tratamiento consiste en la administración de sustancias hipotensoras oculares por periodos prolongados de tiempo, que en algunos casos lograron detener la miopía.

La miopía

La miopía se puede definir como un defecto visual por el cual los rayos de luz procedentes de objetos distantes forman foco antes de llegar a la retina.

Se cree que más de la mitad de la población del mundo está afectada por algún tipo de miopía. Es también bien conocido el hecho de que la enfermedad miópica comienza en la niñez, completando su desarrollo en los adultos jóvenes; los casos de miopía progresiva son invalidantes y algunas veces incapacitantes, pues pueden llegar a causar ceguera debido

a la destrucción de la mácula, al desprendimiento de la retina, a las hemorragias, etc. Todas estas alteraciones se presentan en etapas de vida económicamente activa. Estas consideraciones volumétricas y parcialmente económicas, dan un fuerte interés al estudio de la etiología de la enfermedad miópica.

En general, la miopía se presenta en diferentes tipos, como se indica en el cuadro 1.

Desde el punto de vista de cambios patológicos del ojo, se pueden considerar dos tipos de miopía:

A. *Miopía estacionaria:*

Es de grado bajo, se desarrolla durante la infancia y no progresa significativamente después de la pubertad. No produce cambios patológicos apreciables del ojo.

B. *Miopía progresiva:*

Comienza durante la infancia y aumenta constantemente durante el resto de la vida, llegando a menudo a grados muy elevados.

El ojo sufre cambios patológicos bastante marcados en el segmento posterior del ojo. Generalmente se produce un ensanchamiento y un alargamiento de este segmento; la esclerótica se adelgaza; la coroides se atrofia, lo que puede conducir a lesiones vasculares secundarias, cambios degenerativos y hemorragias en la mácula; la retina, los receptores y el epitelio pigmentario degeneran lenta y progresivamente; y el nervio óptico se aplana.

Por último, la miopía se mide de acuerdo con el error de refracción que se presente, expresado en dioptrías. En base a esto se ha clasificado la miopía como:

- | | | |
|--------------|-----------|-----------|
| a. muy baja: | Hasta | -1.00 D. |
| b. baja: | -1.00 D a | -3.00 D. |
| c. media: | -3.00 D a | -6.00 D. |
| d. alta: | -6.00 D a | -10.00 D. |
| e. muy alta: | Más de | -10.00 D. |

LA MIOPIA: ENFOQUE BIO-ESTRUCTURAL

Mecánica de la esclera

La concepción mecánica del ojo como un recipiente de paredes más o menos delgadas, sometido a presiones internas, es universalmente aceptada. ¿Cómo se generan y transmiten esas presiones?, es motivo de discusión en la literatura técnica médica.

Esta literatura reporta experimentos con copas de succión ^{6, 7, 8, 9, 10}, y algunos con tiras de esclera ^{1, 11}, en general, todos tendientes a comprobar o refutar el coeficiente de rigidez de Friedenwald, y no reportan valores de las propiedades mecánicas de la esclera "como material". En los casos de experimentos con copas de succión, es posible determinar las propiedades de módulo de elasticidad y relación de Poisson, indirectamente, sin embargo, el modelo de deformación usado tiene demasiadas simplificaciones en cuanto al espesor, a las curvaturas, a los apoyos de la copa, etc., que hacen que los valores encontrados tengan poca validez.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, en este trabajo se usó el "enfoque de ingeniería", es decir, se estudió la esclera "como un material", independientemente de "su uso" y por lo tanto se llevaron a cabo ensayos de tiras de esclera de donantes humanos, para determinar propiedades elasto-plásticas de la esclera, es decir, su comportamiento ESFUERZO-DEFORMACION. Después de considerar varias alternativas, se utilizó el mecanismo que se ilustra en la figura 1. Al inyectar una cantidad conocida de solución salina, se crea una presión en la cámara de ensayos, que se mide con una contra-presión producida por el manómetro de cámara móvil y controlado por el sello de mercurio que actúa como fiel de cero; como el líquido inyectado es incompresible y no se desplaza al manómetro, causa un solo desplazamiento conocido en el émbolo de la hipodérmica de 50 cc., que es la deformación introducida a la muestra.

Se analizaron 16 tipos de esclera, de un número igual de donantes, procurando que el tiempo entre enucleación y ensayo fuera lo más corto posible. La carga fue aplicada a intervalos constantes de 15 segundos, llevando el espécimen desde cero hasta la fractura en algunos casos; en otros hasta que se zafó o patinó (de ahí que la tabla de resultados no se encuentra llena). Los valores de carga y desplazamiento fueron convertidos, por medio de un programa de computador, a valores de ESFUERZO Y DEFORMACION, los cuales a su vez fueron ajustados por mínimos cuadrados para determinar el módulo de elasticidad.

Los resultados se indican en el cuadro 2 y en las figuras 2, 3 y 4.

A. ARCINIEGAS C. y L. E. AMAYA I.

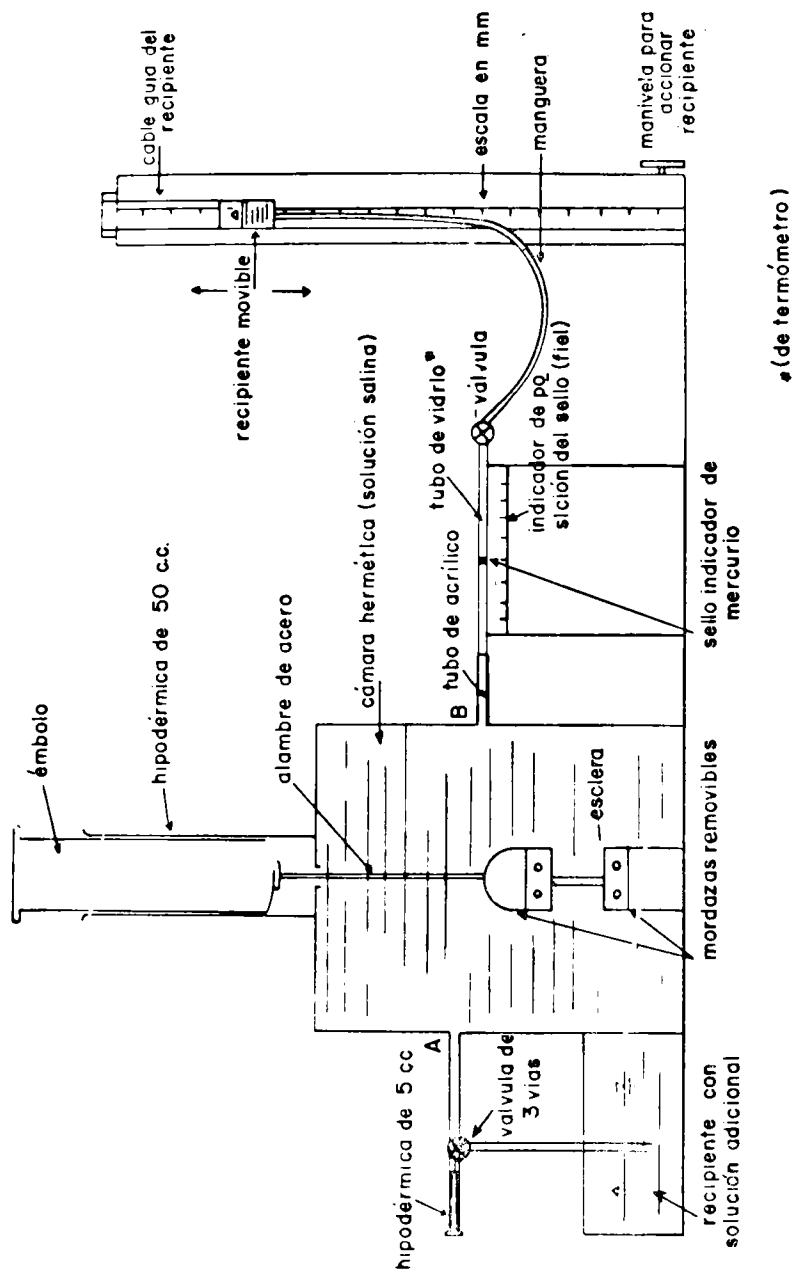


FIGURA 14

LA MIOPIA: ENFOQUE BIO-ESTRUCTURAL

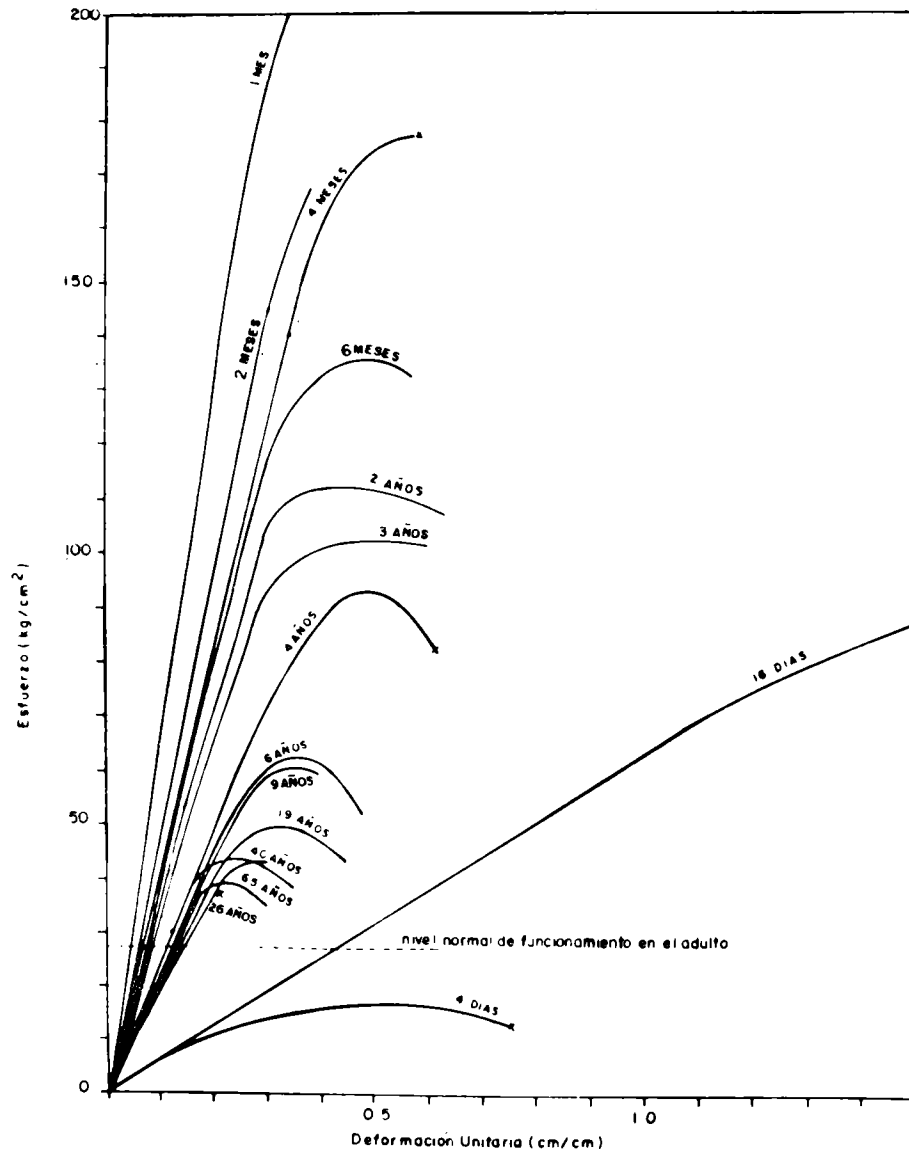


FIGURA 2 COMPORTAMIENTO ESFUERZO-DEFORMACION DE LA ESCLERA CON RESPECTO A LA EDAD

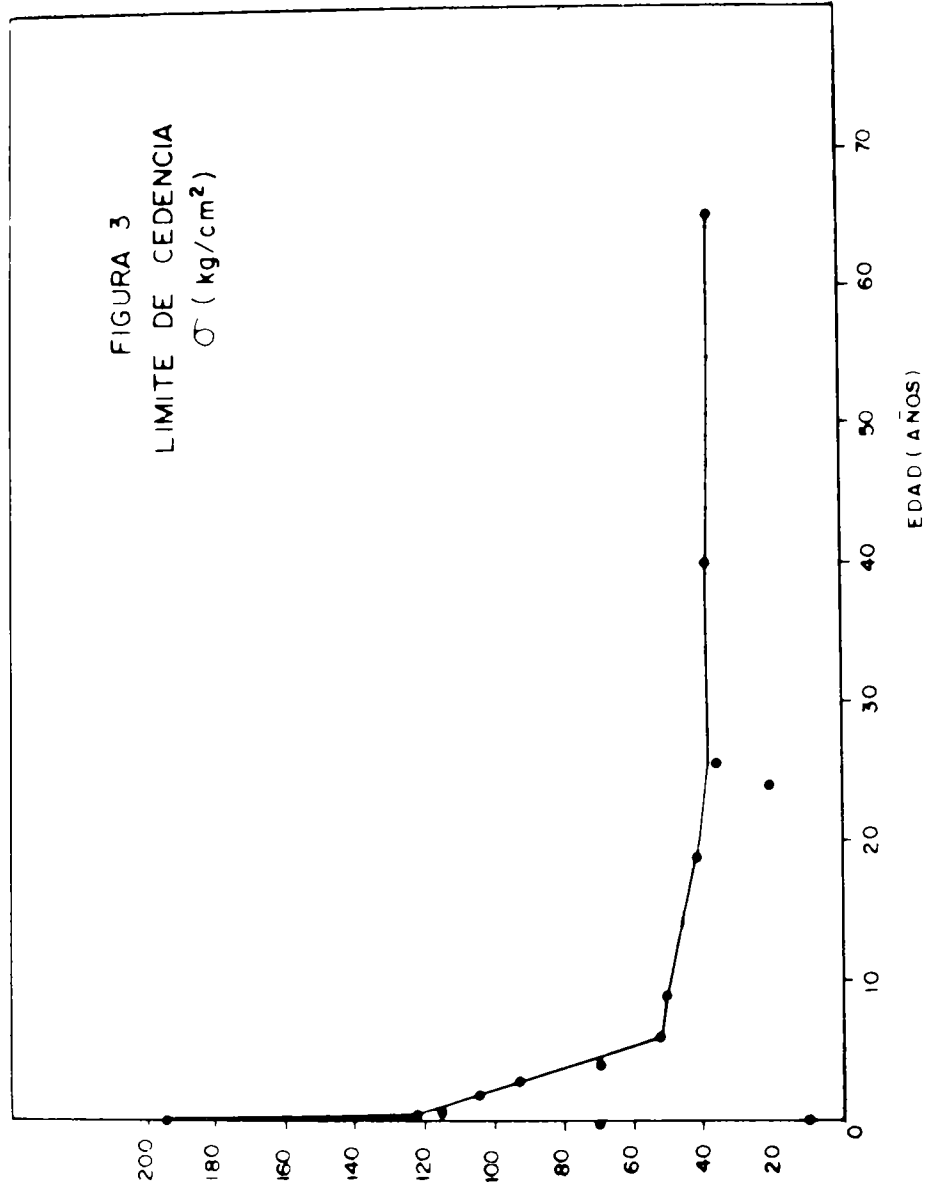
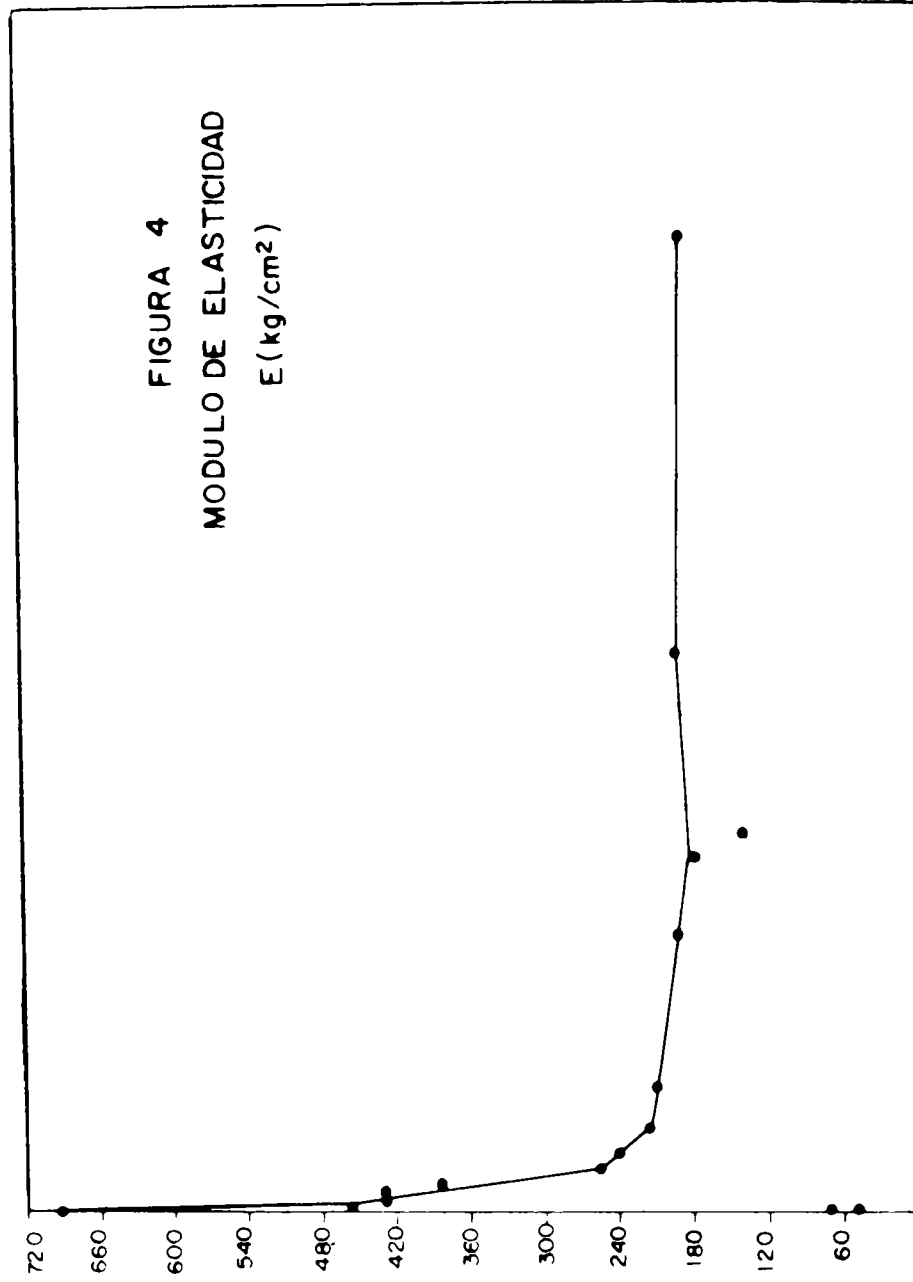


FIGURA 4
MODULO DE ELASTICIDAD
 E (kg/cm²)



A. ARCINIEGAS C. y L. E. AMAYA I.

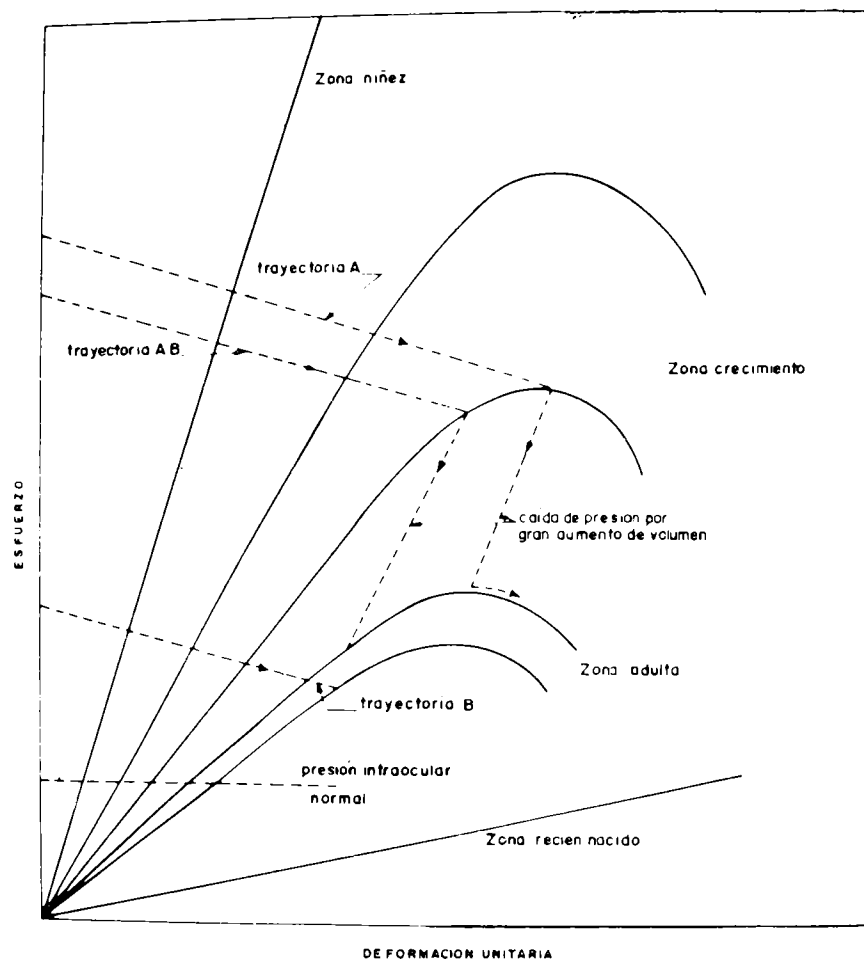


FIGURA 5 EVOLUCION DE LA MIOPIA PROGRESIVA TRAYECTORIA A, PRESION INICIAL ALTA, ALTAS DEFORMACIONES, NO SE DETIENE TRAYECTORIA B, IGUAL AL ANTERIOR, PERO SE DETIENE TRAYECTORIA B, PRESION MEDIANA, NO SE PRESENTAN ALTAS DEFORMACIONES, EL PROCESO SE DETIENE

LA MIOPIA: ENFOQUE BIO-ESTRUCTURAL

TIPO DE MIOPIA	SUB-TIPO	CARACTERISTICAS
MIOPIA CORRELATIVA (simple, benigna o estacionaria)	Axial	ojo largo
	Refractiva	de Indice
		de Curvatura
		de Cámara anterior
MIOPIA COMPUESTA	Axial congénita	cámara anterior pequeña
		atrofia, colobomas
	Degenerativa	rápido y permanente crecimiento
	por enfermedad	resultado del bocio, tuber- culosis, sarampión y otras debilitantes

CUADRO 1 TIPO DE MIOPIA

A. ARCINIEGAS C. y L. E. AMAYA I.

Edad del donante (en años)	Edad de la muestra (en horas)	Número de puntos (Ensayos por punto)	Módulo de Elasticidad (en Kg/cm ²)	Límite de Proporcionalidad (en Kg/cm ²)	Máximo Esfuerzo (en Kg/cm ²)	Esfuerzo de Ruptura (en Kg/cm ²)
.01 (4 días)	10	1	53	10	15	12
.04 (16 días)	16	2	67	70	-	-
0.33 (4 meses)	24	4	410	122	165	170
4.0	12	4	240	69	94	81
6.0	8	3	219	52	63	11
19.0	15	3	194	42	50	7
24.0	80	3	180	21	-	-
40.0	24	4	216	39	43	19
65.0	18	6	208	38	45	7

CUADRO 2

LA MIOPIA: ENFOQUE BIO-ESTRUCTURAL

No.	Fecha Operación	Fecha Muerte	Dif (Días)	Peso pre-op grs.	Peso diámuerle grs.	Diferen. peso grs.	Diámetro O.D. mm	Diámetro A.P. O.I. mm	Ojo operado	Diámetro A.P. diámuerle mm O.D. O.I.	Complejo	Observaciones
1	31-I-77	6-V-77	97	1.015	1.635	620	14	14	O.I.	14.2 13.9	> O.D.	No.81 vitrectomía con jeringa
2	9-II-77	13-X-77	244	725	2.050	1.325	14.25	14.25	O.D.	15.5 17.0	> O.I.	No. 65 vitrectomía con jeringa
3	3-III-77	13-X-77	220	975	1.660	685	14.5	14.5	O.D.	19 20.5	> O.I.	No. 73 vitrectomía con jeringa
4	31-III-77	2-XII-77	243	1.310	2.050	740	15.5	15.5	O.D.	15 15.2	==	No.64 vitrectomía con Girard
5	20-I-77	4-V-77	104	1.025	1.700	675	14.5	15.0	O.I.	14.5 13.5	> O.D.	No.60 vitrectomía con jeringa
6	2-III-77	4-V-77	92	1.000	1.280	280	14.5	14.5	O.D.	13.0 13.5	> O.I.	No.91 vitrectomía con jeringa
7	2-III-77	4-V-77	92	1.175	1.500	325	14.5	14	O.D.	13.2 14	> O.I.	No.71 vitrectomía con jeringa
8	26-I-77	21-IV-77	85	1.300	1.540	240	15	14.6	O.I.	15.6 14.7	> O.D.	No.70 vitrectomía con jeringa, cat. cort. Post Ref. aplicada A.O.
9	16-II-77	1-IX-77	199	600	1.800	1.200	17	17	O.I.	16.9 15.8	> O.D.	No.82 vitrectomía con jeringa
10	3-III-77	5-IX-77	182	1.200	1.750	550	15	15	O.D.	15.2 16.9	> O.I.	No.72 vitrectomía con jeringa
Prom. días			155.8	1.032.5	1.696.5	664	14.875	14.825	OD = 6 OI = 4	15.21 15.50		

CUADRO 3

El vítreo y crecimiento ocular

Ya que el humor vítreo triplica su volumen desde el nacimiento hasta la pubertad, se cree que tiene un gran papel en el crecimiento del ojo, tanto en el normal como en el ojo miope.

Para tener una idea acerca de la importancia del vítreo, se realizó vitrectomía posterior en conejos recién nacidos, operando un ojo, y dejando el congénere como control, observando su crecimiento a intervalos de tiempo variables (uno, dos, tres meses), pudiendo comprobar que el ojo al cual se le realizó la vitrectomía, se desarrolló menos (menor diámetro anteroposterior), que su congénere; es importante destacar el hecho de haber realizado vitrectomía en un conejo prácticamente adulto, no observándose diferencia posterior en la longitud axial de sus ojos, lo que indica que una vez completado el crecimiento ocular normal, el vítreo no presiona más allá al crecimiento. Cuadro 3.

Conclusiones

La esclera, como "material" tiene una zona ELASTICA y otra PLASTICA definida; un PUNTO DE CEDENCIA no identificable directamente, lo que implica una transición suave entre las zonas elástica y plástica.

Además, estas propiedades varían con la edad, siendo altas en la infancia, perdiendo rigidez paulatinamente hasta el inicio de la edad adulta, donde se estabilizan. Aunque los rangos de los límites elásticos y de los módulos de elasticidad son amplios, las correspondientes deformaciones unitarias no lo son, lo que apunta a una capacidad de deformación reversible restringida.

Postulando un crecimiento anormal del vítreo a temprana edad, se genera una alta presión intra-ocular con correspondientes esfuerzos altos en la esclera. Siendo la esclera joven un material fuerte, no hay problema de deformación permanente (miopía); sin embargo, con el paso de un poco de tiempo al cambiar hacia abajo las propiedades elásticas de la esclera el cuerpo puede entrar en estado plástico y deformarse permanentemente. En este punto, el aumento de la cavidad induce una baja de la presión (el volumen causando la expansión se ajusta a la cavidad mayor) y un relajamiento de esfuerzos inducidos, dependiendo de la rata de crecimiento inicial del vítreo y la correspondiente presión intra-ocular inicial; como se muestra en la figura 5, el proceso de deformación posterior se detiene (miopía correlativa) por entrar la esclera en una zona elástica

LA MIOPIA: ENFOQUE BIO-ESTRUCTURAL

de edad superior, o continua (miopía compuesta) por permanecer la esclera en la vecindad o en la zona plástica de una edad superior; este modelo de comportamiento concuerda con las observaciones clínicas aceptadas y sugiere la vitrectomía como una solución al problema de la miopía.

BIBLIOGRAFIA

1. AMAYA, L. E. y ARCINIEGAS, A.: **Biomecánica de la Miopía**. Dic.-78-01 Proyecto de Investigación conjunto COLCIENCIAS, Instituto Barraquer de América y Universidad de los Andes. Bogotá, marzo 1978.
2. BARRAQUER, J. I.: **Patogenia de la Miopía**. Coloquio sobre la Miopía, organizado por el Instituto Barraquer de América. Bogotá, Nov. 1-3, 1972. Publicado en Archivos de la Sociedad Americana de Oftalmología y Optometría. Instituto Barraquer de América. Vol. 10, Nº 2, 1974.
3. CURTIN, B. J.: **Myopia: A Review of its Etiology Pathogenesis and Treatment**. Survey of Ophthalmology. Vol. 15, 1970.
4. ERNEST, J. TERRY, ARCHER, DESMOND; KRILL, ALEX, E.: **Ocular Hypertension induced by scleral suction cup**. Investigative Ophthalmology. Vol. 11, Nº 1, Jan. 72.
5. GLOSTER, J.; PERKINS, E. S., y POMMER, M. L.: **Extensibility of Strips of Sclera and Cornea**. British Journal of Ophthalmology. Vol. 41, Nº 1, Jan. 1957.
6. GLOSTER, J.; POMMER, M. L.: **Extensibility of Strips of Sclera and Cornea**. British Journal of Ophthalmology. Vol. 41, 1957.
7. HURTADO, P.: **Comportamiento mecánico de la esclerótica en vivo**. Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de los Andes. Bogotá, Dic. 1975. (Director médico del Proyecto: Dr. ALEJANDRO ARCINIEGAS CASTILLA, del Instituto Barraquer de América).
8. KUKAN, F.: **Ergebnisse der Blutdruckmessungen mit elmen neuen Ophthalmodynamometer**. Z. Augenheilkd. 90, 166. 1936.
9. PEREIRA, B.: **Contribución al estudio de la hidrodinámica de los ojos miopes y su repercusión en la patología de los miopes**. Arch. Soc. Esp. Oftal., Vol. 32, 1972.
10. PERKINS, E. S.; GLOSTER, J.: **Distensibility of the Eye**. British Journal of Ophthalmology. Vol. 41, Nº 1, Jan. 1957.
11. TOKORO, T.: **Experimental Myopia in Rabbits**. Investigative Ophthalmology. Vol. 9, Nº 12, 1970.
12. VANDER WERFF, TERRY, J.: **Whole Eye Rigidity Coefficients from Segment Experiments**. Letter to the Editor. Experimental Eye Research, Vol. 13, 1972.