

Proceso de emetropización y desarrollo de miopía en escolares

Process of emmetropization and development of myopia in schoolchildren

SARA CASTRO-PIÑA* ✉
DIANA REY-RODRÍGUEZ** ✉
CRISTINA ÁLVAREZ-PEREGRINA*** ✉
JOSÉ MORENO-MONTOYA**** ✉

Recibido: 04-12-2017 / Aceptado: 09-22-2017

RESUMEN

La miopía es el defecto refractivo más común alrededor del mundo. Esta inicia en los primeros años de vida, debido a una interrupción en el proceso de emetropización. Estas modificaciones refractivas se atribuyen a cambios en la longitud axial, la curvatura corneal y el poder del cristalino, acompañado de un origen genético, el cual aumenta las probabilidades de que un niño se convierta en miope cuando sus padres presentan esta condición refractiva. *Objetivo:* conocer el proceso de emetropización y los cambios anatómicos que originan el desarrollo de la miopía en escolares. *Metodología:* se realizó una revisión de literatura a través de la búsqueda en distintas bases de datos. *Resultados:* factores anatómicos pueden intervenir en el proceso exitoso de la emetropización; sin embargo, se resalta la cantidad de crecimiento axial y el error refractivo inicial como las características más influyentes, las cuales producen modificaciones en la potencia de la córnea y del cristalino. Las cifras reportadas en diferentes países para niños menores de 5 años son alentadoras; no obstante, a medida que aumenta la edad, la prevalencia incrementa desmesuradamente, debido a factores genéticos y ambientales. *Conclusiones:* el mecanismo de emetropización se relaciona con el crecimiento del globo ocular: sus componentes biométricos son los responsables de los cambios en la refracción. Estas modificaciones anatómicas están influenciadas, en su gran mayoría, por aspectos genéticos en los primeros años de vida. En los siguientes años, el incremento se relaciona con factores ambientales y ocupacionales.

Palabras clave: miopía, infancia, emetropización, biometría ocular.

* Estudiante de Optometría, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia. ✉ smcastrop@unbosque.edu.co

** Optómetra, MSc en Ciencias de la Visión, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, y MSc en Epidemiología, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia. Docente investigadora de la Universidad El Bosque. ✉ reydiana@unbosque.edu.co

*** Optómetra, PhD en Biomedicina y Ciencias de la Salud, Universidad Europea de Madrid, España. Docente investigadora de la Universidad Europea de Madrid. ✉ cristina.alvarez@universidadeuropea.es

**** Estadístico, PhD en Ciencias de la Salud Pública con énfasis en Epidemiología del Instituto de Salud Pública en México. Docente investigador de la Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia. ✉ josemorenomontoya@gmail.com

Cómo citar este artículo: Castro-Piña S, Rey-Rodríguez D, Álvarez-Peregrina C, Moreno-Montoya J. Proceso de emetropización y desarrollo de miopía en escolares. *Cienc Tecnol Salud Vis Ocul.* 2018;16(1):87-93. doi: <https://doi.org/10.19052/sv.4238>

ABSTRACT

Myopia is the most common refractive defect in the world. It begins in the first years of life, due to an interruption in the emmetropization process. These refractive modifications are attributed to changes in axial length, corneal curvature, and lens power, accompanied by a genetic origin, which increases the chances of children to become myopic when their parents have this refractive condition. *Objective:* To gather information on the process of emmetropization and anatomical changes that cause the development of myopia in schoolchildren. *Methodology:* A literature review was carried out based on a search of different databases. *Results:* Anatomical factors can intervene in the successful process of emmetropization; however, the amount of axial growth and the initial refractive error are the most influential characteristics, which produce changes in corneal and lens power. The numbers reported in different countries for children under 5 years old are encouraging; however, as age increases, prevalence also increases disproportionately, due to genetic and environmental factors. *Conclusions:* The mechanism of emmetropization is related to the growth of the eyeball: its biometric components are responsible for changes in refraction. These anatomical modifications are mostly influenced by genetic aspects in the first years of life. In the following years, increase is related to environmental and occupational factors.

Keywords: myopia, childhood, emmetropization, ocular biometry.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo prenatal es el periodo que transcurre entre la fecundación y el momento del parto; este se divide en tres etapas: preembrionaria (primeras tres semanas a partir de la fertilización), embrionaria (cuarta a octava semana) y fetal (novena semana de gestación hasta el momento del parto) (1).

La primera manifestación del globo ocular se produce a los 22 días, cuando se forman los surcos neurales y las estructuras que se derivan del ectodermo superficial, el neuroectodermo, la cresta neural y el mesodermo (2).

A partir del nacimiento inicia el desarrollo posnatal; en este periodo, el sistema visual aún es inmaduro, por lo que deben ocurrir distintos cambios, como la pigmentación macular, el desarrollo de la fijación, la mielinización del nervio óptico y el desarrollo del sistema magnocelular y parvocelular (1). En la corteza visual, durante el periodo embrionario, las fibras geniculocorticales llegan al área visual 17 y se produce una superposición de axones; estas entran en contacto con terminaciones nerviosas del ojo y se redistribuyen en áreas verticales llamadas *columnas de dominancia*. Este proceso termina a los seis meses de gestación (3).

En el periodo posnatal se distinguen dos momentos importantes: el crítico y el sensitivo, del nacimiento a los 6 meses y de los 6 meses hasta los 8 años, respectivamente; durante este tiempo es importante que el recién nacido reciba un estímulo visual claro. Si en este periodo existe deprivación visual, el daño será irreversible; mientras tanto, el riesgo disminuye conforme avanza la edad (4).

El globo ocular es pequeño en un recién nacido: crece de 16,5 mm a 23-24 mm para la adultez (5). Durante los primeros dos años de vida ocurren cambios anatómicos que permiten la estabilización de estructuras oculares como el poder y el diámetro corneal; estas modificaciones facilitan el proceso de *emetropización*, el cual es indispensable para lograr una visión normal en la niñez (6).

PROCESO DE EMETROPIZACIÓN

La emetropización es el proceso por el cual los componentes refractivos y la longitud axial se equilibran durante el desarrollo posnatal, con el fin de llegar a la *emetropía* (7). Generalmente, el recién nacido presenta hipermetropía, debido a su disminuida longitud axial; sin embargo, en una muestra de 3461 ojos de recién nacidos prematuros, el diagnóstico refractivo se acompañó

de astigmatismo hipermetrópico en el 67,26 % (4), más prevalente en nacidos a término y prematuros (8).

Durante el primer año de vida hay cambios en la curvatura corneal, la longitud axial y la potencia del cristalino: estos cambios son procesos fisiológicos de autorregulación que generan un crecimiento adecuado del ojo y de todos sus componentes (9). Estas modificaciones ocasionan una reducción de la hipermetropía después de los 6 años y se asocian principalmente con el crecimiento axial (10). Entre tanto, el globo ocular progresa rápidamente: se considera un crecimiento normal de 1 mm durante el periodo de 3 a 13 años de edad; esta medida es importante para predecir defectos refractivos en el futuro (11).

Este proceso fisiológico está condicionado por la genética, ya que el poder de la córnea y el cristalino y la profundidad de la cámara anterior se heredan y controlan a través de diversos genes. Un desequilibrio en los parámetros oculares relacionados con la longitud axial y la cámara vítrea pueden estar relacionados con la aparición y el desarrollo de ametropías (12).

En neonatos y en niños hasta los 4 años de edad es común encontrar astigmatismos corneales que, aunque parecen no estar directamente asociados con la reducción de la refracción esférica, se evidencian en los dos primeros años y aumentan en la edad escolar. Por lo general, se vinculan con el desarrollo de miopía (13); sin embargo, estudios evidencian que al nacer, y especialmente en los niños prematuros, la miopía es el defecto menos prevalente, con cifras de 0,53 % (4,8).

El proceso de emetropización se divide en dos etapas: antes y después de los 6 años, ya que se presentan cambios importantes hasta los 6 años de edad (4). Desde los 3 meses de edad hasta los 3,5 años se observan tres procesos: 1) un cambio de refracción de +2,00 D hasta aproximadamente +0,75 D, 2) una disminución en la variabilidad de

la refracción y 3) refracciones más positivas de lo establecido (4,14). Después de esta etapa, cerca de los 6 años persiste la hipermetropía, en la que el proceso de emetropización está casi finalizado (14). Después de los 6 años de edad está por culminar, pero aún es sensible ante factores que pueden conducir a un error de refracción, ya sea hipermetropía, miopía o astigmatismo; se considera que este proceso termina a los 7 años de edad (8,14).

Teniendo en cuenta que el ojo debería estar libre de defectos refractivos después de los 6 años de edad, puede existir un aumento de la refracción negativa, la cual persiste durante la vida adulta (15); esta condición indica fallas en la emetropización o la presencia de defectos refractivos de origen congénito (14).

DESARROLLO DE LA MIOPIA Y FACTORES ASOCIADOS

Existen factores ambientales y genéticos que pueden alterar el proceso de emetropización e inducir un cambio en el crecimiento axial —este es el componente modulador del estado refractivo— (12).

La prevalencia de miopía es baja en niños de 1 a 5 años de edad, gracias al mecanismo de emetropización, el cual ajusta en la mayoría de casos el crecimiento del globo ocular para establecer y mantener la emetropía. A pesar de ello, los pocos casos de miopía en los primeros años de vida dependerán de dos factores: 1) una diferencia entre el plano focal de la retina y 2) un insuficiente ajuste de la longitud axial, regulado por la genética de cada individuo. Además, se han explorado hipótesis relacionadas con el proceso acomodativo; estas señalan como factor de riesgo para el desarrollo de miopía un retraso de la acomodación (16).

En edades entre los 6 y los 8 años, los miopes declarados pueden progresar entre -0,50 y -1,00 D; esta magnitud varía según la etnia. En niños de

Occidente (América), se ha determinado un cambio de refracción hasta del $-0,50$ D; mientras que en Asia progresa aproximadamente en $-1,00$ D (17). Estas diferencias pueden obedecer a que en Oriente (Asia) el sistema de educación es más riguroso que en Occidente; en este último, los padres invierten mayor atención en la educación integral de los niños y pasan más tiempo en actividades al aire libre, mientras que los individuos de Oriente pasan más tiempo en espacios cerrados, realizando actividades en distancias cercanas (18). Los padres en países como Taiwán envían a sus hijos a tutorías privadas después de las horas de clase, por lo que se destinan más horas en tareas asociadas con lectura y escritura (18).

El desarrollo de la miopía puede sustentarse en la asociación entre el nivel educativo alcanzado y el tiempo destinado a las actividades al aire libre —esta relación es inversa— (19), además de aspectos culturales y étnicos. Estos factores incrementan la incidencia: puede ascender hasta cuatro veces dentro de una generación.

Actualmente, existen varias hipótesis que explican el beneficio de la exposición al aire libre, dentro de las cuales se destacan: una pupila miótica, que provoca un aumento de la profundidad de foco; una producción elevada de dopamina retiniana, lo que disminuye el crecimiento del globo ocular y genera una variación dióptrica menor (9).

Otro beneficio de la exposición al aire libre es la postura del cuerpo, ya que es significativo para el patrón de desenfoque de la retina (20). Cuando se está de pie en un ambiente despejado al aire libre, el objeto más cercano y la distancia dependen de la altura de la persona y del ángulo de los rayos de luz que llegan al ojo, lo que genera un patrón de desenfoque de $0,05$ D. Cuando se está sentado en el interior, el suelo está más cerca y se crea un plano de imagen que está aún más cerca, lo que produce $0,14$ D de desenfoque, es decir, un mayor grado de error de acomodación (20).

CLASIFICACIÓN DE LA MIOPIA Y COMORBILIDAD

La miopía puede clasificarse de acuerdo con las características biométricas: axial, de curvatura o de índice. Según la magnitud, se considera miopía baja aquellos valores entre $-0,50$ a $-3,00$ D; moderada, entre $-3,25$ a $-6,00$ D; y alta, por encima de $-6,25$ D (2).

En relación con los cambios en fondo de ojo, se puede considerar miopía patológica aquellos casos en los que hay presencia de anomalías, como en el nervio óptico, la retina, la coroides, la esclera y la mácula (21) (tabla 1).

TABLA 1. Clasificación de la miopía

SEGÚN ETIOLOGÍA	SEGÚN MAGNITUD	SEGÚN CAMBIOS EN FONDO DE OJO
Axial	Baja: de $-0,50$ a $-3,00$ D.	Simple: no hay cambios en polo posterior.
Curvatura	Moderada: de $-3,25$ a $-6,00$ D.	Generativo o patológico: anomalías en el nervio óptico, la retina y la mácula.
De índice	Alta: por encima de $-6,25$ D.	

Fuente: Mackey (22) y Wong y Saw (23).

Cuando la miopía progresa a valores superiores a $6,00$ D, se manifiestan cambios anatómicos en las tónicas del globo ocular; dentro de estos cambios se destaca el *estafiloma posterior*, el cual se define como una deformación del segmento posterior. Las anomalías en la coroides y la retina pueden ser desde adelgazamiento de la membrana de Brush o el epitelio pigmentado de la retina hasta vascularización y ruptura de las capas, además de alteraciones irreversibles en la región macular (24).

PROCESO ESCOLAR Y MIOPIA

La evidencia científica revela un aumento en la prevalencia de la miopía en países desarrollados, especialmente en Asia (9); además, se relaciona con la carga académica desde temprana edad, ya

que estos individuos pasan la mayor parte de su tiempo en aulas de clase (17).

El desarrollo de la miopía inicia cuando incrementa la demanda visual; este aumento se asocia con el grado de escolaridad y las actividades que se desarrollan de cerca durante la jornada escolar, en las que se suele desarrollar tareas asociadas con lectura y escritura (17).

Durante la primaria, los niños empiezan a tener más tareas en visión próxima, debido a que pasan más tiempo dentro de un aula de clase y en tutorías; sumado a esto, se encuentran los estudiantes de secundaria, quienes, además de tener mayor carga académica, emplean menor tiempo en actividades extracurriculares al aire libre. Este último grupo se asocia más con el uso excesivo de las tecnologías (19), motivo por el cual la mayor prevalencia se concentra entre los 8 y los 15 años de edad (25).

En Cuba, para el 2013, se evidenció una mayor prevalencia en el nivel escolar secundario, con un 34,5% en edades entre los 11 y 20 años de edad; mientras que en Beijing las cifras reportadas son de 8,7% en niños menores de 7 años de edad y 63,0% en niños mayores de 11 años; para las mujeres, los datos reportados son 6,3% para menores de 7 años y 72,0% en mayores de 11 años (17).

DISCUSIÓN

Diferentes factores pueden intervenir en el proceso exitoso de la emetropización; sin embargo, se resalta la cantidad de crecimiento axial y el error refractivo inicial, los cuales producen modificaciones en la potencia de la córnea y del cristalino —estas son las características más influyentes—. En lactantes entre 3 y 9 meses de edad se observan cambios significativos; como patrón común, se presentan un alargamiento de la longitud axial, una mayor profundidad de la cámara anterior y el aplanamiento y disminución del poder de la

córnea y del cristalino. Estos ajustes del sistema óptico son rápidos y tienen lugar, en su mayoría, durante el primer año de vida (26).

Aunque la prevalencia de miopía varía considerablemente con la edad, en los primeros 5 años es baja, con cifras que pueden ascender hasta el 5% (27). En los siguientes años se evidencia un incremento importante de la prevalencia, con cifras que pueden llegar hasta el 54% en población joven (27). Si bien es difícil comparar las cifras entre diferentes estudios, debido a las características particulares —la población de estudio, el número de niños evaluados, el diseño del estudio, la valoración refractiva, entre otros—, diversos estudios adelantados en Asia indican una mayor prevalencia de miopía en mujeres (17) y en edades entre los 15 y los 30 años (27).

Por lo anterior, la miopía se ha convertido en un tema de interés para la población mundial, debido a las altas cifras presentadas, especialmente en Norteamérica y Asia (25). Así, es de gran importancia conocer los factores de riesgo que presentan mayor asociación con el desarrollo de este defecto refractivo, con explicaciones más allá de predisposiciones genéticas como causa exclusiva del desarrollo de la miopía (7).

Diversos estudios coinciden en que la cantidad de tiempo destinado al trabajo de cerca es un factor que influye en la aparición y progresión de la miopía en edad infantil (28), aunque también indican que no ocurre en todos los casos y que se debe tener en cuenta no solo el tiempo al que están expuestos, sino la ergonomía de trabajo frente a cada actividad (29); otros estudios evidencian que dedicar tiempo a actividades académicas en casa por más de 3 horas al día se relaciona con la aparición temprana de este defecto refractivo (17,30).

Además, la relación de actividades extracurriculares, las cuales pueden inducir un aumento de horas destinadas al uso de aparatos tecnológicos, como computadores y celulares, reducen la cantidad de

tiempo en actividades al aire libre, lo que provoca un aumento en la prevalencia de miopía.

Las limitaciones que se evidencian en los resultados de diversas investigaciones se relacionan con la sobrestimación de la ametropía a causa de un diagnóstico erróneo; por ello, es de gran importancia la cicloplejia en estudios epidemiológicos con población joven, además de una clasificación delimitada, asociada con la magnitud de la ametropía (13).

CONCLUSIONES

Aunque son claros los cambios anatómicos relacionados con la longitud axial, la profundidad de la cámara anterior y el poder de la córnea y del cristalino en los primeros años de vida, el mecanismo por el cual se interrumpe el proceso de emetropización aún es motivo de investigación. A pesar de esta explicación científica, las cifras de miopía en niños menores de 5 años son bajas, por lo que se plantean diversos interrogantes relacionados con la progresión de la miopía y los factores que subyacen a este incremento.

CONFLICTO DE INTERESES

El artículo no tiene conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTO

Convocatoria Interna Universidad el Bosque, proyecto PCI 2016- 8791.

REFERENCIAS

- Sadler TW. Embriología médica: con orientación clínica. 10ª ed. Buenos Aires: Panamericana; 2007.
- Riordan-Eva P. Anatomía y embriología del ojo. In: Riordan-Eva P, Cunningham E. Oftalmología general de Vaughan y Absury. Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2012. p. 1-27.
- López YA. Una revisión sobre el proceso de emetropización. *Cienc Tecnol Salud Vis Ocul*. 2010;8:101-12.
- Sánchez Espinosa JM, Merchán Price MS. Estudio retrospectivo del estado refractivo en niños prematuros de tres a cuatro meses de edad corregida, realizado en el programa Madre Canguro Integral, Hospital San Ignacio, Bogotá. *Cienc Tecnol Salud Vis Ocul*. 2012;10(2):11-21.
- He M, Xiang F, Zeng Y, Mai J, Chen Q, Zhang J, et al. Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China: A randomized clinical trial. *JAMA*. 2015;314(11):1142-8.
- Camacho Montoya M. Terapia y entrenamiento visual: una visión integral. Bogotá: Ediciones Unisalle; 2009.
- Wenbo L, Congxia B, Hui L. Genetic and environmental-genetic interaction rules for the myopia based on a family exposed to risk from a myopic environment. *Gene*. 2017;30(626):305-8.
- Merchán MS, Merchán G, Dueñas M. Influencia de la prematuridad sobre el proceso de "emetropización". *Pediatría*. 2014;47(4):83-9.
- Foster PJ, Jiang Y. Epidemiology of myopia. *Eye*. 2014;28(2):202-8.
- Sherwin JC, Mackey DA. Update on the epidemiology and genetics of myopic refractive error. *Expert Rev Ophthalmol*. 2013;8(1):63-87.
- Wu PC, Huang HM, Yu HJ, Fang PC, Chen CT. Epidemiology of myopia. *Asia Pac J Ophthalmol*. 2016;5(6):386-93.
- Sieglwart JT Jr, Norton TT. Perspective: How might emmetropization and genetic factors produce myopia in normal eyes? *Optom Vis Sci*. 2012;88(3):1-13.
- Wong T, Foster P, Hee J, Ng T, Chew S, Tielsch J, Johnson G. The prevalence and risk factors for refractive errors in an adult Chinese population in Singapore. *Investig Ophthalmol Vis Sci* [Internet]. 2000;38(2):334-40. Disponible en: <http://discovery.ucl.ac.uk/141446/>
- Flitcroft DI. Emmetropisation and the aetiology of refractive errors. *Eye* [Internet]. 2014;28(2):169-79. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3930278&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Wallman J, Winawer J. Homeostasis of eye growth and question of myopia. *Neuron*. 2004;43(4):447-68.
- Mutti DO, Mitchell GL, Hayes JR, Jones LA, Moeschberger ML, Cotter SA, Kleinstejn RN, et al. Accommodation delay before and after the onset of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2006;47:837-46.
- Lyu Y, Zhang H, Gong Y, Wang D, Chen T, Guo X, Yang S, et al. Prevalence of and factors associated with myopia in primary school students in the chao-yang district of Beijing, China. *Jpn J Ophthalmol*. 2015;59(6):421-9.

18. Huang H, Chang DS, Wu P. The association between near work activities and myopia in children-a systematic review and meta-analysis. *PloSone*. 2015;10(10) : e0140419. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140419>
19. Pan C, Ramamurthy D, Saw S. Worldwide prevalence and risk factors for myopia. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2012;32(1):3-16.
20. Flitcroft DI. The complex interactions of retinal, optical and environmental factors in myopia aetiology: Progress in retinal and eye research. *Prog Retin eye Res*. 2012;31(6):622-60.
21. Morgan IG, He M, Rose KA. Epidemic of pathologic myopia: What can laboratory studies and epidemiology tell us? *Retina*. 2017;37(5):989-97.
22. Mackey DA. Myopia-The future progression of myopia: Seeing where we are going. *Ophthalmic Genet*. 2016;37(4):361-5. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27805493>
23. Wong Y, Saw S. Epidemiology of pathologic myopia in asia and worldwide. *Asia Pac J Ophthalmol*. 2016;5(6):394-402.
24. Morillo Sanchez MJ. Diagnóstico de la patología macular del miope. *Revista de Información e Investigación Oftalmológica de Laboratorios Thea*. 2014;70:29-33. Disponible en: http://www.laboratorios-thea.com/medias/thea_informacion_70.pdf
25. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology* [Internet]. 2016;123(5):1036-42. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>
26. Mutti DO, Mitchell GL, Jones LA, Friedman NE, Frane SL, Lin WK, et al. Axial growth and changes in lenticular and corneal power during emmetropization in infants. *Oftalmol Vis Sci*. 2005;46(9):3074-80.
27. Hrynychak PK, Mittelstaedt A, Machan CM, Bunn C, Irving EL. Increase in myopia prevalence in clinic-based populations across a century. *Optom Vis Sci*. 2013;90(11):1331-41.
28. Jain A, Takemoto H, Silver MD, Nagesh SVS, Ionita CN, Bednarek DR, Rudin S. Region-of-interest cone beam computed tomography (ROI CBCT) with a high resolution CMOS detector *Proc SPIE—the Int Soc Opt Eng* [Internet]. 2015;73(4):389-400. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4749027&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
29. Li SM, Li SY, Kang MT, Zhou Y, Liu LR, Li H, et al. Near work related parameters and myopia in Chinese children: The anyang childhood eye study. *PLoSone*. 2015;10(8):1-13.
30. Öner V, Bulut A, Oruç Y, Özgür G. Influence of indoor and outdoor activities on progression of myopia during puberty. *Int Ophthalmol*. 2016;36(1):121-5.