

Aktuelles aus der Myopieforschung¹

Arne Ohlendorf², Frank Schaeffel³

Die Kurzsichtigkeit stellt in den industrialisierten Ländern Europas, Amerikas und Asiens die wohl häufigste Abnormalität in der Entwicklung des Auges in der Jugend dar. Etwa 30% der Bevölkerung sind kurzsichtig. Während der Anteil in den schon länger industrialisierten Ländern nicht mehr wesentlich weiter steigt, beobachtet man eine starke Zunahme der Myopie in Asien – offensichtlich korreliert mit der zunehmenden Industrialisierung. Kurzsichtigkeit ist die Folge einer Verlängerung des Augapfels: Pro Millimeter Längenwachstum wird

das Auge um etwa 2.7 Dioptrien kurzsichtiger. Höhere Myopien (ab ca. 6 Dioptrien) gehen einher mit erhöhtem Risiko einer Netzhautablösung, aber auch Glaukom und Katarakt nehmen bei höherer Myopie zu.

Der vorliegende Bericht fasst einige neue experimentelle Erkenntnisse aus der Kurzsichtigkeitsforschung zusammen, insbesondere bezüglich der Rolle der Naharbeit, des Aufenthalts im Freien (Outdoor Activity), sowie der möglichen Rolle der peripheren Fehlsichtigkeit bei der Myopieprogression.

Naharbeit und Myopie

Für die Entstehung von Kurzsichtigkeit ist eine genetische Prädisposition erforderlich – manche Personen werden nie kurzsichtig, obwohl sie allen bekannten Umweltreizen ausgesetzt sind, die Myopie auslösen können. Andererseits zeigen bisherige Untersuchungen, dass Kurzsichtigkeit ohne spezifische Umwelteinflüsse bei vielen Personen wahrscheinlich nicht entstanden wäre. Die genetischen Faktoren treten klar zu Tage in Zwillingsstudien: Eine englische Studie (Lopes et al., 2009) zeigte eine Korrelation der Fehlsichtigkeiten bei 1149 eineiigen Zwillinge von 0.85 und von 0.45 bei 1152 zweieiigen Zwillingen – damit könnten 72% bzw. 20% der Fehlsichtigkeit allein aus der Genetik erklärt werden. Auch die Fehlsichtigkeit der Eltern spielt eine Rolle: Eine Untersuchung aus Australien hat gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit, kurzsichtig zu werden, etwa siebenmal höher ist, wenn beide Eltern kurzsichtig sind (46%), im Vergleich zu der Wahrscheinlichkeit, wenn kein Elternteil kurzsichtig (7.6%) ist (Ip et al., 2007). Kurzsichtigkeit entsteht typischerweise in der Jugend. Im Kindergarten oder erst am Schulanfang ist sie sehr selten: z. B. sind in England nur etwa 2% der Kinder im Alter von 6 Jahren kurzsichtig (O'Donoghue et al., 2009). In asiatischen Ländern ist dieser Anteil jedoch bereits in diesem jungen Alter erhöht (zirka 18% in Hongkong, zirka 5% in Shunyi; He et al., 2009). Darüber hinaus hat man z.B. in Taiwan mehr als eine Verdoppelung der Myopie im Alter von 8 Jah-

ren über einen Zeitraum von nur 10 Jahren beobachtet (Lin et al., 2001), womit eine genetische Ursache für die erhöhte Prävalenz definitiv ausgeschlossen werden kann. Oft sind Mädchen häufiger kurzsichtig, und es besteht ein ausgeprägter Einfluss des Umfeldes – ob Kinder auf dem Land aufwachsen oder in der Stadt. Seit langer Zeit wird die Zunahme der Myopie mit der Naharbeit in Verbindung gebracht.

Während ein große Meta-Analyse feststellt das „near work was documented as a risk factor in almost all studies that examined the issue“ (Morgan und Rose, 2005), gibt es auch Arbeiten, in denen die Naharbeit anscheinend nicht signifikant mit der Myopie korreliert war (Ip et al., 2007). Es bleibt auch diffus, was genau bei der Naharbeit die Myopie fördern könnte. Eine ältere Hypothese von Gwiazda et al. (1993) beruht auf der Beobachtung, dass die Akkommodation beim Lesen meist etwas zu gering ist („lag of accommodation“, „Unterakkommodation“) und die Schärfenebene deshalb etwas hinter der Netzhaut zu liegen kommt. Dieser Effekt soll bei kurzsichtigen Kindern sogar größer sein. Experimente bei Hühnern, Meerschweinchen und zwei Affenarten haben gezeigt, dass das Auge vermehrt in die Länge wächst, wenn die Schärfenebene durch Streulinsen hinter die Netzhaut verschoben wird. Das Auge versucht dann, durch Wachstum die Schärfenebene wieder einzufangen. Unterakkommodation ist im Mittel jedoch nur 0.3 D bis 0.5 D groß und individuell sehr unterschiedlich. Bei einer Langzeitstudie an Kindern konnte kein Zusammenhang zwischen der Stärke der Unterakkommodation und der Entwicklung der Kurzsichtigkeit gefunden werden (Mutti et al., 2006). Alle Kinder zeigten in dieser Studie Unterakkommodation erst kurz bevor

Sie kurzsichtig wurden, und die Unterakkommodation verstärkte sich in den ersten Jahren der Myopieprogression.

Eine weitere Untersuchung von Weizhong et al. (2008) konnte überhaupt keine Veränderung der Unterakkommodation in der Progressionsphase der Kurzsichtigkeit nachweisen. Unterakkommodation könnte ebenso eine Folge, wie eine Ursache der Kurzsichtigkeit zu sein.

Eine weitere Eigenart der Akkommodation, die bei Kurzsichtigen nachgewiesen wurde, ist die durch Naharbeit induzierte transiente Myopie (NITM = Nearwork induced transient myopia). Dabei kommt es schon nach sehr kurzer Naharbeit (ab 3 Minuten) zu einer kurzzeitigen Myopisierung des Auges beim anschließenden Sehen in der Ferne (um etwa 0.3 Dioptrien). Der Effekt ist abhängig von Leseentfernung und Lesedauer, jedoch nicht von Größe, Kontrast oder Erkennbarkeit des Lesetextes (Rosenfield und Ciuffreda, 1994; Schmid et al., 2005). Der Grund für die kurzzeitige Myopisierung liegt in einer Hysterese der Akkommodation. Sie tritt nur bei Myopen, jedoch nicht bei Emmetropen oder Hyperopen auf. Es gibt zwei unterschiedliche Interpretationen. Zum Einen könnte nur der sympathische Anteil der Akkommodation bei der Naharbeit gehemmt und der parasympathische Anteil unbeeinflusst bleiben. Dies würde dann beim Sehen in der Ferne zu einem erhöhten Akkommodationstonus führen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass beide Kontrollsysteme der Akkommodation gehemmt werden. Verringerte Aktivität des parasympathischen Eingangs würde somit auch den sympathischen Eingang verringern, was zu einer verringerten Akkommodation bei der Naharbeit und einer Myopisierung bei anschließendem Sehen in der Ferne führen

¹Vortrag auszugsweise gehalten anlässlich der Contact '09 vom 25. bis 27. 9. 2009 in Jena

²Dipl.-Ing. (FH) Augenoptik

³Prof. Dr. rer. nat.

könnte (Vasudevan et al., 2009). Allerdings gibt es noch keine Langzeitstudien zum Zusammenhang von NITM und Myopie. Wichtig wäre es hier, zu untersuchen, ob NITM auftritt, bevor sich die Myopie entwickelt hat – vergleichbar mit der oben erwähnten Untersuchung von Mutti et al. über den Zusammenhang von Unterakkommodation und Myopie.

Eine neue epidemiologische Arbeit aus Australien („Sydney Myopia Study“, <http://www.cvr.org.au/sms.htm>) hat sich wieder mit den Zusammenhang von Myopie und Naharbeit beschäftigt. Es wurden epidemiologische Daten von 1765 sechsjährigen und 2339 zwölfjährigen Kindern erhoben. In dieser Studie konnte kein direkter Zusammenhang zwischen „normaler“ Nah-

arbeit und Myopie hergestellt werden (Ip et al., 2007). Dagegen waren ein sehr kurzer Leseabstand, kombiniert mit einer sehr langen Lesedauer mit der Stärke der Myopie korreliert.

Aufenthalt im Freien („Outdoor activity“) und Myopie

Wie oben beschrieben, sind Kinder die in der Stadt aufwachsen häufiger kurzsichtig, als Kinder die auf dem Land aufwachsen (He et al., 2009). Bereits 1993 konnte Pärssinen et al. zeigen, dass die Anzahl der Stunden, die im Freien verbracht werden, mit der Höhe der Myopie der untersuchten Kinder korrelierte. Neuere Untersuchungen im Rahmen der Sydney Myopia Studie ha-

ben diese Variable aufgegriffen und den Einfluss zwischen Aufenthalt im Freien und der Häufigkeit der Kurzsichtigkeit untersucht (Rose et al., 2008). Es wurde gefunden, dass Kindern, die einen Großteil Ihrer Freizeit im Freien verbrachten, signifikant weniger kurzsichtig waren, als Kinder, die sich nur wenig im Freien aufhielten. Die Ergebnisse wurden auch durch eine weitere Untersuchung von Dirani et al. (2009) bei Kindern aus Singapur bestätigt. Ein weiteres interessantes Ergebnis dieser Untersuchung war, dass sportliche Betätigung für diesen präventiven Effekt keine Voraussetzung ist, denn Sport in der Halle hatte die hemmende Wirkung auf die Myopie nicht. Schließlich zeigte eine weitere große Untersuchung („ORINDA Study“ in Kalifornien; Jones et al., 2007), dass Aufenthalt im Freien die Myopie hemmt, und zwar sowohl bei den Kindern, bei denen beide, als auch nur ein, oder gar kein Elternteil kurzsichtig war. Myopie war in jedem Falle am seltensten, wenn kein Elternteil kurzsichtig war. Bei Kindern, die mehr als 14 Stunden pro Woche im Freien waren, lag die Prävalenz deutlich unter 10%. Warum Aufenthalt im Freien die Myopie hemmt, ist nicht bekannt. In Frage kommt z.B. die größere Tiefenschärfe, die mit den kleineren Pupillen im hellen Licht einhergeht. Eine weitere Erklärung könnte die vermehrte Dopaminfreisetzung aus der Retina sein: Es ist aus Tierexperimenten bekannt, dass retinales Dopamin das Augenlängenwachstum hemmt, und dass Dopamin lichtabhängig freigesetzt wird. Schließlich wird im Freien selten gelesen, so dass auch die fehlende Naharbeit einen Einfluss haben könnte. Experimente an Hühnern, durchgeführt von Regan Ashby (2009) in der Sektion für Neurobiologie des Auges in Tübingen, haben gezeigt, dass helles Licht eine bestimmte Form von Kurzsichtigkeit hemmt: Die Deprivationsmyopie. Diese Form von Myopie wird induziert, wenn das Auge mit Mattgläsern abgedeckt wird, die den Bildkontrast verringern und feine Details aus dem Bild herausfiltern. Zunächst wurde das Tragen der Mattgläser für einen Zeitraum von 15 Minuten jeden Tag unterbrochen. Während dieser 15 Minuten wurde eine Gruppe der Tiere entweder dem Sonnenlicht (ca. 30.000 lux) oder normaler Laborbeleuchtung (ca. 500 lux) ausgesetzt.

Bild 1. Hühner mit Mattgläsern vor einem Auge. Wurden die Tiere unter der hellen Beleuchtung gehalten, entwickelten diese nur halb so viel Kurzsichtigkeit, wie die Tiere, die unter normaler Laborbeleuchtung gehalten wurden (auf dem Foto: Arne Ohlen-dorf (links) und Regan Ashby).



Die Tiere, die während dieser 15 Minuten dem Sonnenlicht ausgesetzt waren, entwickelten signifikant weniger Kurzsichtigkeit. In weiteren Versuchen wurden hohe Beleuchtungsstärken auch im Labor durch zwei 1500-Watt Quarzleuchten hergestellt (ca. 15.000 lux), welche ein dem Sonnenlicht sehr ähnliches Spektrum besitzen.

Auch mit diesen Leuchten war die Myopieentwicklung im Vergleich zu normaler Laborbeleuchtung in etwa halbiert – selbst wenn die Mattgläser den ganzen Tag getragen wurden.

Diese Experimente legen nahe, dass die Helligkeit die relevante Variable ist, die für die Hemmung der Myopie im Freien verantwortlich ist. Tatsächlich konnte Regan Ashby zeigen, dass bei Gabe eines Dopaminantagonisten ins Auge die hemmende Wirkung von hellem Licht auf die Deprivationsmyopie aufgehoben war.

Die periphere Refraktion und Myopie

Zunächst würde man annehmen, dass die Entwicklung von Refraktionsfehlern im wesentlichen durch die Bildschärfe in der Fovea kontrolliert wird. Ältere Arbeiten haben allerdings bereits gezeigt, dass Kinder mit Erkrankungen der peripheren Netzhaut viel höhere Refraktionsfehler haben, als Kinder mit Erkrankungen der zentralen Netzhaut (Nathan et al., 1985). Im Jahr 1981 stellte dann Millodot et al. fest, dass Kurzsichtige in der Peripherie relativ zur Fovea weitsichtiger, und Weitsichtige in der Peripherie relativ kurzsichtiger waren. Im Jahre 2005 wurde von der Arbeitsgruppe von Earl Smith aus Houston am Affen gezeigt, dass die periphere Refraktion einen Einfluss auf die foveale Refraktionsentwicklung hat. Dabei wurden die Tiere mit Mattgläsern behandelt, die im Zentrum Löcher aufwiesen, die entweder 24° oder 38° Grad des zentralen Gesichtsfeldes unbeeinflusst ließen. Trotz ungehinderter Sehens in der Fovea bewirkte die Bildstörung in der Peripherie die Entwicklung von axialer Deprivationsmyopie. Nachdem die Mattgläser abgenommen worden waren, erholten sich die Tiere zum Teil von der induzierten Myopie. Die gleiche Arbeitsgruppe zeigte später auch, dass hyperope Defokussierung in der Peripherie (-3 D Defokus, 10° großes freies zentrales Sehfeld; Smith et al., 2009) ebenfalls Myopie induzieren konnte. Dazu wurde in einigen Experimenten sogar die Fovea durch Laser-Foto Ablation läsiert, ohne dass der Einfluss der peripheren Retina auf das Augenlängenwachstum aufgehoben werden konnte. Selbst wenn die Fovea ständig ein scharfes

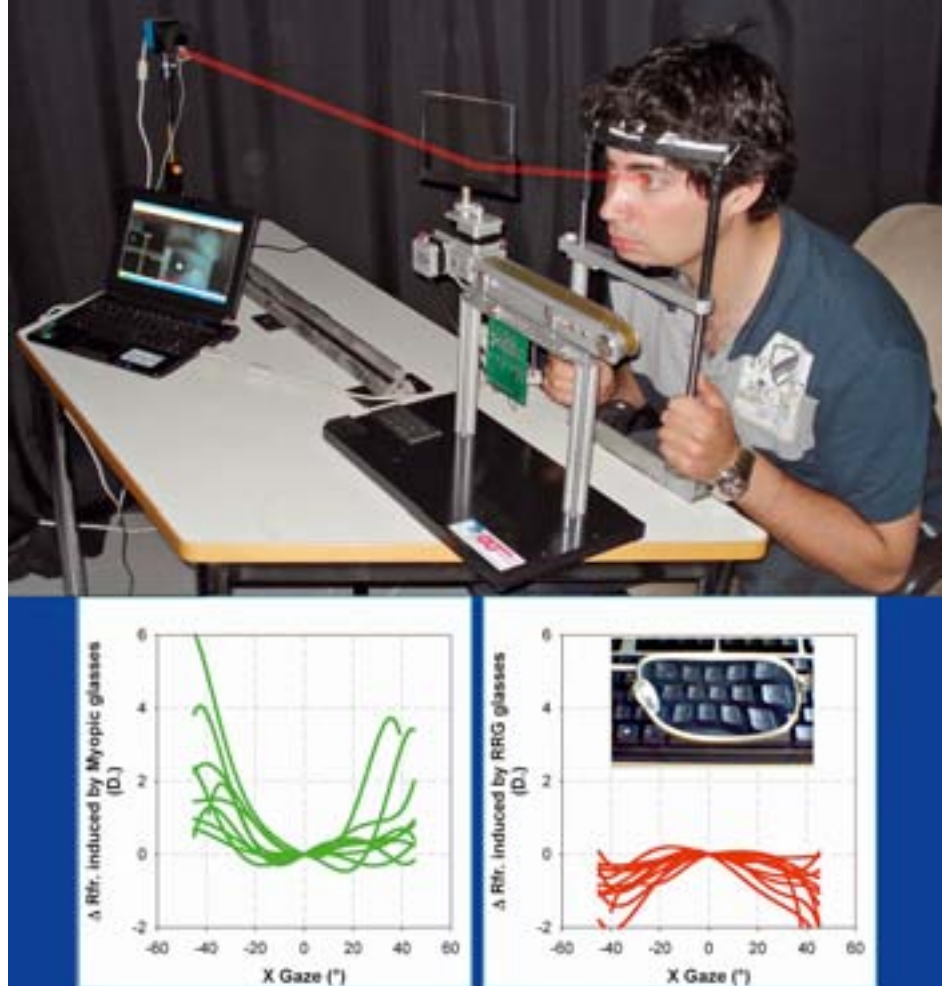


Bild 2: Messung der Fehlsichtigkeit in der Peripherie des Gesichtsfeldes. Infrarotes Licht kommt von dem seitlich angeordneten Infrarot-Photoskiaskop und gelangt über den beweglichen infrarotreflektierenden Spiegel ins Auge (oben im Bild). Grüne Kurven (unten links) von 9 kurzsichtigen Probanden mit den korrigierenden Brillengläsern (Daten alle auf Null in der Fovea normiert). Mit einem neu entwickelten Brillenglas wird dagegen eine relative Kurzsichtigkeit in der Peripherie erreicht (unten rechts, rote Kurven). Im Bild: Juan Taberero

Bild verlangt, weitgehend die Akkommodation steuert und die foveale Abbildung ständig nachfokussiert wird, spielt sie anscheinend eine eher geringe Rolle bei der Emmetropisierung. Dieser Befund führt zu der Vermutung, dass die Korrektur der peripheren Refraktionsfehler durchaus eine Bedeutung bei der Myopieprogression hat.

Messungen der peripheren Refraktion sind mit derzeitigen Methoden zeitaufwändig, und die Winkelauflösung ist schwer zu garantieren. Juan Taberero aus der Sektion für Neurobiologie des Auges in Tübingen hat deshalb einen Aufbau entwickelt, bei dem die Refraktion über einen Gesichtsfeldbereich von 90° innerhalb von 4 Sekunden mit einer Auflösung von 0.4° gemessen werden kann (Taberero und Schaeffel, 2009a). Dazu wird Infrarot-Fotorefraktion über einen rotierenden Infrarotspiegel durchgeführt. Der Spiegel bewegt sich dabei entlang einer genau berechneten Bahn vor dem Auge und die Kamera mit dem Infrarot-Fotoskiaskop befindet sich seitlich in einem Meter Entfernung (siehe Bild 2). Mit dieser Technik konnte z.B. gezeigt werden, dass konventionelle Brillengläser zur Myopiekorrektur in der Peripherie eher Weitsichtigkeit induzieren (siehe Bild 2, links unten) – sicher nicht die beste Strategie, wenn man das

Fortschreiten der Myopie in der Fovea hemmen will (Taberero et al., 2009b). Um diesen Wirkung zu verhindern, wären Brillengläser nötig, die in der Peripherie eher Kurzsichtigkeit erzeugen, aber dennoch die Fovea angemessen korrigieren. Solche Gläser hat der Industriepartner im Rahmen eines europäischen Netzwerkes zur Erforschung der Kurzsichtigkeit

„MyEuropa“ (<http://www.my-europa.net>), die Firma Rodenstock (München), entwickelt. Diese Brillengläser erzeugen eine mit der Exzentrizität ansteigende Myopie in der Peripherie (RRG Linsen = Radial Refractive Gradient Lenses, siehe Bild 2, rechts unten).

Die Vermessung der peripheren Refraktionen von Probanden, die diese Brillengläser tragen, bestätigt, dass die Peripherie relativ kurzsichtiger wird (Taberero und Schaeffel, 2009c). Darüber hinaus zeigte die Technik von Juan Taberero, dass selbst schwach kurzsichtige Probanden bereits eine mehr unregelmäßige Augenform haben, als emmetrope Probanden – dies konnte aus der hohen Variabilität der peripheren Refraktion in verschiedenen Bereichen des Gesichtsfeldes geschlossen werden.

Bisher gibt es nur wenige Studien, die sich mit der peripheren Refraktion bei Kindern vor der Entstehung der Kurzsichtigkeit be-

schäftigen. Eine Langzeitstudie, die sich mit der Entstehung der Kurzsichtigkeit beschäftigt, ist zum Beispiel die CLEERE-Studie (Collaborative Longitudinal Evaluation of Ethnicity and Refractive Error, Mutti et al., 2007). Dabei wurden neben der Achsenlänge auch die periphere Refraktion (30° nasal) gemessen. Kinder, die eine Myopie entwickelten, hatten bereits 2 Jahre vor der Entstehung der Kurzsichtigkeit eine weitsichtiger Refraktion als diejenigen Kinder, die emmetrop blieben. Die relative periphere Hyperopie blieb konstant, auch wenn sich die Kurzsichtigkeit in den folgenden Jahren weiter verstärkte.

Das Tragen von Brillengläsern oder auch Kontaktlinsen (Aller und Wildsoet, 2007), die in der Peripherie mehr kurzsichtige Refraktionen erzeugen, könnte eine neue Strategie darstellen, der Myopieprogression oder der Häufigkeit der Kurzsichtigkeit entgegen zu wirken – schließlich wurden in allen Tierexperimenten mit Positivlinsen gefunden, dass kurzsichtige Defokussierung das Augenlängenwachstum hemmt.

Zusammenfassung

Myopie stellt weltweit die häufigste Entwicklungsanomalie des Auges in der Jugend dar. Myopie wird durch genetische, wie auch umweltbedingte Faktoren bestimmt. Epidemiologische Studien haben gezeigt, daß Naharbeit nur einen kleinen Anteil der Kurzsichtigkeiten erklären kann, dass aber ein Zusammenhang zwischen Myopie, der Dauer der Lesens und der Leseentfernung besteht. Ein neu entdeckter präventiver Faktor ist der Aufenthalt im Freien. Dabei scheint die Beleuchtungsstärke die wichtige Variable zu sein, wie durch die oben beschriebenen Experimente an Hühnern nahe gelegt wird. Eine weitere neue Präventionsstrategie besteht in der Entwicklung neuer Brillengläser, die, bei angemessener Korrektur der fovealen Abbildung, in der Peripherie relativ kurzsichtiger Refraktionen erzeugen, und damit die foveale Myopieprogression hemmen sollten.

Die Autoren:

Dipl. Ing. (FH) Arne Ohlendorf und
Prof. Dr. rer. nat. Frank Schaeffel
Sektion für Neurobiologie des Auges
Forschungsinstitut für Augenheilkunde
Calwerstrasse 7/1
72076 Tübingen
arne.ohlendorf@klinikum.uni-tuebingen.de

Literatur

- Lopes, M.C., Andrew, T., Carbonaro, F., Spector, T.D., & Hammond, C.J. (2009) Estimating heritability and shared environmental effects for refractive error in twin and family studies. *Investigative ophthalmology & visual science*, 50(1): 126–131
- Ip, J.M., Huynh, S.C., Robaei, D., Rose, K.A., Morgan, I.G., Smith, W., Kifley, A., & Mitchell, P. (2007) Ethnic differences in the impact of parental myopia: findings from a population-based study of 12-year-old Australian children. *Investigative ophthalmology & visual science*, 48(6):2520–8.
- O'Donoghue, L., Saunders, K. J., McClelland, J. F., Logan, N. S., Rudnicka A. R., & Owen, C. G. (2009) Prevalence of Childhood Refractive Error in the United Kingdom. *Investigative ophthalmology & visual science*, E-Abstract 2562.
- He, M., Zheng, Y., & Xiang, F. (2009) Prevalence of myopia in urban and rural children in mainland China. *Optometry and vision science*, 86(1): 40–4.
- Lin, L.L., Shih, Y.F., Hsiao, C.K., Chen, C.J., Lee, L.A., & Hung P.T. (2001) Epidemiologic study of the prevalence and severity of myopia among schoolchildren in Taiwan in 2000. *Journal of the Formosan Medical Association*, 100(10): 684–91.
- Morgan, I., & Rose, K. (2005) How genetic is school myopia? *Progress in retinal and eye research*, 24(1): 1–38.
- Ip, J.M., Saw, S.M., Rose, K.A., Morgan, I.G., Kifley, A., Wang, J.J., & Mitchell, P. (2008) Role of Near Work in Myopia: Findings in a Sample of Australian School Children. *Investigative ophthalmology & visual science*, 49(7):2903–10.
- Gwiazda, J., Thorn, F., Bauer, J., & Held, R. (1993) Myopic children show insufficient accommodative response to blur. *Investigative ophthalmology & visual science*, 34(3):690–4.
- Mutti D.O., Mitchell, G.L., Hayes, J.R., Jones, L.A., Moeschberger, M.L., Cotter, S.A., Kleinstein, R.N., Manny, R.E., Twelker, J.D., & Zadnik, K. (2006) Accommodative lag before and after the onset of myopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 47(3):837–46.
- Weizhong, L., Zhikuan, Y., Wen, L., Xiang, C., & Jian, G. (2008) A longitudinal study on the relationship between myopia development and near accommodation lag in myopic children. *Ophthalmic & physiological optics*, 28(1):57–61.
- Rosenfield, M., & Ciuffreda, K.J. (1994) Cognitive demand and transient nearwork-induced myopia. *Optometry and vision science*, 71(6):381–5.
- Schmid K.L., Hilmer, K.S., Lawrence, R.A., Loh, S.Y., Morrish, L.J., & Brown, B. (2005) The effect of common reductions in letter size and contrast on accommodation responses in young adult myopes and emmetropes. *Optometry and vision science*, 82(7):602–11.
- Vasudevan, B., Ciuffreda, K.J., & Gilmartin, B. (2009) Sympathetic inhibition of accommodation after sustained nearwork in subjects with myopia and emmetropia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 50(1):114–20.
- Pärssinen, O., Lyyra, A.L. (1993) Myopia and myopic progression among schoolchildren: a three-year follow-up study. *Investigative ophthalmology & visual science*, 34(9): 2794–802.
- Rose, K.A., Morgan, I.G., Ip, J., Kifley, A., Huynh, S., Smith, W., & Mitchell, P. (2008) Outdoor Activity Reduces the Prevalence of Myopia in Children. *Ophthalmology*, 115(8):1279–85
- Dirani, M., Tong, L., Gazzard, G., Zhang, X., Chia, A., Young, T.L., Rose, K.A., Mitchell, P., & Saw, S.M. (2009) Outdoor Activity and Myopia in Singapore Teenage Children. *British Journal of Ophthalmology*, 93(8):997–1000
- Jones, L.A., Sinnott, L.T., Mutti, D.O., Mitchell, G.L., Moeschberger, M.L., & Zadnik, K. (2007) Parental History of Myopia, Sports and Outdoor Activities, and Future Myopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 48(8):3524–32.
- Ashby, R., Ohlendorf, A., & Schaeffel, F. (2009) The Effect of Ambient Illuminance on the Development of Deprivation Myopia in Chicks. *Investigative ophthalmology & visual science*, 50(11):5348–54.
- Nathan, J., Kiely, P. M., Crewther, S. G., & Crewther, D. P. (1985). Disease associated image degradation and spherical refractive errors in children. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 62, 680–688.
- Millodot, M. (1981) Effect of ametropia on peripheral refraction. *American journal of optometry and physiological optics*, 58(9):691–5.
- Smith, E.L. 3rd, Kee, C.S., Ramamirtham, R., Qiao-Griender, Y., & Hung, L.F. (2005) Peripheral vision can influence eye growth and refractive development in infant monkeys. *Investigative ophthalmology & visual science*, 46(11):3965–72.
- Smith, E.L. 3rd, Hung, L.F., & Huang, J. (2009) Relative peripheral hyperopic defocus alters central refractive development in infant monkeys. *Vision Research*, 49(19):2386–92
- Taberner, J., & Schaeffel, F. (2009a) Fast scanning photorefractometer for measuring peripheral refraction as a function of accommodation. *Journal of the Optical Society of America*, 26(10):2206–10
- Taberner, J., Vazquez, D., Seidemann, A., Uttenweiler, D., & Schaeffel, F. (2009b) Effects of myopic spectacle correction and radial refractive gradient spectacles on peripheral refraction. *Vision Research*, 49(17):2176–86
- Taberner, J., & Schaeffel, F. (2009c) More irregular eye shape in low myopia than in emmetropia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 50(9):4516–22
- Mutti, D.O., Hayes, J.R., Mitchell, G.L., Jones, L.A., Moeschberger, M.L., Cotter, S.A., Kleinstein, R.N., Manny, R.E., Twelker, J.D., & Zadnik, K. (2007). Refractive error, axial length, and relative peripheral refractive error before and after the onset of myopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 48(6):2510–9.
- Aller, T.A., & Wildsoet, C. (2007) Bifocal soft contact lenses as a possible myopia control treatment: a case report involving identical twins. *Clinical and Experimental Optometry*. 91(4): 394 – 399