

LICHTEXPOSITION UND KURZSICHTIGKEIT BEI KINDERN

In vielen Ländern der Welt gibt es deutliche Anhaltspunkte dafür, dass die Prävalenz von Kurzsichtigkeit zunimmt. Fortschritte in der Messtechnik ermöglichen es jetzt, zahlreiche Umweltfaktoren, die mit der Entwicklung und Progression von Myopie in Zusammenhang stehen könnten, auf zuverlässige Weise und mit einer hohen Stichprobendichte zu quantifizieren. Eine vor kurzem durchgeführte Längsschnittstudie mit australischen Schulkindern, bei der tragbare Sensoren zum Einsatz kamen, hat den ersten unmittelbaren Nachweis für einen signifikanten Zusammenhang zwischen individueller Umgebungslichtexposition und dem Augenwachstum in der Kindheit erbracht. So wurde nachgewiesen, dass eine höhere tägliche Lichtexposition mit einem langsameren Augenwachstum in Zusammenhang steht. Diese Erkenntnisse legen den Schluss nahe, dass Maßnahmen zur Verlängerung der täglichen Aufenthaltszeiten im Freien die Entwicklung und Progression von Myopie in der Kindheit hemmen können.



 **Scott A. Read, außerordentlicher Professor**
Forschungsdirektor,
Contact Lens and Visual Optics Laboratory
Queensland University of Technology,
School of Optometry and Vision Science,
Australien

Scott Read ist außerordentlicher Professor an der School of Optometry and Vision Science an der Queensland University of Technology, Brisbane (Australien). Nach seiner Promotion im Jahr 2006 bekleidete er verschiedene Funktionen in Forschung und Lehre. Er veröffentlichte mehr als 60 fachlich begutachtete Forschungsberichte, vor allem zum Thema Myopie beim Menschen. Vor kurzem wurde er für seine herausragenden Beiträge zur Myopieforschung mit dem „Zeiss Young Investigator Award in Myopia Research“ ausgezeichnet. Er war außerdem Mitherausgeber von Veröffentlichungen im Bereich klinische und experimentelle Optometrie und ist heute als Topical Associate Editor in den Bereichen Optometrie und Sehwissenschaften tätig.

In den letzten Jahrzehnten wurde in vielen Industrieländern der Welt eine rapide Zunahme der Myopie-Prävalenz beobachtet; so sollen in manchen asiatischen Großstädten mehr als 90% der jungen Menschen kurzsichtig sein.¹ Mittels Modellierung auf Basis der aktuellen Trends bei der Entwicklung und Progression von Myopie prognostiziert eine neuere Studie, dass um das Jahr 2050 rund die Hälfte der Weltbevölkerung kurzsichtig und ca. 1 Milliarde Menschen in der Welt hochgradig kurzsichtig (-5.00 dpt und höher) sein werden.² Die Kosten dieser steigenden Myopieraten (und der entsprechenden Zunahme hochgradiger Myopien) für das öffentliche Gesundheitswesen sind dramatisch, denn es besteht ein erwiesener Zusammenhang zwischen Myopie und zahlreichen visusbedrohenden Augenkrankheiten wie Netzhautablösung, Glaukom und Netzhautdegenerationen, die ausnahmslos mit hochgradiger Myopie in Verbindung gebracht wurden.³

Dieser „Myopie-Boom“⁴ gibt den Anstoß für die Entwicklung zuverlässiger Methoden zur Verringerung der Entwicklung und Progression von Myopie in der Bevölkerung und damit zur Begrenzung der schädlichen Auswirkungen zunehmender Myopie-Häufigkeit auf die Seh- und Volksgesundheit. Die rasche Zunahme der Myopie-Prävalenz in den vergangenen Jahrzehnten ist ein klarer Hinweis dafür, dass die Umwelt einen Einfluss auf die Entwicklung von Kurzsichtigkeit hat.⁵ Welche speziellen Umweltfaktoren bei der Steuerung des Augenwachstums und der Entwicklung und Progression von

SCHLÜSSELBEGRIFFE

Myopie, Lichtexposition, Augenwachstum, Outdoor-Aktivität, Brechungsfehler.



„Unsere Erkenntnisse untermauern den Nutzen von Maßnahmen, die darauf abzielen, die tägliche Lichtexposition im Freien zu verlängern, um die Entwicklung und Progression von Kurzsichtigkeit in der Kindheit zu verringern.“

Myopie eine Rolle spielen, ist aber noch nicht vollständig geklärt. Ein umfassenderes Verständnis der verschiedenen Faktoren, die einen Einfluss auf das normale Augenwachstum und damit auf die Entwicklung und Progression von Kurzsichtigkeit in der Kindheit haben, dürfte für die Entwicklung wirksamer Maßnahmen zur Kontrolle der Myopieprogression entscheidend sein.

Mehr Outdoor-Aktivitäten

Im Laufe der Jahre wurden verschiedene Umweltfaktoren ins Spiel gebracht, die bei der Entwicklung der Myopie beim Menschen eine Rolle spielen könnten, wobei Faktoren im Zusammenhang mit Naharbeit und Bildungsniveau den Schwerpunkt zahlreicher Studien bildeten.⁶ Wahrscheinlich aufgrund der teilweise nicht eindeutigen Erkenntnisse von Studien über den Zusammenhang zwischen Myopie und Naharbeit hat die Forschung über Brechungsfehler in letzter Zeit ihren Schwerpunkt verlagert: So befasst sie sich mittlerweile weniger mit der herkömmlichen Messung von Naharbeit und mehr mit weiteren potentiellen Umweltfaktoren (z.B. Outdoor-Aktivitäten).⁷

Epidemiologische Studien mit Menschen und tierexperimentelle Forschungen liefern Anhaltspunkte dafür, dass die Umgebungslichtexposition ein wichtiger zusätzlicher Umweltfaktor bei der Entwicklung von Myopie sein könnte. Tierexperimentelle Studien zeigen, dass das normale Augenlängenwachstum offenbar von der Intensität des Umgebungslichts beeinflusst wird: So weisen bei schwachem Umgebungslicht gezüchtete junge Hühner ein

rascheres Augenwachstum und eine höhere Myopierate auf als bei hellem Umgebungslicht gezüchtete Junghühner.⁸ In der gleichen Weise scheint helles Umgebungslicht die Entwicklung von experimentell (durch Lichtentzug) hervorgerufener Myopie bei Hühnern⁹ und Primaten zu hemmen.¹⁰ Erkenntnisse über die potentielle Rolle von Lichtexposition bei der Myopie von Menschen wurden durch mehrere epidemiologische Studien gewonnen. Sie ergaben, dass Kinder, die mehr Zeit im Freien verbringen, eine signifikant geringere Prävalenz und Inzidenz von Myopie aufweisen als Kinder, die weniger Zeit im Freien verbringen (Sherwin *et al*.¹¹ geben einen Überblick über jüngere Studien, in denen der Zusammenhang zwischen Myopie und Outdoor-Aktivitäten untersucht wurde). Es ist auch bekannt, dass das Augenwachstum in der Kindheit und die Myopieprogression von der Jahreszeit abhängen. So ist belegt, dass der Augapfel in den Sommermonaten langsamer wächst (mehr Tageslichtstunden, mehr Gelegenheit für Aufenthalte im Freien) und in den tageslichtärmeren Wintermonaten schneller wächst.¹²

Da Kinder im Freien normalerweise hohen Lichtintensitäten ausgesetzt sind (sie können über 100-mal höher sein als die Beleuchtung in Innenräumen), wurde angenommen, die Zusammenhänge zwischen mehr Outdoor-Aktivitäten und abnehmender Myopieprogression könnten dahingehend gedeutet werden, dass die Lichtexposition eine Rolle bei der Myopie-Entwicklung spielt.¹³ Dabei ist jedoch zu beachten, dass in den meisten bisher durchgeführten Studien zum Thema

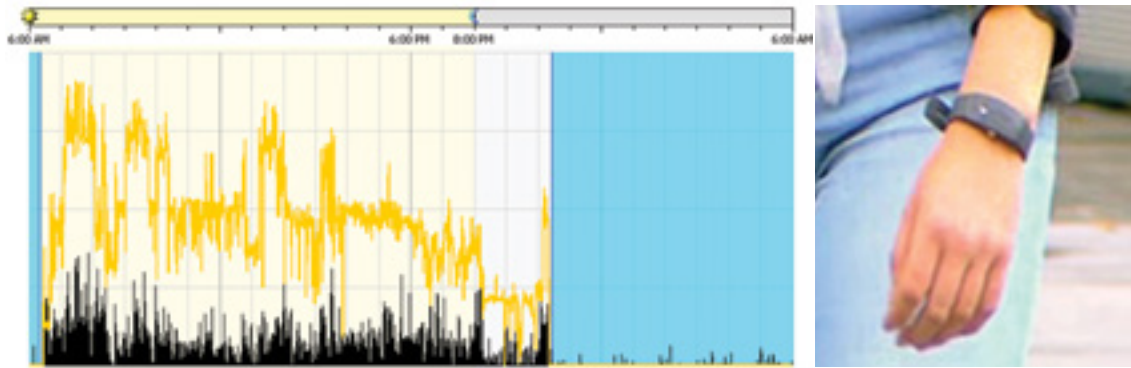


ABB.1| Beispiel für Aufzeichnungen von Lichtexposition und körperlicher Tätigkeit eines repräsentativen Teilnehmers der ROAM-Studie während einer einzigen 24-Stunden-Periode (die gelbe Linie zeigt die Lichtexposition an, die schwarzen Balken stellen die körperliche Tätigkeit dar, die blau schattierte Fläche entspricht der nächtlichen Schlafperiode), abgeleitet von den am nicht-dominanten Handgelenk getragenen Actiwatch-2-Geräten, die so programmiert wurden, dass die Daten alle 30 Sekunden aufgezeichnet wurden. Die an der Studie beteiligten Kinder trugen das Gerät ununterbrochen während zwei 14-Tages-Zeiträumen (zwischen denen ca. 6 Monate lagen) in den ersten 12 Monaten der ROAM-Studie.

Outdoor-Aktivitäten und Myopie bei Kindern (sowie in den Studien über die jahreszeitlichen Unterschiede beim Augenwachstum in der Kindheit) die üblichen Umgebungslichtexpositionen der Kinder nicht objektiv beurteilt wurden. Stattdessen stützten sie sich auf Fragebögen, die die Aktivitäten der Kinder quantifizieren und die tägliche Aufenthaltszeit im Freien einschätzen, was jedoch keine objektive Beurteilung der Lichtexposition darstellt. Anhand dieser bisherigen Arbeiten lässt sich schwer eindeutig klären, ob die den Schutzwirkungen von Outdoor-Aktivitäten zugrunde liegenden Mechanismen auf die Lichtexposition oder einen anderen Faktor im Zusammenhang mit dem Aufenthalt im Freien zurückzuführen sind (z.B. mehr körperliche Aktivität oder weniger Nahakkommodation).

Die Rolle des Lichts

Unsere neueste Forschungsarbeit, bei der tragbare Lichtsensoren zum Einsatz kamen, diente deshalb dem besseren Verständnis der dem Augenwachstum und der Myopie bei Kindern zugrunde liegenden Faktoren, wobei **zum ersten Mal der Zusammenhang zwischen objektiv gemessener Umgebungslichtexposition und Augenwachstum bei Kindern untersucht wurde**. Die Studie „Role of Outdoor Activity in Myopia“ (ROAM) war eine 18-monatige prospektive Längsschnittstudie über das Augenwachstum kurzsichtiger und nicht kurzsichtiger Kinder. Die Versuchsvorgehen und die Ergebnisse der ROAM-Studie wurden in zahlreichen

Veröffentlichungen detailliert beschrieben.¹⁴⁻¹⁶ 101 Kinder zwischen 10 und 15 Jahren nahmen an der Studie teil. 41 dieser Kinder waren kurzsichtig (mittleres sphärisches Äquivalent -2.39 ± 1.51 dpt) und 60 waren nicht kurzsichtig (nahezu normalsichtig mit einem mittleren sphärischen Äquivalent von $+0.35 \pm 0.31$ dpt). Die Augen aller Studienteilnehmer wurden während der 18-monatigen Studiendauer alle 6 Monate untersucht; unter anderem wurde auch die Achsenlänge der Augen gemessen. Darüber hinaus wurden objektive Messungen der Umgebungslichtexposition jedes einzelnen Kindes durchgeführt. Außerdem wurden Daten zum Bewegungsverhalten der Kinder in den ersten 12 Monaten der Studie zweimal erhoben (im Abstand von ca. 6 Monaten). Diese Messungen wurden mit Actiwatch-2 (Philips Respironics, USA) durchgeführt, einem Gerät von der Größe einer Armbanduhr, das einen Lichtsensor und einen Beschleunigungsmesser enthält. Es wurde programmiert, um während jeder der zwei 14-Tages-Perioden, in denen die Kinder den Sensor trugen, tagsüber alle 30 Sekunden gleichzeitig die Umgebungslichtexposition und die körperliche Tätigkeit zu messen (Abb. 1). Dies entspricht mehr als 80.000 Einzelmessungen der Lichtexposition und der körperlichen Aktivität jedes Kindes im Laufe der Studie. Diese Messungen ermöglichten es uns, den potentiellen Zusammenhang zwischen Längenänderung des Augapfels und der täglichen Umgebungslichtexposition der Kinder und ihrer körperlichen Aktivität zu untersuchen.

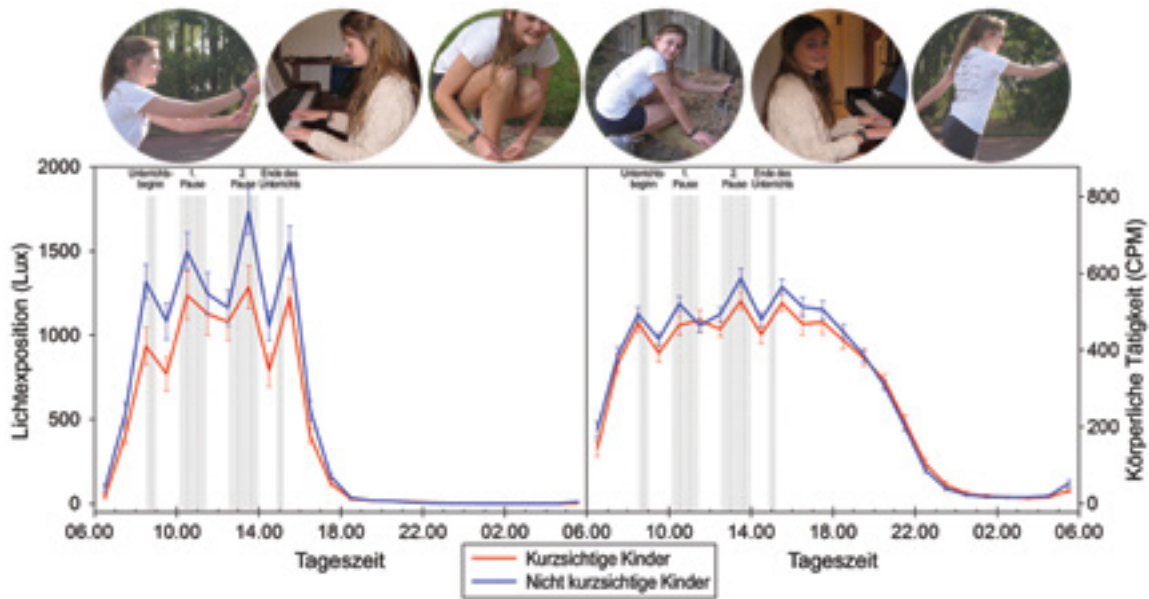


ABB.2 | Durchschnittliche tägliche Lichtexposition (links) und körperliche Aktivität (rechts), gemittelt über alle 60-Minuten-Perioden des Tages für die kurzsichtigen (rote Linie) und nicht kurzsichtigen (blaue Linie) Kinder, die an der ROAM-Studie teilnahmen. Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler des Mittelwerts. Die vertikalen gestrichelten Linien zeigen die durchschnittliche Länge der Schulpausen und die grau schattierten Flächen die Standardabweichung der Pausenzeiten.¹⁶

Die Analyse der dicht gesampelten Daten zu Lichtexposition und Körperaktivität ergab unterschiedliche tägliche Körperaktivitäts-Muster zwischen den kurzsichtigen und den nicht kurzsichtigen Kindern, die an dieser Studie teilgenommen hatten.^{14,15} Obwohl die täglichen Schwankungen der Umgebunglichtexposition und Körperaktivität dem Muster eines typischen Kinder-Schultags folgten (Spitzenwerte bei Körperaktivität und Lichtexposition vor und nach der Schule sowie während der Pausen), wurde festgestellt, dass die kurzsichtigen Kinder sich signifikant weniger Tageslicht aussetzten als die nicht kurzsichtigen Kinder, wobei die größten Unterschiede in der Zeit direkt vor und nach der Schule und in der Mittagspause beobachtet wurden (Abb. 2). Dies ist ein Hinweis darauf, dass sich kurzsichtige Kinder in diesen Zeiträumen weniger im Freien aufhielten. Obwohl beobachtet wurde, dass die kurzsichtigen Kinder zu geringfügig weniger Körperaktivitäten neigten, waren die Unterschiede in Verbindung mit der körperlichen Aktivität statistisch nicht signifikant.

Das bei den kurzsichtigen und den nicht kurzsichtigen Kindern im Rahmen der Studie beobachtete durchschnittliche Längenwachstum des Auges ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Analyse dieser Daten machte mehrere statistisch signifikante Prädiktoren für Augenwachstum in dieser Kinderpopulation sichtbar: das Vorhandensein von Myopie (kurzsichtige Kinder wiesen erwartungsgemäß ein schnelleres Augenwachstum auf, das in

dieser Gruppe auf eine Myopieprogression hindeutet), jüngeres Alter (bei jüngeren Kindern schritt das Augenwachstum schneller fort als bei älteren Kindern) und das Geschlecht (das Augenwachstum bei Jungen erwies sich gegenüber Mädchen als geringfügig schneller). Darüber hinaus wurde das Augenwachstum auch mit der durchschnittlichen täglichen Lichtexposition in signifikanten Zusammenhang gebracht, wobei eine geringere tägliche Lichtexposition mit einem schnelleren axialen Augenwachstum assoziiert war. Um den Zusammenhang zwischen Lichtexposition und Augenwachstum genauer zu untersuchen, wurden die an dieser Studie beteiligten Kinder in weitere Kategorien unterteilt (basierend auf einer Terzilaufteilung der individuellen durchschnittlichen täglichen Lichtexposition unabhängig von deren Refraktionsstatus): geringe, moderate oder hohe tägliche Umgebungshelligkeit (Abb. 4). Bei Kindern, die normalerweise geringer Umgebungshelligkeit ausgesetzt waren (durchschnittlich nur 56 Minuten hellem Tageslicht pro Tag), wurde ein signifikant schnelleres Augenlängenwachstum gemessen. Diese Analysen beinhalteten bestimmte Anpassungen in Bezug auf den Refraktionsstatus, was darauf hindeutet, dass die Auswirkungen der Lichtexposition auf das Augenwachstum unabhängig vom Brechungsfehler auftraten. **Im Laufe der 18-monatigen Studie wuchs der Augapfel der Kinder, die täglich geringen Lichtintensitäten ausgesetzt waren, um durchschnittlich 0,1 mm mehr als der Augapfel von Kindern, die moderaten oder hohen Umgebunglichtintensitäten ausgesetzt waren, was einer klinisch signifikanten höheren Myopieprogression von ~0,3 dpt entspricht.**

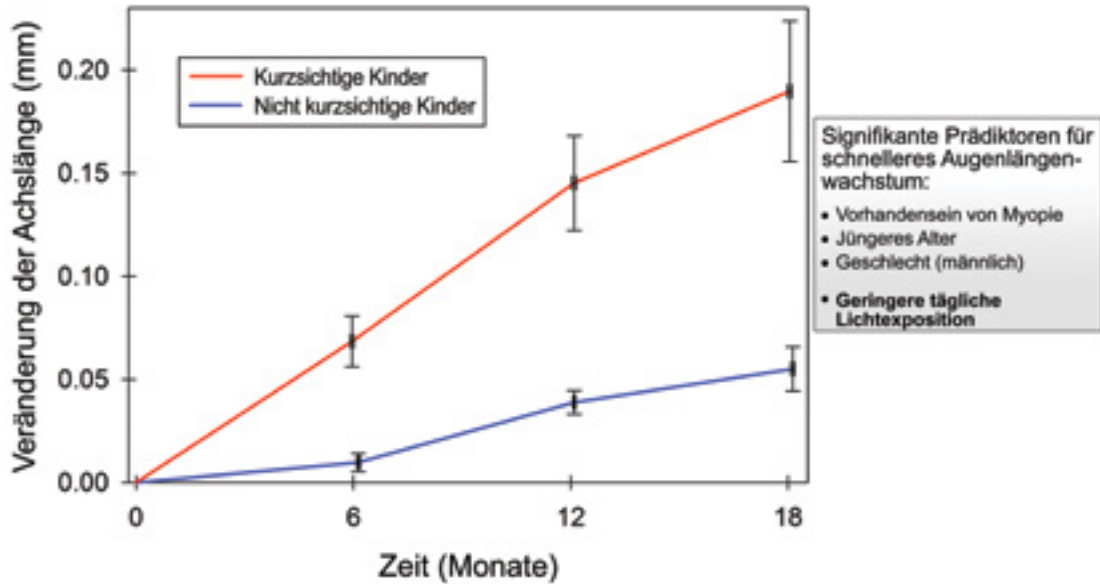


ABB.3| Bei den kurzsichtigen und den nicht kurzsichtigen Kindern im Rahmen der 18-monatigen Studie beobachtetes durchschnittliches Wachstum der Achslänge des Augapfels. Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler des Mittelwerts. Analysen linearer gemischter Modelle ergaben, dass das Vorhandensein von Myopie, jüngeres Alter, das Geschlecht (männlich) und eine geringere tägliche Lichtexposition signifikant mit dem Achslängenwachstum des Auges assoziiert waren.¹⁵

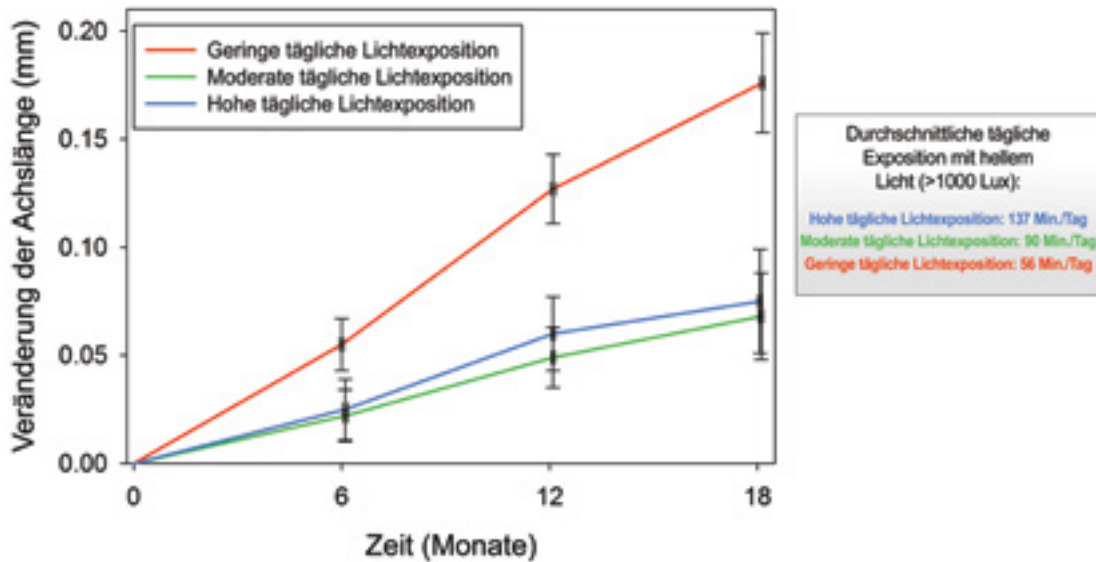


ABB.4| Durchschnittliches Augenlängenwachstum im Rahmen der 18-monatigen Studie nach Zuordnung bzw. Einstufung der Kinder auf Basis ihrer durchschnittlichen täglichen Lichtexposition, d.h. der alltäglichen hohen, moderaten oder geringen Umgebungslichtexposition (unabhängig vom Refraktionsstatus). Kinder, die täglich geringen Lichtintensitäten ausgesetzt waren, wiesen ein signifikant schnelleres Augenlängenwachstum auf. Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler des Mittelwerts.¹⁵



„Diese Ergebnisse liefern uns den ersten unmittelbaren Nachweis für einen Zusammenhang zwischen Umgebungslichtexposition und Augenlängenwachstum in der Kindheit und legen nahe, dass geringe Lichtexposition ein Risikofaktor für ein schnelleres Augenwachstum und damit für Myopieentwicklung und -progression ist.“

Durch den Einsatz tragbarer Sensoren in dieser Studie ergeben sich neue Erkenntnisse über die Mechanismen, die dem bereits belegten Zusammenhang zwischen Myopieprogression und weniger Outdoor-Aktivitäten zugrunde liegen. Unsere Ergebnisse weisen darauf hin, dass Outdoor-Aktivitäten eine Schutzwirkung haben, wenn sie bei hellem Umgebungslicht stattfinden, und belegen, dass verstärkte körperliche Aktivitäten dabei keine entscheidende Rolle spielt. Diese Ergebnisse liefern den ersten unmittelbaren Nachweis für einen Zusammenhang zwischen Umgebungslichtexposition und Augenwachstum in der Kindheit und legen nahe, dass eine geringe Lichtexposition ein Risikofaktor für rascheres Augenwachstum und damit für Myopieentwicklung und -progression ist. **Ein wichtiger Aspekt der Umgebungslichtexposition als Risikofaktor für Myopie ist die Tatsache, dass es sich um einen beeinflussbaren Umweltfaktor handelt.** Kinder können ihre Aktivitäten bzw. ihr Verhalten ändern, um eine Änderung ihrer täglichen Lichtexposition herbeizuführen, was sich potenziell auf die Wachstumsgeschwindigkeit ihrer Augen und damit auf das Risiko für die Entwicklung und Progression von Kurzsichtigkeit auswirkt. Diese Erkenntnisse untermauern den Nutzen von Maßnahmen zur Erhöhung der täglichen Lichtexposition und damit zur Verringerung der Entwicklung und Progression von Myopie in der Kindheit.

Klinische Empfehlungen

Die ROAM-Studie vermittelt neue Erkenntnisse über die Risikofaktoren für das Augenwachstum in der Kindheit. Die Studie liefert außerdem empirische Nachweise über Lichtexposition und Augenwachstum, die für klinische Empfehlungen an Kinder und ihre Eltern herangezogen werden können. Die Kinder, die an dieser Studie teilgenommen haben und der Kategorie derjenigen zugeordnet wurden, die täglich

geringen Lichtintensitäten ausgesetzt waren, verbrachten weniger als 60 Minuten am Tag im Freien bei hellem Licht und wiesen außerdem ein signifikant schnelleres Augenwachstum auf als die anderen Kinder, die an der Studie teilgenommen haben. Dies deutet darauf hin, dass Kinder, die täglich weniger als 1 Stunde bei hellem Licht im Freien verbringen, offenbar für ein schnelleres Augenlängenwachstum und damit auch das Risiko von Myopieentwicklung und -progression prädisponiert sind. Es wurde ein signifikant langsames Augenwachstum bei Kindern festgestellt, die durchschnittlich ~120 Minuten am Tag im Freien bei hellem Licht verbringen, **was darauf schließen lässt, dass eine Verlängerung der täglichen Exposition mit hellem Licht um zusätzliche 60 Minuten wahrscheinlich dazu beiträgt, das Längenwachstum des Augapfels (und damit das Risiko von Myopieentwicklung und -progression) zu verlangsamen.** Dies wird durch zwei neuere Studien^{17,18} untermauert, die zeigen, dass Maßnahmen zur Verlängerung des Aufenthalts von Kindern im Freien (um 40 bzw. 80 Minuten pro Tag) die Inzidenz von Myopie bei ostasiatischen Kindern signifikant reduzieren.

Fazit

Die in diesem Artikel zusammengefassten Arbeiten tragen dazu bei, unser Verständnis der Rolle der Lichtexposition für die Steuerung des Augenlängenwachstums und die Entwicklung und Progression von Brechungsfehlern zu verbessern, und unterstreichen den Nutzen zukünftiger Maßnahmen zur Myopiekontrolle, die darauf abzielen, die tägliche Exposition mit hellem Licht zu erhöhen. Es sind jedoch noch weitere Forschungen nötig, um das Verständnis verschiedener Aspekte im Zusammenhang mit Lichtexposition und Myopie zu verbessern. Zu diesen Faktoren gehören die relative Bedeutung der spektralen Zusammensetzung des Lichts, der optimale Expositionszeitraum und die spezielle

Lichtintensität, die für die Steuerung des Augenwachstums beim Menschen am wichtigsten ist. Weitere Erkenntnisse aus anderen einschlägigen Forschungen könnten dazu beitragen, die Entwicklung gezielterer Maßnahmen in der Zukunft zu fördern, die sich unter dem Aspekt der Myopiekontrolle als vielversprechend erweisen werden. •

Danksagung: Diese Arbeiten wurden durch den Discovery Early Career Research Award (DE120101434) des Australian Research Council unterstützt. Mein ausdrücklicher Dank gilt meinen Kollegen Michael Collins und Stephen Vincent für ihren Beitrag zu den in diesem Artikel vorgestellten Arbeiten.



DIE KERNPUNKTE

- Es gibt Anhaltspunkte dafür, dass die Myopie-Prävalenz in den vergangenen Jahrzehnten in vielen Industrieländern rasch gestiegen ist.
- Es ist sehr wichtig, die Umweltfaktoren, die Augenlängenwachstum und Myopie in der Kindheit zugrunde liegen, besser zu verstehen, um effektive Maßnahmen zur Myopiekontrolle entwickeln zu können.
- Eine neuere Forschungsarbeit, bei der tragbare Sensoren zum Einsatz kamen, liefert den ersten unmittelbaren Nachweis für einen Zusammenhang zwischen geringerer täglicher Lichtexposition und einem schnelleren Längenwachstum des Augapfels.
- Weniger als 1 Stunde Exposition mit hellem Licht im Freien scheint Kinder zu einem schnelleren Augenlängenwachstum und damit zu schnellerer Myopieentwicklung und -progression zu prädisponieren.
- Diese Resultate untermauern den Nutzen der Myopiekontrolle durch die Verlängerung der täglichen Lichtexposition (z.B. durch Maßnahmen zur Förderung längerer Aufenthalte im Freien).

LITERATURHINWEISE

1. Jung S-K, Lee JH, Kakizaki H, Jee D. Prevalence of myopia and its association with body stature and educational level in 19-year-old male conscripts in Seoul, South Korea. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53:5579-5583.
2. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P, Wong TY, Naduvilath TJ, Resnikoff S. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology.* 2016;123:1036-1042.
3. Flitcroft DI. The complex interactions of retinal, optical and environmental factors in myopia aetiology. *Prog Retin Eye Res.* 2012;31:622-660.
4. Dolgin E. The myopia boom. *Nature.* 2015;519: 276-278.
5. Morgan IG, Rose K. How genetic is school myopia? *Prog Retin Eye Res.* 2005; 24:1-38.
6. Morgan IG, Ohno-Matsui K, Saw S-M. Myopia. *The Lancet.* 2012;379:1739-1748.
7. Mutti DO, Zadnik K. Has near work's star fallen? *Optom Vis Sci.* 2009; 86:76-78.
8. Cohen Y, Belkin M, Yehzekel O, Solomon AS, Polat U. Dependency between light intensity and refractive development under light-dark cycles. *Exp Eye Res.* 2011;92:40-46.
9. Ashby R, Ohlendorf A, Schaeffel F. The effect of ambient illuminance on the development of deprivation myopia in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009;50:5348-5354.
10. Smith EL, Hung L-F, Huang J. Protective effects of high ambient lighting on the development of form deprivation myopia in rhesus monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53:421-428.
11. Sherwin JC, Reacher MH, Keogh RH, Khawaja AP, Mackey DA, Foster PJ. The association between time spent outdoors and myopia in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology.* 2012;119:2141-2151.
12. Donovan L, Sankaridurg P, Ho A, Chen X, Lin Z, Thomas V, Smith EL, Ge J, Holden B. Myopia progression in Chinese children is slower in summer than in winter. *Optom Vis Sci.* 2012;89:1196-1202.
13. Rose KA, Morgan IG, Ip J, Kifley A, Huynh S, Smith W, Mitchell P. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology.* 2008;115: 1279-1285.
14. Read SA, Collins MJ, Vincent SJ. Light exposure and physical activity in myopic and emmetropic children. *Optom Vis Sci.* 2014;91:330-341.
15. Read SA, Collins MJ, Vincent SJ. Light exposure and eye growth in childhood. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015;56:3103-3112.
16. Read SA. Ocular and environmental factors associated with eye growth in childhood. *Optom Vis Sci.* 2016; 93: 1031-1041.
17. Wu P-C, Tsai C-L, Wu H-L, Yang Y-H, Kuo H-K. Outdoor activity during class recess reduces myopia onset and progression in schoolchildren. *Ophthalmology.* 2013;120:1080-1085.
18. He M, Xiang F, Zeng Y, Mai J, Chen Q, Zhang J, Smith W, Rose K, Morgan IG. Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China: A randomized clinical trial. *JAMA.* 2015;15:1142-1148.