

Kliniczne znaczenie lubrykacji soczewek kontaktowych

The Clinical Relevance of Contact Lens Lubricity

Desmond Fonn

Założyciel i dyrektor Centrum Badań Soczewek Kontaktowych, emerytowany profesor w Szkole Optometrii w Johannesburgu i na Uniwersytecie Nowej Południowej Walii w Sydney

Tłumaczenie: Jacek Pniewski
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Tekst oryginalny: The Clinical Relevance of Contact Lens Lubricity. Desmond Fonn. Contact Lens Spectrum 2013 [online: <http://www.clspectrum.com/articleviewer.aspx?articleID=108559>].

NAJWAŻNIEJSZE

W pierwszym z dwóch artykułów na temat tarcia i lubrykacji profesor Desmond Fonn wyjaśnia, w jaki sposób nauka zapewnia większy komfort użytkownikom soczewek kontaktowych.

Pomimo postępu w dziedzinie materiałów, z których wykonywane są soczewki kontaktowe, ich konstrukcji i środków pielęgnacyjnych, dyskomfort, szczególnie pod koniec dnia, oraz suchość oczu stanowią główną przyczynę rezygnacji z użytkowania soczewek kontaktowych [1, 2].

Mimo wielu wysiłków włożonych w opracowanie skutecznych wieloogniskowych miękkich soczewek kontaktowych, umożliwiających powstrzymanie progresji krótkowzroczności oraz zmniejszenie liczby infekcji rogówki, najsukteczniejszą metodą zwiększania liczby użytkowników soczewek kontaktowych jest zastosowanie powierzchni soczewki o kształcie odpowiadającym kształtowi rogówki, która zapewnia znakomity komfort noszenia na koniec dnia, dzięki czemu znacznie zmniejsza się liczba porzuceń soczewek kontaktowych.

Większość soczewek kontaktowych jest w pełni uwodniona i komfortowa w momencie aplikacji. Wiemy jednak, że u wielu użytkowników w ciągu dnia komfort noszenia spada bądź zwiększa się wrażenie suchości oka [3–5], zaś najlepszy nawet stan płynów fizjologicznych w środowisku oka oraz stan konwencjonalnych hydrożelowych lub silikonowo-hydrożelowych soczewek może się zmienić po ich założeniu [6–8]. Wyzwaniem dla naukowców zajmujących się polimerami, inżynierów mechaników oraz wszelkich innych specjalistów zaangażowanych w opracowanie materiału i projektu soczewki kontaktowej jest przeciwdziałanie utracie wody z powierzchni soczewki, a co za tym idzie – z jej objętości, czyli sprawienie, by powierzchnia stała się prawdziwie biokompatybilna. Niektórzy producenci twierdzą, że osiągnęli część celów opisanych w tym artykule. Na początek warto opisać wybrane pojęcia fizyczne i mechaniczne związane z powierzchnią soczewek oraz ich interakcją z tkankami oka.

TRIBOLOGIA

Tribologia, domena inżynierii (mechaniki), to nauka o tarcu, smarowaniu (w przypadku soczewek kontaktowych zwanym lubrykacją) oraz zużyciu (nie w takim sensie jak w soczewce kontaktowej, lecz rozumianym jako zniszczenie materiału). Zajmuje się ona badaniem powierzchni oddziaływających na siebie podczas wzajemnego ruchu. Subbaraman i Jones [9] opisali, w jaki sposób można mierzyć tarcie i lubrykację.

TARCIE

Tarcie można zdefiniować jako opór pojawiający się pomiędzy stykającymi się powierzchniami ciał, podczas gdy jedno z nich się porusza lub zamierza poruszyć względem drugiego [10]. Współczynnik tarcia jest mierzalną wartością, która opisuje stosunek siły tarcia pomiędzy powierzchniami do siły wzajemnego nacisku ciał. Wartość współczynnika tarcia zależy częściowo od materiałów. Dwa użyteczne przykłady to lód na stali (mały współczynnik tarcia) oraz guma na asfalcie (wysoki współczynnik tarcia). Istnieje wiele typów tarcia w odniesieniu do soczewek kontaktowych. Tarcie hydrodynamiczne występuje, gdy warstwa płynu wyraźnie oddziela dwie powierzchnie stałe. Tarcie graniczne pojawia się, gdy obie powierzchnie wchodzi w bezpośredni kontakt. Dwa skrajne przykłady związane z soczewkami to powieka trąca po powierzchni nawilżonej soczewki hydrożelowej z dużą szybkością (tarcie hydrodynamiczne) i relatywnie małym współczynnikiem tarcia oraz przypadek, gdy film łzowy zostanie przerwany lub szybkość ruchu jest niewielka – wtedy współczynnik tarcia będzie znacznie wyższy (tarcie graniczne).

LUBRYKACJA

Lubrykacja to odwrotność współczynnika tarcia. Jeśli tarcie jest niewielkie, to lubrykacja jest wysoka. Hydrożelowa soczewka kontaktowa w stanie suchym nie ma szczególnie wysokiej lubrykacji podczas tarcia, ale gdy wprowadzimy płyn o bardzo niskiej lepkości lub nasączymy soczewkę płynem pielęgnacyjnym, zwiększy się lubrykacja i zmniejszy się tarcie w ruchu powieki po powierzchni soczewki. Zdolność powierzchni do zatrzymywania wody będzie wpływać na lubrykację.

ZWILŻALNOŚĆ

Zwilżalność jest pojęciem rozpowszechnionym w świecie soczewek kontaktowych i używa się go do charakteryzowania tendencji płynu do przylegania do powierzchni soczewki. Zwilżalność może być miarą *in vitro* lub *ex vivo* kąta zwilżania, a także klinicznej oceny *in vivo* czasu przerwania filmu łzowego (TBUT, *tear break up time*) przed założeniem

soczewki kontaktowej. Mimo że te wartości są często podawane przez producentów, istnieją także inne kluczowe czynniki, które mogą korelować z poczuciem komfortu noszenia soczewek kontaktowych. Maldonado-Codina i Efron [11] zasugerowali, że interakcji *in vivo* pomiędzy łzami a powierzchnią soczewki nie można przewidzieć, dokonując pomiaru kąta zwilżania. Histereza (różnica pomiędzy kątem zwilżania dla sytuacji cieczy rozlewającej się i cofającej) wydaje się lepszą metodą laboratoryjnego wyrażenia zwilżalności soczewek. Tighe pokazał, że histereza wartości dla nowoczesnych silikonohydrożeli bez dodatkowych powłok zmniejszyła się wyraźnie w ostatnich latach, częściowo w wyniku znacznie większej zawartości wody [12].

KLINICZNE KONSEKWENCJE WYSOKIEGO WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA

Należy powiedzieć, że postęp, jaki dokonał się w nauce i technologii produkcji soczewek kontaktowych, wyeliminował lub zminimalizował wiele komplikacji wynikających z użytkowania soczewek wcześniejszych generacji. Większość tych komplikacji była związana z osadzaniem się na soczewce denaturowanych białek lub innych zanieczyszczeń, które wywołują reakcje autoimmunologiczne, podrażnienie mechaniczne spojówki tarczkowej lub innych tkanek oka oraz, w niektórych przypadkach, poważny dyskomfort. Utrata lubrykacji i zwiększone tarcie jako wynik zanieczyszczenia powierzchni soczewki były prawdopodobnie przyczyną wymienionych niepożądanych reakcji na powierzchni oka. W miarę rozwoju technologii soczewek kontaktowych ważne jest, by mierzyć tarcie nie tylko w przypadku soczewek fabrycznie nowych, ale także określić, w jaki sposób zmienia się ono w czasie noszenia soczewki i zwiększania się ilości osadów.

Jedną z najpoważniejszych komplikacji ocznych, o których mowa powyżej, jest olbrzymiobrodawkowe zapalenie spojówek (GPC, *giant papillary conjunctivitis*) lub jednostka chorobowa zwana obecnie brodawkowym zapaleniem spojówek (CLPC, *contact lens-induced papillary conjunctivitis*). GPC zostało po raz pierwszy opisane przez Thomasa Springa w 1974 r. jako reakcja zapalna spojówki powiekowej, najczęściej występująca na górnej powiece [13]. Stan ten charakteryzuje się występowaniem olbrzymich brodawek, przekrwionych powiek i obfitej wydzieliny śluzowej [14]. Wśród symptomów są m.in.: swędzenie, zmiany jakości widzenia i dyskomfort noszenia soczewek kontaktowych, które w konsekwencji często prowadzą do ich porzucenia. Dość często można zaobserwować wyschniętą, zanieczyszczoną soczewkę, która przemieszcza się o 4–5 mm podczas normalnego mrugnienia, oczywiście z powodu utraty lubrykacji pomiędzy soczewką a powierzchnią powiek. Noszenie nowoczesnych soczewek oraz dobre nawyki ich częstej wymiany sprawiają, że powyższe objawy

są coraz rzadziej spotykane. Mimo ulepszania soczewek silikonowo-hydrożelowych ocenia się, że przy ich noszeniu CLPC występuje częściej (szczególnie przy noszeniu w trybie ciągłym) niż w przypadku konwencjonalnych soczewek hydrożelowych oraz rzadziej w przypadku nowych silikonowo-hydrożeli niż pierwszych generacji [15].

Oprócz zmiany kształtu oraz sprężystości należy podejrzewać, że zwiększona zawartość wody i metody utrzymywania wilgotności powierzchni pomogły zmniejszyć częstość występowania CLPC. Równoległe z rozwojem soczewek silikonowo-hydrożelowych opublikowano nowe dane kliniczne. W 2002 r. Korb i wsp. opisali stan patologiczny – zapalenie błony naczyniowej powieki (LWE, *lid-wiper epitheliopathy*) – objawiający się pasem zmienionej tkanki zewnętrznej krawędzi spojówki, która porusza się po powierzchni oka. Stan ten diagnozuje się za pomocą barwienia fluoresceiną, różem bengalskim lub zielenią lizaminową. Oszacowano, że u użytkowników soczewek kontaktowych z symptomami suchego oka występował znacznie wyższy odsetek przypadków barwienia krawędzi powieki niż u użytkowników bez tych symptomów [16].

Pult i wsp. opisali stan patologiczny o nazwie: fałdy spojówkowe równoległe do brzegu powieki (LIPCOF, *lid-parallel conjunctival folds*). Są to podkliniczne fałdy w obszarze spojówki gałki ocznej równoległe do dolnej krawędzi powieki [17].

Wydaje się, że stan ten jest bardziej rozpowszechniony wśród użytkowników soczewek kontaktowych, ale można go również wykryć u osób z syndromem suchego oka, które nie noszą soczewek kontaktowych. Prawdopodobna etiologia obu stanów, LWE i LIPCOF, jest mechaniczna, zaś w przypadku LWE spojówka tarczkowa podlega zwiększonemu tarceniu (czyli zmniejszonej lubrykacji powierzchni soczewki kontaktowej), powodującemu mikrourazy komórek nabłonka. Ten stan może się pogorszyć na skutek braku lubrykacji łzami. Wymienione stany oraz inne – bardziej subtelne, występujące razem z GPC – wydają się mieć związek ze zmniejszoną lubrykacją, co powoduje symptomy dyskomfortu i suchości oka.

WYSIŁKI W CELU ZWIĘKSZENIA LUBRYKACJI

Wiele podjętych prób zwiększenia zwilżalności soczewek oraz utrzymania ich wilgotności w trakcie noszenia okazało się w pewnej mierze zadowalających. Przykłady czynników zwilżających dodawanych do materiału soczewek to: alkohol poliwinylowy (PVA), poliwinylpirolidon (PVP) czy kwas hialuronowy. Substancje te są również używane w sztucznych łzach oraz kroplach nawilżających do socze-

wek kontaktowych. PVP działa jak warstwa hydrofilowa, odseparowując własności hydrofobowe soczewek silikonowo-hydrożelowych. Inne humektanty (substancje pomagające utrzymać wilgoć), takie jak hydroksypropylometyloceluloza (HPMC) i glikol polietylenowy (PEG), wykazały także poprawę zwilżalności soczewek silikonowo-hydrożelowych. Keir i Jones dobitnie oraz wszechstronnie opisali to zagadnienie [18].

Nie wiadomo jednak, jaki trwały wpływ na lubrykację mają wymienione środki nawilżające. Ostatnie osiągnięcie w dziedzinie silikonowo-hydrożelowych soczewek jednodniowych nazywane jest soczewką z gradientem uwodnienia (w pomiarach *in vitro* soczewek nowych) – od 33% uwodnienia w środku soczewki do ok. 80% na jej powierzchni [19, 20]. Powierzchnie żelowe, które są minimalnie usieciowane (grubość: 5–6 μm) na powierzchni silikonowo-hydrożelowych soczewek kontaktowych, posiadają gradację [20].

Sawyer stwierdził, że powierzchnie żelowe zapewniają lubrykację powierzchni soczewki z bardzo niskimi współczynnikami tarcia ($\mu < 0,01$).

Najbardziej przekonujący dowód na istnienie mierzalnego parametru soczewki kontaktowej, który koreluje z komfortem na koniec dnia, czyli współczynnika tarcia, zademonstrowali Brennan i Coles w dwóch niezależnych badaniach [21, 22].

Wysiłki w celu zmierzenia i modyfikacji powierzchni, która naprawdę zachowa wilgotność i lubrykację przez cały dzień, mogą przynieść w efekcie największe osiągnięcie od czasu miękkiej soczewki kontaktowej Wichterlego, przewyższając być może nawet doniosłość wynalezienia materiału silikonowo-hydrożelowego.

ADRES TŁUMACZA

Dr Jacek Pniewski

Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski
02-093 Warszawa, ul. Pasteura 7
e-mail: jpniewski@igf.fuw.edu.pl

Piśmiennictwo

1. Dumbleton K, Woods CA, Jones LW, et al. The impact of contemporary contact lenses on contact lens discontinuation. *Eye Contact Lens* 2013; 39(1): 93-99.
2. Rumpakis J. New data on contact lens dropouts: an international perspective. *Review of Optometry* 2010; 147: 37-42.
3. Fonn D, Situ P, Simpson TL. Hydrogel lens dehydration and subjective comfort and dryness ratings in symptomatic and asymptomatic contact lens wearers. *Optom Vis Sci* 1999; 76(10): 700-704.
4. Guillon M, Maissa C. Dry eye symptomatology of soft contact lens wearers and nonwearers. *Optom Vis Sci* 2005; 82(9): 829-834.
5. Chalmers RL, Begley CG. Dryness symptoms among an unselected clinical population with and without contact lens wear. *Cont Lens Anterior Eye* 2006; 29(1): 25-30.
6. Cedarstaff TH, Tomlinson A. A comparative study of tear evaporation rates and water content of soft contact lenses. *Am J Optom Physiol Opt* 1983; 60(3): 167-174.
7. Pritchard N, Fonn D. Dehydration, lens movement and dryness ratings of hydrogel contact lenses. *Ophthalmic Physiol Opt*.
8. Morgan PB, Efron N. In vivo dehydration of silicone hydrogel contact lenses. *Eye Contact Lens* 2003; 29(3): 173-176.
9. Subbaraman L, Jones LW. Measuring friction and lubricity of hydrogel contact lenses – A review. *Contact Lens Spectrum*; special edition 2013 [online: <http://www.clspectrum.com/articleviewer.aspx?articleID=108560>].
10. Malhotra M, Subramanian R, Gahlot P, et al. *Textbook in Applied Mechanics*. New Delhi: New Age International 1994.
11. Maldonado-Codina C, Efron N. Dynamic wettability of pHEMA-based hydrogel contact lenses. *Ophthalmic Physiol Opt* 2006; 26(4): 408-418.
12. Tighe BJ. A decade of silicone hydrogel development: surface properties, mechanical properties and ocular compatibility. *Eye Contact Lens* 2013; 39(1): 4-12.
13. Spring TF. Reaction to hydrophilic lenses. *Med J Aust* 1974; 1(12): 449-450.
14. Allansmith MR, Korb DR, Greiner JV, et al. Giant papillary conjunctivitis in contact lens wearers. *Am J Ophthalmol* 1977; 83(5): 697-708.
15. Dumbleton K. Noninflammatory silicone hydrogel contact lens complications. *Eye Cont Lens* 2003; 29(suppl. 1): 186-189; discussion: 190-194.
16. Korb DR, Greiner JV, Herman JP, et al. Lid-wiper epitheliopathy and dry-eye symptoms in contact lens wearers. *CLAO J* 2002; 28(4): 211-216.
17. Pult H, Purslow C, Berry M, et al. Clinical tests for successful contact lens wear: relationship and predictive potential. *Optom Vis Sci* 2008; 85(10): E924-929.
18. Keir N, Jones L. Wettability and silicone hydrogel lenses: A review. *Eye Contact Lens* 2013; 39(1): 100-108.
19. Pruitt J, Qiu Y, Thekveli S, et al. Surface characterization of a water gradient silicone hydrogel contact lens (delefilcon A). *Invest Ophthal Vis Sci* 2012; 53. E-abstract 6107.
20. Sawyer WG. Lubricity in high water content surface gel layers. *Optom Vis Sci* 2012; 89. E-abstract 125089.
21. Brennan NA. Contact lens-based correlates of soft lens wearing comfort. *Optom Vis Sci* 2009; 86. E-abstract 90957.
22. Coles C. Coefficient of friction and contact lens comfort. *Optom Vis Sci* 2012; 89. E-abstract 125603.