

Sztywne soczewki kontaktowe – stan aktualny, kierunki rozwoju, technologie i materiały

Rigid Contact Lenses – Current Status, Directions in Development, Technologies and Materials

Katarzyna Szymanek^{1,2}, Maja Waszczyk¹, Ewa Langwińska-Wośko¹, Piotr Szymanek², Anna M. Ambroziak^{1,3}

¹ Katedra i Klinika Okulistyki II Wydziału Lekarskiego Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego
Samodzielny Publiczny Kliniczny Szpital Okulistyczny w Warszawie

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jerzy Szaflik

² ACL-VISION Specjalistyczne Ambulatorium Okulistyczne, NZOZ w Warszawie

Dyrektor: lek. Piotr Szymanek

³ Zakład Optyki Informacyjnej Instytutu Geofizyki Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Kierownik: dr hab. Rafał Kotyński

Summary:

The aim of this paper is to review the currently available rigid gas permeable contact lenses (RGP) types and designs as well as their potential application in the management of more complex visual disorders.

Today specialists may use a wide selection of RGP contact lens designs and correct virtually all visual disorders and corneal irregularities. This paper presents the current knowledge concerning modern RGP contact lenses. The paper also discusses available geometries and applications of the most popular corneal lens designs: rotationally symmetrical, toric and orthokeratology as well as scleral and semi-scleral designs, which become increasingly popular. Advanced manufacturing technologies provide contact lenses with very complex geometries, which allow for precise and individualized fitting even in case of significant corneal irregularities such as keratoconus, PMD, post-graft, post ocular trauma, LASIK induced ectasia, significant corneal astigmatism, etc. Modern materials with high gas permeability ensure that the corneal demand for oxygen is satisfied and ensure high safety of application. RGP contact lenses are often the only available method of correction in cases of severe visual disorders and corneal irregularities, ensure good quality of vision and normal functioning in everyday life.

The modern materials and lens designs, precise manufacturing and increasing accessibility of automated computer lens fitting systems ensure safe and comfortable contact lenses use.

Key words:

rigid gas permeable contact lenses, RGP, scleral contact lenses, semi-scleral contact lenses, orthokeratology.

Słowa kluczowe:

sztywne gazoprzepuszczalne soczewki kontaktowe, RGP, skleralne soczewki kontaktowe, semiskleralne soczewki kontaktowe, ortokeratologia.

Rys historyczny

Twórcą pierwszej koncepcji soczewki kontaktowej, jak podają Hofstter i Graham (1), był Leonardo da Vinci (ok. 1508 r.). Projekt ten wcielił w życie Thomas Young (1773–1829), skorygował swoją wadę wzroku – astygmatyzm, umieszczając bezpośrednio na oku 5-milimetrową tubę wypełnioną wodą i zakończoną soczewką. Kolejnym krokiem milowym w tej dziedzinie było skonstruowanie skleralnej soczewki kontaktowej ze szkła – dokonał tego Eugene Fick w 1887 roku. Następnie ideę tę wykorzystali naukowcy z firmy Zeiss, w 1920 r. stworzyli pierwszy zestaw szklanych soczewek kontaktowych. Jednakże prawdziwy rozwój kontaktologii nastąpił dopiero w latach 40. XX wieku, kie-

dy do produkcji soczewek twardówkowych użyto polimetyakrylanu metylu (PMMA). Materiał ten cechował się ponad 90% przepuszczalnością promieniowania pasma widzialnego oraz bardzo dobrą biokompatybilnością. Miał też wadę – nie przepuszczał tlenu, a to wpływało na ograniczenie czasu noszenia soczewek. W odpowiedzi na ten problem skonstruowano soczewkę o mniejszej średnicy, która pokrywała tylko rogówkę – soczewkę rogówkową. Udoskonalenia polegały na dalszym zmniejszaniu średnicy soczewki oraz jej grubości w celu zwiększenia tolerancji noszenia. Poszukiwano także coraz lepszych materiałów. Na przełomie lat 50. i 60. XX w. czescy chemicy (Wichterle i Lima) opracowali pierwsze materiały hydrożelowe, tym samym przyczynili

się do powstania miękkich soczewek kontaktowych (2). Pierwszym tlenoprzepuszczalnym materiałem użytym do produkcji sztywnych soczewek był octanomaślan celulozy, który ze względu na znaczne wchłanianie wody, powodujące zmiany optyki, nie znalazł szerszego zastosowania. Dopiero połączenie materiału o wysokiej gazoprzepuszczalności, jakim są silikon czy fluor, z zaletami metakrylanu metylu dało możliwość stworzenia gazoprzepuszczalnych sztywnych soczewek kontaktowych nowej generacji (np. Boston, Paraperm, Boston IV, Fluoroperm).

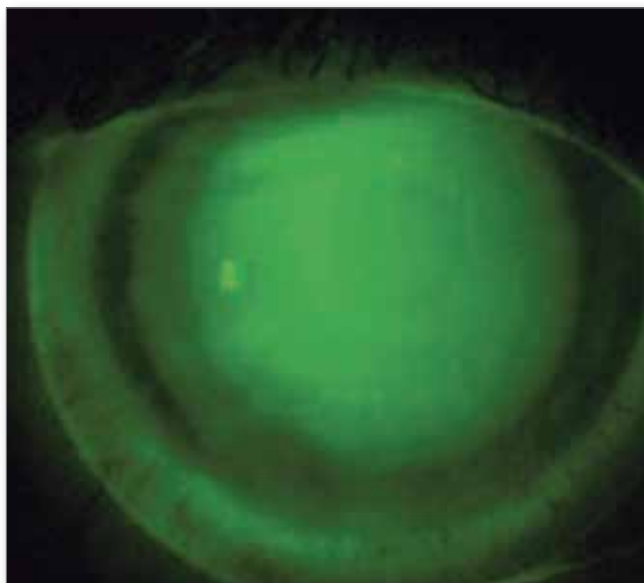
Stan aktualny

Współcześnie kontaktologia opiera się dwóch filarach – 1. miękkich soczewkach kontaktowych, obecnie najpowszechniej stosowanych ze względu na możliwość korekcji większości prostych wad wzroku, względną łatwość dopasowania, a także niższe koszty, 2. sztywnych gazoprzepuszczalnych soczewkach kontaktowych (Rigid Gas Permeable – RGP), które mogą być stosowane do korekcji wszystkich wad wzroku, a także innych nieprawidłowości optycznych oka (ryc. 1.). Dużą zaletą obecnie stosowanych soczewek sztywnych są ich bardzo dobre parametry optyczne, które dają lepszą jakość obrazu i kontrast, a także wyższy profil bezpieczeństwa w porównaniu z miękkimi soczewkami kontaktowymi (3). Jak wspomniano wcześniej, największą ich zaletą jest to, że stwarzają możliwość korekcji wszelkich wad refrakcji – od prostych do bardzo skomplikowanych, kiedy inne metody korekcji są niewystarczające. Sztywnymi gazoprzepuszczalnymi soczewkami kontaktowymi można skorygować: wady refrakcji, stany z nieregularnością rogówki takie jak stożek rogówki (4, 5), zwyrodnienie brzeżne przezroczyste (Pellucid Marginal Degeneration – PMD, Degeneratio Pellucida Marginalis Cornae – DPMC), stany po urazach oka (6), stany po przeszczepach rogówki (7), znajdują one też zastosowanie w ortokeratologii nocnej (8). W zależności od średnicy sztywne soczewki gazoprzepuszczalne dzielimy na rogówkowe – niewykraczające poza obszar rogówki, oraz skleralne i semiskleralne – pokrywające rogówkę i opierające się na twardówce (ryc. 2.).



Ryc. 1. Prawidłowo dobrana sztywna gazoprzepuszczalna soczewka kontaktowa, wzór fluoresceinowy. Dzięki uprzejmości Menicon Co.

Fig. 1. Fluorescein pattern with a correctly fitted RGP contact lens. Courtesy of Menicon Co.



Ryc. 2. Soczewka semiskleralna, wzór fluoresceinowy. Dzięki uprzejmości Menicon Co.

Fig. 2. Fluorescein pattern with a semi-scleral lens. Courtesy of Menicon Co.

Spośród RGP obecnie na rynku dostępne są rogówkowe soczewki o różnych geometriach.

1. **Rotacyjne**, które ze względu na budowę tylnej powierzchni dzielimy na: wielokrzywiznowe (tylna powierzchnia składa się z kilku stref o różnych krzywiznach) i asferyczne. Konstrukcja ta ma na celu dopasowanie do budowy rogówki (przy czym należy pamiętać, że sferyczna powierzchnia przednia, w odróżnieniu od tylnej, służy poprawie jakości obrazu poprzez zminimalizowanie aberracji sferycznej i może być zastosowana we wszystkich soczewkach z wyjątkiem soczewek z cylindrem na powierzchni przedniej). Różne geometrie soczewek rotacyjnych stosujemy do korekcji:

- a) wad sferycznych, a także niewielkiego stopnia astygmatyzmu do ok. 2,50 Dcyl (soczewki „sferyczne”). Szczególnie duże korzyści odnosimy w przypadku korekcji wysokich wad wzroku. Warte podkreślenia jest zastosowanie tych soczewek w stanach afakii poporodowej, w tym u małych dzieci, u których jest to preferowana metoda korekcji;
- b) stożka rogówki oraz innych nieregularności rogówki (soczewki „stożkowe”). Zaawansowane konstrukcje soczewek z tej grupy pozwalają korygować nawet bardzo nieregularne rogówki w przebiegu takich schorzeń jak: stożek rogówki, w tym jego nietypowa forma – centralny stożek sutkowaty, zwyrodnienie brzeżne przezroczyste, rogówka kulista, rogówka po przeszczepie, ekstazja po zabiegach laserowej korekcji wady wzroku (9), stany po urazach. Duża nieregularność powierzchni rogówki w przebiegu tych schorzeń wymusiła opracowanie dodatkowych zaawansowanych technologii, które poprawiają dopasowanie. Przykładem są regulacja uniesienia brzożu, w celu zapewnienia komfortowego dopasowania obwodowego, lub system ACT (Asymmetric Corneal Technology) (ryc. 3.), dostępny w systemie soczewek Rose K2, umożliwiający sektorowe podgięcie

brzegu, aby zapobiec odstawaniu soczewki w najbardziej stromym kwadrancie, co często się zdarza w przypadku stożka. Ciekawym rozwiązaniem jest także technologia TP (Toric Periphery – w Rose K2) (ryc. 4.) stosowana w celu zmniejszenia ścisłego przylegania, zwykle na godzinach 3.00 i 9.00, czy też 12.00 i 6.00 w przypadku PMD.

2. Nierotacyjne – toryczne

- a) tylnotoryczne – mają toryczną **tylną** powierzchnię, która jest „negatywem” astygmatyzmu rogówkowego, dzięki temu soczewka dopasowuje się do kształtu rogówki i uzyskuje stabilizację. Stosujemy je do korekcji astygmatyzmu rogówkowego powyżej ok. 2,50



Ryc. 3. System ACT (Asymmetric Corneal Technology), sektorowe podgięcie brzegu soczewki. Dzięki uprzejmości Menicon Co.

Fig. 3. ACT (Asymmetric Corneal Technology) system, quadrant specific edge tuck. Courtesy of Menicon Co.



Ryc. 4. Toric Periphery (TP), technologia stosowana w celu zmniejszenia ścisłego przylegania, zwykle na godzinach 3.00 i 9.00.

Fig. 4. Toric Periphery (TP) technology used to reduce axial tight lens fit, usually at 3 and 9 o'clock position.

Dcyl, przy czym należy podkreślić, że możemy nimi skorygować dowolną wadę cylindryczną. Soczewki te są szczególnie przydatne, kiedy korygujemy duży astygmatyzm, uzyskujemy wówczas znacznie lepsze efekty optyczne niż wtedy, kiedy używamy soczewek miękkich czy okularowych;

- b) przednotoryczne – mają toryczną **przednią** powierzchnię i najczęściej są stabilizowane przez balast pryzmatyczny, rzadziej zaś przez odcięcie wzdłuż cięciwy obwodowego fragmentu soczewki w celu stabilizacji przez powiekę dolną (truncation). Zalecane są do korekcji resztkowego astygmatyzmu wewnętrznego. Kiedy astygmatyzm rogówkowy jest większy niż 2,25 Dcyl, preferowane są soczewki tylnotoryczne lub bitoryczne;
- c) bitoryczne – są w pewnym sensie połączeniem soczewki tylnotorycznej i przednotorycznej, tylna powierzchnia koryguje wówczas astygmatyzm rogówkowy, a przednia – resztkowy astygmatyzm wewnętrzny;
- d) tylnotoryczne skompensowane – mają tylną powierzchnię toryczną, która służy do korekcji astygmatyzmu rogówkowego, oraz przednią powierzchnię toryczną, która wyrównuje astygmatyzm indukowany (ujawnia się on po korekcji astygmatyzmu rogówkowego). Wartość cylindra na przedniej powierzchni jest wyliczana przez producenta.
3. **Ortokeratologiczne** – są to sztywne wysokogazoprzepuszczalne soczewki o odwróconej geometrii, służą do nieinwazyjnej, odwracalnej korekcji krótkowzroczności lub krótkowzroczności połączonej z astygmatyzmem rogówkowym. Ich działanie polega na modelowaniu kształtu rogówki poprzez spłaszczenie części centralnej i, co z tego wynika, powodowaniu spadku mocy optycznej oraz pogrubieniu części obwodowej. Soczewki te zakładane są na noc w celu zapewnienia pełnej ostrości wzroku bez korekcji w ciągu dnia. Dodatkowym atutem ortokeratologii jest jej istotna rola w kontroli krótkowzroczności, potwierdzona coraz większą liczbą badań klinicznych (10).

Na rynku dostępne są także soczewki hybrydowe – w centralnej części optycznej są wykonane ze sztywnego materiału gazoprzepuszczalnego, część obwodowa zaś jest miękka, służy poprawie komfortu i stabilizacji soczewki.

Kierunki rozwoju

Aby zapewnić coraz większy komfort i bezpieczeństwo noszenia, producenci nieustająco ulepszają materiały do produkcji soczewek. Jednym z najważniejszych parametrów określających soczewkę jest jej gazoprzepuszczalność materiału (Dk), z którego jest wykonana. Dzięki osiągnięciu wysokich wartości Dk możliwe jest bezpieczne użytkowanie sztywnych soczewek w trybie dziennym. W ostatnich latach opracowano materiały o bardzo wysokich wartościach tlenoprzepuszczalności, które pozwoliły na noszenie sztywnych soczewek podczas snu (ortokorekcja), a także w trybie ciągłym do 30 dni – soczewki z materiału Menicon Z, o Dk (ISO) 163×10^{-11} , (Fatt): 189×10^{-11} , zostały dopuszczone przez FDA do noszenia w trybie ciągłym do 30 dni – (11,

12). Dotychczas zwiększenie tlenoprzepuszczalności wiązało się ze spadkiem odporności mechanicznej. W ostatnim czasie przełamano tę zasadę, tworząc materiał zarówno o bardzo wysokim Dk, jak i bardzo dużej odporności na uszkodzenia i zadrapania (test wytrzymałości „drop ball”, polegający na upuszczaniu stalowej kulki na soczewkę testową o grubości 0,2 mm. Wysokość, z której upuszczona kulka spowoduje uszkodzenie soczewki, jest wartością odporności mechanicznej). Wysiłki producentów ukierunkowane są także na poprawę komfortu pacjenta poprzez zwiększanie zwilżalności soczewek.

Udoskonalone materiały umożliwiły rozwój nowej tendencji, czyli powrotu do koncepcji soczewki skleralnej. Zwiększanie średnicy soczewki często poprawia komfort noszenia, centrację i stabilizację soczewki, jednak niska tlenoprzepuszczalność wcześniej stosowanych materiałów wymuszała użycie soczewek rogówkowych. Odpowiednie warunki tlenowe w soczewkach rogówkowych są w dużej mierze zapewniane dzięki dobrej ruchomości i wymianie łez pod soczewką. Wzrost tlenoprzepuszczalności materiałów otworzył drogę do rozwoju soczewek skleralnych i semiskleralnych (różniących się od siebie średnicą), które pokrywają całą rogówkę i opierają się na twardówce. Wskazania do aplikacji soczewek skleralnych i semiskleralnych obejmują patologie rogówki takie jak: stożek rogówki, zwyrodnienie brzeżne przezroczyste, stan po przeszczepie rogówki, pierścienie rogówkowe, ekstazje po zabiegu LASIK, zaawansowany zespół suchego oka, w przypadku których nie można dobrać soczewki rogówkowej (problem z uzyskaniem centracji czy odpowiedniego komfortu). Wskazaniami dodatkowymi są: praca w środowisku zapyłonym, potrzeba uzyskania stabilności podczas uprawiania sportu lub wykonywania pracy, nietolerancja rogówki na soczewki gazoprzepuszczalne oraz poprawa komfortu noszenia jako alternatywa dla systemu „piggy back”.

Kolejną nowością technologiczną są programy komputerowe, które ułatwiają dobieranie sztywnych soczewek kontaktowych (np. program Easyfit). Na podstawie zaimportowanych danych z kompatybilnego topografu rogówki oraz wartości korekcji okularowej program sugeruje wybór odpowiedniej soczewki. Obecnie za pomocą takich programów możliwe jest dobranie soczewek do korekcji wad sferycznych, cylindrycznych, a także soczewek do ortokorekcji nocnej bez konieczności użycia soczewek próbnych.

Podsumowanie

Współcześnie dysponujemy szeroką gamą sztywnych soczewek gazoprzepuszczalnych, korygujących niemal wszyst-

kie wady wzroku i nieregularności rogówki. Dzięki nowym, niezwykle zaawansowanym technologiom uzyskano materiały i opracowano konstrukcje, które zapewniają, nawet w ciężkich anomaliach optycznych, bardzo dobrą jakość widzenia, duże bezpieczeństwo i wysoki komfort użytkowania. Dzięki postępującej automatyzacji proces doboru soczewek staje się coraz łatwiejszy.

Piśmiennictwo:

- Hofstetter H.W., Graham R.: *Leonardo and Contact Lenses*. Am. J. Optom. 1953; 30: 41–45.
- Phillips A., Speedwell L.: *Contact lenses*. Elsevier 2007; p. 2–18
- Stapleton F., Keay L., Edwards K., Naduvilath T., Dart J.K., Brian G. i wsp.: *The incidence of contact lens-related microbial keratitis in Australia*. Ophthalmology 2008; 115: 1655–1662.
- Mandell R.B.: *Contemporary management of keratoconus*. Int. Cont. Lens. Clin. 1997; 24: 43–58.
- Griffiths M., Zahner K., Collins M., Carney L.: *Masking of irregular corneal topography with contact lenses*. CLAO J. 1998; 24: 76–81.
- Kanpolat A., Ciftci Ö.U.: *The use of rigid gas permeable contact lenses in scarred corneas*. Eye Cont. Lens 1995; 21: 64–66.
- Beekhuis W.H., van Rij G., Eggink F.A., Vreugdenhil W., Schoevaart C.E.: *Contact lenses following keratoplasty*. CLAO J. 1991; 17: 27–29.
- Mountford J., Ruston D., Dave T.: *Orthokeratology: principles and practice*. Oxford: Butterworth-Heinemann 2004, p. 34–38.
- Steele C., Davidson J.: *Contact lens fitting post-laser-in situ keratomileusis (LASIK)*. Cont. Lens Anterior Eye 2007; 30: 84–93.
- Cho P., Cheung S.-W.: *Retardation of Myopia in Orthokeratology (ROMIO) Study: A 2-Year Randomized Clinical Trial*. Investigative Ophthalmology & Visual Science 2012 Oct; Vol. 53: No. 11.
- Albright R.A., Venuti B.D., Ichijima H., Nyunt A.K., Cavanagh H.D.: *Postmarket surveillance of Menicon Z rigid gas-permeable contact lenses for up to 30 days continuous wear in the United States*. Eye Contact Lens 2010 Sep; 36(5): 241–244. doi10.1097/ICL.0b013e-3181efa61b.
- Ichijima H., Cavanagh H.D.: *How to rigid Gas-permeable lenses supply more oxygen to the cornea than silicone hydrogels: a new model*. Eye Contact Lens 2007 Sep; 33(5): 216–223.

Adres do korespondencji (Reprint requests to):

lek. Katarzyna Szymanek
SPKSO w Warszawie
ul. Sierakowskiego 13
03-709 Warszawa
e-mail: szymanek.k@gmail.com