

(37)

Aktualny stan wiedzy dotyczący nawigowanej laseroterapii siatkówki (Navilas)

The Current Knowledge on Navigated Retinal Laser Therapy (Navilas)

Ewelina Lachowicz, Wojciech Lubiński

II Katedra i Klinika Okulistyki Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego, Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 2 w Szczecinie
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Wojciech Lubiński

Abstrakt: Cyfrowe systemy wspomagające laseroterapię umożliwiły wprowadzenie do leczenia chorób siatkówki nowej jakości – nawigowanej terapii laserowej. Navilas jest pierwszym i dotychczas jedynym aparatem na świecie wykorzystującym tę technologię i pozwalającym na wystandaryzowane postępowanie. Zastosowana długość fali (577 nm – żółta) zalecana jest obecnie do leczenia chorób siatkówki. Tryb impulsów mikrosekundowych daje dodatkowo możliwość terapii zmian zlokalizowanych poddołkowo i okołodołkowo. Navilas dzięki nowatorskim rozwiązaniom znacząco przewyższa konwencjonalną laseroterapię. System oferuje wysoką precyzję i długotrwały korzystny efekt terapeutyczny przy zwiększonym poziomie bezpieczeństwa. Nawigowana laseroterapia siatkówki znalazła dotychczas zastosowanie m.in. w zakrzepie żyły środkowej siatkówki lub jej gałęzi, w proliferacyjnej retinopatii cukrzycowej, cukrzycowym obrzęku plamki, centralnej chorioretinopatii surowiczej, makrotętniakach, telangiectazjach siatkówkowych, poliploidalnej waskulopatii naczyniówkowej oraz w przypadku zmian obwodowych. Nawigowana terapia ma potencjalne możliwości zastąpienia tradycyjnej laseroterapii w wielu chorobach siatkówki.

Słowa kluczowe: NAVILAS, nawigowany laser, fotokoagulacja laserem żółtym, laseroterapia z zastosowaniem pulsów mikrosekundowych.

Abstract: Digital systems supporting laser therapy enabled the introduction of new quality – navigated laser therapy for the treatment of retinal diseases. Navilas is the first and so far the only camera in the world that uses this technology and allows for standardized management. The used wavelength (577 nm – yellow) is currently recommended for retinal diseases treatment. The microsecond pulse mode additionally gives the possibility of the therapy of subfoveal and peri-foveal lesions. By using the innovative technology Navilas significantly exceeds conventional laser therapy. The system offers high precision and long-lasting satisfactory therapeutic effect with an increased level of safety. Navigated retinal laser therapy was used till now in: the central retinal vein or its branches occlusion, proliferative diabetic retinopathy, diabetic macular edema, central serous chorioretinopathy, macroadenomas, retinal telangiectasias, polyploidal choroidal vasculopathy, and in case of peripheral changes. Navigated therapy has the potential possibility to replace traditional laser therapy in many retinal diseases.

Key words: NAVILAS, navigated laser, yellow laser photocoagulation, microsecond laser therapy.

Autorzy zgłaszają brak konfliktu interesów w związku z publikowaną pracą/ The authors declare no conflict of interest

Wstęp

Navilas (NAVILAS®, OD-OS GmbH) jest pierwszym cyfrowym systemem, który umożliwia nawigowaną laseroterapię siatkówki w oparciu o obraz dna oka.

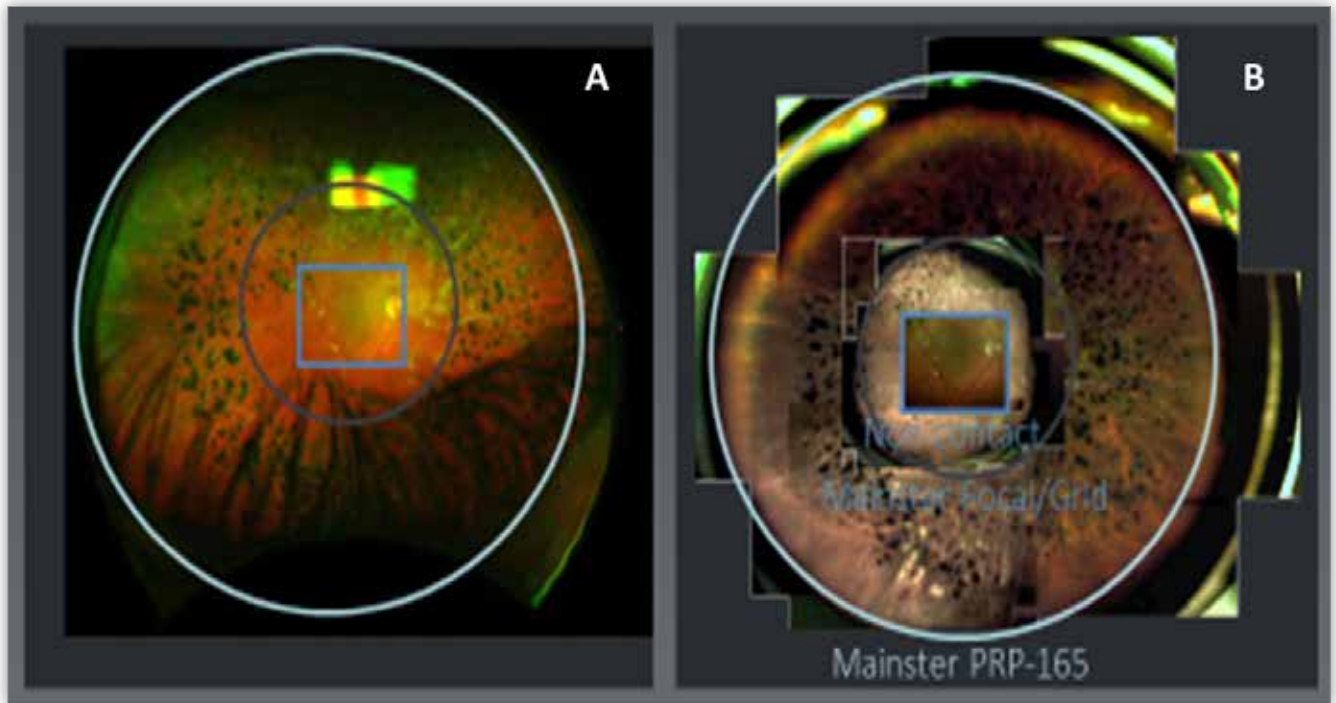
Navilas to unikalne połączenie lasera oraz funduskamery (SLO) zapewniające ciągle obrazowanie w czasie rzeczywistym. To nowoczesne urządzenie służy do obrazowania zmian chorobowych siatkówki, planowania terapii laserowej w oparciu o uzyskane wyniki badań dodatkowych oraz automatycznej aplikacji lasera w precyzyjnie wybranym obszarze (1, 2).

Zastosowana długość fali (577 nm – żółta) wykazuje najmniejszą absorpcją światła w ksantofilu (w który bogata jest plamka żółta), co pozwala uzyskiwać efekt terapeutyczny przy zwiększonym poziomie bezpieczeństwa. Ponadto tę długość fali cechuje najwyższa absorpcja w oksyhemoglobinie a także jest ona pochłaniana przez melanine, w wyniku czego jest mniej rozproszona w porównaniu do konwencjonalnego lasera 532 nm (zielony), a zatem może dostarczać bardziej skoncentrowaną energię do mniejszej objętości tkanki przy niższym ustawieniu mocy i krótszym cyklu pracy (3). Dodatkowo najlepiej penetruje

przez słabo przeziernie ośrodki optyczne, jak zmętniała soczewka czy krwotok do ciała szklistego. Żółta długość fali jest obecnie zalecana do leczenia chorób siatkówki.

System Navilas jest tak skonstruowany, że większość funkcji aktywowana jest intuicyjnie, co zapewnia komfort pracy operatora. Navilas nie jest montowany w oparciu o lampę szczelinową, co zasadniczo wyróżnia go spośród innych urządzeń laserowych. System wyposażony jest w monitor aktywowany dotykowo, wyświetlający obraz w czasie rzeczywistym, zdjęcia dna oka, plany leczenia i parametry pracy lasera. Zoptymalizowana optyka umożliwia uzyskanie szerokokątnego obrazu o wysokiej rozdzielczości. W przeciwieństwie do obserwacji w lampie szczelinowej, w której siatkówka widoczna jest fragmentarycznie, możliwe jest uzyskanie w tym samym czasie cyfrowego pola obrazowania aż do dalekiego obwodu (110°–165°) (ryc. 1.). Rejestracja obrazu dna oka w technologii „true-color” dokonywana jest poprzez wykonanie kolorowego zdjęcia fotograficznego.

Oprogramowanie umożliwia import obrazów dodatkowych badań niezbędnych w podjęciu decyzji o zakresie leczenia, takie

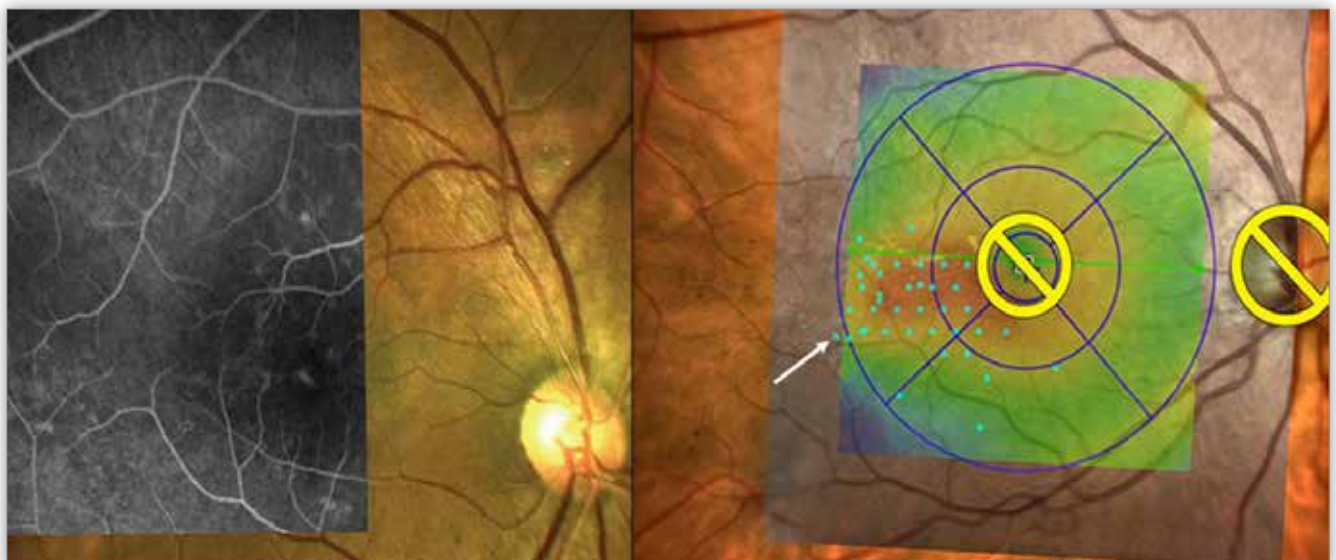


Ryc. 1. Szerokokątny obraz w Optos (A) w porównaniu do Navilas (B).
Fig. 1. Wide-angle view area in Optos (A) vs Navilas.

jak: angiografia fluoresceinowa (ang. Fluorescein Angiography – FA), angiografia indocyjaninowa (ang. Indocyanine Green Angiography – ICGA), autofluorescencja dna oka (ang. Fundusautofluorescence – FAF), optyczna koherentna tomografia (ang. Optical Coherent Tomography – OCT), co pomaga w zaplanowaniu obszaru zakwalifikowanego do laseroterapii (2, 4). System automatycznie rozpoznaje punkty referencyjne – naczynia krwionośne siatkówki oraz dopasowuje różne warstwy z wynikami obrazów diagnostycznych do zdjęcia dna oka (ryc. 2.). Wstępne planowanie jest dodatkową zaletą w stosunku do konwencjonalnej techniki laserowej. Planowanie laseroterapii

odbywa się przez określenie obszaru oraz parametrów terapii przy jednoczesnym zaznaczeniu miejsc chronionych (safe zone). System nakłada zaprojektowany plan na podgląd dna oka realizowany na żywo.

W porównaniu z konwencjonalnym leczeniem laserowym zabieg można wykonać w świetle podczerwonym (ang. Infrared – IR) dzięki czemu eliminowany jest efekt olśnienia, co prowadzi do większej cierpliwości i współpracy pacjenta podczas terapii. Zdjęcia w świetle białym (kolorowe) można wykonać w dowolnym momencie terapii w celu oceny jej efektów. Znaczącą przewagą systemu jest automatyczna nawigowana



Ryc. 2. Planowanie z nałożeniem na zdjęcie kolorowe dna oka wyniku badania FA i/lub OCT z zaznaczeniem miejsc chronionych (żółte koła) oraz obszaru zabiegu (niebieskie punkty).

Fig. 2. Planning with the overlapping of the FA and/or OCT examination results to the colored fundus image with the marking of safe zones (yellow circles) and the treatment area (blue points).

laseroterapia ze wspomaganiami celowania, która gwarantuje szybsze i skuteczniejsze leczenie niż w przypadku konwencjonalnych zabiegów laserowych. Kontrola pozycji ognisk lasera jest realizowana przez system śledzenia ruchów (eye tracker) oparty o stałe punkty referencyjne. Zastosowany system skanowania cyfrowego umożliwia dokładne umiejscowienie ognisk laserowych. Stała kontrola fiksacji powoduje, że zabieg w tylnym biegunie można wykonać bez używania tradycyjnych, nagałkowych soczewek kontaktowych, co zapewnia pacjentowi większy komfort. Dzięki nowoczesnym rozwiązaniom system pozwala zachować precyzję i bezpieczeństwo oraz gwarantuje korzystne wyniki kliniczne. Terapię można przeprowadzić w klasycznym ustawieniu za pomocą ciągłej wiązki laserowej (ang. Continuous Wave – CW) lub w trybie podprogowym z użyciem impulsów mikrosekundowych. Laser działa w dwóch ustawieniach: Focal (pojedyncze ognisko) oraz Panretinal, w którym możliwe jest wykorzystanie wzorów laserowania, a dodatkowym udogodnieniem jest cyfrowa asysta zabiegu, co pozwala na automatyczne wyznaczenie kolejnego miejsca do terapii. Tryb mikropulsowy różni się od tradycyjnego lasera tym, że nie powoduje uszkodzenia termicznego tkanek oraz bliznowacenia (ryc. 3.). Mechanizm działania tego trybu polega na indukowaniu efektu metabolicznego poprzez produkcję mediatorów o działaniu antyangiogennym i przeciwobrzękowym. Te właściwości umożliwiają zastosowanie lasera mikrosekundowego do leczenia zmian zlokalizowanych poddołkowo i okołodołkowo (4). System wyposażony jest w możliwość miareczkowania (titration), co umożliwia dobór odpowiednich parametrów zabiegu.

Cyfrowa dokumentacja zabiegu odbywa się automatycznie. Dzięki temu możemy porównywać stan przed i po zabiegu oraz możliwy jest bardzo dokładny graficzny zapis przebiegu wykonanej terapii i jej ewentualna kontynuacja na następnej sesji lub powtórzenie według wcześniej przygotowanego planu. Ma to szczególne znaczenie w opisie terapii z zastosowaniem energii podprogowej, która nie powoduje widocznych zmian na siatkówce.

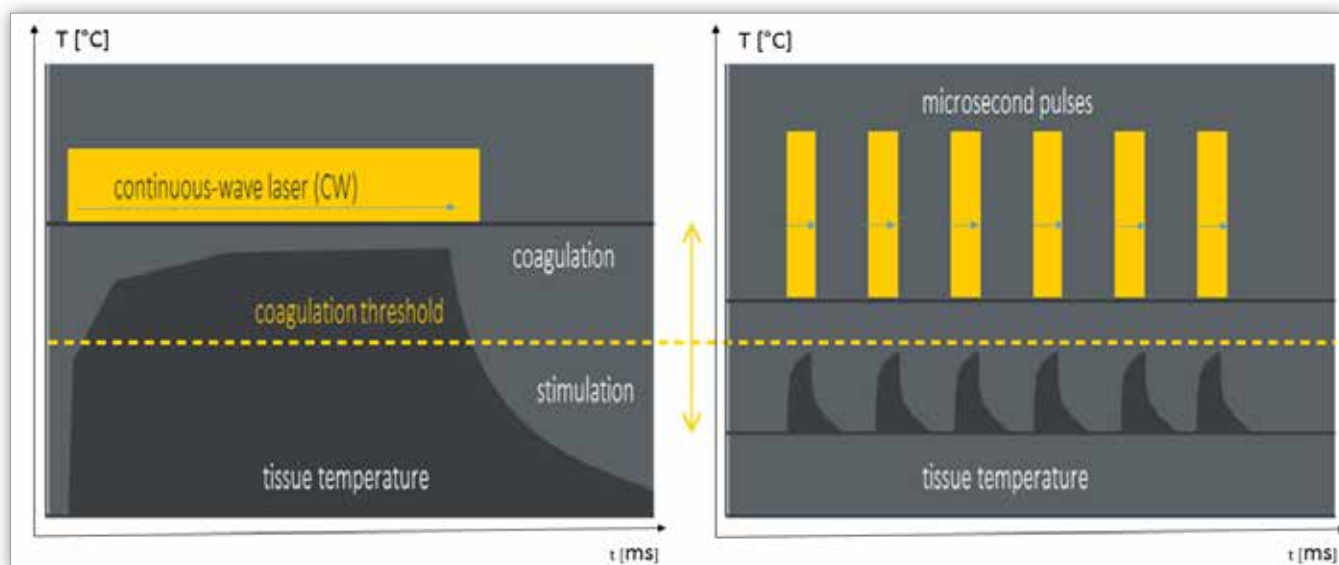
Zastosowanie kliniczne

Nawigowana terapia laserowa wykorzystuje cyfrowe systemy wspomaganie laserowej fotokoagulacji siatkówki. Dotychczas potwierdzono skuteczność systemu Navilas w leczeniu cukrzycowego obrzęku plamki (ang. Diabetes Macular Oedema – DMO), retinopatii cukrzycowej proliferacyjnej (ang. Proliferative Diabetic Retinopathy – PDR), centralnej chorioretinopatii serowiczej (ang. Central Serous Chorioretinopathy – CSCR), zakrzepu żyły centralnej siatkówki (ang. Retinal Vein Occlusion – RVO) lub jej gałęzi (1) oraz teleangiektazjach siatkówki (ang. Retinal Telangiectasia), makrotętniakach, a także polipoidalnej waskulopatii naczyniówkowej (ang. Polypoidal Choroidal Vasculopathy – PCV) i neowaskularyzacji naczyniówkowej (ang. Choroidal Neovascularization – CNV) (5).

1. Retinopatia cukrzycowa proliferacyjna – PDR

Retinopatia cukrzycowa proliferacyjna jest główną przyczyną pogorszenia widzenia i ślepoty u ludzi z cukrzycą w krajach rozwiniętych. Obecny standard opieki jest wykonanie panfotokoagulacji (ang. Panretinal Photocoagulation – PRP), szczególnie u pacjentów z cechami wysokiego ryzyka zgodnie z definicją z badania nad retinopatią cukrzycową (ang. Diabetic Retinopathy Study – DRS). Wyniki DRS i badania nad wczesnym leczeniem cukrzycy (ang. The Early Treatment Diabetic Retinopathy Study – ETDRS) wykazały, że PRP zmniejszyło ryzyko utraty wzroku o więcej niż 50% w porównaniu z grupą porównawczą w okresie 5 lat (6). PRP może być szczególnie czasochłonna, pracochłonna i męcząca. Najczęściej wykonywana jest w kilku sesjach.

System Navilas umożliwia wykonanie fotokoagulacji laserowej ad hoc z zastosowaniem pojedynczego ogniska lub z użyciem wzoru, dzięki czemu możliwa jest aplikacja wielu ognisk laserowych w bardzo szybkim tempie, pokrywających znacznie większy obszar siatkówki (6, 7). Zabieg można również wykonać na podstawie przygotowanego planu, który można sporządzić w oparciu o zdjęcie dna oka lub wyniki badań dodatkowych. Nawigowana laseroterapia zapewnia bardziej jednolite, regu-



Ryc. 3. Porównanie fotokoagulacji ciągłą wiązką laserową z terapią pulsami mikrosekundowymi.

Fig. 3. Comparison of the continuous-wave laser photocoagulation with the microsecond pulse therapy.

larnie rozmieszczone ogniska przy mniejszych dolegliwościach bólowych podczas krótszego czasu leczenia w porównaniu z laserem konwencjonalnym, a przez to zapewnia większy komfort dla pacjenta (6–9). Całkowity czas poświęcony na zabieg włączonej do planowania wynosi 7 min 47 s (\pm 3 min i 32 s) (10). Ból związany z zabiegiem jest znacznie mniejszy niż w przypadku konwencjonalnego leczenia laserem (1,6 vs 4,4 w wizualnej skali analogowej, $P < 0,001$) (11). Ewentualna kontynuacja leczenia w kilku sesjach jest prowadzona przez system i nie wymaga zaangażowania pamięci specjalisty, co przekłada się na bardziej wystandaryzowane i kompletne leczenie laserowe. Po terapii z zastosowaniem Navilas wykazano stabilizację ostrości wzroku, regresję neowaskularyzacji, zmniejszenie częstości laseroterapii uzupełniającej oraz kwalifikacji do leczenia chirurgicznego (12).

2. Cukrzycowy obrzęk plamki – DME

Cukrzycowy obrzęk plamki (ang. Diabetic Macular Edema – DME) jest najczęstszą przyczyną upośledzenia widzenia u pacjentów z cukrzycą poniżej 65 roku życia. Szacuje się, że u 29% chorych po upływie co najmniej 20 lat od rozpoznania rozwinię się DME. Cukrzycowy obrzęk plamki występuje z powodu nieprawidłowego funkcjonowania bariery krew-siatkówka i śmierci komórek śródbłonka. Przeciek z mikrotętniaków i kapilar może powodować gromadzenie się płynu w dołku, co powoduje powstanie torbielowatego obrzęku plamki.

W ciągu ostatnich trzech dekad standardowym leczeniem DME była fotokoagulacja laserowa plamki, która zmniejsza o połowę ryzyko średniej utraty widzenia u pacjentów z klinicznie znaczącym obrzękiem plamki w ciągu 3 lat. Kwalifikacja i leczenie oparte jest na wyniku badania AF. Laseroterapia prowadzi do zamknięcia nieszczelnych zmian naczyniowych (ang. Microaneurysm – MA), patologicznych naczyń lub podsiatkówkowych miejsc przeciekania (13). Jest to jednak subiektywna metoda obejmująca ocenę wizualną i porównanie angiogramu z dnem oka podczas terapii bazując na pamięci lekarza. Może to prowadzić do pominięcia obszarów podczas leczenia lub niepotrzebnej koagulacji. Ponadto użycie nieodpowiednich parametrów, brak współpracy z pacjentem i ruchy oka mogą powodować oparzenia w plamce i powstanie mroczków w polu widzenia, krwotoki siatkówkowe spowodowane pęknięciem mikronaczynia, rozwój neowaskularyzacji naczyniówkowej lub włóknienie podsiatkówkowe (14, 15).

Wraz z wprowadzeniem różnych terapii farmakologicznych, takich jak steroidy i preparaty anti-VEGF, opcje leczenia DME zostały rozszerzone. Chociaż w przypadku iniekcji doszkliskowych obserwuje się poprawę lub stabilizację najlepszej skorygowanej ostrości wzroku, terapia laserowa odgrywa nadal istotną rolę zarówno w schemacie pierwotnym oraz jako leczenie uzupełniające. Obecnie zalecenia dotyczące terapii DME opierają się na ocenie centralnej siatkówki. Ogniskowa fotokoagulacja laserowa pozostaje standardem głównie w leczeniu DME bez zajęcia dołka, natomiast terapia podprogowa znalazła zastosowanie w leczeniu DME z zajęciem dołka jako postępowanie uzupełniające. Laseroterapia jest dobrą opcją leczenia z uwagi na to, że jest to metoda mało kosztowna i nieobciążająca, a zapewniająca skuteczne i długotrwałe leczenie DME (13, 16, 17).

Rozwój nowych technologii przekształcił fotokoagulację laserową w mniej bolesny, szybszy i bardziej skuteczny sposób leczenia chorób siatkówki. Obecne trendy, które ograniczają destrukcyjny efekt interwencji laserowej to subtelne i ukierunkowane leczenie tylko miejsc patologicznych przy użyciu urządzenia z nawigowaną wiązką laserową oraz ograniczenie uszkodzenia termicznego tkanki za pomocą trybu mikropulsowego.

Dużą korzyścią nawigacji jest możliwość leczenia w pobliżu wrażliwych struktur (naczynia na granicy strefy beznaczyńowej) oraz ukierunkowane leczenie jednego miejsca małym ogniskiem (np. ciekący mikroaneuryzmat) (18–20) (ryc. 4.). Celność trafień po leczeniu z zastosowaniem systemu NAVILAS wynosi 90%, a lokalizacja ognisk laserowych wykazuje dużą zgodność z obszarami wstępnego planowania w porównaniu do 72% przy laseroterapii konwencjonalnej. Nawigowana terapia wydaje się zatem metodą bardziej kontrolowaną w porównaniu do konwencjonalnego leczenia laserowego (21).

Zastosowanie nawigowanej laseroterapii ogniskowej zmniejsza częstość ponownego leczenia i szybszą poprawę ostrości wzroku w porównaniu z konwencjonalnym laserem w ciągu pierwszych 6–8 miesięcy po leczeniu, co sugeruje bardziej trwały efekt terapii (16, 17).

W leczeniu DME ogniskowa terapia laserowa stosowana jest obecnie w większości przypadków wtórnie do iniekcji doszkliskowych z uwagi na możliwe powikłania i skutki uboczne oraz znaczne ograniczenia z powodu trudności w dostarczaniu precyzyjnych ilości energii do obszarów leczenia przy obecności znacznego wzrostu grubości siatkówki (21–25).



Ryc. 4. DME – nawigowana fotokoagulacja ogniskowa z nałożonym na zdjęcie kolorowe obrazem FA i planem zabiegu.

Fig. 4. DME – Navilas focal photocoagulation – superimposed FA image and treatment parameters.

3. Centralna chorioretinopatia surowicza – CSCR

Centralna surowicza chorioretinopatia (ang. Central Serous Chorioretinopathy – CSCR), stanowi zaburzenie naczyńkowo-siatkówkowe, które charakteryzuje się surowiczym odwarstwieniem siatkówki neurosensorycznej w plamce żółtej i często jest związane z surowiczym odwarstwieniem nabłonka barwnikowego. W wielu przypadkach dochodzi do samoistnego ustąpienia zmian. Jednak przewlekłość i tendencja do nawracania choroby, a także oporność na leczenie, powodują atrofię fotoreceptorów i RPE, a w konsekwencji trwałe pogorszenie czułości siatkówki i ostrości wzroku.

U pacjentów z przewlekłą postacią CSCR zlokalizowaną podzadokowo stosuje się zwykle laseroterapię ogniskową celowaną na punkt przecieku. Konwencjonalnie procedura laserowa jest wykonywana przez zapamiętywanie lokalizacji ogniska przecieku na obrazach angiografii. Navilas, ze względu na funkcję śledzenia oka i wykorzystanie cyfrowego planowania zabiegu na podstawie wyniku FA/OCT na tym samym urządzeniu, może wykonywać precyzyjnie ukierunkowane aplikacje przy minimalnym jatrogenym uszkodzeniu co przekłada się na skuteczność terapii, a zatem stanowi dobrą alternatywę dla konwencjonalnej, ręcznie kierowanej fotokoagulacji laserowej. Nowe technologie umożliwiły poprawę dokładności i powtarzalność leczenia (3). Wchłonięcie się płynu podsiatkówkowego następuje w ciągu kilku tygodni do 6 miesięcy u 75% pacjentów po średnio 1,3 (1–3) sesjach terapeutycznych w okresie 3 miesięcy (26, 27).

Jednak konwencjonalny laser nie może być stosowany w przeciekach zlokalizowanych poddołkowo i przydołkowo, ponieważ może wiązać się z powstaniem blizny i CNV oraz mroczków centralnego lub paracentralnego, a także przypadkowego oparzenia plamki i neowaskularyzacji naczyniówkowej. W takich przypadkach terapia fotodynamiczna jest możliwą opcją, ale niesie ze sobą ryzyko atrofii RPE, neowaskularyzacji naczyniówkowej i niedokrwienia choriokapilarnego (3, 26). W leczeniu przewlekłej postaci CSCR Navilas ma również przewagę nad terapią fotodynamiczną (ang. Photodynamic Therapy – PDT). Wykazano poprawę funkcji i struktury plamki po 6 miesiącach

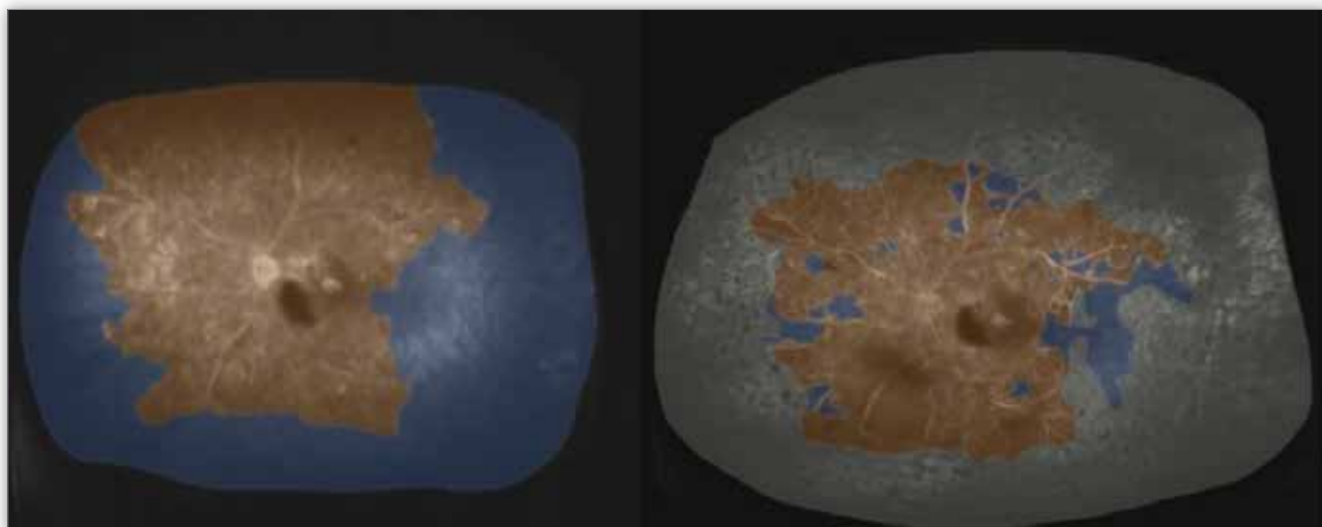
obserwacji z ustąpieniem płynu podsiatkówkowego w 59% vs 21,7% po leczeniu odpowiednio nawigowaną laseroterapią i PDT (28). Dzięki trybowi impulsów mikrosekundowych system może być stosowany w leczeniu CSCR z przeciekami zlokalizowanymi w centralnej części obszaru plamkowego.

Nawigowana laserowa fotokoagulacja siatkówki znalazła również zastosowanie w leczeniu ostrej postaci CSCR. Ocena ostrości wzroku i czułości siatkówki wykazała znaczną poprawę związaną z ustąpieniem płynu podsiatkówkowego podczas okresu obserwacji (29).

4. Zakrzep żyły siatkówki – RVO

Zakrzep żyły siatkówki (ang. Retinal Vein Occlusion – RVO) jest drugim najczęściej występującym typem zaburzeń naczyńowych siatkówki. Obrzęk plamki jest częstą przyczyną utraty wzroku w przebiegu RVO i może mieć zmienny przebieg kliniczny (30). Obecne opcje leczenia obrzęku plamki wtórnego do zakrzepu obejmują fotokoagulację laserową oraz doszklistkowe iniekcje kortykosteroidów lub anty-VEGF. Fotokoagulacja typu „grid” zalecana jest u osób z niską ostrością wzroku spowodowaną obrzękiem plamki. Fotokoagulacja ogniskowa zalecana jest w przypadku ograniczonego obrzęku plamki ze zidentyfikowanymi miejscami przecieku w badaniu angiografii fluoresceinowej. Zabieg w obszarze plamkowym przy lokalizacji niewielkiego obrzęku poddołkowo lub okołodołkowo może być również przeprowadzony z zastosowaniem trybu mikropulsowego. W przypadku neowaskularyzacji siatkówki lub na tarczy nerwu wzrokowego wskazane jest zastosowanie fotokoagulacji.

Niewątpliwą przewagą nawigowanej terapii laserowej jest możliwość wykonania laseroterapii celowanej na podstawie badania angiografii fluoresceinowej dokładnie na strefy bezperfuzyjne (31). Uważa się, że niedokrwienie obwodowe siatkówki i poziom VEGF mogą odpowiadać za nawracający obrzęk plamki w RVO i są również czynnikiem ryzyka rozwoju neowaskularyzacji tęczówki i jaskry neowaskularnej (32). Stosowanie terapii anty-VEGF zmniejszyło średni wskaźnik niedokrwienności z 14,8% do 10,3% oraz ryzyko powikłań neowaskularnych (33). Jednak brak



Ryc. 5. Szerokokątna FA: (A) przed leczeniem – obszary bezperfuzyjne (kolor niebieski), (B) efekt po celowanej nawigowanej fotokoagulacji siatkówki – obszary poddane leczeniu (kolor szary).

Fig. 5. Wide-field FA: (A) before treatment – areas of nonperfusion (blue), (B) after completion of targeted retinal photocoagulation – areas that have been lasered (grey).

perfuzji może być czynnikiem przyczyniającym się do częstszego podawania iniekcji anti-VEGF w leczeniu obrzęku plamki. Analiza angiogramów fluoresceinowych wykonanych za pomocą konwencjonalnej funduskamery wykazała, że pomimo braku obserwowalnych obszarów beznaczyniowych w polu widzenia, niektórzy pacjenci wymagają częściej i ciągłej terapii anti-VEGF, co sugeruje, że mogą istnieć obszary niedokrwienne, które pozostają niewykryte przez konwencjonalne obrazowanie. Te obszary braku perfuzji można wykazać za pomocą angiografii szerokokątnej (34).

Zastosowanie szerokokątnego obrazowania z celowaną fotokoagulacją obwodowych stref bezperfuzyjnych (ang. Targeted Photocoagulation of Peripheral Ischemia – TRP) za pomocą systemu Navilas wykonanych dzięki precyzyjnemu zaplanowaniu zabiegu umożliwia zachowanie większości widzenia peryferyjnego (ryc. 5.). TRP zmniejsza wytwarzanie VEGF w siatkówce poprzez zmniejszenie zapotrzebowania tkanki na tlen, zmniejszając tym samym mechanizm niedokrwienny i cykl nawracającego obrzęku może zostać przerwany (35).

5. Obrazowanie i terapia na dalekim obwodzie

Dzięki szerokokątnemu obrazowaniu system Navilas może służyć do prowadzenia cyfrowej dokumentacji fotograficznej oraz leczenia chorób na obwodzie dna oka, tj. zmiany zwyrodnieniowe, otwory i przedarcia siatkówki, rozwarstwienia i lokalne odwarstwienia siatkówki (ryc. 6.).

Nawigowana laseroterapia pozwala skrócić czas leczenia i zmniejszyć dolegliwości bólowe wykazując skuteczność porównywalną do konwencjonalnej terapii laserowej (36).

Czynniki wpływające na efekt laseroterapii

Precyzja i czas trwania leczenia przy użyciu systemu Navilas nie wydają się być skorelowane z indywidualnym doświadcze-

niem lekarza wykonującego zabieg. Dokładność laseroterapii na przykładzie chorych z cukrzycą i DME jest dość podobna, odpowiednio 88% i 84% dla doświadczonych i niedoświadczonych operatorów. Procedura leczenia trwa średnio 5,5 minuty jeśli zabieg wykonuje doświadczony lekarz i 5,34 minuty gdy terapię przeprowadza osoba bez doświadczenia (37).

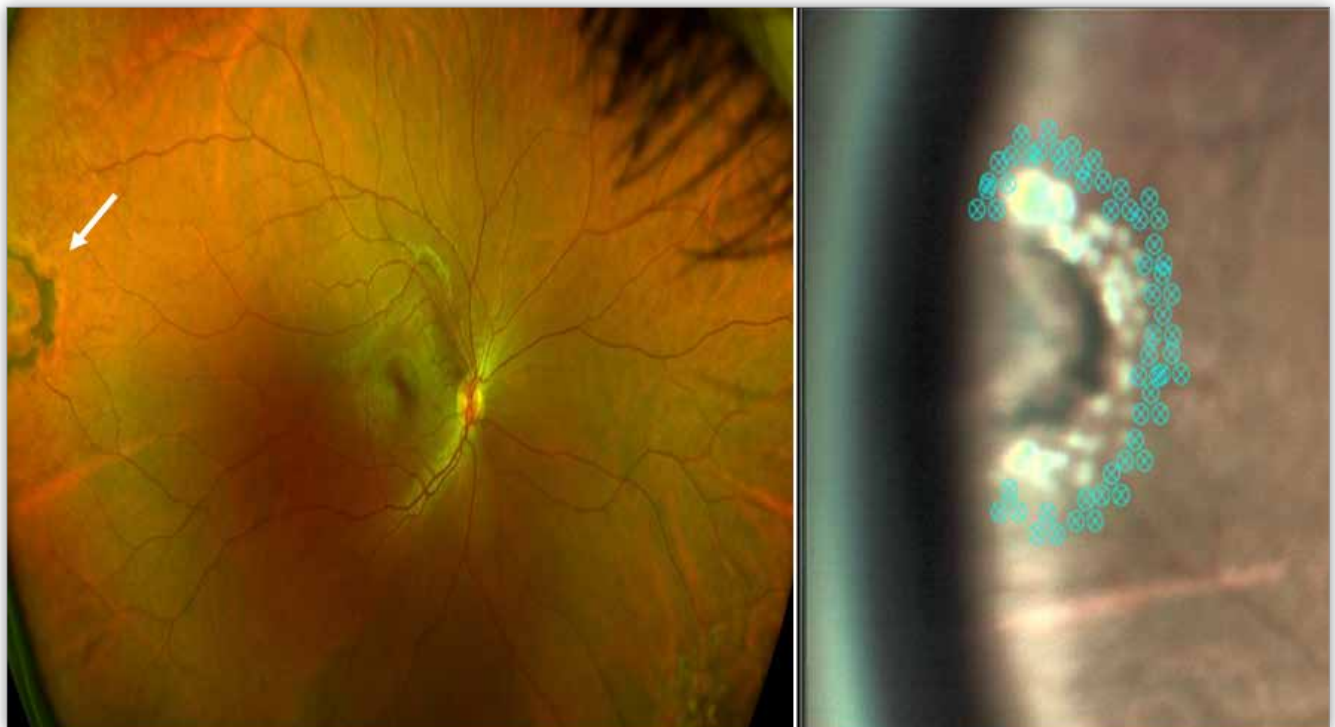
Ustawienie ostrości przy wizualizacji ma duży wpływ na moc lasera potrzebną do wytworzenia łagodnego oparzenia. Związek ostrości z mocą lasera można wytłumaczyć zależną od ogniskowej zmianą wielkości ogniska na siatkówce. Z kolei stan soczewki wydaje się wpływać na transmisję światła laserowego. W oczach fakijnych potrzebna jest większa moc lasera do powstania łagodnego poparzenia przy terapii ogniskowej niż w oczach ze sztuczną soczewką (78,3 vs 67,2 mW, $p = 0,051$) (38).

Podsumowanie

Zalety laseroterapii w leczeniu chorób siatkówki to niski koszt, rzadsze wykonywanie zabiegu, mniej powikłań oraz fakt, że są to zabiegi powszechnie dostępne i wykonywane ambulatoryjnie.

System Navilas stanowi unikalne, w pełni cyfrowe rozwiązanie wyznaczając nowy trend w laseroterapii. Nawigowana terapia laserowa w stosunku do konwencjonalnego lasera umożliwia kompleksową opiekę, lepszą precyzję i bezpieczeństwo, efektywność leczenia, możliwość standaryzacji planowania, wykonania, dokumentacji, szybkie działanie i najwyższy komfort dla pacjenta.

Nadal trwają badania dotyczące użycia nawigowanej laseroterapii w leczeniu chorób siatkówki i naczyńówki (AMD) (39), rozszerzenia zastosowania klinicznego systemu (trabekuloplastyka laserowa, irydotomia laserowa), a także poprawy tech-



Ryc. 6. Szerokokątny obraz dna oka z przedarciem podkowiastym oraz nawigowana planowana fotokoagulacja laserowa.

Fig. 6. Wide-field image with horse shoe retinal tear and Navilas photocoagulation.

nologii urządzenia (import wyników badania retro-mode (RM), scanning laser ophthalmoscopy (SLO) (40) oraz wprowadzenie telemedycyny w planowaniu i leczeniu zmian w plamce (41).

Piśmiennictwo

- Kernt M, Ulbig M, Kampik A, Neubauer AS: *Navigated retinal laser therapy*. Ophthalmologie. 2013; 110(8): 776–782.
- Kernt M, Cheuteu R, Vounotrypidis E, Haritoglou C, Kampik A, Ulbig MW, Neubauer AS: *Focal and panretinal photocoagulation with a navigated laser (NAVILAS®)*. Acta Ophthalmol. 2011; 89(8): 662–664.
- Ambiya V, Goud A, Mathai A, Rani PK, Chhablani J: *Microsecond yellow laser for subfoveal leaks in central serous chorioretinopathy*. Clin Ophthalmol. 2016; 10: 1513–1519.
- Su D, Hubschman JP: *A Review of Subthreshold Micropulse Laser and Recent Advances in Retinal Laser Technology*. Ophthalmol Ther. 2017;6(1): 1–6.
- Kernt M: *Initial Experiences With Yellow Navigated Laser and Microsecond Pulses in Patients With DME*. Retinal Physician. 2015; 12: 51–53.
- Lin KY: Lu SY. *Panretinal Navigated Laser Photocoagulation for PDR*. Retina Today. 2014; 1–2: 65–70.
- Chhablani J, Mathai A, Rani P, Gupta V, Arevalo JF, Kozak I: *Comparison of conventional pattern and novel navigated panretinal photocoagulation in proliferative diabetic retinopathy*. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014; 55(6): 3432–3438.
- Inan UU, Polat O, Inan S, Yigit S, Baysal Z: *Comparison of pain scores between patients undergoing panretinal photocoagulation using navigated or pattern scan laser systems*. Arq Bras Oftalmol. 2016; 79(1): 15–18.
- Kim MS, Lee SW, Kim JS: *Comparison of the Time Required for Panretinal Photocoagulation and Associated Pain between Navilas and Conventional Laser Therapy in Diabetic Retinopathy*. J Korean Ophthalmol Soc. 2014; 55(8): 1150–1154.
- Ober MD, Kernt M, Cortes MA, Kozak I: *Time required for navigated macular laser photocoagulation treatment with the Navilas*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2013; 251(4): 1049–1053.
- Kernt M, Cheuteu RE, Cserhati S, Seidensticker F, Liegl RG, Lang J, et al.: *Pain and accuracy of focal laser treatment for diabetic macular edema using a retinal navigated laser (Navilas)*. Clin Ophthalmol. 2012; 6: 289–296.
- Chhablani J, Sambhana S, Mathai A, Gupta V, Arevalo JF, Kozak I: *Clinical Efficacy of Navigated Panretinal Photocoagulation in Proliferative Diabetic Retinopathy*. Am J Ophthalmol. 2015; 159(5): 884–889.
- Kato F, Nozaki M, Kato A, Hasegawa N, Morita H, Yoshida M, et al.: *Evaluation of Navigated Laser Photocoagulation (Navilas 577+) for the Treatment of Refractory Diabetic Macular Edema*. J Ophthalmol. 2018; 2018: 3978514.
- Kozak I, El-Emam SY, Cheng L, Bartsch DU, Chhablani J, Freeman WR, et al.: *Fluorescein Angiography versus Optical Coherence Tomography-Guided Planning for Macular Laser Photocoagulation in Diabetic Macular Edema*. Retina. 2014; 34(8): 1600–1605.
- Chalam KV, Murthy RK, Brar V, Radhakrishnan R, Khetpal V, Grover S: *Evaluation of a Novel, Non Contact, Automated Focal Laser with Integrated (NAVILAS) Fluorescein Angiography for Diabetic Macular Edema*. Middle East Afr J Ophthalmol. 2012; 19(1): 158–162.
- Kernt M, Ulbig M, Kampik A, Neubauer AS: *Navigated Laser Therapy for Diabetic Macular Oedema*. European Ophthalmic. 2013; 7(2): 127–130.
- Neubauer AS, Langer J, Liegl R, Haritoglou C, Wolf A, Kozak I, et al.: *Navigated macular laser decreases retreatment rate for diabetic macular edema: a comparison with conventional macular laser*. Clin Ophthalmol. 2013; 7: 121–128.
- Kozak I, Oster SF, Cortes MA, Dowell D, Hartmann K, Kim JS, et al.: *Clinical evaluation and treatment accuracy in diabetic macular edema using navigated laser photocoagulator NAVILAS*. Ophthalmology. 2011; 118(6): 1119–1124.
- Kernt M, Cheuteu R, Liegl RG, Seidensticker F, Cserhati S, Hirneiss C, et al.: *Navigated focal retinal laser therapy using the NAVILAS® system for diabetic macula edema*. Ophthalmologie. 2012; 109(7): 692–698.
- Hejsek L, Stepanov A, Dusová J, Studnička J, Marák J, Beránek J, et al.: *Navigated Laser Photocoagulation of Chronic Diabetic Macular Edema*. J Clin Exp Ophthalmol. 2015; 6: 414.
- Boiko EV, Maltsev DS: *Combination of Navigated Macular Laser Photocoagulation and Anti-VEGF Therapy: Precise Treatment for Macular Edema under Dry Retinal Conditions*. J Ophthalmol. 2017; 2017: 1–9.
- Barteselli G, Kozak I, El-Emam S, Chhablani J, Cortes MA, Freeman WR: *12-Month Results of the Standardised Combination Therapy for Diabetic Macular Oedema: Intravitreal Bevacizumab and Navigated Retinal Photocoagulation*. BJO. 2014; 98(8): 1036–1041.
- Liegl R, Langer J, Seidensticker F, Reznicek L, Haritoglou Ch, Ulbig MW, et al.: *Comparative Evaluation of Combined Navigated Laser Photocoagulation and Intravitreal Ranibizumab in the Treatment of Diabetic Macular Edema*. PLoS One. 2014; 9(12): e113981.
- Payne JF, Wykoff CC, Clark WL, Bruce BB, Boyer DS, Brown DM; TREX-DME Study Group. *Randomized Trial of Treat and Extend Ranibizumab with and without Navigated Laser for Diabetic Macular Edema*. Ophthalmology. 2017; 124(1): 74–81.
- Jung JJ, Gallego-Pinazo R, Lleó-Pérez A, Huz JI, Barbazeto IA: *NAVILAS Laser System Focal Laser Treatment for Diabetic Macular Edema – One Year Results of a Case Series*. Open Ophthalmol J. 2013; 7: 48–53.
- Müller B, Tatsios J, Klöner J, Pilger D, Joussem AM: *Navigated laser photocoagulation in patients with non-resolving and chronic central serous chorioretinopathy*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2018 Jun; doi: 10.1007/s00417-018-4031-8. [Epub ahead of print].
- Chhablani J, Rani PK, Mathai A, Jalali S, Kozak I: *Navigated focal laser photocoagulation for central serous chorioretinopathy*. Clin Ophthalmol. 2014; 8: 1543–1547.
- Ntomoka C, Rajesh B, Muriithi GM, Goud A, Chhablani J: *Comparison of Photodynamic Therapy and Navigated Microsecond Laser for Chronic Central Serous Chorioretinopathy*. Eye. 2018; 32(6): 1079–1086.
- Mastropasqua L, Di Antonio L, Toto L, Mastropasqua A, Di Iorio A, Carpineto P: *Central Serous Chorioretinopathy Treated With Navigated Retinal Laser Photocoagulation: Visual Acuity and Retinal Sensitivity*. Ophthalmic Surgery, Lasers and Imaging Retina. 2015; 46(3): 349–354.

30. Rehak J, Rehak M: *Branch retinal vein occlusion: pathogenesis, visual prognosis, and treatment modalities*. *Curr Eye Res*. 2008; 33(2): 111–131.
31. Matsumoto Y, Freund KB, Peiretti E, Cooney MJ, Ferrara DC, Yannuzzi LA: *Rebound macular edema following bevacizumab (Avastin) therapy for retinal venous occlusive disease*. *Retina*. 2007; 27(4): 426–431.
32. Boyd SR, Zachary I, Chakravarthy U, et al.: *Correlation of increased vascular endothelial growth factor with neovascularization and permeability in ischemic central vein occlusion*. *Arch Ophthalmol*. 2002; 120(12): 1644–1650.
33. Risard SM, Pieramici DJ, Rabena MD, et al.: *Intravitreal ranibizumab for macular edema secondary to central retinal vein occlusion*. *Retina*. 2011; 31(6): 1060–1067.
34. Prasad PS, Oliver SC, Coffee RE, Hubschman JP, Schwartz SD: *Ultra wide-field angiographic characteristics of branch retinal and hemicentral retinal vein occlusion*. *Ophthalmology*. 2010; 117(4): 780–784.
35. Singer MA, Tan CS, Surapaneni KR, Sadda SR: *Targeted photocoagulation of peripheral ischemia to treat rebound edema*. *Clin Ophthalmol*. 2015; 9: 337–341.
36. Kulikov AN, Maltsev DS, Boiko EV: *Navigated Pattern Laser System versus Single-Spot Laser System for Postoperative 360-Degree Laser Retinopexy*. *J Ophthalmol*. 2016; 2016: 9871976.
37. Starnawska AJ, Schneider U, Hasler PW: *Comparison of laser treatment of patients with the replace with “computer-based laser” between experienced and unexperienced operators*. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2012; 229(12): 1223–1226.
38. Hoeh AE, Pollithy S, Dithmar S: *Factors affecting laser power in retinal Navilas laser treatment*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2015; 253(6): 849–854.
39. Alshahrani ST, Ghazi NG: *Navigated laser (navilas) therapy for choroidal neovascular and hyperpermeability pathologies*. *Retin Cases Brief Rep*. 2015; 9(2): 117–120.
40. Boiko EV, Maltsev DS: *Retro-Mode Scanning Laser Ophthalmoscopy Planning for Navigated Macular Laser Photocoagulation in Macular Edema*. *J Ophthalmol*. 2016; 2016: 3726353.
41. Kozak I, Payne JF, Schatz P, Al-Kahtani E, Winkler M: *Teleophthalmology Image-Based Navigated Retinal Laser Therapy for Diabetic Macular Edema: A Concept of Retinal Telephotocoagulation*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2017; 255(8): 1509–1513.

Praca wpłynęła do Redakcji 13.09.2018
(KO-00181-2018/KO-00219-2019)
Zakwalifikowano do druku 15.10.2019

Autor korespondencyjny (Corresponding author):

lek. Ewelina Lachowicz
II Katedra i Klinika Okulistyki PUM
Al. Powstańców Wlkp. 72
70-111 Szczecin
tel. +4891914661293
e-mail: ewelinalachowicz@wp.pl