

Wzrok dla ociemniałych implanty podsiatkówkowe

Niewielki, lecz niezwykle zaawansowany technicznie chip, wszczepiony do oka, jest szansą dla tysięcy niewidomych osób, na odzyskanie wzroku

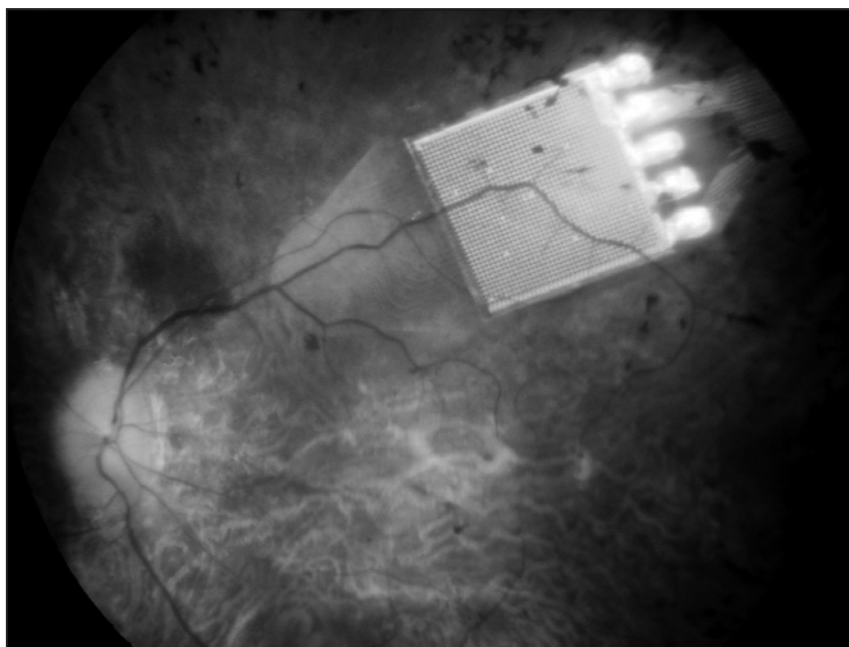
Produkowane przez firmę Retina Implant AG z Niemiec implanty podsiatkówkowe stanowią szczytowe osiągnięcie w dziedzinie przywracania widzenia. Po wszczępieniu implantu do oka, pacjent, który dotychczas rozróżniał tylko światło i cień, jest w stanie zobaczyć drobne przedmioty, określić wyraz twarzy osoby, z którą rozmawia, a nawet odnaleźć błędy w wyrazach zapisanych odpowiednio dużą czcionką.

Choć operacja wszczępienia implantu podsiatkówkowego jest niezwykle skomplikowana, a opieka nad takim pacjentem pochłania bająnskie środki, wydaje, że to cud, iż osoba niemal całkowicie ociemniała znów zaczyna sprawnie poruszać się w otaczającym ją świecie. Rozpoznaje kształty i przedmioty, których wcześniej nie widziała. A wszystko dzięki skomplikowanemu układowi elektronicznemu, wszczępieniemu do siatkówki.

Jedynym warunkiem przywrócenia wzroku w taki sposób jest obecność komórek, które będą w stanie przekazać sygnał z chipu do mózgu, czyli przetłumaczyć go z języka maszyny na informację użyteczną dla kory wzrokowej.

Retinitis pigmentosa

Na *retinitis pigmentosa* (w skrócie RP), uwarunkowane genetycznie zwyrodnienie barwnikowe siatkówki, choruje obecnie około 1,5 miliona ludzi na całym świecie. Eksperci z Retina Implant AG, na czele z prof. Eberhartem Zrennerem szacują, że będą mogli pomóc przynajmniej 200 tys.



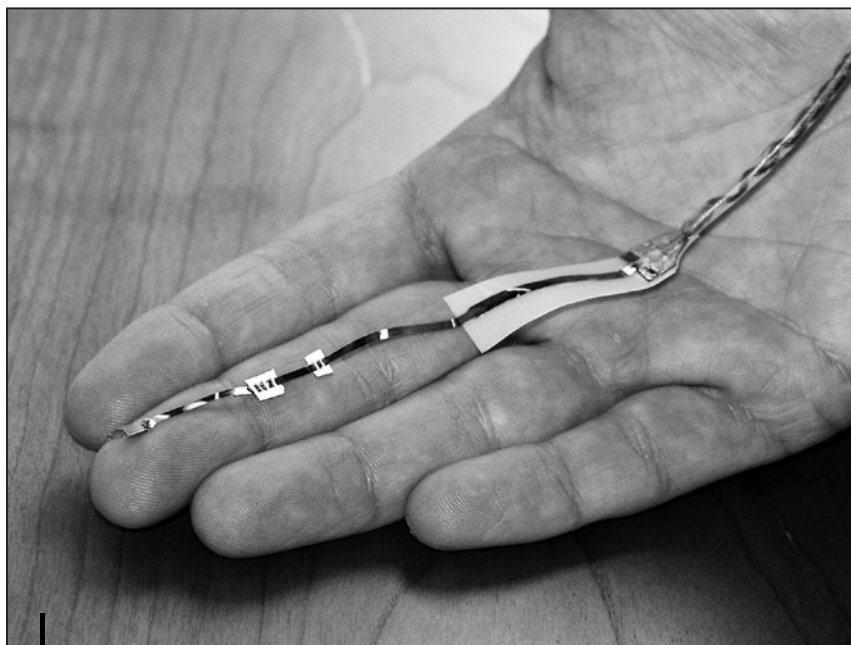
Implant podsiatkówkowy, widoczny w badaniu dna oka. (dzięki uprzejmości biura prasowego Retina Implant GmbH)

z nich. Są to osoby, u których zachowały się komórki siatkówki, które mogą być stymulowane elektrycznie i biorą udział w transdukcji, czyli przekazywaniu sygnału drogami nerwowymi do mózgu. Mimo podejmowanych prób wprowadzania terapii farmakologicznej i genowej, elektroniczny implant podsiatkówkowy pozostaje dotychczas jedyną metodą przywrócenia wzroku chorym na RP.

Choroba w krańcowych przypadkach prowadzi do całkowitej ślepoty. Stoi za tym proces degeneracji receptorów światłoczułych siatkówki: czopków występujących w trzech rodzajach i odpowiedzialnych za widzenie barwne oraz pręcików, przeważających

liczbowo i warunkujących widzenie monochromatyczne. Pod względem światłoczułości, zdecydowanie bardziej wrażliwe na światło są pręciki, dzięki czemu możliwe staje się widzenie w słabych warunkach oświetleniowych. Jest to jednak widzenie w skali odcieni szarości.

Czopki to wyspecjalizowane, adaptacyjne komórki, reagujące na światło o określonej długości fali. Każdy z trzech rodzajów odbiera inny zakres widma światła, odpowiednio w kolorze czerwonym, zielonym i niebieskim. Same czopki nie wystarczą jednak do precyzyjnego widzenia barw. Za to odpowiedzialny jest układ w mózgu, który interpretuje impulsy ze wszyst-



Implant wraz z przewodem prowadzącym do zausznej cewki indukcyjnej (niewidoczna na zdjęciu; dzięki uprzejmości Uniwersytetu w Tübingen)

kich komórek światłoczułych uwzględniając zarówno długość fali (informacja z czopków) jak i natężenie światła (dane z pręcików). Na tej podstawie mózg określa najjaśniejsze punkty percypowanego obrazu i przyjmuje, że są one białe. Działa identycznie jak balans bieli w cyfrowym aparacie fotograficznym, dostosowując tzw. temperaturę barwową obrazu do zmiennych warunków oświetlenia. Można to łatwo sprawdzić. Wystarczy przypomnieć sobie, jak wygląda światło tradycyjnej żarówki, ustawionej przy oknie w dzień. Żarówka wydaje się żółto-czerwona, ponieważ jako źródło światła ma niższą temperaturę barwową niż słońce, uznawane przez mózg w tym wypadku za białe.

Bez względu na rodzaj dziedziczenia, *retinitis pigmentosa* prowadzi do zanikania tych dwóch rodzajów komórek. Z racji rozmieszczenia topograficznego pręcików i czopków na powierzchni siatkówki, najczęstszym i jednym z pierwszych objawów choroby jest tzw. ślepotą zmierzchowa, pojawiająca się na skutek degeneracji pręcików. Prowadzi to także do zawężenia pola widzenia, a najczęściej daje się odczuć w czasie prowadzenia samochodu, kiedy zapada zmierzch.

W kolejnych latach postępowania choroby zanikowi ulegają również czopki, zlokalizowane głównie w centralnej części siatkówki, pokrywającej

się z osią optyczną oka, w miejscu tzw. plamki żółtej. Powoduje to stopniową utratę ostrości widzenia, aż do całkowitego „rozmycia” obrazu, kiedy do mózgu docierają jedynie szczątkowe informacje o natężeniu światła. W krańcowej fazie może dojść do uszkodzenia pozostałych warstw siatkówki, odpowiedzialnych za zbieranie i przekazywanie sygnałów z komórek światłoczułych. Dzieje się tak najczęściej na skutek uszkodzenia naczyń siatkówki i jej następnego niedokrwienia.

Okno na świat

Najbardziej zaawansowany implant podsiatkówkowy jest rodzajem matrycy, złożonej z elementów światłoczułych oraz układu wzmacniającego sygnał, wymagającego zasilania zewnętrznym źródłem energii. Ma wymiary 3x3 mm i grubość 0,1 mm. Na powierzchni chipu firmy Retina Implant AG, wszczepianego do siatkówki jako zastępstwo zniszczonych pręcików i czopków, znajduje się 1500 fotokatod, co daje rozdzielczość około 39 punktów w poziomie i w pionie. Pole widzenia jest niewielkie, sięga 11 stopni w obu płaszczyznach, stąd okno na świat, jakim jest chip, stanowi niewielki wycinek fizjologii.

Ze względu na stosunkowo niewielką rozdzielczość oraz niemożność

rozdzielania barw, jakość obrazu produkowanego przez implant może być porównywana z obrazem z pierwszych telewizorów, wprowadzonych do użytku w latach 20 XX wieku. Biorąc jednak pod uwagę, że dotychczas maksymalna liczba elementów światłoczułych, znajdujących się na implantach wprowadzanych pacjentom wynosiła 60, jest to znaczny krok naprzód.

Wszczepienie implantu wiąże się ze skomplikowaną operacją mikrochirurgiczną. Chip, umieszczany poniżej dolnych warstw siatkówki (która jest przezroczysta), połączony jest cienkim przewodem z cewką indukcyjną, znajdującą się za uchem. Przewód z gałki ocznej wyprowadzany jest do oczodołu, gdzie tworzy pętlę, a następnie, przez ścianę oczodołu, pod mięśniem skroniowym, prowadzony jest do przestrzeni zausznej. Tam wszczepiana jest cewka. Dzięki niewielkim magnesom, zakotwiczonym w kościach czaszki, możliwe jest przymocowanie drugiej cewki, tym razem na zewnątrz. Zasila ona implant oraz dostarcza informacje o zmianach kontrastu i jasności obrazu. Pacjent może regulować te parametry za pośrednictwem urządzenia wielkości telefonu komórkowego, które nosi w kieszeni.

Efektom działania chipu jest odzyskanie wzroku, choć bardzo niedokładnego, jednak w znacznym stopniu poprawiającego jakość życia. Elementy światłoczułe, czyli fotokatody, odbierają bodźce świetlne naturalną drogą, przez układ optyczny oka, dzięki czemu pozostają zachowane właściwości obrazu związane z ruchami gałki ocznej. Ze względu na bardzo niewielką jasność, czyli światłość układu rogówka-soczewka-ciało szkliste, znikoma część światła dociera do siatkówki. Konieczne jest wzmocnienie sygnału, stymulującego komórki warstwy zwojowej. Ustalenie poziomu pobudzeń elektrycznych, jakie emitują miniaturowe elektrody chipu, stanowi wynik wieloletnich eksperymentów. Tylko w taki sposób możliwe jest przekazanie informacji o obrazie do mózgu, co w największym dotychczas stopniu odzwierciedla stan fizjologiczny.

I stała się jasność

W badaniach na Uniwersytecie w Tübingen w Niemczech wzięło udział 26 pacjentów. Największym za-



Obraz tomografii komputerowej (CT), pokazujący przewód zasilający implant wewnątrz oczodołu. Źródło: Kemstock CJ, Zrenner E et al. 3D-Visualisation Of Power Supply Cable Of Subretinal Electronic Implants During Eye Movement (doniesienie zjazdowe, 2 maja 2011)

skoczeniem, jak przyznaje prof. Eberhart Zrenner, kierownik projektu, było znalezienie przez jednego z pacjentów błędu literowego w prezentowanym mu wyrazie. Inny natomiast stwierdził, że był w stanie zobaczyć zęby uśmiechającej się osoby. Typowe jest natomiast rozpoznawanie przedmiotów leżących na stole, takich jak łyżka, widelec, talerz, kubek czy książka.

Jak w przypadku każdej innowacji, początki bywają trudne, a efekt pozostaje daleki od ideału. Jednak działające implanty podsiatkówkowe z pewnością zapoczątkują nowy rozdział w naukach medycznych. W swoim artykule, opublikowanym w *Nature Photonics* 29 maja 2012, prof. Zrenner pisze o różnych metodach zastępowania uszkodzonych komórek światłoczułych siatkówki. Przy pierwszej próbie wszczępienia tzw. komórek solarnych do oka (1956, Tassicker, GE, *British Journal of Ophthalmology*) okazało się, że natężenie światła wpadającego do oka w losowo wybranym punkcie na

siatkówce jest co najmniej 1000 razy za małe, żeby wywołać efekt fotoelektryczny, mogący stymulować komórki

nerwowe. Kolejne próby odbywały się przy użyciu zewnętrznych kamer, które przekazywały sygnał do stymulatora siatkówki przewodowo. Fizjologiczne ruchy oka nie pokrywały się z ruchami kamery, dlatego było niemożliwe związane z nimi odświeżanie obrazu.

Obecnie prowadzone są badania z implantami elastycznymi, złożonymi z fotokatod i układów wzmacniających, rozmieszczonych na konstrukcji ze sprężystego metalu. Wymagają one zasilania, które naukowcy planują dostarczać przez specjalne gogle, emitujące światło w zakresie bliskiej podczerwieni, na które ma reagować układ wzmacniający sygnał. Problemem wydaje się ruch gałki ocznej, zmieniający kąt wpadania światła podczerwonego do oka, jednak przyszłość pokaże, czy będzie trudno sobie z tym poradzić.

Projekt badawczy, skoncentrowany na implantach podsiatkówkowych, od początku wiąże się z ogromnymi kosztami. Dotychczas niemieckie Federalne Ministerstwo Badań i Rozwoju zainwestowało w badania około 6,5 miliona euro. Kolejne 3,5 miliona pochodziło z kieszeni sponsorów, a 15 milionów wyniósł wkład własny spółki Retina Implant AG. W dziedzinie badań nad „sztucznym widzeniem”, prof. Zrenner otrzymał w 2011 roku nagrodę za innowacyjność „EURETINA Innovation Award”.

Tomasz Dawidziuk



Przykładowe widzenie. Taki obraz przypuszczalnie widzi pacjent, któremu zostaje wszczępiiony implant