Kierunki badań i rozwoju protetyki oka, mającej na celu przywrócenie wzroku

(na podstawie m.in.:
http://www.if.pwr.wroc.pl/~zajac/DYDAKTYKA/MATERIALY/TEKSTY%20ROZNE/PROTEZY%20WZROKU%20(IZOPTYKA).pdf;
http://web.stanford.edu/~palanker/lab/retinalpros.html
http://gadzetomania.pl/3736,bioniczne-oko-coraz-doskonalsze-nauka-pomaga-odzyskac-wzrok

prof. B. Kostek

Rozwiązania technologiczne

Implanty oka – sztuczne widzenie – oko „bioniczne” (hasła: bionic eye, np. Dobelle, Argus II, Bio-Retina),

- Widzenie przez słyszenie (np. technologia vOICe, human echolocation)

https://www.sztucznainteligencja.org.pl/coraz-blizej-do-pelnej-protezy-oka/

https://www.seeingwithsound.com/retinal.htm

https://www.newscientist.com/article/mg20727731-500-sensory-hijack-rewiring-brains-to-see-with-sound/?ignored=irrelevant

https://www.youtube.com/watch?v=A8lztr1tu4o

https://www.smithsonianmag.com/innovation/how-does-human-echolocation-work-180965063/

- https://www.umb.edu.pl/photo/pliki/medyk/polecamy/wzrok_dla_ociemnialych_%28czerwiec-wrzesien_2012%29.pdf

Rozwiązania technologiczne

Rozwiązania badawcze-medyczne:

- Hodowla komórek macierzystych (w tym również nie pochodzących z ludzkich embrionów) światłoczułych,
- Terapie genowe

Rozwiązania badawcze-medyczne:

Naukowcy wszczepili im do oczu komórki wrażliwe na światło.

Autorami sukcesu są badacze z Oksfordu kierowani przez profesora Roberta MacLarena. Szukają oni remedium na chorobę zwaną retinopatią barwnikową (*retinitis pigmentosa*). W jej przebiegu dochodzi do zmian zanikowych w najważniejszej części oka - siatkówce, która zaczyna systematycznie tracić budujące ją komórki światłoczułe, czyli pręciki i czopki. Efektem jest postępujące pogorszenie wzroku aż do jego całkowitej utraty.

Rozwiązania badawcze-medyczne:

Myszy od urodzenia miały uszkodzoną siatkówkę i nie widziały. Naukowcy wszczepili im komórki będące prekursorami pręcików i czopków (*stem cells, not from embryos, but from adult mice*). Po dwóch tygodniach zwierzęta zaczęły m.in. odróżniać światło od ciemności.

- Praktycznie od nowa odtworzyliśmy ich siatkówkę - https://www.dragarwal.com/blog/all-about-retina/researchers-give-sight-to-blind-mice/

Rozwiązania badawcze-medyczne:

Trwają prace związane ze zwyrodnieniem plamki żółtej (warunkowane wiekiem) przy użyciu hESC (***Human embryonic stem cell,*** ludzkich embrionalnych komórek macierzystych)

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25458728/

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5583531/

https://www.eurostemcell.org/eye-and-stem-cells-path-treating-blindness

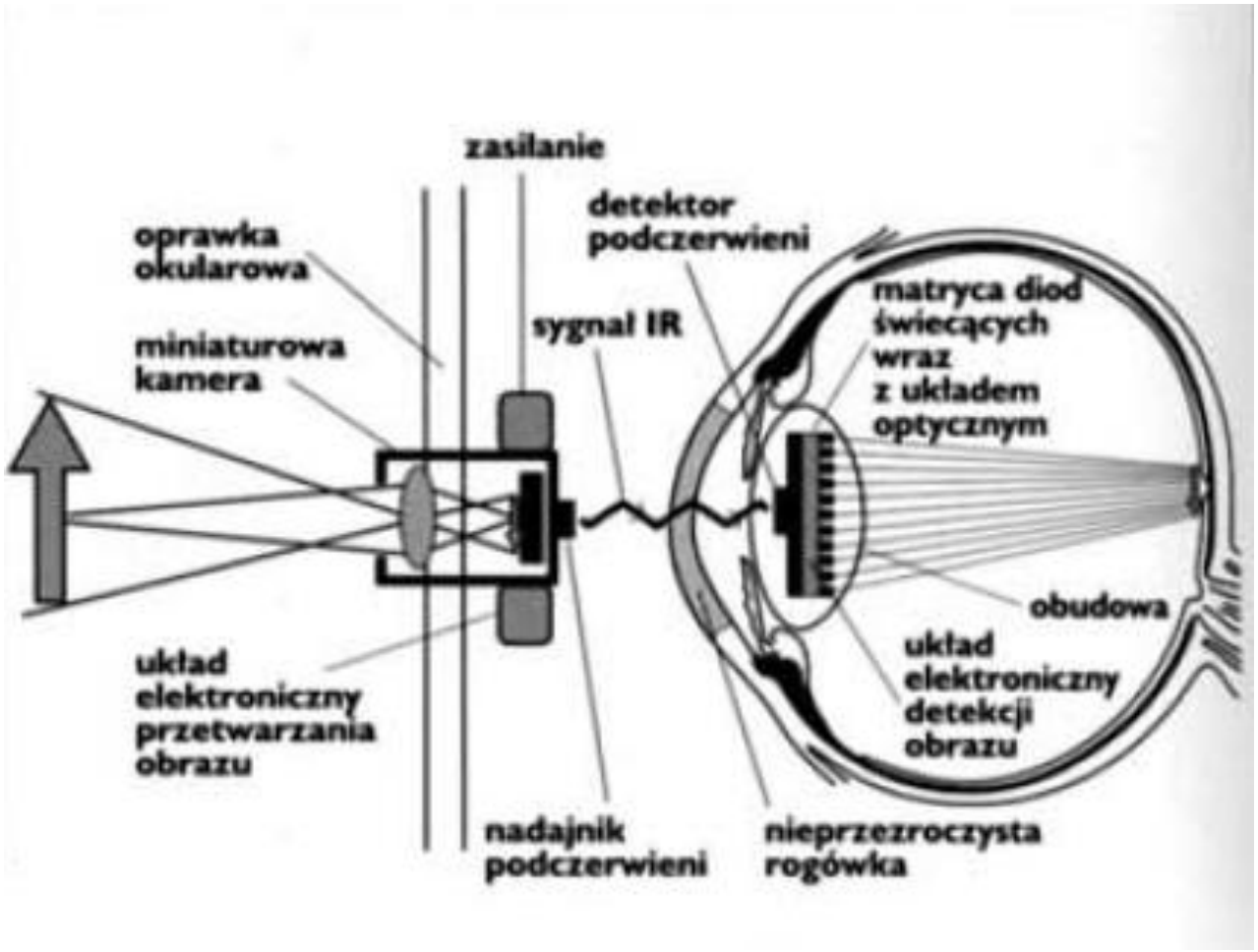
Rozwiązania technologiczne

Rozwiązania technologiczne:

Implanty oka - Implant wewnątrzgałkowy:

• Jednym z rozwiązań jest miniaturowa kamera zamontowana na oprawce okularów. Kamera wyposażona jest w układ elektroniczny przeprowadzający obróbkę obrazu oraz mikronadajnik wysyłający sygnał- informację o obrazie rejestrowanym przez kamerę w postaci promieniowania podczerwonego. Kolejnym elementem jest implant umieszczany w miejscu soczewki ocznej, który zawiera detektor sygnału podczerwonego, układ elektroniczny i matrycę mikroskopijnych diod.

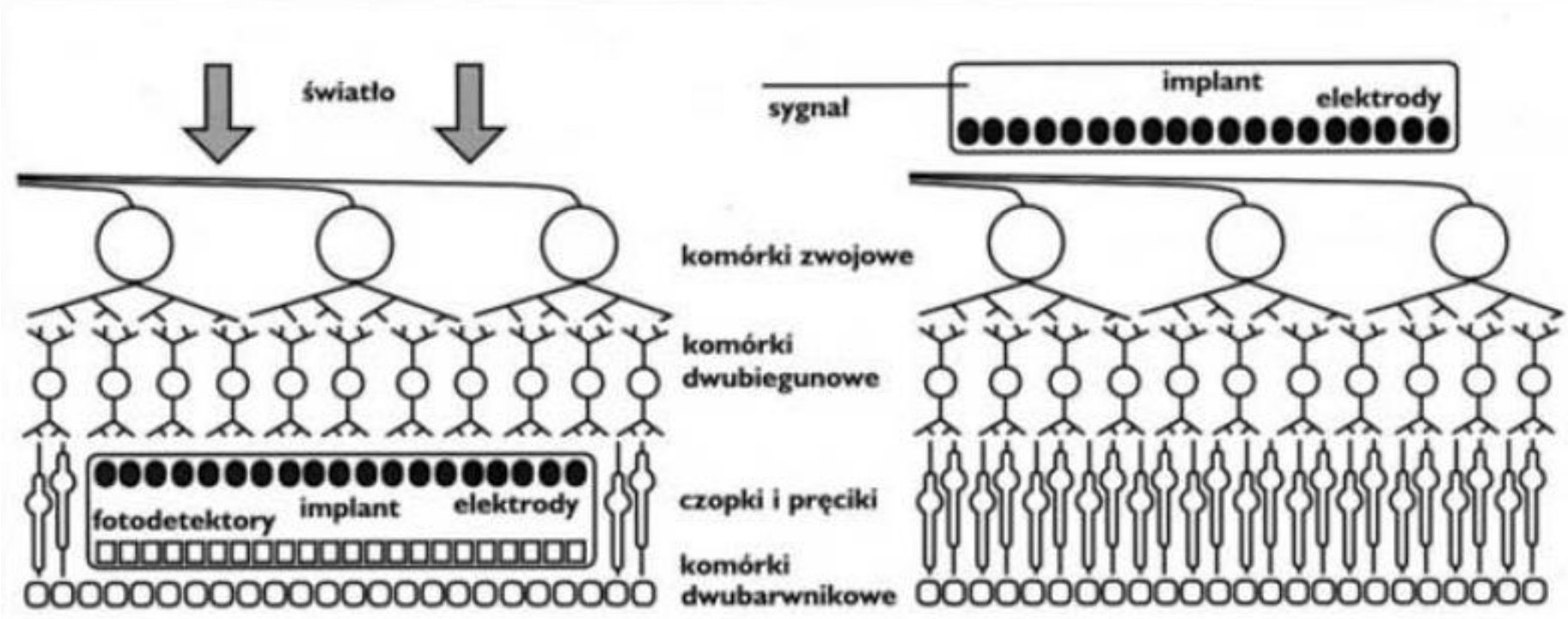
Rozwiązania technologiczne



Implant wewnątrzgałkowy

Rozwiązania technologiczne

Implanty siatkówkowe – subretinalny (podsiatkówkowy) – epiretinalny (nasiatkówkowy)



Rozwiązania technologiczne

Rozwiązania technologiczne:

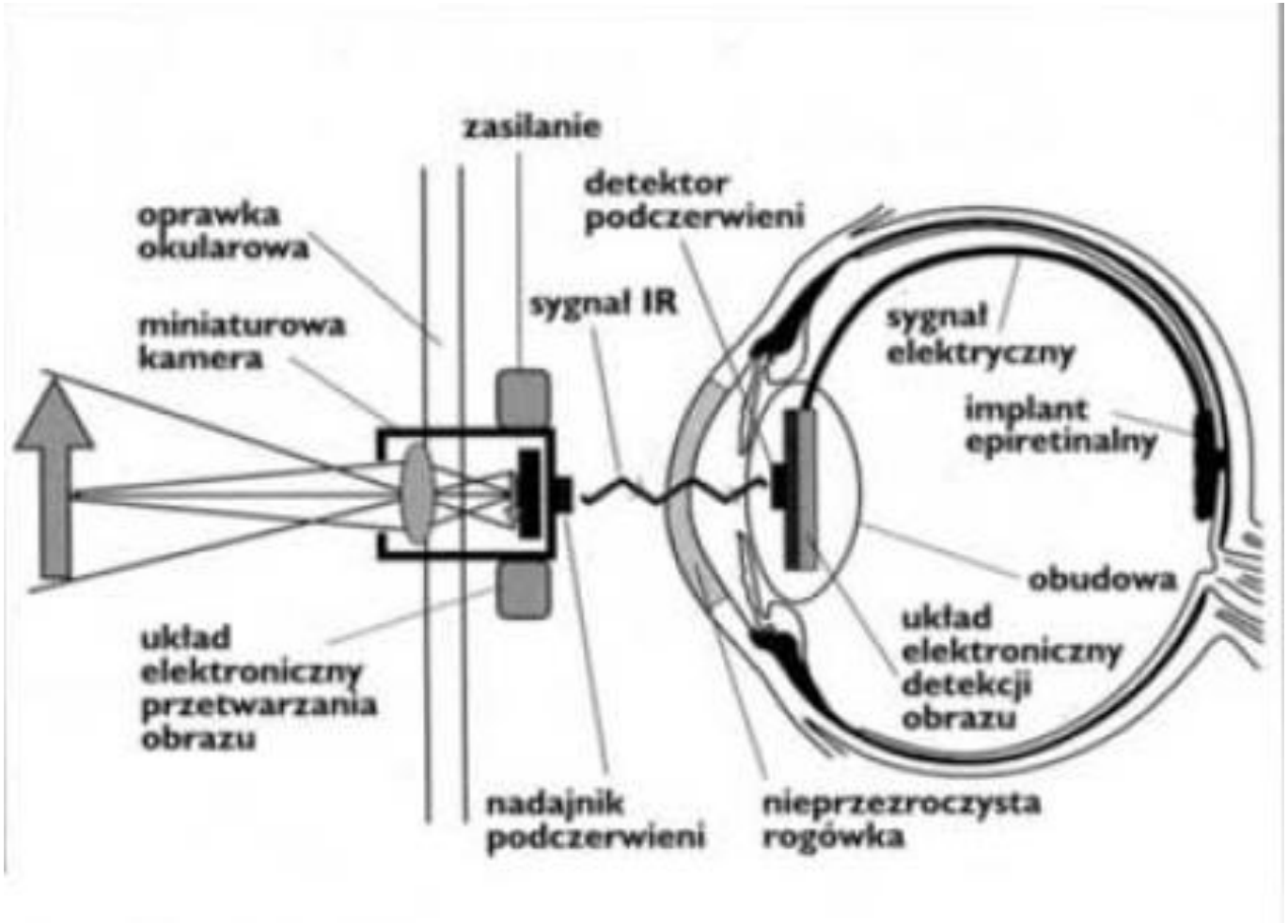
- **Implanty siatkówkowe (subretinalny (podsiatkówkowy) – epiretinalny (nasiatkówkowy)) –** technologie rozwijają się równolegle i są przeznaczone dla osób cierpiących na degeneracyjne choroby siatkówki (np. *Retinitis Pigmentosa* czy AMD).

Rozwiązania technologiczne

Implant siatkówkowy – epiretinalny (nasiatkówkowy) - zasada jego działania jest inna niż implantu subretinalnego. Chip jest montowany na powierzchni siatkówki (od strony wnętrza gałki ocznej).

Układ optyczny oka zastąpiony jest zewnętrzną miniaturową kamerą, której obraz jest przetworzony na impulsy elektryczne dostarczone bezpośrednio do neuronów wzrokowych. Układ elektroniczny umieszczany jest bezpośrednio na powierzchni siatkówki.

Rozwiązania technologiczne



Implant siatkówkowy - epiretinalny

Rozwiązania technologiczne

Implant siatkówkowy – epiretinalny (nasiatkówkowy) - zasada jego działania jest inna niż implantu subretinalnego. Chip jest montowany na powierzchni siatkówki (od strony wnętrza gałki ocznej).

- **Mechanizm działania:** Kamera umieszczona w specjalnych okularach przesyła sygnał wizyjny bezprzewodowo do implantu. Urządzenie stymuluje wewnętrzne komórki zwojowe siatkówki.
- **Zastosowanie:** Najbardziej znanym przykładem jest system *Argus II*.

Rozwiązania technologiczne

Implant siatkówkowy – epiretinalny (nasiatkówkowy) - zasada jego działania jest inna niż implantu subretinalnego. Chip jest montowany na powierzchni siatkówki (od strony wnętrza gałki ocznej).

- **Zalety**: Nie wymaga nacinania i odwarstwiania delikatnej siatkówki, dzięki czemu operacja jest nieco łatwiejsza technicznie.
- **Wady**: Wymaga przypięcia implantu do powierzchni siatkówki za pomocą mikro-gwoździków.

Rozwiązania technologiczne

Rozwiązania technologiczne:

- **Implant siatkówkowy – subretinalny - i**mplant jest przeznaczony do wszczepienia do wnętrza siatkówki. Ma postać płytki o średnicy 2mm i grubości 25mm zawierającej 3500 elementów światłoczułych. Jej zadaniem jest zastąpienie części siatkówki odpowiadającej za detekcję światła i przekazywanie informacji o obrazie do warstw komórek nerwowych siatkówki.

Rozwiązania technologiczne

Rozwiązania technologiczne:

- **Implant siatkówkowy – subretinalny (np. PRIMA):**

Matryca fotodetektorów na powierzchni implantu odbiera obraz siatkówkowy powstały na dnie oka i zamienia go na impulsy elektryczne, które następnie przedostają się do drugiej części implantu i przekazywane są do komórek dwubiegunowych siatkówki.

Miejsce umieszczenia: Chip jest wprowadzany i umieszczany bezpośrednio pod siatkówką – między siatkówką a nabłonkiem barwnikowym (warstwą odżywczą).

Rozwiązania technologiczne

Rozwiązania technologiczne:

- **Implant siatkówkowy - subretinalny:**

- **Mechanizm działania:** Działa w sposób bardziej naturalny, ponieważ światło lub sygnał z okularów stymuluje bezpośrednio fotoreceptory (jeśli jeszcze jakieśkolwiek pozostały) lub głębsze warstwy siatkówki, naśladując naturalny proces widzenia.
- **Zastosowanie:** Przykładem takiego rozwiązania jest implant *PRIMA* stworzony m.in. dla osób z zaawansowanym zwyrodnieniem plamki żółtej (AMD).

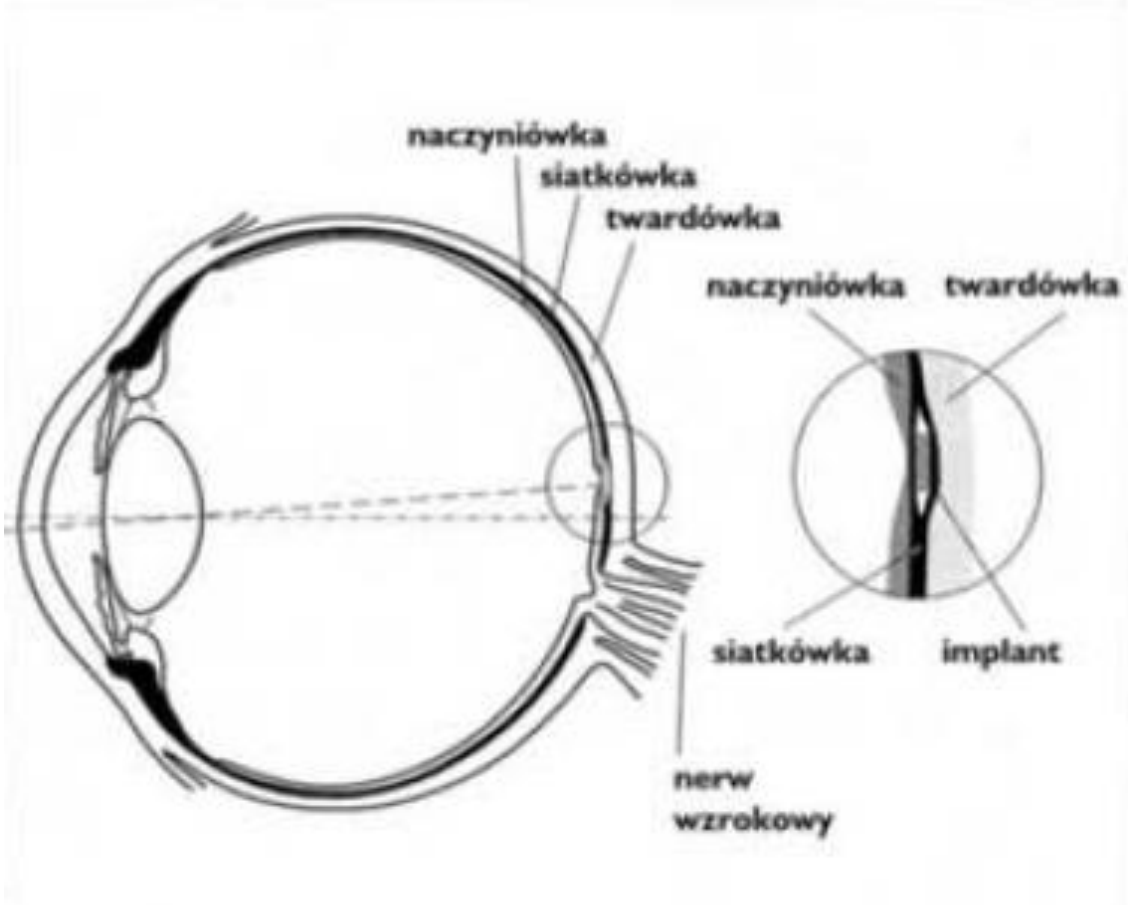
Rozwiązania technologiczne

Rozwiązania technologiczne:

- **Implant siatkówkowy - subretinalny:**

- **Zalety:** Daje szansę na uzyskanie obrazu o wyższej rozdzielczości i pozwala na bardziej naturalny ruch gałek ocznych podczas śledzenia obiektów.
- **Wady:** Wymaga bardzo precyzyjnego i delikatnego chirurgicznego odwarstwienia siatkówki, aby umieścić implant w tej przestrzeni.

Rozwiązania technologiczne



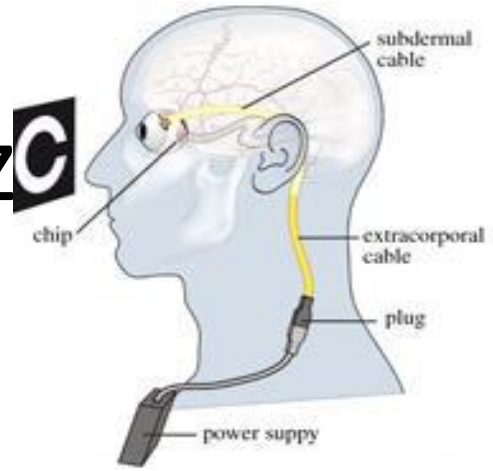
Implant siatkówkowy - subretinalny

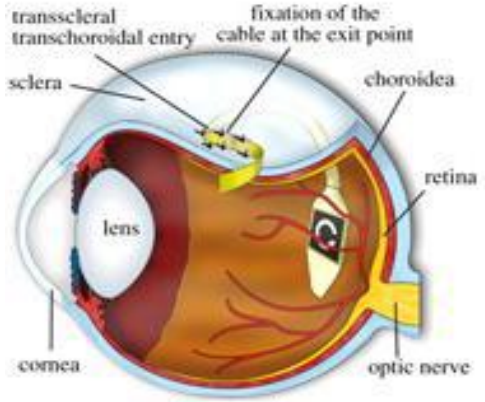
Rozwiązania technologiczne

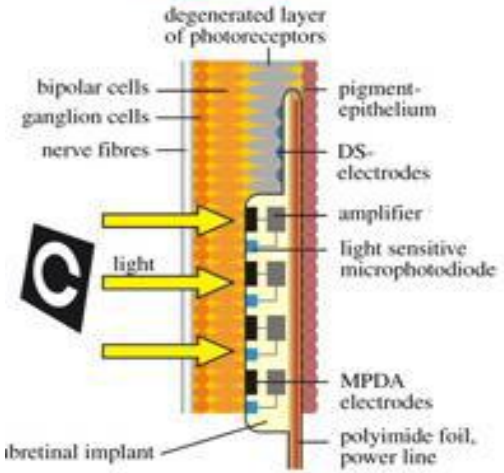
Implant siatkówkowy - subretinalny:

Część stykająca się z komórkami zwojowymi i dwubiegunowymi jest matrycą mikroelektrod, z których impulsy elektryczne są wychwytywane bezpośrednio przez neurony siatkówki i przekazywane do mózgu tak, jakby pochodziły od czopków i pręcików zdrowej siatkówki. Schemat urządzenia zawiera kamerę z nadajnikiem pracującym w podczerwieni (IR) oraz detektorem IR, układów elektronicznych i układów zasilających.

Rozwiązanie logiczne







Rozwiązania technologiczne

Fotowoltaiczna proteza siatkówki - System składa się z implantu i specjalnych gogli, wyposażonych w kamerę i miniaturowy komputer zajmujący się obróbką obrazu, który następnie jest wyświetlany na mikrowyświetlaczu LCD. Ten z kolei jest oświetlany przez 0,5-milisekundowe impulsy światła laserowego z zakresu bliskiej podczerwieni (dł. fali ok. 900 nm). Światło to pada na wszczepiony pod siatkówką implant, zawierający wiele sterczących słupków-elektrod o średnicy 10 um i wysokości 65 um.

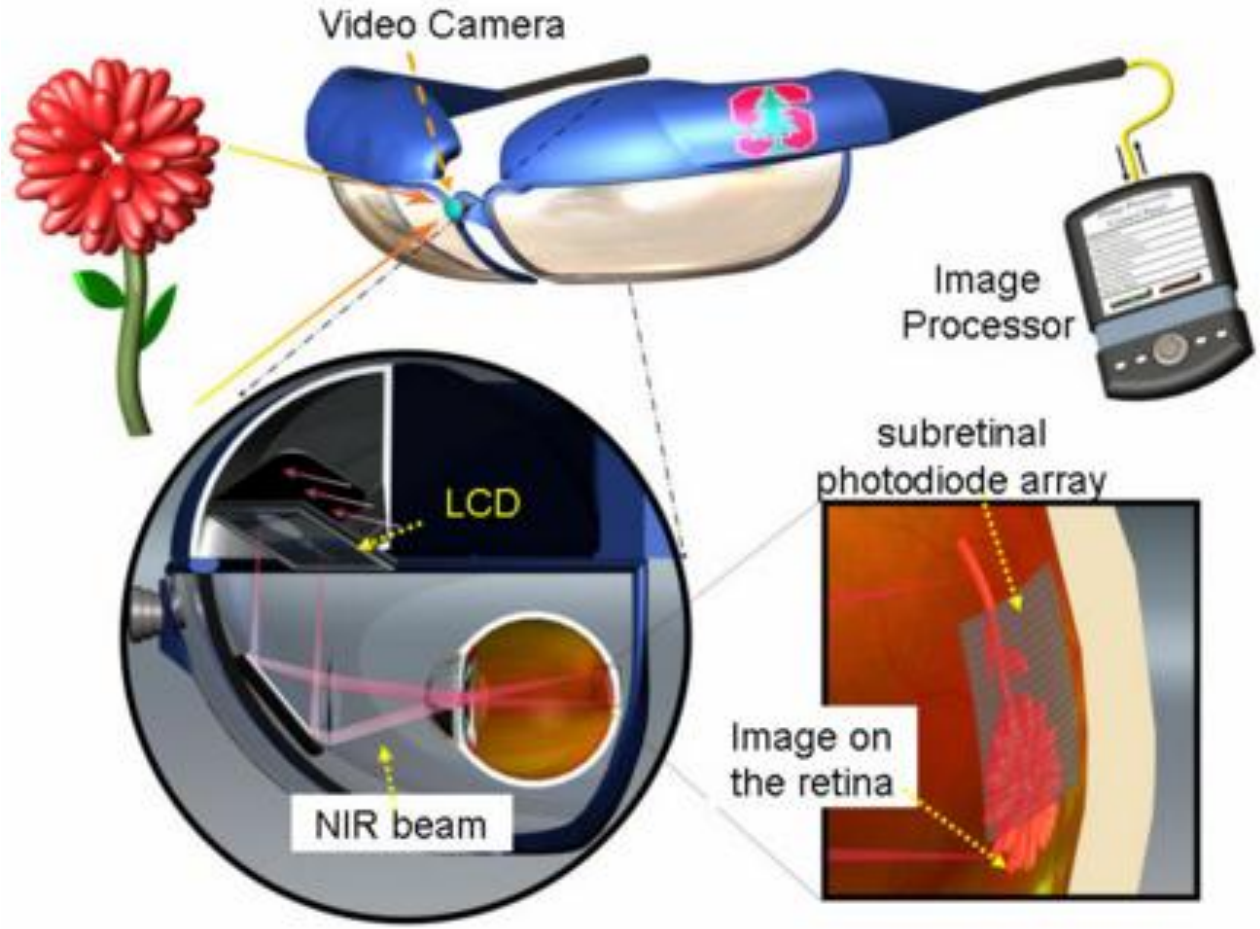
Rozwiązania technologiczne

Fotowoltaiczna proteza siatkówki - Podłoże, do którego są przyczepione jest w zasadzie panelem fotowoltaicznym - reaguje na światło podczerwone i przekształca je na napięcie, bezpośrednio pobudzające siatkówkę. Słupki są jedną z elektrod, druga znajduje się na powierzchni podłoża. Każdy z nich wraz z przyłączoną fotodiodą stanowi jeden piksel.

Rozwiązania technologiczne

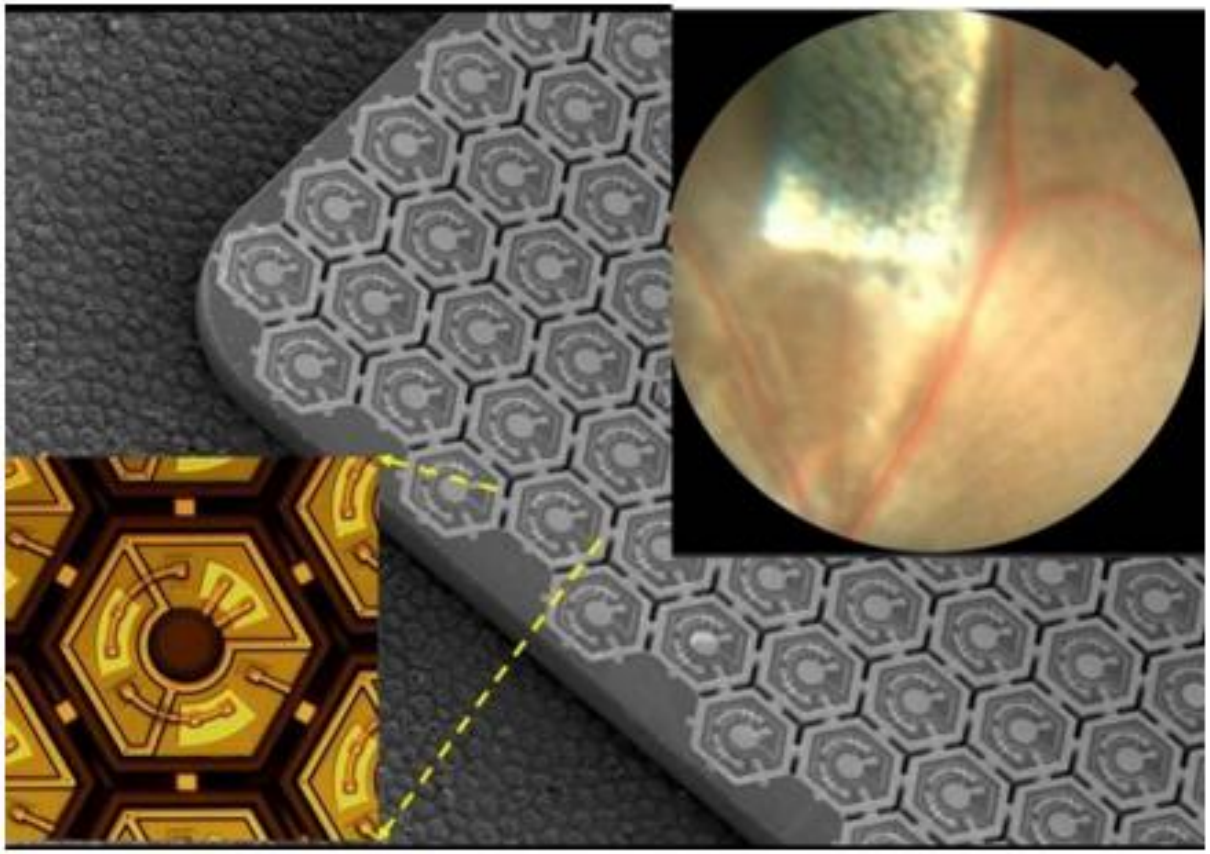
Fotowoltaiczna proteza siatkówki - Podłoże, do którego są przyczepione jest w zasadzie panelem fotowoltaicznym - reaguje na światło podczerwone i przekształca je na napięcie, bezpośrednio pobudzające siatkówkę. Słupki są jedną z elektrod, druga znajduje się na powierzchni podłoża. Każdy z nich wraz z przyłączoną fotodiodą stanowi jeden piksel.

Rozwiązania technologiczne



Fotowoltaiczna proteza siatkówki

Rozwiązania technologiczne



Fotowoltaiczna proteza siatkówki

(po prawej stronie, górny róg: wszczep subretinalny z matrycą o szerokości 1 mm (oko szczura), prawa strona – powiększenie matrycy zawierającej 70-um wielkości piksele, po lewej stronie: obraz pojedynczego piksela w układzie heksagonalnym)

Rozwiązania technologiczne

Implant **podsiatkówkowy** – w tym przypadku chip umieszcza się tuż pod siatkówką. Chip ten zawiera **mikrofotodiody** (MPDA) (1500 mikroelektrod). Wykrywają one światło i przetwarzają je na prąd elektryczny, który z kolei stymuluje komórki zwojowe siatkówki. Zasilanie zewnętrzne potrzebne do funkcjonowania układu jest realizowane za pomocą **akumulatorów**.

Rozwiązania technologiczne

Implant **podsiatkówkowy**

(http://www.medgadget.com/2013/07/alpha-ims-vision-restoring-wireless-retinal-implant-now-cleared-in-europe-video.html)

Ograniczenia

- **Limitations of bionic eyes**
- Although the Argus II system enables people to discern light, movement and shapes, it does not yet restore sight to the extent some might hope. This limitation is largely due to the fact that the current implant has only 60 electrodes. To see naturally, you'd need about a million.
- However, some Argus II users can function well enough to read large-print books and cross the street on their own. And the company plans to add more electrodes in future models.
- Another limitation of the current Argus II Retinal Prosthesis System is that it doesn't enable users to perceive colors. And it's expensive — costs associated with the device and procedure add up to nearly $150,000 and may or may not be covered by medical insurance.

Przyszłość implantów wzrokowych

- **The Future Of Bionic Eyes**
- In May 2020, Second Sight announced it had obtained additional financing to continue development of its new Orion Visual Cortical Prosthesis System. The company describes the new Orion bionic eye device as “an implanted cortical stimulation device intended to provide useful artificial vision to individuals who are blind due to a wide range of causes, including glaucoma, diabetic retinopathy, optic nerve injury or disease, and eye injury.”
- The Orion device is being designed to convert images captured by a miniature video camera mounted on glasses into a series of small electrical pulses. The device will bypass the diseased or injured eye and transmit these electrical pulses wirelessly to an array of electrodes implanted on the surface of the brain’s visual cortex to provide the perception of patterns of light.
- Suprachoroidal Implants (e.g., Generation 2 Bionic Eye)
- https://www.allaboutvision.com/conditions/bionic-eyes.htm

- https://www.livescience.com/bionic-eye

Przyszłość implantów wzrokowych

Next-Generation Vision Approaches

- **1. Optogenetics & Micro-LEDs (e.g., Science Eye)** [1]
- **How it works:** Combines a 2-micron micro-LED film implanted in the retina with optogenetic gene therapy. This technique genetically modifies remaining retinal cells to become light-sensitive, theoretically bypassing dead photoreceptors entirely.
- **Current Stage:** Early trials have shown promise in restoring not just shapes, but natural color vision in retinitis pigmentosa patients. [1]

Przyszłość implantów wzrokowych

- **Next-Generation Vision Approaches**
- **Cortical Implants (e.g., Neuralink's Blindsight & Orion)**
- **How it works:** Rather than treating the damaged eye, these implants bypass the eye and optic nerve completely by placing electrodes directly into the visual cortex of the brain.
- **Current Stage:** Companies are in early-stage human trial phases, paving the way for testing visual restoration in cases where the optic nerve is completely severed or destroyed.

Przyszłość implantów wzrokowych

- **The Future Of Bionic Eyes**
- https://science.xyz/company/pixium/
- https://science.xyz/ (przejęcie firmy)

- https://www.brightfocus.org/resource/the-latest-developments-in-retinal-implants/
- **Other Approaches to Restore Vision**
- **Brain Implants**
- **Orion Visual Cortical Prosthesis System**
- **Blindsight**
- **Intracortical Visual Prosthesis Project (ICVP)**

Przyszłość implantów wzrokowych

- https://www.sztucznainteligencja.org.pl/coraz-blizej-do-pelnej-protezy-oka/
- https://spectrum.ieee.org/bionic-eye-obsolete
- https://www.bbc.com/news/technology-60416058
- https://www.bionicsinstitute.org/latest-news-newsletter/bionic-eye-clinical-trial/