

# Współczesna inżynieria biomedyczna

prof. Bożena Kostek

LAF/WETI

cz. II

# Technologie inż. biomedycznej wykorzystujące SI

- Inteligentne buty wyposażone w czujniki
- Inteligentne maty do monitorowania snu, upadek z łóżka
- Inteligentna waga – ocena równowagi
- Czujniki, kamery, mikrofony, żyroskopy, itd. do monitorowania aktywności dziennej,
- Kaski EEG,
- Urządzenia do śledzenia ruchu gałek ocznych (*eye, gaze trackery* – do komunikacji z otoczeniem),
- Roboty wspomagające osoby niepełnosprawne (np. robot KOMPAI-3).

# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności;
- Modalność biometryczna – mierzalna cecha człowieka, której pomiar dostarcza informacji umożliwiających rozpoznanie danej osoby od innych;

## Przykłady:

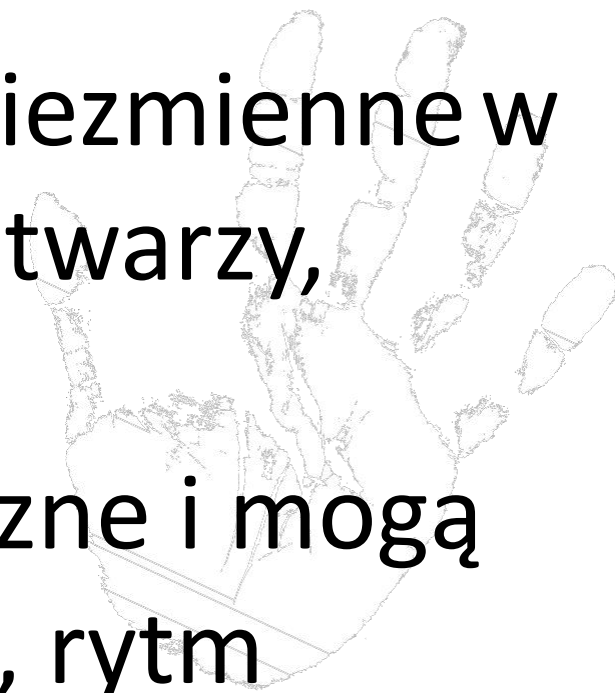
- Rozpoznawanie twarzy - zdolność wykrywania i rozpoznawania osoby na podstawie jej cech twarzy (geometrycznych i antropometrycznych)
  - Zalety: pozwala na pełną automatyzację systemu, wysoka skuteczność, szybkość działania.
  - Wady: sposób pobierania cechy biometrycznej, duża ilość danych.

# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

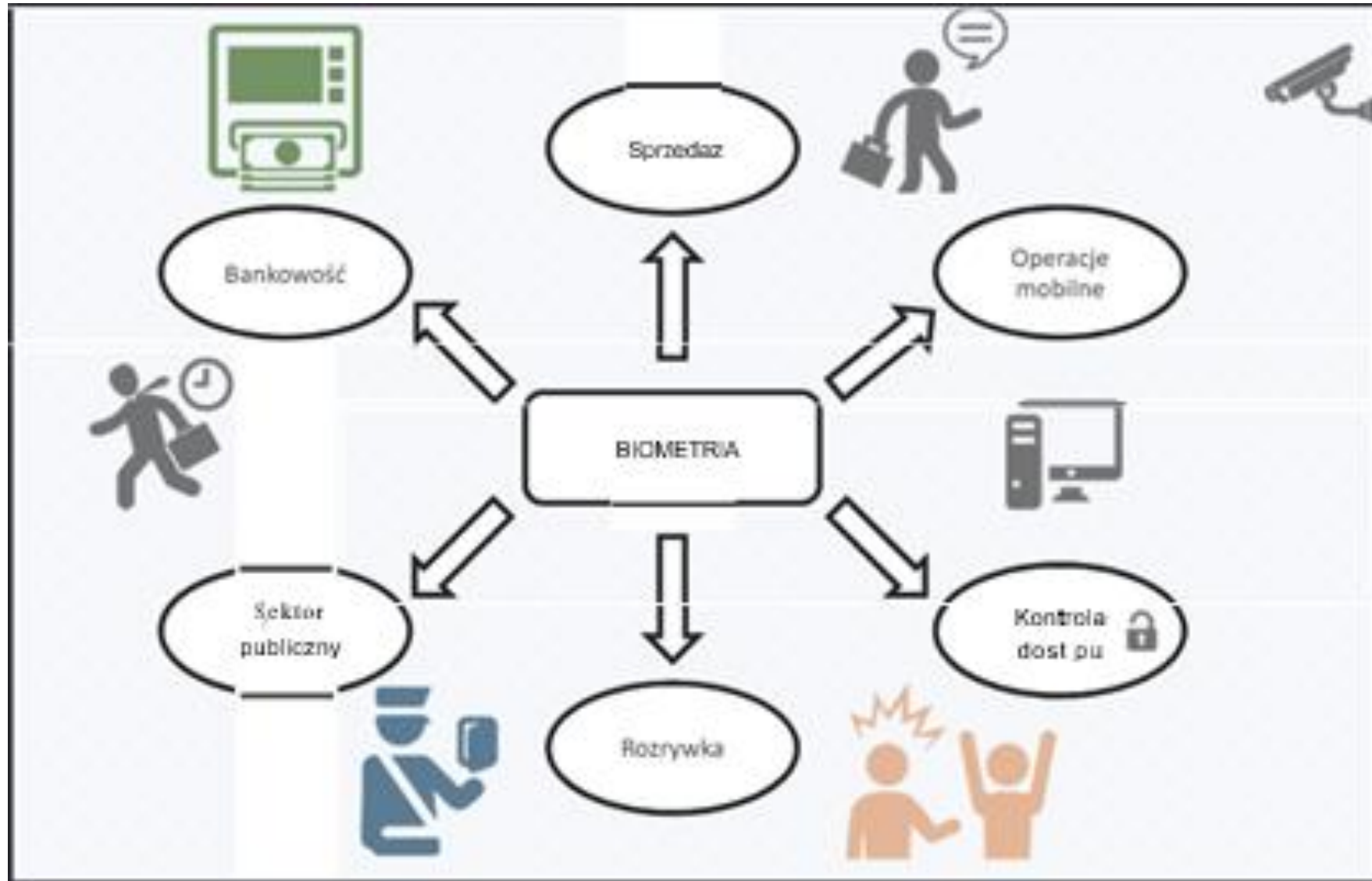
Cechy biometryczne można podzielić na dwie główne kategorie:

**Cechy fizyczne:** Są to cechy stałe i niezmiennie w czasie, takie jak odciski palców, rysy twarzy, tęczówka oka i kształt dłoni.

**Cechy behawioralne:** cechy dynamiczne i mogą zmieniać się w czasie (np. głos, chód, rytm pisania)



# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii



# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w bior
- Modalność biometryczna dostarcza informacji u innych;

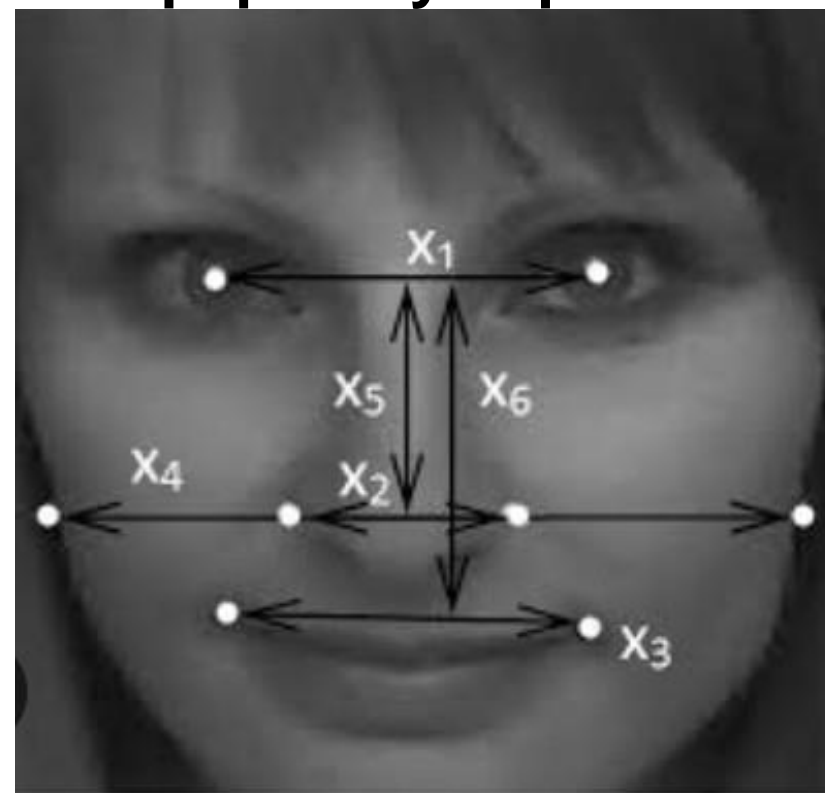
Przykłady:



# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności;
- Modalność biometryczna – mierzalna cecha człowieka, której pomiar dostarcza informacji umożliwiających rozpoznanie danej osoby od innych;

Przykłady: **wygląd twarzy, biometria oka, układ linii papilarnych palca**

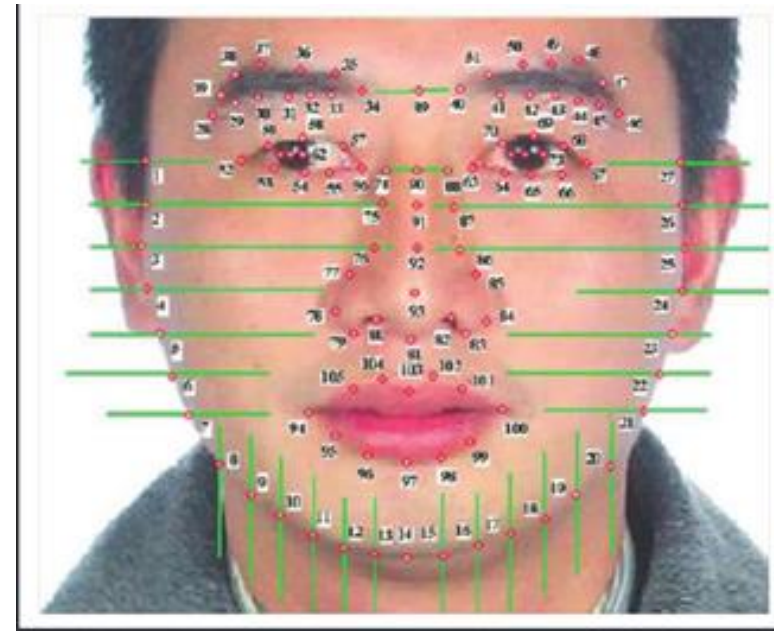
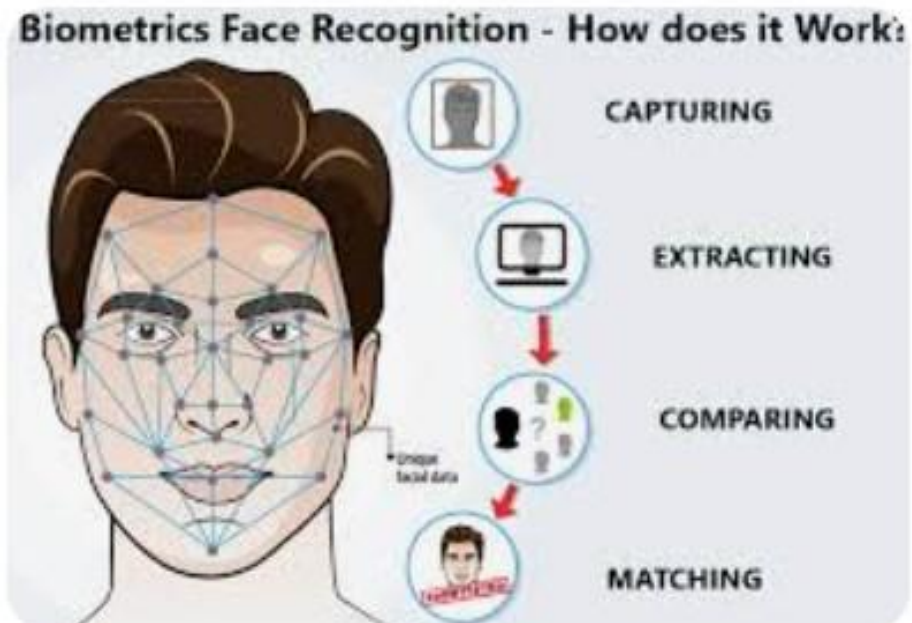




# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności;
- Modalność biometryczna – mierzalna cecha człowieka, której pomiar dostarcza informacji umożliwiających rozpoznanie danej osoby od innych;

Przykłady: **wygląd twarzy, biometria oka, układ linii papilarnych palca**





# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności;
- Modalność biometryczna – mierzalna cecha człowieka, której pomiar dostarcza informacji umożliwiających rozpoznanie danej osoby od innych;

Przykłady: **wygląd twarzy, biometria oka, układ linii papilarnych palca**



# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności;
- Modalność biometryczna – mierzalna cecha człowieka, której pomiar dostarcza informacji umożliwiających rozpoznanie danej osoby od innych;

## Przykłady:

- Biometria dłoni - zestaw cech biometrycznych występujących na ludzkiej dłoni (odciski palców, odciski dłoni, kształt dłoni i rozkład żył)

Zalety: Zróżnicowane podejścia, łatwe w użyciu.

Wady: łatwość fałszowania (np. odlew dłoni).

# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności;
- Modalność biometryczna – mierzalna cecha człowieka, której pomiar dostarcza informacji umożliwiających rozpoznanie danej osoby od innych;

## Przykłady:

- Rozpoznawanie odcisków palców - odnosi się do procesu identyfikacji lub potwierdzenia tożsamości osoby poprzez porównanie dwóch odcisków palców - w celu rozpoznawania linii papilarnych powstała sieć głęboka do Finger ConvNet

Zalety: każda osoba ma swój indywidualny "wzór", praca na małej ilości danych, duża skuteczność.

Wady: łatwo utrudnić odczyt, dużo dodatnio fałszywych wyników.

## Źródło:

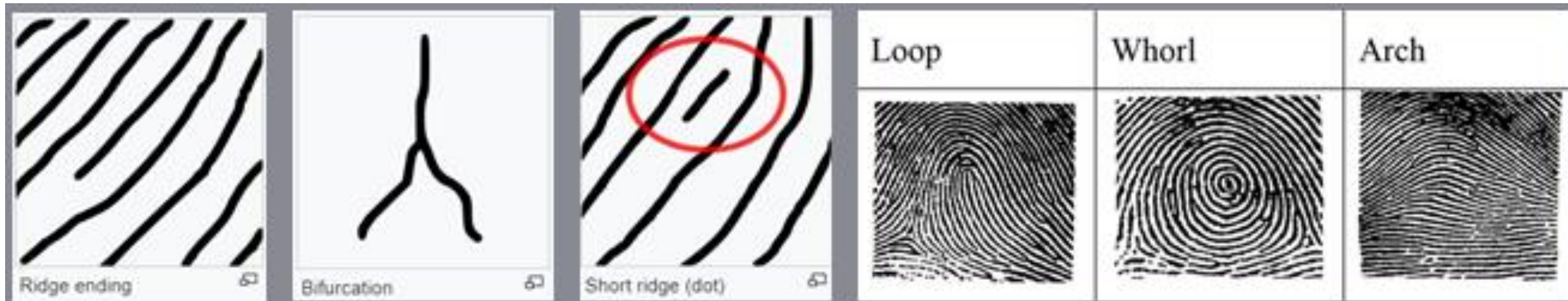
Wani M.A., Bhat F.A., Afzal S., Khan A.I. (2020) Supervised Deep Learning in Fingerprint Recognition. In: Advances in Deep Learning. Studies in Big Data, vol 57. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6794-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6794-6_7)

Liu, Y., Zhou, B., Han, C. et al. A novel method based on deep learning for aligned fingerprints matching. Appl Intell 50, 397–416 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10489-019-01530-4>

# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności;
- Modalność biometryczna – mierzalna cecha człowieka, której pomiar dostarcza informacji umożliwiających rozpoznanie danej osoby od innych;

Przykłady: (czynniki genetyczne i środowiskowe (grzbiety, bruzdy punky charakterystyczne i pętle)



# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności;
- Modalność biometryczna – mierzalna cecha człowieka, której pomiar dostarcza informacji umożliwiających rozpoznanie danej osoby od innych;





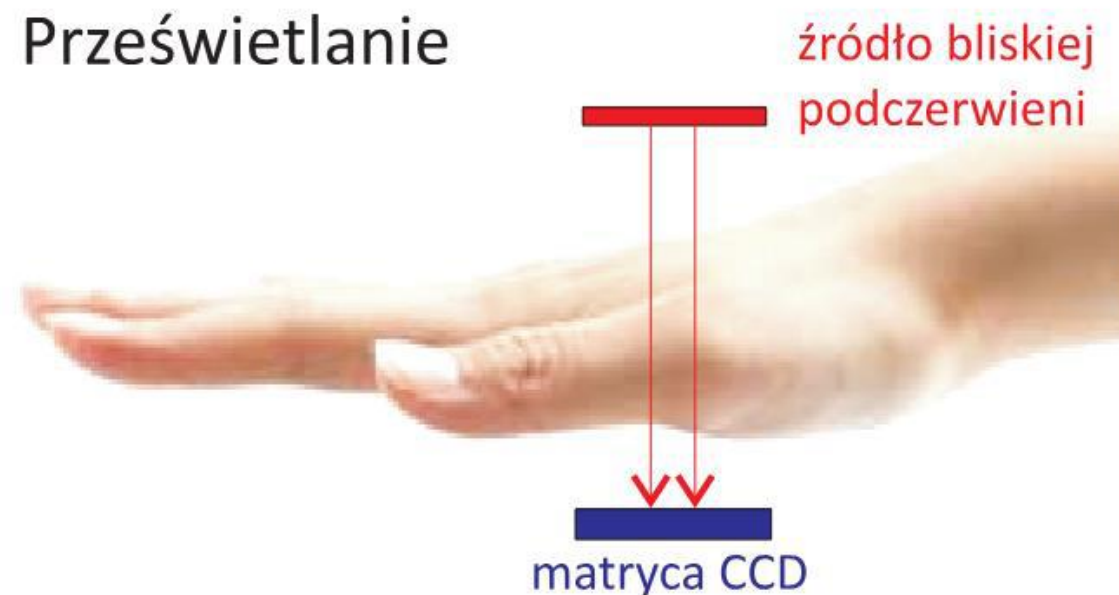
# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności;
- Modalność biometryczna – mierzalna cecha człowieka, której pomiar dostarcza informacji umożliwiających rozpoznanie danej osoby od innych;

## Oświetlanie



## Prześwietlanie





# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności – porównanie cech (skuteczność, koszt, wielkość wzorca, długookresowa stabilność, poziom bezpieczeństwa)

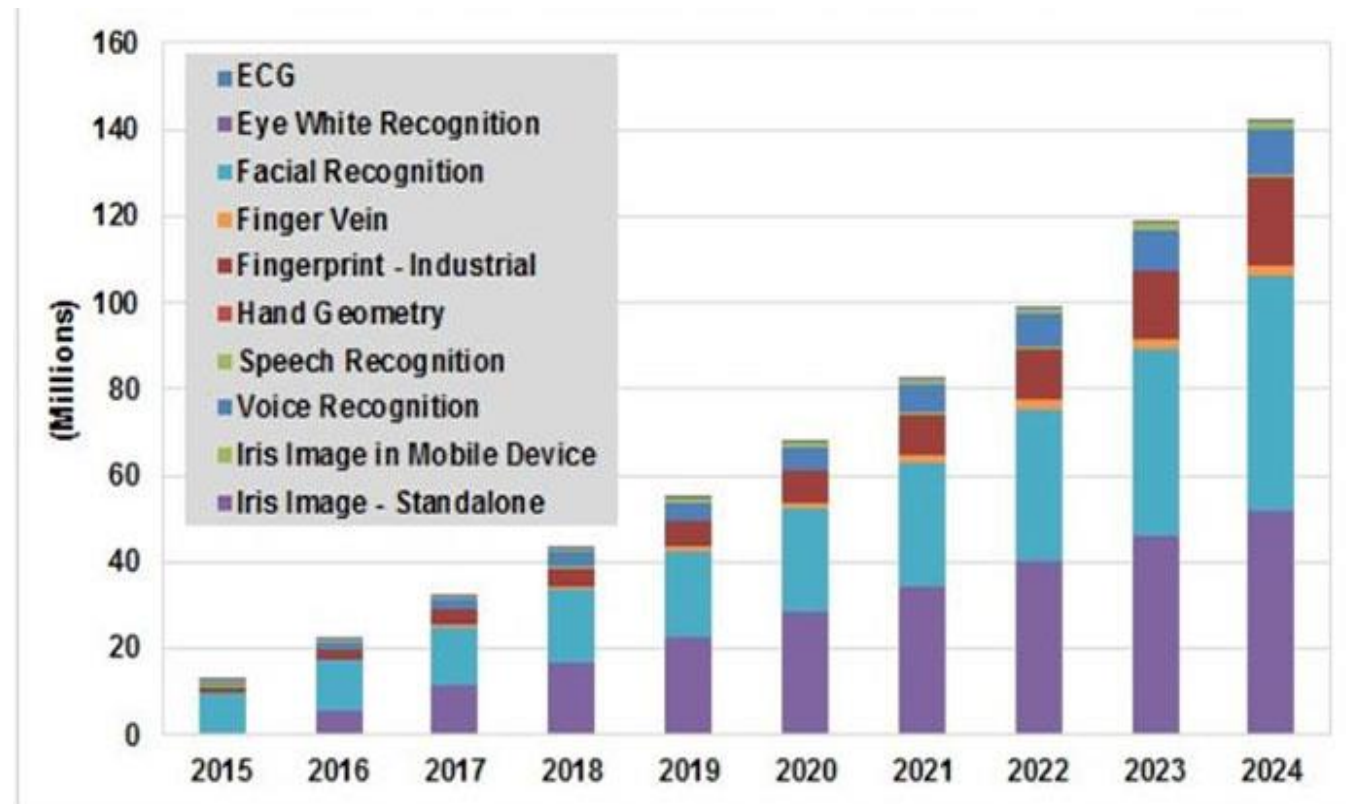
Biometrics Type	Accuracy	Cost	Size of Template	Long Term Stability	Security Level
Facial Recognition	Low	High	Large	Low	Low
Iris Scan	High	High	Small	Medium	Medium
Fingerprint Recognition	Medium	Low	Small	Low	Low
Finger Vein	High	Medium	Medium	High	High
Voice Recognition	Low	Medium	Small	Low	Low
Retina Scan	High	High	Medium	High	High

Źródło: D. Thakkar. Biometric Devices: Cost, Types and Comparative Analysis

Biometrics comparison, Fingerprint scanners, <https://www.bayometric.com/biometric-devices-cost/>

# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w biometrii

- Zastosowanie SI w biometrii – różne modalności; rynek urządzeń i licencji w zależności od modalności, przewidywany wzrost potencjału biznesowego do 2024



Źródło: D. Thakkar. Biometric Devices: Cost, Types and Comparative Analysis

Biometrics comparison, Fingerprint scanners, <https://www.bayometric.com/biometric-devices-cost/>

# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w chorobach neurodegeneracyjnych

- Identyfikacja choroby
- Bezpieczeństwo pacjenta
- Rehabilitacja
- Zachowanie produktywności

# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w chorobach neurodegeneracyjnych

- Możliwość przewidzenia wystąpienia choroby w ciągu najbliższych 5 lat;
- Nadzorowanie i monitorowanie pacjentów z zaburzeniami neurodegeneracyjnymi;
- Wspieranie lekarzy i zwiększenie ilości przeprowadzanych diagnoz, a tym samym zmniejszenie liczby występowanie zaawansowanych przypadków choroby;
- Skuteczne rozpoznanie choroby i przewidzenie dalszych rokowań w każdym stadium choroby;
- Analiza dużych zbiorów danych.

# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w chorobach neurodegeneracyjnych

## Choroba Alzheimerera

- Głównie badania PET i MRI
- Baza danych: The Alzheimer's disease Neuroimaging Initiative (ADNI)
- Używane algorytmy:
  - Splotowe sztuczne sieci neuronowe (CNN)
  - Głębokie sieci generatywne (Deep Belief Networks)
- Analiza rozmowy z pacjentem

# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w chorobach neurodegeneracyjnych

## Stwardnienie zanikowe boczne

- Interfejs do sterowania komputerem za pomocą mózgu (BCI)
- Próby przewidywania reakcji pacjentów na leki



# Eyetracking- rodzaje



Mirametrix



SMI



SMI



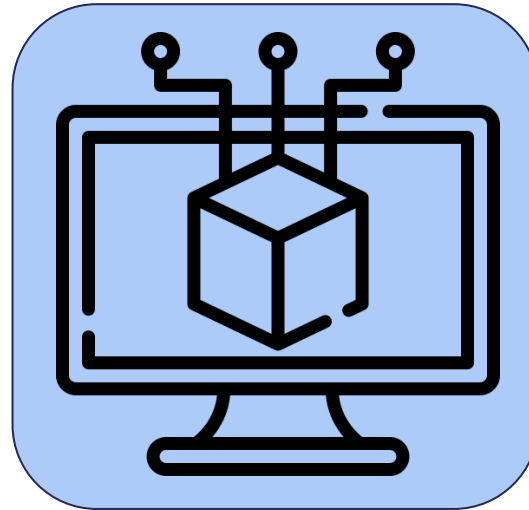
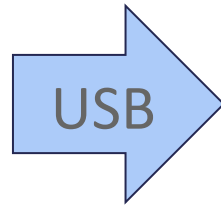
EyeLink



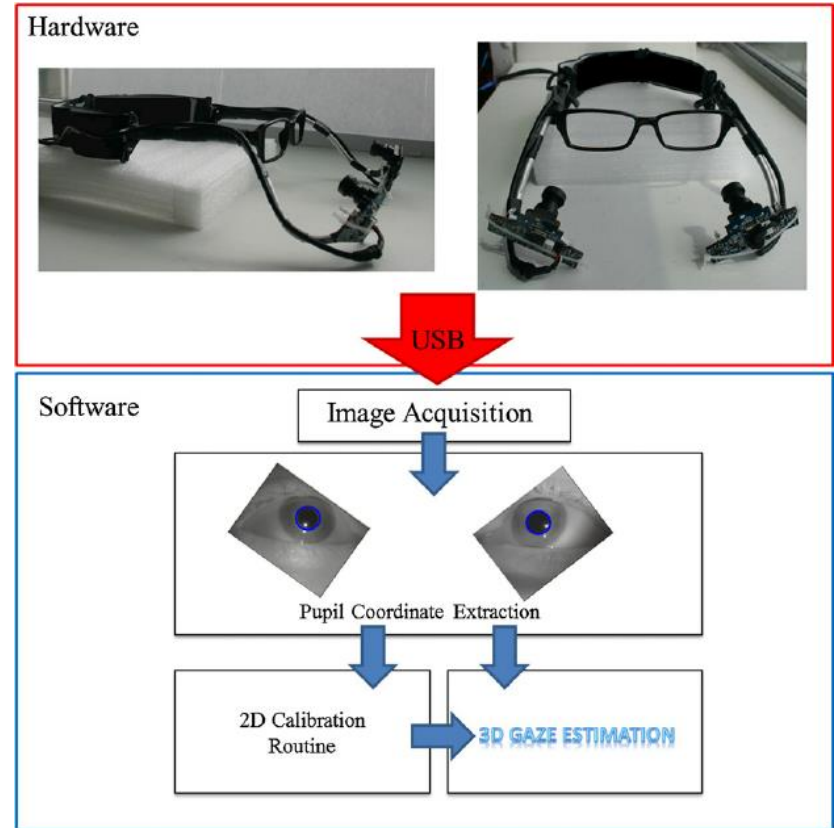
Kamil Pleskot (inż.)

Wady i zalety  
eyetrackerów  
nagłownych

# Zwykłe okulary



- + oświetlenie IR
- + dedykowane kamery rejestrujące
- + dodatkowe komponenty (akcelerometr, żyroskop)



# Eyetracking w chorobach mózgu

- Dodatek do tradycyjnych skal oceny poznawczej
- Wśród osób chorych na Alzheimera i stwardnienie rozsiane występują deficyty uwagi
- W przypadku padaczki badania są na wczesnym etapie, ale ma potencjał
- Problemy z płynnym śledzeniem obiektów u osób z Alzheimerem
- Szerokie spektrum zmian okoruchowych w chorobach neurologicznych
- Zmiana ruchów gałek spowodowana chorobami mózgu - wpływ na czaszkowy układ nerwowy
- Inne zachowanie osób zdrowych i chorych podczas badań z wykorzystaniem eyetrackingu
- Eye tracking zapewnia szybsze przeprowadzenie badań

# Żrenice w chorobach mózgu

- Badania prowadzone na osobie z amnezją wsteczną
- Zmierzono wielkość źrenicy podczas myślenia o przeszłości i przyszłości
- Oczy były monitorowane przez okulary do śledzenia wzroku
- Większy rozmiar źrenic podczas myślenia o przyszłości
- Większe źrenice - duże obciążenie poznawcze
- Wykorzystanie pomiarów aktywności oka w kontekście fizjologicznej oceny przyszłego myślenia u osób z amnezją wsteczną

# Trendy w badaniach eyetrackingowych



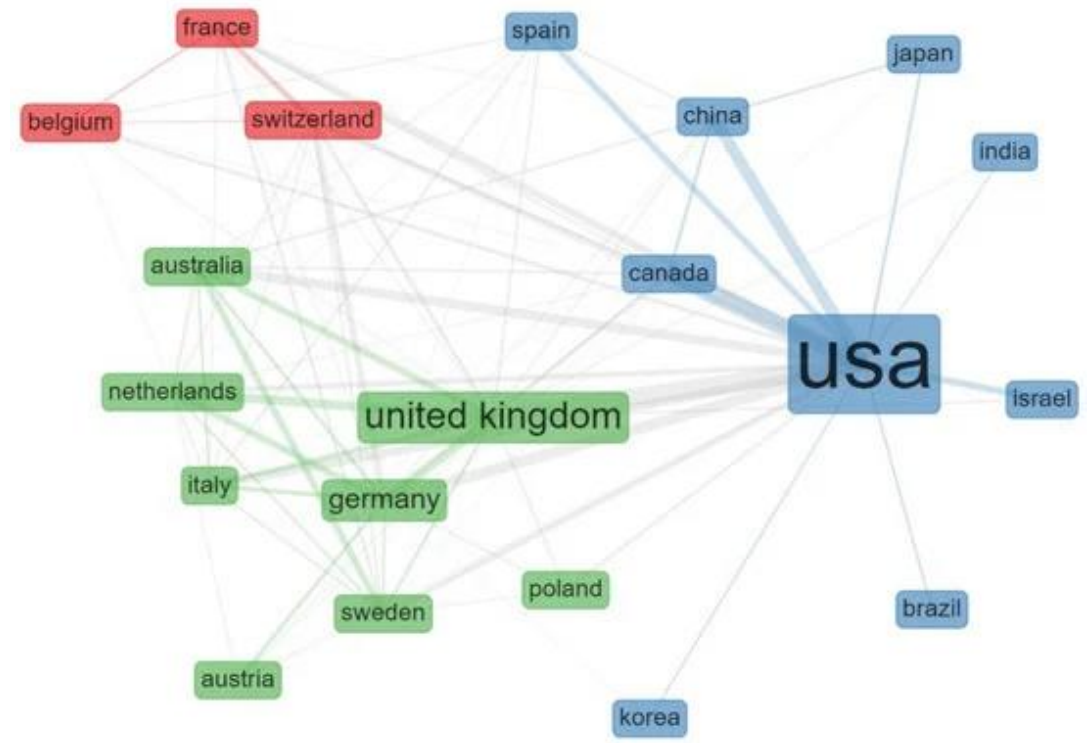
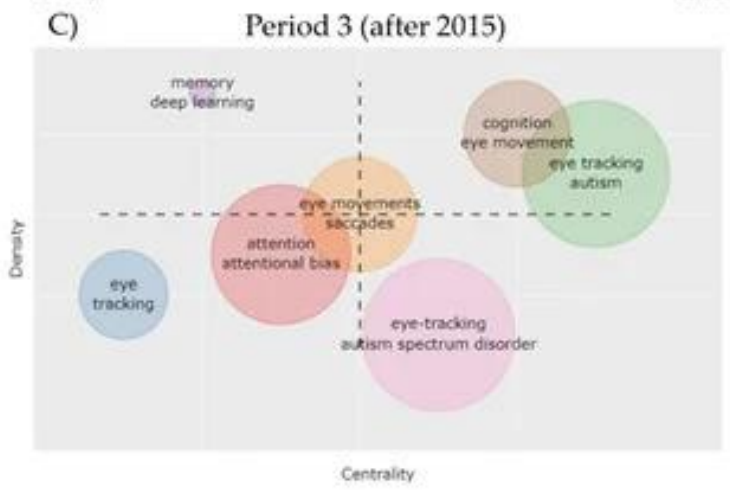
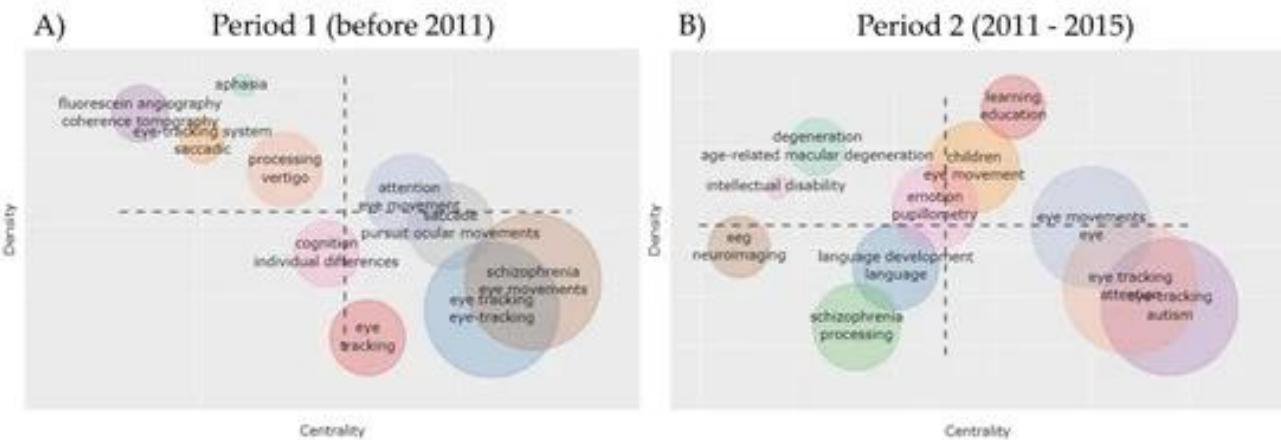
OBSZARY  
NAJOBSZERNIEJSZEJ ILOŚCI  
PUBLIKACJI



CHOROBY



TECHNOLOGIA





4

## Technologia- rozwiązania

# tobii

Tobii Pro Spectrum



Tobii Pro Glasses 3

- swoboda ruchu
- dobra widoczność
- szerokie pole widzenia 106 stopni
- soczewki blokujące IR



# 4

## Technologia- rozwiązania

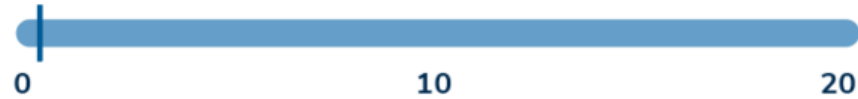
### Urządzenie EyeBOX

- FDA (agencja żywności i leków) zatwierdza test
- bazuje na technologii Oculogica
- diagnoza wstrząsu mózgu w 4 min.
- 100 tyś. pkt danych
- generuje ocenę diagnostyczną
- BOX Score-wyniki powyżej skali 10 oznaczają wstrząs mózgu
- obecnie stosuje się diagnostykę w formie “podążaj za palcem”
- przydatny przy sportach kontaktowych

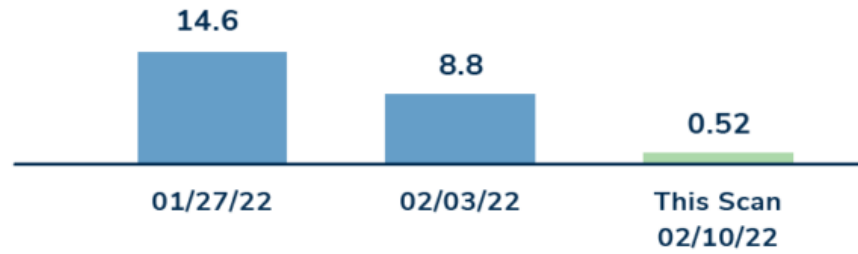


## EyeBOX Concussion Assessment

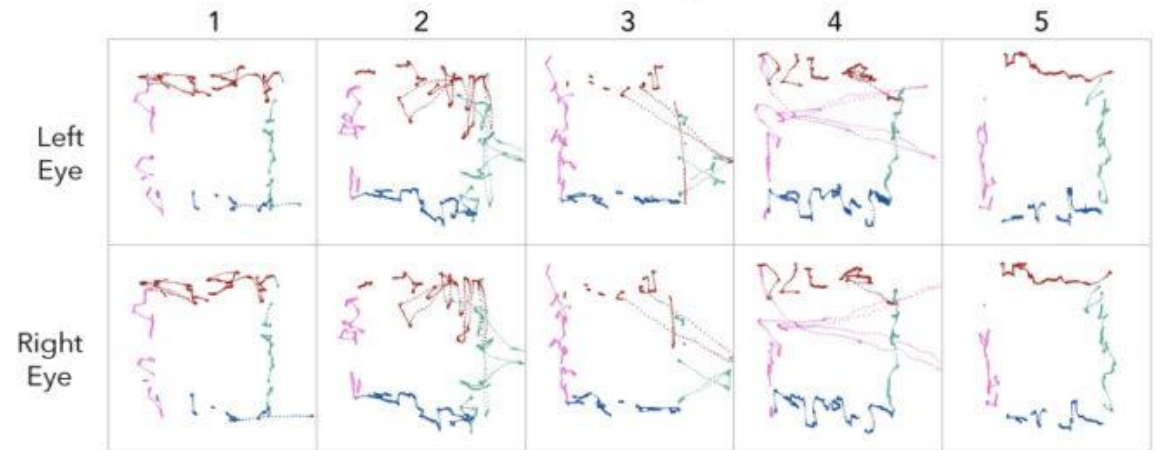
BOX Score™ 0.52 (of 20)



History



## Gaze Trace Cycles



## Position Over Time



# 4

## Technologia- rozwiązania

### Gaze tracker 2.0

- open source eye tracker
- możliwość wyboru hardware'u
- opcja kalibracji- IR, punkty
  - ustawienia kamer

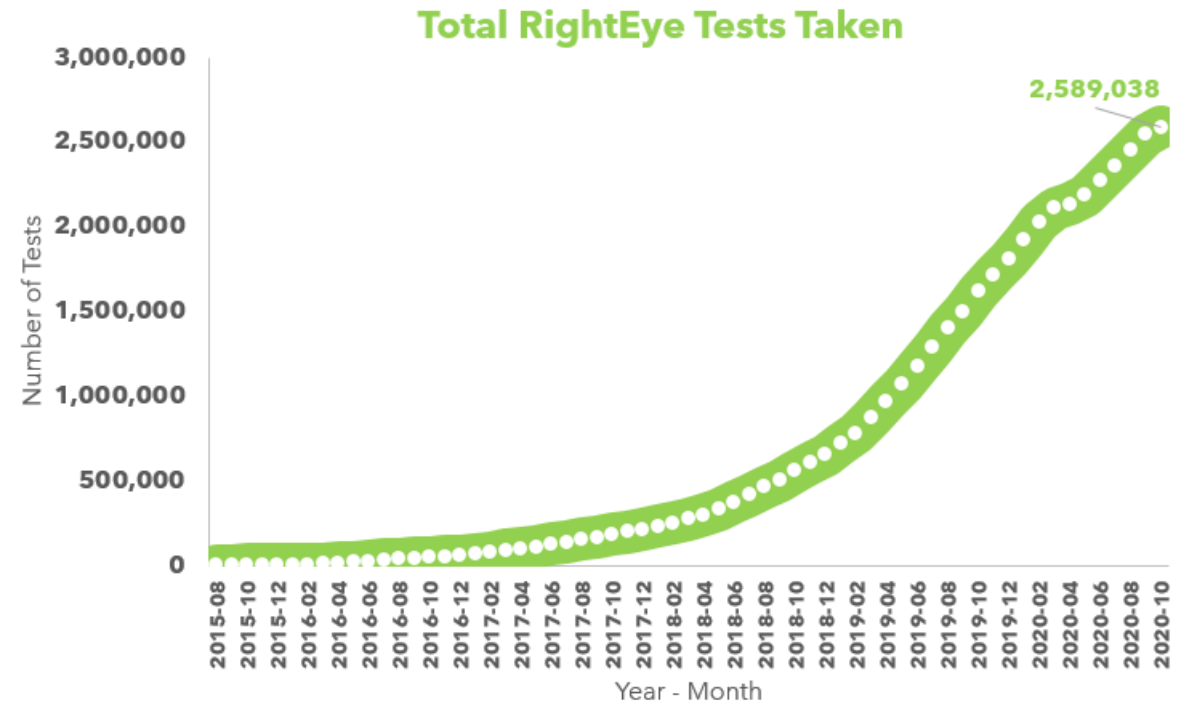


# 4

## Technologia- rozwiązania



- technologia testowana na sportowcach zawodowych
- badania wydajności, obserwacje
- pierwsze testy eye trackingowe w 2012
- rozwiązania: opieka oka, rehabilitacja, edukacja, sport
- program treningu domowego



4

# Technologia- rozwiązania



RightEye Sensorimotor

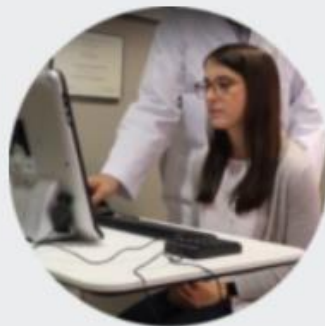
## KROK 1

Tryb przesiewowy



## KROK 2

Tryb testowania



## KROK 3

Diagnoza



## KROK 4

Leczenie i ponowna wizyta w domu





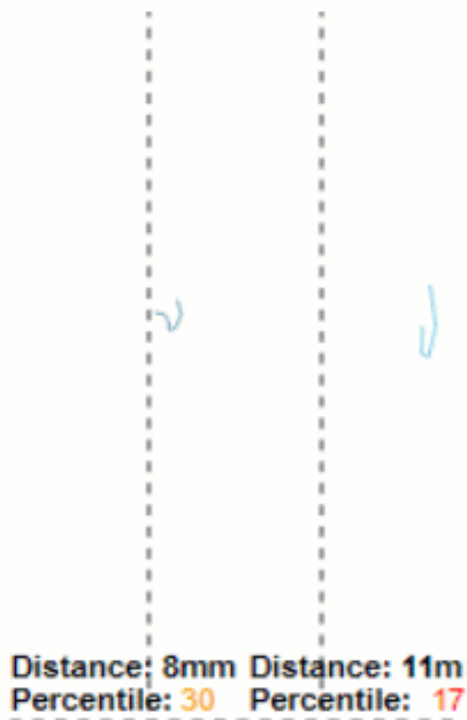
4

# Technologia- rozwiązania

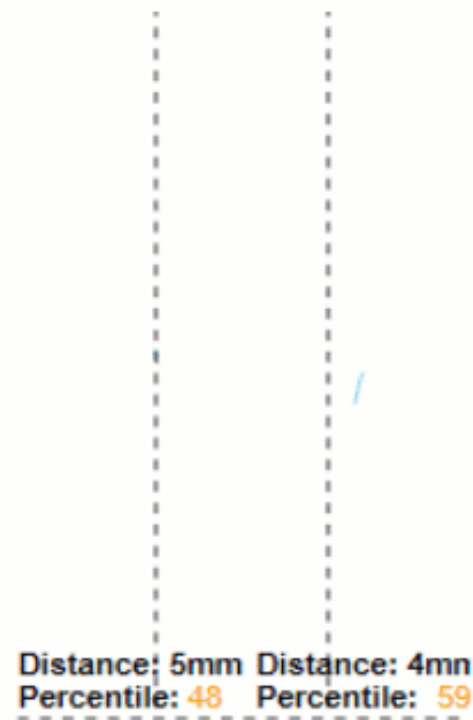


## Vertical Tracking Test

Before  
RightEye



After  
RightEye



- Dynamic Vision Module
- Sports Vision Module
- Reading Skills Module
- Sports Vision Training Videos

# 4

## Technologia- rozwiązania



- tryby przesiewowe, identyfikacji dysfunkcji obuocznych i okulomotorycznych.
- dwa urządzenia VisionTracker2 — urządzenie do śledzenia wzroku klasy badawczej, akcesoria i gwarancja
- Dostawa 4-punktowych czerwono-zielonych okularów
- wsparcie techniczne, szkolenia
- opcjonalnie: HTS2 Web-Based Vision Therapy



# Technologia- rozwiązania

## Sensorimotor Examination Report 4-Dot Test Results (33 cm)

PATIENT NAME: Jane D Patient      DOB: 3/15/1975      TEST DATE: 4/1/2021

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>Normal Retinal Correspondence W4LT (D): 4 lights (BSV) 4 lights, 1 red, 2 green and one mixed color</p>	<p>Abnormal Retinal Correspondence W4LT (D): 4 lights (ARC) 4 lights, 1 red, 2 green and one mixed color</p>	<p>Left Suppression W4LT (D): 3 Lights (R Supp.) Only three green lights</p>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>Right Suppression W4LT (D): 2 Lights (L Supp.) Only two red lights</p>	<p>Diplopia with Esotropia W4LT (D): 5 lights (Uncrossed Diplopia) ET Five Lights (2 red, 3 green)</p>	<p>Diplopia with Exotropia W4LT (D): 5 lights (Crossed Diplopia) XT Five Lights (2 red, 3 green)</p>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>Hypotropia/Hypertropia W4LT (D): 5 lights (Vertical Diplopia) RHypoT or LHypoT</p>	<p>Hypotropia/Hypertropia W4LT (D): 5 lights (Vertical Diplopia) RHypoT or LHypoT</p>	<p>Alternating Suppression W4LT (D): 2 or 3 Lights (All Supp.) Alternating 1 green light and 2 red lights</p>

## Sensorimotor Examination Report Saccades Test Results

PATIENT NAME: Jane D Patient      DOB: 3/15/1975      TEST DATE: 4/1/2021

Horizontal Saccades

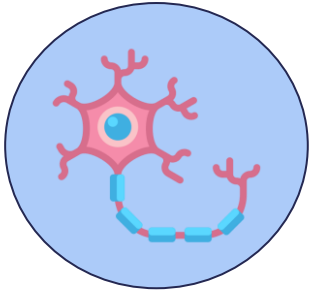
Metrics	Right Eye	Left Eye
Saccade (#)	16	16
Fixation (#)	16	16
On Target (#) (9mm)	2	2
Overshot Target (#) (9-18mm)	8	5
Undershot Target (#) (9-18mm)	1	2
Overshot Target (#) (18-36mm)	3	5
Undershot Target (#) (18-36mm)	2	1
Missed (#) (> 36m)	0	1
Saccadic Efficiency (mm)	5.77	4.94
Saccadic Targeting (mm)	14.58	13.39
Speed/Accuracy Trade-off (dps/mm)	2.66	2.92
Saccadic Recovery (mm)	1.39	1.76
Saccadic Variance (mm)	2.6	3.09
Saccadic Velocity (d/s)	38.76	39.11

Vertical Saccades

Metrics	Right Eye	Left Eye
Saccade (#)	18.00	18.00
Fixation (#)	18.00	18.00
On Target (#) (9mm)	5.00	2.00
Overshot Target (#) (9-18mm)	4.00	9.00
Undershot Target (#) (9-18mm)	2.00	1.00
Overshot Target (#) (18-36mm)	0.00	0.00
Undershot Target (#) (18-36mm)	2.00	0.00
Missed (#) (> 36m)	5.00	6.00
Saccadic Efficiency (mm)	5.78	7.07
Saccadic Targeting (mm)	21.37	17.43
Speed/Accuracy Trade-off (dps/mm)	1.95	2.59
Saccadic Recovery (mm)	1.13	1.73
Saccadic Variance (mm)	3.32	4.80
Saccadic Velocity (d/s)	41.63	45.18

# 4

## Technologia- zastosowania



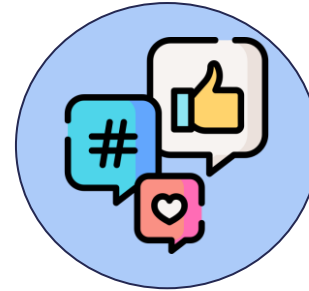
### neuronauka

- zbieranie informacji przez oko
- zdolności poznawcze
- pamięć



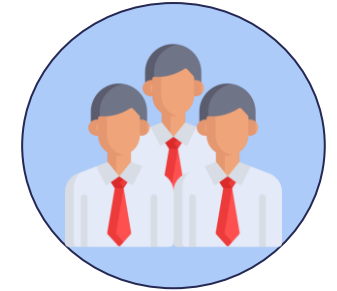
### pediatria

- rozwój percepcyjny
- rozwój emocjonalno-społeczny



### marketing

- pomiar uwagi
- pomiar spontaniczności reakcji



### firmy

- pomiar efektywności pracy
- zrozumienie środowiska ich pracy
- czynniki ludzkie

# 4

## Technologia- zastosowania



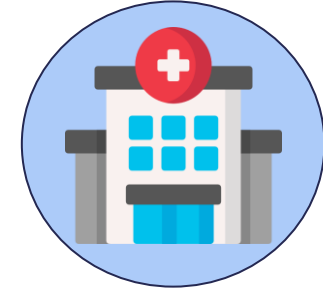
### sport

- zrozumienie osiągnięć sportowca
- sprawdzenie koncentracji
- koordynacja ręka-oko



### edukacja

- badanie procesu uczenia
- koncentracja uczniów podczas nauki
- diagnozowanie zaburzeń



### badania kliniczne

- udoskonalanie technologii
- poprawa w leczeniu chorób mózgu- autyzm, ADHD, Parkinson, Alzheimer

# Technologie wykorzystujące SI – zastosowania w chorobach układu nerwowego

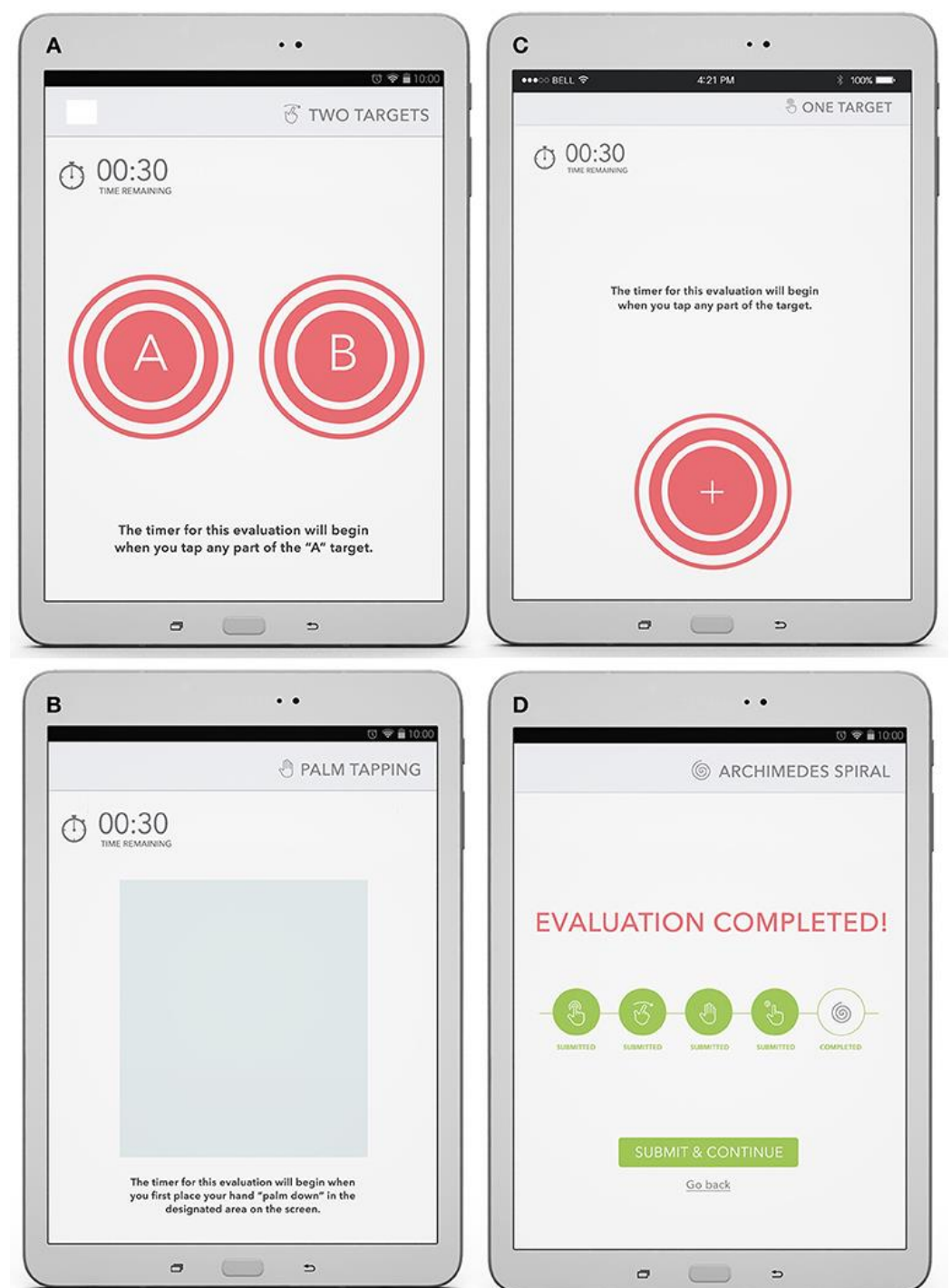
## Epilepsja

Do detekcji wykorzystuje się głównie sygnały EEG

Wykorzystywane algorytmy:

- Maszyny wektorów nośnych (SVM)
- Optymalizacja za pomocą roju cząstek (PSO)
- Algorytmy genetyczne (GA)
- Logika rozmyta (Fuzzy logic)

**Figure 1.** Screenshots of iMotor-based tapping tests. **(A)** Two-target test: the participants alternately tapped with the index finger, as fast and as accurately as possible, the centers of two concentric circles on the tablet screen. **(B)** Pronation-supination test: the participants alternately tapped the palmar and dorsal surfaces of their hand as fast as possible on the tablet screen. **(C)** Reaction time: the participants tap on the target with their index finger following a visual queue as fast as possible. **(D)** Task completion screen: sample patient score report, available immediately to the patient.





# Główne cele edukacji lekarzy za pomocą AR

Uproszczenie przekazywania złożonych informacji

Rozwijanie umiejętności komunikacyjnych

Zwiększenie poczucia rzeczywistości

Ułatwienie korzystania z dużych zbiorów danych

Pogłębienie zrozumienia obrazowania medycznego

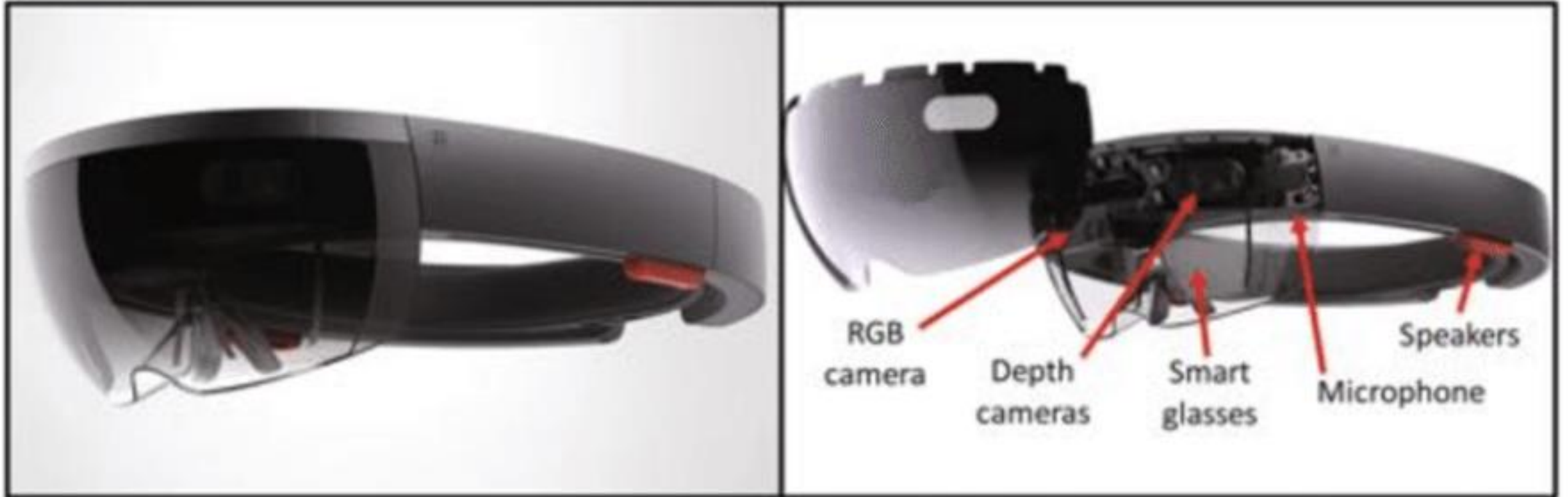




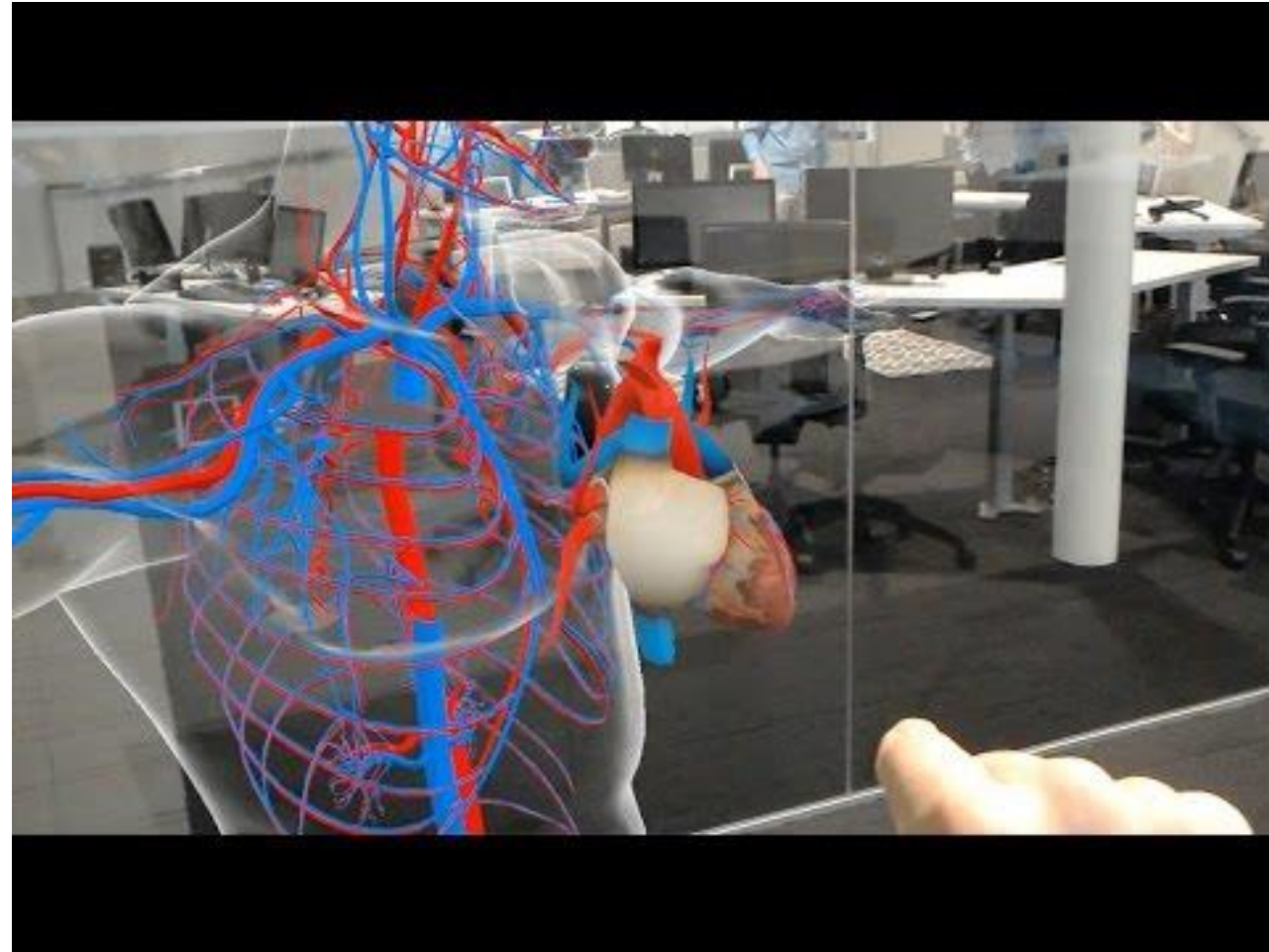


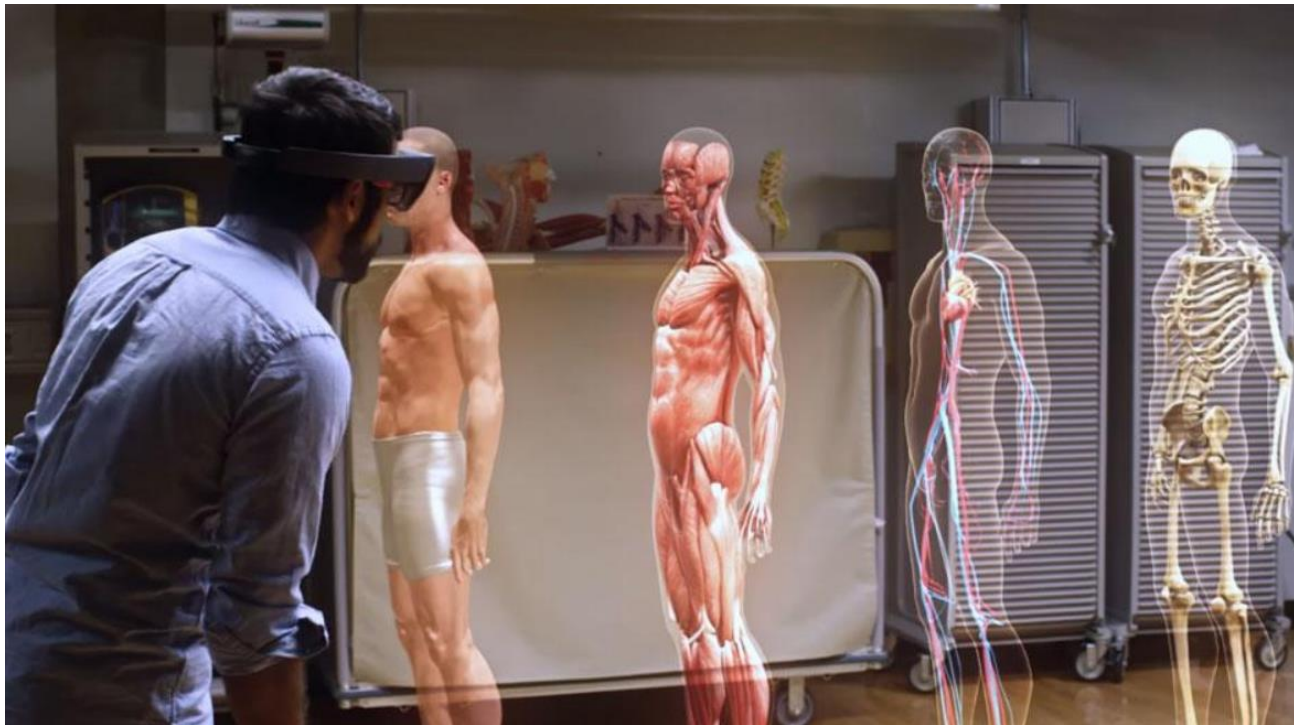
**HoloHuman** - Aplikacja AR pokazująca wirtualne ciało człowieka umieszczone na prawdziwym stole do badań. Użytkownik jest w stanie nawiązać interakcję z modelem i interfejsem za pomocą zestawu Microsoft HoloLens. Struktury, narządy i układy mogą być badane indywidualnie lub w kombinacji z innymi, a także są w pełni wspierane przez narrację wizualną.

# Microsoft HoloLens



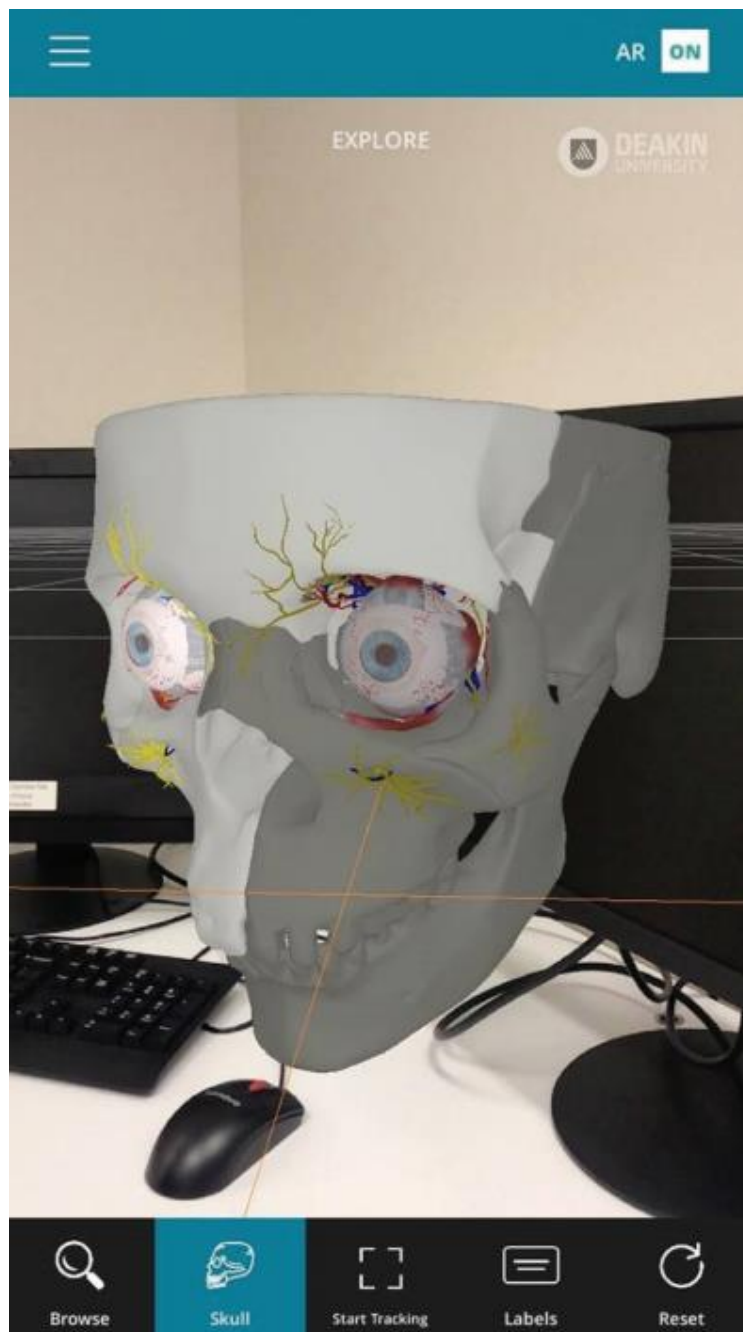
# Microsoft HoloLens





**HoloAnatomy** - Aplikacja AR pokazująca wirtualne ciało człowieka umieszczone na prawdziwym stole do badań. Użytkownik jest w stanie nawiązać interakcję z modelem i interfejsem za pomocą zestawu Microsoft HoloLens. Struktury, narządy i układy mogą być badane indywidualnie lub w kombinacji z innymi, a także są w pełni wspierane przez narrację wizualną.





**OcuAR SIM** - program wspomagający studentów optometrii dostępny na wiele urządzeń, takich jak tablety i smartfony. Pozwala poznać złożone relacje przestrzenne warstw oka, mięśni zewnątrzgałkowych, związanych z nimi nerwów i naczyń krwionośnych oraz dowiedzieć się, jak wszystkie te elementy mieszczą się w oczodole



# Opinie studentów

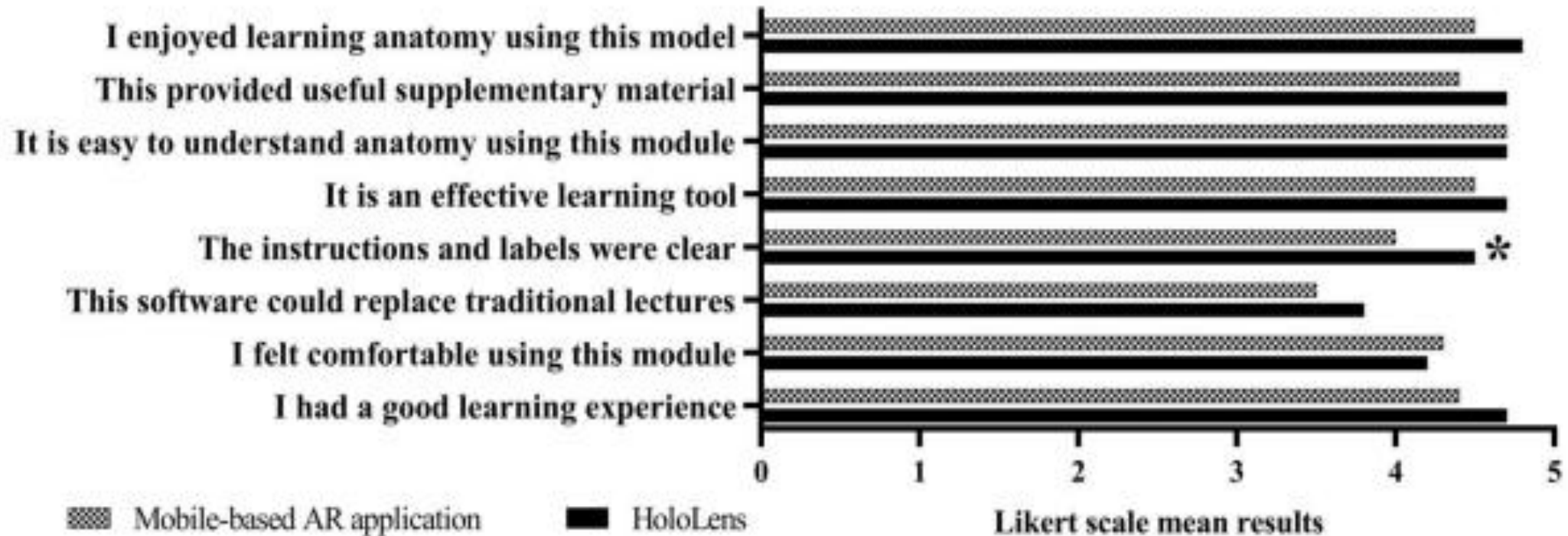
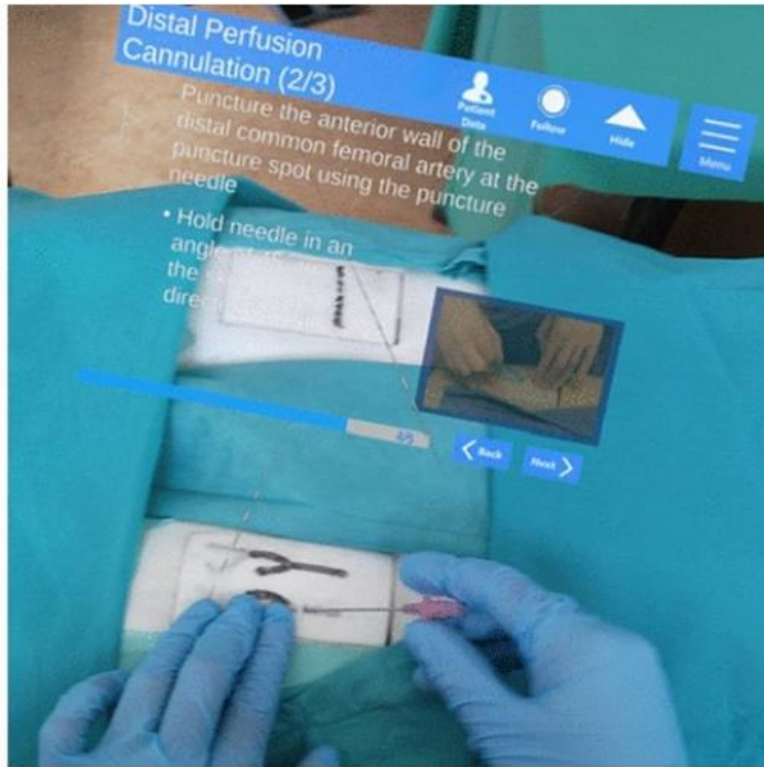
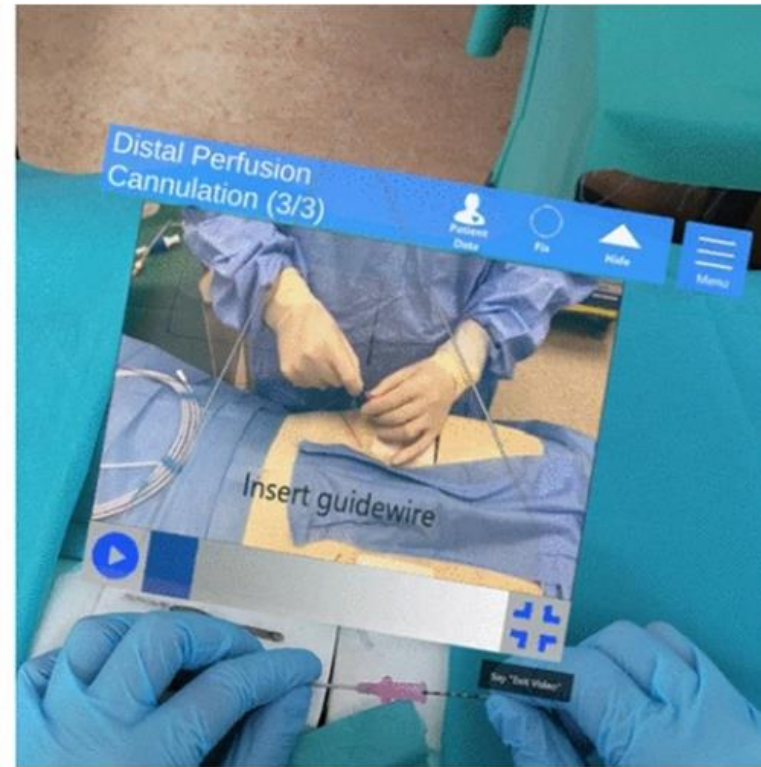


Figure 3: Participant perceptions of learning the anatomy and physiology of the brain using the mobile-based AR application and the HoloLens. Data are reported on a 5-point Likert scale (1 = strongly disagree, 5 = strongly agree). \* $p = .02$

# AR do treningów praktycznych



**(a)** Photos



**(b)** Videos



**(c)** 3D Models

Three information representation types complementing the text-based step-by-step instructions in AR

# AR do treningów praktycznych

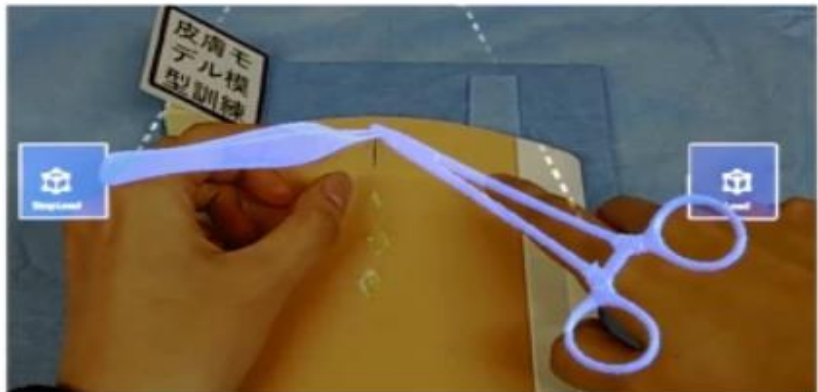


Fig. 8

a



b



HoloLens 2 screenshot while practicing with the replication system. **a** Imitating the replicated procedure by manipulating the actual surgical instruments. **b** Occlusion of 3D-CG models by hands.





**HoloPatient** - system pozwalający studentom na oglądanie wolumetrycznego wideo 3D przedstawiającego pacjenta siedzącego na krześle, wchodzenie w interakcję z jego panelem wyników badań i funkcji życiowych w czasie rzeczywistym, za pomocą urządzenia Microsoft HoloLens 2. Tutaj pacjent opisuje ból w klatce piersiowej związany z zawałem mięśnia sercowego.



# HoloPatient



# Zalety technologii AR w treningu lekarzy



Silnie i szybko rozwijająca się dziedzina

Szeroki zakres narzędzi (od aplikacji po symulatory)

Możliwość bardziej efektywnego samouczenia przez lekarzy

Mniejsze negatywne skutki zdrowotne w porównaniu z VR

Możliwość treningu w bezpiecznych warunkach



# Wady technologii AR w treningu lekarzy



Nadal dużo mniej implementacji AR niż VR

Wysokie koszty

Potrzeba mocniejszego podparcia wniosków  
(zwiększenie grup testowych, sprawdzenie  
trwałości nabytej wiedzy)



# Możliwości dalszego rozwoju



AR w połączeniu z podręcznikami dla lekarzy

Rozwój aplikacji na personalne urządzenia mobilne

Dodanie bodźców zapachowych

Tworzenie nowych implementacji i ulepszanie obecnych



Mobile App Rating Scale (MARS) to assess app quality across ADRD-related apps focused on self-care management for people living with ADRD (Alzheimer disease and related dementias).

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9006134/>

Apps	Quality mean score, mean	Engagement, mean	Functionality, mean	Aesthetics, mean	Information, mean	Subjective quality score, mean
------	--------------------------	------------------	---------------------	------------------	-------------------	--------------------------------

## MARS dimension and categories

Examples of low-score drivers

Examples of high-score drivers

### Engagement

Entertainment

Entertaining content such as games, chat, videos, and forums that do not function; extensive and overwhelming content; and very little content

Use of multimedia (eg., combination of text, video, audio, images, and animations)

Interest

Text only with no images, large blocks of text, frequent system failure, constantly linking to outside website, and no ability to customize experience

Variety of content, features, and color throughout the app

Customization

Limited, inoperable, or missing customization features

Variety of customization options (eg., privacy settings, preference selection,)

Interactivity

Interactive content such chat, graphs, and forums does not function;

Feedback systems (eg., confirmations, error messages,

Target group

Small font, no ability to zoom, provides only general information, and no privacy settings

Content relevance and usefulness of information

Functionality

ect.



- Medical VR is an area with great opportunities, which is confirmed by many clinical researchers and real medical practitioners [[87](#),[88](#)]. It helps physicians, nurses and students to improve the quality of medical skills through real-life scenarios, which provide an opportunity to learn-by-doing. Although the field is brand new, there are already great examples of VR applications having a positive effect on medical education. In this section, the most interesting VR medical educational applications are briefly described. [Figure 4](#) presents screenshots of selected VR environments.
- <https://www.mdpi.com/2078-2489/10/10/318>

# Bibliografia

- [1] <https://onkolmed.pl/najczestsze-choroby-mozgu-neurodegeneracyjne-choroby-mozgu>
- [2] <https://www.wapteka.pl/blog/artukul/zapalenie-opon-mozgowych-wszystko-co-musisz-wiedziec-przyczyny-objawy-i-leczenie>
- [3] <https://www.medme.pl/artykuly/irydologia-czym-jest,67677.html>
- [4] <https://www.medonet.pl/zdrowie,irydologia---powstanie-nauki--badania-irydologiczne,artykul,1727050.html>
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=qqEeSyWm8iQ>
- [6] <https://www.odkrywamyzakryte.com/irydologia/>
- [7] <http://www.biomedical.pl/zdrowie/czym-jest-irydologia-4278.html>
- [8] [https://www.alibaba.com/product-detail/5-0mp-Digital-USB-Iridoscope-Iris\\_62132503586.html](https://www.alibaba.com/product-detail/5-0mp-Digital-USB-Iridoscope-Iris_62132503586.html)
- [9] <https://ipskn.up.krakow.pl/wp-content/uploads/sites/18/2021/11/Eyetracking-ksiazka.pdf>
- [10] <https://slideplayer.pl/slide/11849522/>
- [11] <https://zie.pg.edu.pl/badania/laboratoria/laboratorium-customer-experience>
- [12] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10072-020-04310-y>
- [13] <https://n.neurology.org/content/34/1/99.short>
- [14] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010482519301040>
- [15] <https://www.mdpi.com/2076-3425/12/1/115>
- [16] <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/18/5349>
- [17] <https://www.mdpi.com/2411-5150/5/4/56>
- [18] <https://www.interlab.pl/produkt/okulary-tobii-pro-3.html>
- [19] <https://www.mp.pl/okulistyka/aktualnosci/210010,fda-zatwierdza-eyebox-w-diagnostyce-wstrzasnienia-mozgu>
- [20] <https://oculologica.com/>
- [21] <https://innowacje.newseria.pl/news/technologia-sledzenia,p257865415>
- [22] <https://righteye.com/products/sports-vision/>
- [23] Łukasz Urbański, Zastosowanie technologii śledzenia wzroku i rozwartości źrenicy w diagnozowaniu i leczeniu chorób mózgu

# Bibliografia

- Parsons D., MacCallum K., Current Perspectives on Augmented Reality in Medical Education: Applications, Affordances and Limitations, 2020
- Salehahmadi F., Hajialiasgari F., Grand Adventure of Augmented Reality In Landscape of Surgery, 2019
- Tang K., Cheng D., Mi E., Greenberg P., Augmented reality in medical education: a systematic review, 2020
- Wolf J., Wolfer V., Halbe M., Maisano F., Lohmeyer Q., Meboldt M., Comparing the effectiveness of augmented reality-based and conventional instructions during single ECMO cannulation training, 2021

Dziękuję

Bożena Kostek