



Medical Robotics Reports



www.medicalroboticsreports.eu



Digital Innovation Hub
in Healthcare Robotics

- 'DIH Robotics in Healthcare' & FRK that is a continuation of HERO
- Raport – zdalne sterowanie robotem Robin Heart pomiędzy Zabrzem a Dubajem
- SOLARBOT: How robotics may relieve OR physicians in 21st century
- Instrumenty EndoWrist® stosowane w systemie robotowym da Vinci
- Interfejsy mózg-komputer – krótka historia
- ISMR ACADEMY. Simple (?) question.
#AI #Medical Robots #Diagnostic Robots



OFFICIAL JOURNAL OF ISMR

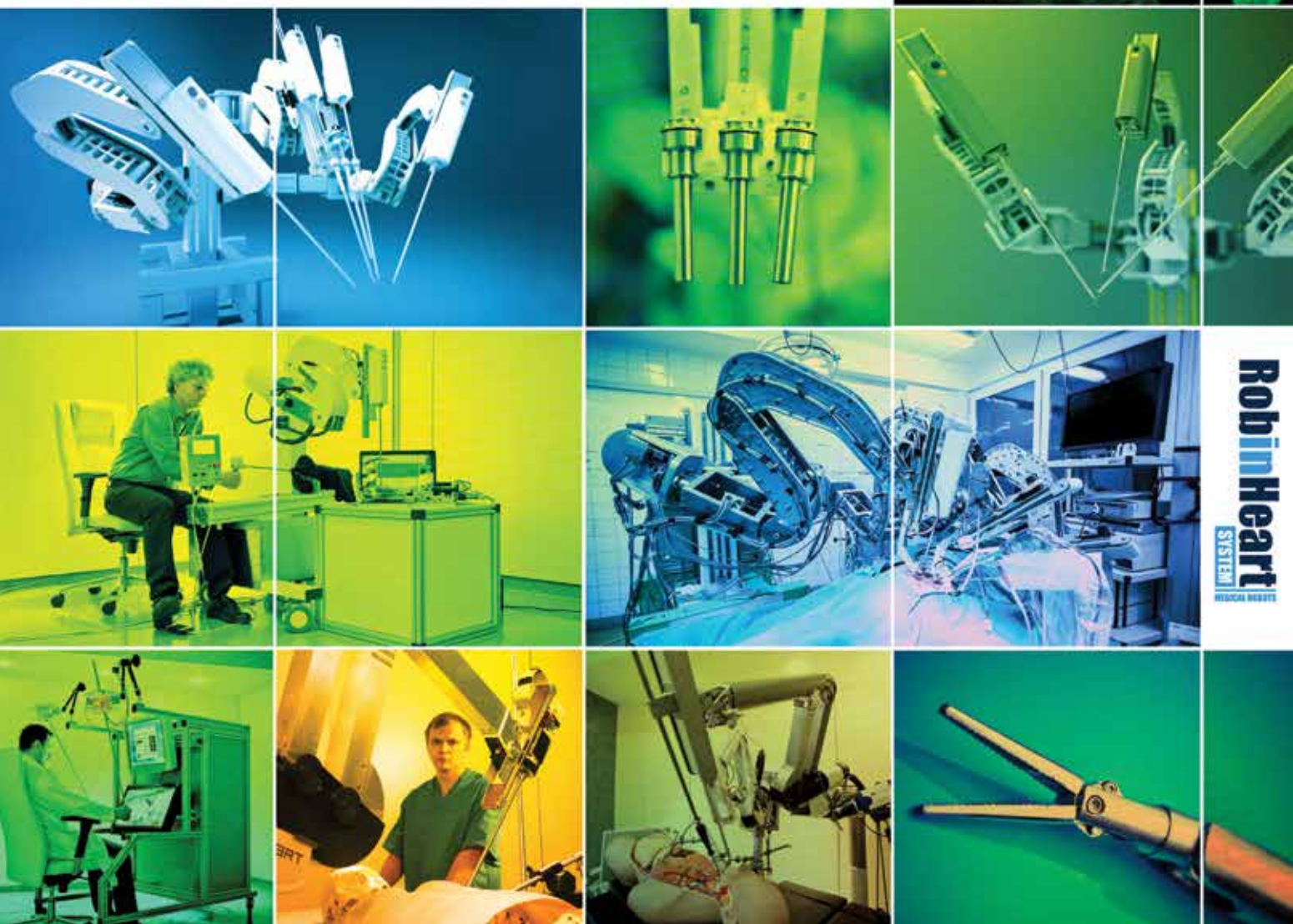
International Society
for Medical Robotics





RobinHeart

SYSTEM MEDICAL ROBOTS





fot. Rafał Masłowski

Drogi Czytelniku,

zapraszam do kolejnego wydania naszego oryginalnego czasopisma naukowego poświęconego robotyce medycznej. Jak zwykle znaleźć można tu i prace naukowe i raporty dotyczące różnych dziedzin działalności na rzecz robotyki medycznej. Zapraszam do lektury: roboty diagnostyczne i chirurgiczne na odległość, łaziki marsjańskie, interfejsy mózgowie, metody oceny stanu pacjenta podczas rehabilitacji. Polecam raport projektu europejskiego DIH Healthcare Robotics HERO oraz podsumowanie spotkań organizowanych przez Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej, raporty firm o nowych produktach czy opisy aktywności akademickiej.

Niestety ostatnio musieliśmy pożegnać wiele znaczących dla naszej dziedziny naukowców i nauczycieli, animatorów życia wspólnoty inżynierów i lekarzy. Na pewno trudno będzie się podnieść po ich stracie. W tym numerze znajdują się wspomnienia trzech takich bohaterów: prof. Krzysztofa Tchonia, prof. Krzysztofa Kozłowskiego oraz prof. Mariana Zembała.

Oddajemy czasopismo złożone z najciekawszych zebranych materiałów w ciągu ostatnich dwóch lat, więc obecne wydanie z przełomu lat 2021/2022 nosi numer 10/11.

Mam nadzieję, że wszyscy, którzy mierzymy się z problemami dnia powszedniego od pandemii do wojny rosyjskiej, od braku środków finansowych na badania i rozwój do inflacji i... kolejnej zmiany priorytetów spotkamy się znowu na następnych konferencjach i warsztatach organizowanych przez nasze Stowarzyszenia i bę-

dziemy mogli rywalizować na wykonane roboty, a nie na tłumaczenia ich braku.

Technologia zmienia świat, a technologię napędza nauka, a naukę tworzą uczniowie. A naukę tworzą zbuntowani uczniowie, czyli... uczniowie dobrych nauczycieli. Ceńcie nauczycieli zatem.

To technologia, dostęp do narzędzi mogą zmieniać świat. Ale to nasza odpowiedź na te pytania go zmienia. Już wielokrotnie straciliśmy raj z powodu decyzji konsumpcyjnej. Uważajcie zatem na swoje wybory.

W medycynie nie chodzi o to by żyć najdłużej tylko, by każdy miał szansę je przeżyć – wbrew chorobom, wypadkom czy innym losowym zagrożeniom, które czyhają na każdego z nas. Potrafimy już uzupełniać wiele części człowieka i technologicznie wspierać życie.

Brakuje nam milionów lekarzy i innych specjalistów ochrony zdrowia. Twórzmy zatem roboty, bo to one im bardziej będą samodzielne, tym bardziej my, ludzie, będziemy wolni.

Proszę pamiętać, że Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej i łamy naszego czasopisma są dla Was. A My dla robotów czyli dla...ludzi. Im więcej robotów będzie, i w pracy, i w domu, i w fabryce i usługach, tym więcej nas będzie dla ludzi i dla nas samych. Uwalniamy zatem swoje dłonie, by móc podać je potrzebującym.

Zbigniew Nawrat
Prezydent ISMR
Redaktor MrR
Zabrze, grudzień 2022

Dear Reader,

please see the next issue of our original scientific journal MrR. As usual, here you can find scientific papers and reports on various fields of activity in the field of medical robotics. Feel free to read: diagnostic and surgical robots (remote), Martian rovers, brain interfaces, and methods of assessing the patient's condition during rehabilitation. I recommend the report on the European project DIH Healthcare Robotics HERO and a summary of meetings organized by the Association for Medical Robotics, with company reports on new products and descriptions of academic activity.

Unfortunately, we recently had to say goodbye to many significant scientists and teachers, animators of the community of engineers and doctors. It will surely be hard to recover from losing them. This issue includes the memories of three such heroes: prof. Krzysztof Tchoń, prof. Krzysztof Kozłowski and prof. Marian Zembala.

We are handing over a journal composed of the most interesting materials collected in the last two years, so the current issue from the turn of 2021/2022 is number 10/11.

I hope that all those who face weekly problems ranging from the pandemic to the Russian war, from the lack of funds for research and development to inflation will be able to meet again at the next set of conferences and workshops organized by our Associations and will be able to discuss the work being done and not the lack of new advancements in the field.

Technology is changing the world, and technology is driven by science, and science is created by students. And science is created by rebellious students, that is... students of good teachers. Therefore, value the teachers in this field.

While it is technology and the access to its tools that can change the world, it is our answer to scientific questions that causes changes in it. We have already lost paradise many times before because of a consumer decision, so please be careful with your choices.

In medicine, it is not about living the longest, but that everyone has a chance to survive it - diseases, accidents or other random threats that await each of us. We can already complement many parts of a person and support life technologically.

Today, we are missing millions of doctors and other health professionals. So let's create robots, because the more independent they are, the more free we humans will be.

Please remember that the International Society for Medical Robotics and the pages of our magazine are for you. And we are for robots, that is, for... people. The more robots there will be, both at work and at home, in factories and in services, the more there will be for us people and for ourselves. So we release our hands to be able to give them to those in need

Zbigniew Nawrat
President ISMR,
Editor of Medical Robotics Reports
Zabrze, December 2022

Medical Robotics Reports

Redakcja: ul. Wolności 345a, 41-800 Zabrze

Wydawca: Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej
International Society for Medical Robotics

Rada Naukowa: • Richard Satava, MD (Washington Medical University, USA) • prof. Mehran Anvari (McMaster University, Hamilton, Kanada) • prof. Kevin Warwick (Reading University, Anglia) • prof. Krzysztof Tchoń (Politechnika Wrocławska) • prof. Kaspar Althoefer (Kings College, London) • dr Piotr Sauer (Politechnika Poznańska) • prof. Leszek Podśękowski (Politechnika Łódzka) • dr Krzysztof Mianowski (Politechnika Warszawska) • prof. med. Romuald Cichoń (Drezno, Wrocław, Warszawa) • prof. Josef Kozak (AAG/BBRAUN Tuttlingen) • prof. med. Andrzej Bochenek (WST, PAKS) • prof. W. Konrad Karcz (LMU München) • Sławomir Marecik, MD (UIC/Lutheran Hospital Chicago, USA)

Redaktor naczelny: dr hab. n. med. Zbigniew Nawrat

Dyrektor zarządzający: lek. mgr Dominik Pawliński

Redaktor tematyczny: mgr inż. Łukasz Mucha

Redaktor statystyczny: dr hab. inż. Paweł Kostka

Redaktor językowy: Christopher Wisnik (Hoboken University Hospital (CarePoint Health) in Hoboken, New Jersey)

Sekretarz redakcji: mgr inż. Katarzyna Ciemny

DTP: mgr inż. Katarzyna Ciemny, Marek Szulc

Webmaster: Katarzyna Ciemny, www.medicalroboticsreports.eu

Okładka: autorem zdjęcia jest Mariusz Jakubowski

Druk: Drukarnia Fischer, Bytom

Redakcja zastrzega sobie prawo adiacji, skracania oraz zmiany tytułów nadesłanych materiałów. Opinie zawarte w artykułach wyrażają poglądy autorów i nie muszą być zgodne ze stanowiskiem Redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść zamieszczonych reklam. Wszelkie prawa zastrzeżone.

SPIS TREŚCI:

WPROWADZENIE – ROBOTY MEDYCZNE 2022 6	SOLARBOT: HOW ROBOTICS MAY RELIEVE
Zbigniew Nawrat, Dariusz Krawczyk	OR PHYSICIANS IN 21ST CENTURY 77
PROF. DR HAB. INŻ. KRZYSZTOF TCHOŃ. WSPOMNIENIE 16	Łukasz Jaworski
PROF. DR HAB. INŻ. KRZYSZTOF KOZŁOWSKI.	INSTRUMENTY ENDOWRIST® STOSOWANE
WSPOMNIENIE 18	W SYSTEMIE ROBOTOWYM DA VINCI 80
PROF. DR. HAB. N. MED. MARIAN ZEMBALA.	Dominika Szuberla, Roman Sosnowski, Adam Grudziński,
WSPOMNIENIE 21	Monika Nekanda-Trepka, Tomasz Borkowski, Tomasz Jakubczyk,
RAPORT – ZDALNE STEROWANIE ROBOTEM ROBIN	Jerzy Draus
HEART POMIĘDZY ZABRZEM A DUBAJEM 24	XVIII KONFERENCJA ROBOTY MEDYCZNE – ZABRZE 2020 ... 84
Dariusz Krawczyk, Zbigniew Nawrat	Zbigniew Nawrat
NOWOCZESNE OSIĄGNIĘCIA ROBOTYKI I CYBERNETYKI	XIX KONFERENCJA ROBOTY MEDYCZNE – ZABRZE 2021 89
WE WSPÓŁCZESNEJ DIAGNOSTYCE MEDYCZNEJ 34	Zbigniew Nawrat
Dominika Adamczyk, Jacek Jankowski	RAPORTY: 2022 XX KONFERENCJA ROBOTY MEDYCZNE,
MIKROPROCESOROWY SYSTEM DO BADANIA ZABURZEŃ	2022 ISMR ACADEMY, III FORUM ROBOTYKI MEDYCZNEJ,
RÓWNOWAGI 44	HERO REPORT DAY 2022 92
Piotr Sauer, Weronika Leśna, Zuzanna Stolec, Zofia Zielińska	Zbigniew Nawrat
BADANIE ZAKRESU RUCHÓW W STAWIE KOLANOWYM –	AI – WHAT IS IT? 96
PRZEGLĄD DOSTĘPNYCH URZĄDZEŃ POMIAROWYCH 52	Zbigniew Nawrat
Dominik Pawliński	A DIAGNOSTIC ROBOT – WHAT IS IT? 99
INTERFEJSY MÓZG-KOMPUTER – KRÓTKA HISTORIA 58	Zbigniew Nawrat
Andrzej Michnik	A MEDICAL ROBOT – WHAT IS IT? 101
ROBOTYKA KOSMICZNA BĘDZIE MIAŁA ZASTOSOWANIE	Zbigniew Nawrat
NIE TYLKO W KOSMOSIE, CZYLI PODSUMOWANIE	'DIH ROBOTICS IN HEALTHCARE' & FRK THAT IS
STUDENCKIEGO PROJEKTU ŁAZIKA PLANETARNEGO	A CONTINUATION OF HERO 105
SILESIA PHOENIX 68	Zbigniew Nawrat, Dariusz Krawczyk
Michał Froń, Piotr Przyszałka, Wawrzyniec Panfil	
ROPUC: PRECISE BIOPSY PROCEDURE	
WITH A ROBOTIC ARM 74	
Łukasz Jaworski, Adam Kurnicki	

PODZIĘKOWANIE

Redakcja składa serdeczne podziękowania za merytoryczny i honorowy wkład w przygotowanie tego wydania czasopisma osobom, które przyjęły na siebie trud recenzji przesłanych do nas publikacji. Recenzentami Medical Robotics Reports wydanie 2021-2022 byli wybitni specjaliści robotyki i wielu dziedzin techniki, biofizyki i medycyny m.in.: prof. dr hab. Jacek Cieślak (AGH, Kraków), prof. Armand Cholewka (UŚ), dr hab. n. med. Sławomir Grzegorzczyn (SUM Zabrze), W. Konrad Karcz (LMU München), prof. dr hab. Josef Kozak (AAG/BBRAUN Tuttlingen), prof. dr hab. Stanisław Mitura (TUL Kalisz), prof. dr hab. Zbigniew Paszenda (PŚI Zabrze), prof. Leszek Podśkadowski (PŁ), prof. Ryszard Tadeusiewicz (AGH).

Wprowadzenie – roboty medyczne 2022

Introduction – medical robots 2022.

Zbigniew Nawrat • Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice;
Fundacja Rozwoju Kardiologii im. prof. Zbigniewa Religi, Zabrze;
Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej

Dariusz Krawczyk • Szkoła Doktorska Nauk Medycznych, Katedra Biofizyki,
Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

■ ROZWÓJ

Globalna gospodarka rozwijała się, jeszcze niedawno bez widocznych przeszkód. Pandemia, wojna, wynikające z niej braki zasobów materiałowych i ludzkich, zmiany kryteriów optymalizacji celów działania, olbrzymie ich koszty czyli zadłużenie, inflacja i co tam jeszcze przyniesie jutro – wiemy wszyscy – nic dobrego. Jednak na pewno szacunki, że sektor ochrony zdrowia wymaga zwiększenia sprawności i zwinności i, że do 2030 r. może w nim powstać aż 40 mln nowych miejsc pracy – mogą się okazać jedynie niewystraszające. Według Światowej Organizacji Zdrowia, do tego czasu będzie brakować prawie 10 mln lekarzy i osób personelu medycznego. Wiemy już dzisiaj, że tego się nie da zrobić bez wprowadzenia do systemu zdrowia podziału obowiązków dla nowych grup zawodowych i innowacji organizacyjnych i technologicznych wspierających pracę lekarzy. Między innymi dlatego nowy raport EIT Health podkreśla konieczność pilnych inwestycji, zmian w edukacji i tworzenia uwarunkowań prawnych dla rozwoju technologii opartej o sztuczną inteligencję (AI) w opiece zdrowotnej. Czyli robotyki medycznej. Na wyzwania wywołane pandemią nakładają się procesy i wyzwania związane z tym, że jest nas coraz więcej starszych i schorowanych. Według Organizacji Narodów Zjednoczonych w roku 2050 aż jedna czwarta Europejczyków w wieku 65 plus będzie miała potrzeby zdrowotne znacznie bardziej skomplikowane niż obecni seniorzy.

■ JEST ROK 2022

Podnieśliśmy się z pandemii CoVid 19 i ten temat przestał być newsem od którego zaczynaliśmy i kończyliśmy dzień. Pozostała pamięć o ofiarach. I niestety doświadczenie wskazujące na brak, i umiejętności, i sztuki w rozwiązywaniu problemów kryzysowych w skali kraju, szpitala czy domu. Nie jesteśmy dumni ale tym bardziej pamięć niech przechowa przekonanie, że warto się do takich sytuacji przygotowywać, od edukacji do finansów, od służb do każdego z nas czyli obywateli (obywatel znaczy przecież branie odpowiedzialności za wspólnotę). Bezpośredni kontakt z drugim człowiekiem stał się ryzykowny. By zmniejszyć to ryzyko podejmowaliśmy szereg ba-

■ DEVELOPMENT

Until recently, the global economy developed without any visible obstacles. A pandemic, war, with the resulting shortages of material and human resources, caused changes in the criteria for optimizing the objectives of activities and their enormous costs, i.e. debt, inflation and anything else tomorrow will bring – we all know – nothing good. The estimates that the health care sector requires increased efficiency and agility, and that by 2030 it may create as many as 40 million new jobs, may turn out to be insufficient. According to the World Health Organization, there will be a shortage of nearly 10 million doctors and medical staff by then. We already know today that it cannot be done without introducing the division of duties for new medical/technical professional groups and organizational and technological innovations supporting the work of doctors into the health system. This is one of the reasons why the new EIT Health report emphasizes the need for urgent investments, changes in education and the creation of legal conditions for the development of technology based on artificial intelligence (AI) in healthcare. So medical robotics. The challenges caused by the pandemic overlap with the processes and challenges associated with the fact that more and more of us are elderly and sick. According to the United Nations, by 2050 as many as a quarter of Europeans aged 65+ will have health needs that are much more complex than today's seniors.

■ THE YEAR IS 2022

We recovered from the Covid-19 pandemic and this topic is no longer the news we started and ended our day with. In memory of the victims. And, unfortunately, the pandemic experience showed a lack of skills and art in solving crisis problems on a national scale, in a hospital or at home. We are not proud, but let the memory preserve the conviction that it is worth preparing for such situations, from education to finances, from services to each of us, i.e. citizens (after all, a citizen means taking responsibility for a community). Direct contact with other people has become risky. To reduce this risk,

dań sprawdzających czy nosimy w sobie groźnego dla nas i sąsiadów wirusa oraz korzystaliśmy i rozwijaliśmy technologie pracy, czy edukacji na odległość. Telemedycyna jako metoda przesyłania na odległość informacji, obrazów, głosu, danych, rad, opinii czy recepty święci wreszcie zasłużone triumfy. Jednak nie zapominajmy, że informacja nie leczy. Za nią musi stać oferta pomocy, materiałów, leków, urządzeń. Jeśli potrzebne jest działanie w miejscu gdzie usługa medyczna jest potrzebna powstaje miejsce dla robotów. Telemanipulatorów, czyli robotów, których każdy ruch jest nadzorowany bezpośrednio przez operatora lub też robotów bardziej samodzielnych. Wszyscy zaczęli się rozglądać za tymi naukowcami, inżynierami, dużymi i małymi firmami, które gotowe byłyby jak najszybciej wdrożyć roboty na różnych polach frontu walki o bezpieczną pracę lekarzy, pielęgniarek i zdrowie ich pacjentów. Również projekt w którym uczestniczę – Digital Innovation Hub Healthcare Robotics HERO – uruchomił specjalne dwie pulę grantowe dla start upów i SME działających w tym obszarze. Wśród beneficjentów grantu znaleźli się również Polacy. Znajdziecie artykuł w tym numerze firmy ACCREA z Lublina. Jednak najbardziej zaskakującą dla mnie zmianą ostatnich dwóch lat jest rozwój robotyki chirurgicznej – przede wszystkim związanej z inwestycjami w roboty da Vinci.

■ DA VINCI I INNI

Przed pandemią mieliśmy w kraju jednego robota da Vinci (u prof. W. Witkiewicza) i to marnie finansowanego (w ciągu 10 lat wykonano niespełna 400 operacji) tak obecnie mamy 16 (certyfikowanych przez IS).

Warto pokusić się o próbę odpowiedzi dlaczego tak i dlaczego teraz? Pierwszy powód jest zdroworozsądkowy – po prostu dowody skuteczności tych urządzeń i powszechna już akceptacja na świecie, odpowiednia liczba lekarzy – Polaków – posiadająca odpowiednie doświadczenie zdobyte za granicą. Gdyby ktoś planował i zarządzał perspektywnie polską służbą zdrowia mógł oczywiście skorzystać z oferty prof. Witkiewicza i wyszkolić tam kilkudziesięciu operatorów wykorzystując zresztą robota dla operacji pacjentów co najmniej 300 razy w roku. Trudno wytłumaczyć taką naszą rozrzutność. Podobnie jak praktyczną blokadę na rozwój polskich robotów chirurgicznych Robin Heart wynikającą z przepisów, że otrzymać można środki finansowe (granty) jeśli jest wsparcie przemysłu. Nie ma przemysłu – nie ma grantu. Stąd jesteśmy importerem innowacji ponosząc odpowiednie koszty. Wszystkie środki finansowe jakie udało mi się przez 20 lat zdobyć na Robina nie przekraczają kosztu połowy jednego robota da Vinci. Kupiono 15 robotów po 15 mln zł w ciągu prawie jednego roku – I to w czasie pandemii. Ten sukces wyborczy da Vinci jest związany głównie z konsolidacją rynku medycznego w Polsce.

we undertook a series of tests to check whether we carry a virus that is dangerous to us and our neighbors, and we used and developed technologies the work for distance education. Telemedicine as a method of remote transmission of information, images, voice, data, advice, opinions or prescriptions is finally celebrating well-deserved triumphs. However, let's not forget that information does not heal. Behind it there must be an offer of help, materials, medicines and devices. If there is a need to act in a place where a medical service is needed, a place for robots is created. Telemanipulators, i.e. robots whose every movement is supervised directly by the operator or more independent robots can be used. Everyone started looking for scientists, engineers, large and small companies that could be ready to implement robots as soon as possible in various fields for battling a harmful environment for doctors, nurses and the health of their patients. Also the project in which I participate – Digital Innovation Hub Healthcare Robotics HERO – launched two special grant pools for start-ups and SMEs operating in this area. Poles were also among the beneficiaries of the grant, and you will find an article in this issue about the ACCREA company from Lublin, one of the beneficiaries. However, the most surprising change for me in the last two years is the development of surgical robotics – primarily related to investments in da Vinci robots.

■ DA VINCI AND OTHERS

Before the pandemic, we had one da Vinci robot in Poland (under the supervision of Prof. W. Witkiewicz) and it was poorly financed (less than 400 operations were performed within 10 years), so now we have 16.

It is worth trying to answer why and why now? The first reason is common sense – simply put, there is evidence of the effectiveness of these devices and widespread acceptance in the world, an appropriate number of Polish doctors have gained relevant experience abroad. If someone planned and managed Polish health services in the future, they could of course take advantage of the offer of prof. Witkiewicz and train dozens of operators there, using the robot for patients' operations at least 300 times a year. It is difficult to explain our extravagance, as is practical blockade on the development of Polish Robin Heart surgical robots resulting from regulations, but we can receive financial resources (grants) if there is industry support. Where there is no industry – there are no grants. Hence, we are an importer of innovations bearing the appropriate costs. All the funds I have managed to receive for Robin in the last 20 years do not exceed half the cost of a single da Vinci robot. 15 robots for PLN 15

Medycyna jest nie od dzisiaj dobrym miejscem inwestycji (a w co inwestować w czasie zarazy?), bo korzysta z pieniędzy zbieranych od każdego z nas, a im słabsza służba zdrowia państwowa, tym bardziej rośnie zainteresowanie alternatywą. Nagromadzony kapitał plus rosnące wymagania odpowiedniej jakości usług. Okazało się, że Polaków stać, by płacić za operacje 40 tys. złotych, powstał popyt i został zaspokojony przez prywatne ośrodki medyczne. To tym bardziej dziwne, że w czasie gdy je zakupywano, również do państwowych szpitali, za operacje nie zwracano kosztów przez NFZ. Tak jak ten brak finansowania dziwił, bo pomimo dobrej opinii AOTMiT (Agencja Oceny Technologii Medycznych i Taryfikacji) był, to już nie dziwi, że rosnące lobby wymusiło w końcu zmiany – operacje prostaty w Polsce są refinansowane od 1.kwietnia 2022. To dobrze. Próbowałem znaleźć jakąś korelację z zachowaniami rynkowymi i jest. Rok 2021 (szczyt pandemii) był wyjątkowo dobry dla producentów luksusowych samochodów na świecie. Rolls-Royce odnotował rekordową sprzedaż w swojej 117 historii. W Polsce rynek sprzedaży segmentu aut premium w 2021 względem 2020 r. urosł o 17 proc.. Gdyby kogoś ciekawiło czy Polaków stać na zakup domowego robota medycznego (np.rehabilitacyjnego) to pewnie informacja, że średnia ważona cena jednego auta z tej grupy wyniosła 249 139 zł wyda się miarodajna. Dla porównania sprzedaż wszystkich samochodów osobowych zanotowała w tym czasie spadek o blisko 20 proc. Tak wydajemy „swoje” pieniądze. A jak wykorzystujemy co mamy? Raport NIK donosi o obniżającym się z roku na rok procentowym wykorzystaniu drogiej aparatury diagnostycznej i terapeutycznej. Coraz mniej pacjentów korzysta z tego sprzętu. Znajdziemy tam również krytykę zakupów najdroższych narzędzi chirurga – robota da Vinci – w Polsce. Nie ma wątpliwości, że zakupy robotów obnażyły nasze słabości – brak strategii, którą zapowiadały kolejne rządy. Robot to w końcu telemanipulator. Bez operatora, czyli wyszkolonego specjalnie chirurga (minimalny koszt 80 tys zł. i wiele tygodni lekcji) nie zadziała. Ośrodki szkoleniowe w każdej dziedzinie medycyny to odpowiedzialność państwa. Zmarnowaliśmy 10 lat wrocławskiego robota da Vinci, a była oferta prof. W. Witkiewicza „na stole”.

Tak zatem apropos – na co wydajemy pieniądze „nasze” w ochronie zdrowia? Zaczniemy od tego ile mamy pieniędzy.

■ BUDŻET I CO DALEJ

Wydatki budżetu państwa na ochronę zdrowia w 2021 r. wyniosły 21 mld zł.

Łączne dochody budżetu planowane na 2022 r. to 481,4 mld zł, a wydatki 512,4 mld zł, w tym 5,75 proc. PKB na opiekę zdrowotną.

million were bought in almost one year – and this was during the pandemic. This election success of the da Vinci is mainly related to the consolidation of the medical market in Poland. Medicine has been a good investment place for a long time (and what better to invest in during the pandemic?), Because it uses the money collected from each of us, and the weaker the state health service, the more the interest in the alternative grows. Accumulated capital plus growing requirements of appropriate quality of services. It turned out that Poles could afford to pay PLN 40,000 for operations, demand arose and was satisfied by private medical centers. It is all the stranger that at the time they were purchased by private institutions, as well as by state hospitals, the costs of the operations were not reimbursed by the National Health Fund. Just as this lack of financing was surprising, despite the good opinion of AOTMiT (Agency for Health Technology Assessment and Tariffication) this is no longer the case, and the growing lobby finally forced changes – prostate operations in Poland are now refinanced since April 1, 2022. That's good news! I tried to find if there is a correlation with market behavior and there is. 2021 (the peak of the pandemic) has been exceptionally good year for the world's luxury car makers. Rolls-Royce achieved record sales in its 117th history. In Poland, the sales market of the premium car segment in 2021, compared to 2020, grew by 17 percent. If someone were curious if Poles could afford to buy a home medical robot (e.g. rehabilitation), knowing that the weighted average price of one car in this group was 249 139 zlotys will seem reliable. For comparison, the sale of all passenger cars recorded a decrease by nearly 20% during this time. This is how we spend 'our' money. How do we use what we have? The report of the Supreme Audit Office mentions that the percentage use of expensive diagnostic and therapeutic equipment is decreasing from year to year. This equipment is used on fewer and fewer patients. We can also find criticism on the purchasing of the most expensive surgeon's tools – the da Vinci robots – in Poland. There is no doubt that the purchases of robots have exposed our weaknesses – the lack of a strategy that was announced by successive governments. After all, a robot is a telemanipulator. Without an operator, i.e. a specially trained surgeon (minimum cost of PLN 80,000 and many weeks of lessons), it will not work. Training centers in every field of medicine are the responsibility of the state. We have already wasted 10 years of the Wrocław da Vinci robot, but the offer 'on the table' from prof. W. Witkiewicz still stands. So I propose – what do we spend 'our' money on in health care? Let's start with how much money we have.

W ramach klasyfikacji funkcji ochrony zdrowia (ICHA-HC) strumień wydatków bieżących na ochronę zdrowia w 2019 r. obejmował m.in.:

- usługi medyczne – 58,9%, w tym: o leczenie szpitalne – 32,3%, leczenie ambulatoryjne – 24,7, leki – 21,8%
- długoterminowa opieka zdrowotna – 6,7%
- usługi rehabilitacyjne – 4,5%

Struktura wydatków w Narodowym Rachunku Zdrowia za 2019 r. przedstawiała się następująco:

- wydatki publiczne stanowiły 71,8% bieżących wydatków na ochronę zdrowia
- wydatki prywatne stanowiły 28,2% [1]

■ ILE MAMY SZPITALI

Generalnie jest problem z definicją szpitala. Jeśli szpitalem nazwalibyśmy miejsce gdzie można uzyskać pomoc 24 godziny na dobę, z SORem (Szpitalny Oddział Ratunkowy), klasycznym zbiorem oddziałów; chirurgicznych, zabiegowych, pooperacyjnych itd., pełnym wyposażeniem i odpowiednim zespołem specjalistycznym to będzie tego niespełna 700. W statystykach znaleźć można jednak, że w Polsce na koniec 2020 roku funkcjonowało 575 szpitali publicznych i około 560 niepublicznych szpitali prywatnych (dane z 2015).

Według badań przeprowadzonych przez PMR & Upper Finance Group (Rynek robotyki chirurgicznej w Polsce 2021) [2] i Modern Healthcare Institute (Chirurgia Robotowa w Polsce 2021)[3] w różnych sektorach służby zdrowia w Polsce, w ostatnich latach problemy z niewystarczającą liczbą wykwalifikowanej kadry medycznej stają się rosnącą barierą w opiece zdrowotnej, zarówno prywatnej, jak i publicznej. Liczba chirurgów korzystających z systemu da Vinci w USA przekracza 33 000. (poza USA ponad 22 tys.) W Polsce mamy ponad 40 chirurgów z certyfikatem Intuitive Surgical. Większość z nich jednak dzieli miejsce pracy w Polsce z obowiązkami w macierzystych klinikach zachodnich.

W Polsce pracuje 16 autoryzowanych robotów da Vinci (Intuitive Surgical) używanych w 17 szpitalach (20 wszystkie = 8 publicznych + 12 prywatnych), coraz częściej pojawiają się też instalacje innych systemów chirurgicznych. Globus Medical posiada już 2 instalacje systemu ExcelsiusGPS do leczenia kręgosłupa w Polsce. Siemens Healthineers wdrożył system CorPath GRX w obszarze kardiologii. Na rynek wchodzi również system Versius (CRM Surgical) – obecnie 1, ale w Częstochowie planowane jest zorganizowanie w Europie centrum edukacyjnego CMR. Kolejne urządzenie amerykańskiej produkcji – 1 Senhance firmy Transenterix działa w Szpitalu Uniwersyteckim w Krakowie od końca 2018 roku (w 2019 roku firma sprzedała tylko trzy takie sys-

■ BUDGET AND WHAT'S NEXT

Expenditure from the state budget on health care in 2021 amounted to PLN 21 billion.

The total budget revenue planned for 2022 is PLN 481.4 billion, while the expenditure is PLN 512.4 billion, including 5.75 percent. GDP for healthcare.

Within the classification of the health care function (ICHA-HC), the stream of current expenditure on health care in 2019 included, among others:

- medical services – 58.9%, including: o hospital treatment – 32.3%, outpatient treatment – 24.7, drugs – 21.8%
- long-term health care – 6.7%
- rehabilitation services – 4.5%

The structure of expenditure in the National Health Account for 2019 was as follows:

- public expenditure accounted for 71.8% of current expenditure on health care
- private expenditure accounted for 28.2%

■ HOW MANY HOSPITALS & ROBOTS DO WE HAVE

There is generally a problem with the definition of a hospital. If we would call a hospital a place where you can get medical help 24 hours a day, with HED (Hospital Emergency Department), a classic set of departments; surgical, surgical, postoperative, etc., with full equipment and an appropriate specialist team, it would be less than 700. In statistics, however, it can be found that at the end of 2020, there were 575 public hospitals and about 560 private hospitals in Poland (data from 2015).

According to research conducted by PMR & Upper Finance Group (Surgical robotics market in Poland 2021) and the Modern Healthcare Institute (Robot Surgery in Poland 2021) in recent years, problems with insufficient number of qualified medical staff in various healthcare sectors have become a growing barrier in healthcare, both private and public. The number of surgeons using the da Vinci system in the USA exceeds 33,000 (over 22,000 outside the USA). However, in Poland, we only have over 40 surgeons with the Intuitive Surgical certificate, and most of them work mainly in their foreign clinics.

In Poland there are 16 authorized da Vinci (Intuitive Surgical) robots used in 17 hospitals (20 all = 8 public + 12 private), and installations of other surgical systems are also appearing more and more often. Globus Medical already has 2 installations of the ExcelsiusGPS system for spinal treatment in Poland. Siemens Healthineers has implemented the CorPath GRX system in the area of cardiology. The Versius (CRM Surgical) system is also entering the market – currently with 1 operating system, but it is planning to organize a CMR educational center in Europe in Częstochowa. Another American-made device –

temy, a w pierwszej połowie 2020 roku sześć urządzeń na całym świecie). Od 15 lat stosowane są urządzenia do quasi-robotycznej chirurgii kręgosłupa, a także rozwiązania typu Rosa stosowane w neurochirurgii (również w Szpitalu Uniwersyteckim w Krakowie). Mamy też 3 radiochirurgiczne CyberKnife (Accuray).

Z analiz PMR i wcześniejszych KroczeK/Nawrat wynika, że w kraju wielkości Polski powinno być około 40-50 robotów chirurgicznych. PMR szacuje, że rynek robotyki chirurgicznej w Polsce wzrośnie w latach 2021-2026 z 237 mln zł do prawie 680 mln zł, co oznacza, że średni roczny wzrost wartości (CAGR) tego segmentu wyniesie aż 23 %.

Wliczając roboty kupione „z drugiej ręki” mamy ich 20 i od 2010 w Polsce wykonano już ponad 4500 operacji w asyście robota chirurgicznego, z czego około 3.000 – to były operacje prostatektomii. Operacje z użyciem robota da Vinci wykonuje 20 placówek, w tym 8 publicznych. Najwięcej zabiegów robotowych – ponad tysiąc – wykonał warszawski Szpital Medicover [4]

Aktualna lista polskich szpitali wykonujących operacje w asyście robota da Vinci, chronologicznie według daty pierwszego zabiegu [4]:

1. Wojewódzki Szpital Specjalistyczny we Wrocławiu (18.12.2010)
2. Specjalistyczny Szpital Miejski im. Mikołaja Kopernika w Toruniu (25.08.2016)
3. Szpital Mazovia, Warszawa (16.10.2017)
4. Szpital Medicover, Warszawa (18.06.2018)
5. Carolina Medical Center Hifu Clinic, Warszawa (27.10.2018)
6. Szpital św. Łukasza w Bydgoszczy (17.11.2018)
7. Wielkopolskie Centrum Onkologii w Poznaniu (3.12.2018)
8. Wojewódzki Szpital Zespolony im. J. Śniadeckiego w Białymstoku (1.02.2019)
9. Szpital na Klinach w Krakowie (04.2019)
10. Salve Medica w Łodzi (10.06.2019)
11. Mazowiecki Szpital Onkologiczny w Wieliszewie (5.12.2019)
12. Mazowiecki Szpital Wojewódzki im. Św. Jana Pawła II w Siedlcach (9.12.2019)
13. Europejskie Centrum Zdrowia Otwock (11.12.2019)
14. Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny Nr 2 PUM w Szczecinie (24.08.2020)
15. Szpital św. Wojciecha w Gdańsku (29.09.2020)
16. Centralny Szpital Kliniczny MSWiA w Warszawie (30.09.2020)
17. Wojskowy Instytut Medyczny w Warszawie (5.10.2020)
18. Międzyleski Szpital Specjalistyczny, Warszawa -Międzylesie (4.02.2021)

1 Senhance by Transenterix has been operating at the University Hospital in Krakow since the end of 2018 (in 2019 the company sold only three such systems, and in the first half of 2020, six devices worldwide). For 15 years, devices for quasi-robotic spine surgery have been used, as well as Rosa type solutions used in neurosurgery (also at the University Hospital in Krakow). We also have 3 Radiosurgical CyberKnife (Accuray) systems.

The analyses of PMR and earlier KroczeK / Nawrat show that in a country the size of Poland there should be about 40-50 surgical robots. PMR estimates that the surgical robotics market in Poland will increase in the years 2021-2026 from PLN 237 million to almost PLN 680 million, which means that the average annual increase in the value (CAGR) of this segment will amount to as much as 23%.

Including robots bought 'second-hand', we currently have 20, and since 2010 over 4500 operations have been performed in Poland with the assistance of a surgical robot, of which about 3,000 were prostatectomy operations. Operations with the use of the da Vinci robot are performed by 20 facilities, including 8 public ones. The largest number of robotic procedures – over a thousand – was performed by the Medicover Hospital in Warsaw [4].

FINANCING

Despite the lack of dedicated financing from the National Health Fund, market development is supported by subsidies from EU funds, local government funds and the central budget. The first da Vinci surgical robot in Poland started working at the Provincial Specialist Hospital in Wrocław in December 2010. The second center in our country that used robotic surgery was the Specialist City Hospital in Toruń. For over 11 years until the end of the first quarter of 2021, a total of 4,350 robotic operations were performed. Most often, these were radical prostatectomy procedures, i.e. removal of the prostate gland. So far, 2,970 such operations have taken place. As many as 1,260 of these procedures were performed in 2020, 190 of which were financed by the National Health Fund (NFZ). Patients paid for the remaining procedures out of pocket or sought financing from other sources, including health insurance. The cost of such an operation ranges from 30 to 50 thousand zloty.

According to estimated data, in 2021, approx. 2.5 thousand tests were carried out in Poland. robotic-assisted procedures. It should be 15 thousand. Barriers – in Poland we have poorly priced procedures and we lack adequate and our own staff. That is why all initiatives of representatives of

19. Wielospecjalistyczny Szpital Wojewódzki, Gorzów Wielkopolski (17.05.2021)

20. Kliniczny Szpital Wojewódzki Nr 1 w Rzeszowie (20.05.2021)

■ FINANSOWANIE

Pomimo braku dedykowanego finansowania z Narodowego Funduszu Zdrowia rozwój rynku wspierany jest dotacjami ze środków unijnych, środków samorządowych oraz budżetu centralnego. Pierwszy w Polsce robot chirurgiczny da Vinci rozpoczął pracę w Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym we Wrocławiu w grudniu 2010 roku. Drugim ośrodkiem w naszym kraju stosującym chirurgię robotyczną był Specjalistyczny Szpital Miejski w Toruniu. W ciągu ponad 11 lat do końca I kwartału 2021 r. wykonano łącznie 4350 operacji zrobotyzowanych. Najczęściej były to zabiegi radykalnej prostatektomii, czyli usunięcia gruczołu krokowego. Do tej pory odbyło się 2970 takich operacji. Aż 1260 tych zabiegów zostało wykonanych w 2020 roku, z czego 190 zostało sfinansowanych przez Narodowy Fundusz Zdrowia (NFZ). Za pozostałe zabiegi pacjenci płacili z własnej kieszeni lub szukali finansowania z innych źródeł, m.in. ubezpieczenie zdrowotne. Koszt takiej operacji waha się od 30 do 50 tys. zł.

Według szacunkowych danych w Polsce w 2021 roku przeprowadzono ok. 2,5 tys. procedur ze wsparciem robotów. Powinno być 15 tys. Bariery – w Polsce mamy źle wycenione procedury i brak nam odpowiedniej, własnej kadry. Dlatego wszystkie inicjatywy przedstawicieli firm Intuitive i CMR oraz takich centrów jak NEO Hospital skupiają się na edukacji.

■ ROBOTYKA NA ŚWIECIE WG. IFR

Roboty medyczne należą do grupy robotów usługowych. Wg raportu z 2021 roku International Federation of Robotics (IFR) w 2020 obserwowano wzmożone zainteresowanie tym działem robotyki. Sprzedano profesjonalnych robotów usługowych 131 800 sztuk co stanowiło wzrost 41%. Jakże są trendy wykorzystania robotów w usługach?

Top 5 robotów serwisowych wg. IFR:

- Roboty AMR i dostawcze (elastyczne rozwiązania dla magazynów)
- Czyszczenie i dezynfekcja (+50 firm z powodu CoVid -19)
- Medycyna i rehabilitacja (wsparcie indywidualne)
- Roboty społeczne (teleobecność – szczególnie podczas CoVid-19)
- Zautomatyzowana restauracja (wsparcie personelu, ograniczenie kontaktu osobistego z powodu CoVid-19)

Globalny rynek robotyki medycznej został wyceniony na około 23 432 mln USD do 2025 r. i prze-

Intuitive i CMR companies as well as centers such as NEO Hospital focus on education.

■ WORLD ROBOTICS BY IFR

Medical robots belong to the group of service robots. According to the report from 2021, the 2020 International Federation of Robotics (IFR) saw an increased interest in this department of robotics. 131,800 professional service robots were sold, an increase of 41%. What are the trends in the use of robots in services?

Top 5 service robots by IFR:

- AMR and delivery robots (flexible solutions for magazine)
- Cleaning and disinfection (+50 companies due to CoVid-19)
- Medical and rehabilitation (individual support)
- Social robots (telepresence – particularly during CoVid-19)
- Automated restaurant (staff support, reduce personal contact due to CoVid-19).

Global Medical Robotics Market was valued at approximately USD 23,432 Million by 2025 and is projected to register a 23,21 CAGR over forecast period.

Due to the pandemic, many ongoing European projects changed their goals, adjusting them to the challenges that arose. For example, the European project Digital Innovation Hub Healthcare Robotics supported several dozen projects dedicated to supporting health services with special announcements of robot projects for teams working in hospitals and rehabilitation centers during CoVid -19.

Why is it so difficult in Poland to find medical innovations and use them wisely?

In Poland, there is no financial incentive to introduce innovations to medical services. Hospitals are not able to obtain a return on investment on the basis of proving the improvement of the standard, quality or efficiency of the performed tasks.

Therefore, various external methods of obtaining funds (grants, sponsors, special spending pools of regional or state authorities) are very willingly used for investments outside the economic account, optimization of the patient-diagnosis relationship, patient-therapy, doctor-information-decision, doctor – diagnostics – decision – therapy – realization – rehabilitation – realization which results in the improvement of the patient's health condition.

This result, for example, was that the first purchased AESOP robot used by prof. Andrzej Bochenek in Katowice in 2001 was sponsored by one of the enterprises in Silesia, and the ZEUS robot, which was carried out a little later for the first cardiac surgery in Poland, was borrowed with the money of

widuje się, że zarejestruje 23,21 CAGR w okresie prognozy.

Z powodu pandemii wiele trwających projektów europejskich zmieniło swoje cele modyfikując je do powstałych wyzwań. Np. projekt europejski Digital Innovation Hub Healthcare Robotics wsparł kilkadziesiąt projektów dedykowanych wsparciu usług zdrowia z specjalnymi ogłoszeniami projektów robotów dla wspierających w czasie CoVid -19 zespoły pracujące w szpitalach i centrach rehabilitacji [5]

■ DLACZEGO TAK TRUDNO W POLSCE O INNOWACJE MEDYCZNE I MĄDRE ICH WYKORZYSTANIE

W Polsce nie ma systemu zachęcającego finansowo do wprowadzania innowacji do usług medycznych. Szpitale nie mają możliwości uzyskania zwrotu inwestycji na podstawie udowodnienia podnoszenia standardu, jakości lub efektywności wykonywanych zadań.

Dlatego bardzo chętnie wykorzystywane są różne sposoby zewnętrzne pozyskiwania środków (granty, sponsor, specjalne pule wydatków władz regionalnych czy państwowych) na inwestycje poza rachunkiem ekonomicznym, optymalizacją relacji pacjent-diagnostyka, pacjent-terapia, lekarz-informacja – decyzja, lekarz – diagnostyka – decyzja – terapia – realizacja – rehabilitacja – realizacja co daje efekt poprawy stanu zdrowia pacjenta.

To spowodowało np. że pierwszy zakupiony robot AESOP stosowany przez prof. Andrzeja Bochenka w Katowicach w 2001 roku był sponsorowany przez jedno z przedsiębiorstw na Śląsku, a robot ZEUS, którym przeprowadzono nieco później pierwsze w Polsce operacje kardiochirurgiczne był pożyczony za pieniądze polskiej Polonii z USA. Niestety podobnie – pierwszy zakupiony robot da Vinci przez prof. Wojciecha Witkiewicza w 2012 r. został zakupiony z funduszy na naukę i nie miał finansowania na zabiegi kliniczne. Dlatego zmarnowano go i jako sprawne urządzenie medyczne (tylko niespełna 400 operacji w 10 lat) oraz edukacyjnym (nie wykształcono grupy specjalistów wielu obszarów aplikacji medycznych telemanipulatora). Decyzja w sprawie refinansowania operacji wykonanych z pomocą robota została podjęta dopiero w tym roku. Od 1 kwietnia w Polsce są refinansowane przez Narodowy Fundusz Zdrowia operacje – tylko – radykalnej prostatektomii. Decyzje poprzedzała kilka lat (5!!) wcześniej ocena pozytywna AOTiM. Prowadzone są prace nad wprowadzeniem refundacji kolejnych rodzajów operacji.

W 2022 roku obserwujemy wzrost o 54% w stosunku do liczby operacji w kwartale w 2021 r. (wg. sprzedawcy Synektik S.A. www.synektik.com.pl).

Na pewno to prywatne szpitale w Polsce wykorzystują zapotrzebowanie społeczne na wysokiej jakości

the Polish Diaspora from the USA. Unfortunately, in a similar sense, the first da Vinci robot purchased by prof. Wojciech Witkiewicz in 2012 was purchased from the funds for science and had no funding for clinical procedures. That is why it was wasted both as a functional medical device (only less than 400 operations in 10 years) and as an educational device (a group of specialists in many areas of medical applications of the telemanipulator were not educated). The decision to refinance robot-assisted operations was made only this year. From April 1, radical prostatectomy operations are refinanced by the National Health Fund in Poland. The decisions were preceded by a positive assessment from AOTiM a few years earlier.

In 2022, we observe an increase of 54% compared to the number of operations in the quarter in 2021 (according to the seller Synektik S.A. www.synektik.com.pl).

Certainly, it was private hospitals in Poland that took advantage of the social demand for high-quality robotic surgery services. Refinancing from the NFZ pool is too low – (half of the costs of a commercial operation) – and it cannot be used for rational management, with a chance to cover depreciation costs or to purchase a newer version of the robot in a few years (restoring the potential).

For over 10 years my Association and MrR magazine has been promoting the development of medical robotics, for 20 years I have been running the world's oldest cyclical medical robotics conferences, I have participated in all Foresight projects, I have written the Flagship Polish Medical Robot Project (by MedSilesia cluster) and... nothing. And we made in FRK the Robin Heart robot.

We all bear the costs for the lack of a strategy for the development of medical robotics, but this also gives Polish scientists the chance to participate in its development.

■ ROBOTS IN POLAND – A SUMMARY OF WHAT WE HAVE IN HEALTH SERVICES.

In Poland, there is no premium for introducing a robot innovation in hospitals in the form of a return on investment costs. Robot purchases are made from various sources of financing: government, regional, private, grants. 'The subsidy model dominates in the public segment (Ministry of Health, Ministry of Interior and Administration, Ministry of Science, Ministry of National Defense, Marshal's Offices - these are hospital owners' bodies, so they can allocate earmarked funds for investments), while tools and accessories are already purchased from the funds of individual hospitals, of course after using the so-called starter kit. In 2022, we expect over 3,000 procedures in 6 clinical areas.

usługi wykonywane za pomocą chirurgii robotowej. Refinansowanie z puli NFZ jest za niskie – (AOTiM wycenił 20 tys. zł. – połowa kosztów operacji komercyjnej) – czyli znowu nie będzie mogło być wykorzystane do racjonalnego zarządzania, z szansą na pokrycie kosztów amortyzacji i planem zakupu za kilka lat nowszej wersji robota (odtworzenie potencjału).

Moje Stowarzyszenie i czasopismo MrR od ponad 10 lat promuje rozwój robotyki medycznej, od 20 lat prowadzę najstarsze na świecie cyklicznie odbywające się konferencje robotyki medycznej, uczestniczyłem we wszystkich projektach Forsight, pisałem Flagowy Projekt Polski Robot Medyczny (przez klastę MedSilesia) i ... nic. No i zrobiliśmy w FRK robota Robin Heart.

Za brak strategii rozwoju robotyki medycznej, dający szansę również partycypacji polskich naukowców w jej rozwoju, ponosimy koszty wszyscy.

■ ROBOTY W POLSCE – PODSUMOWANIE TEGO CO MAMY W USŁUGACH ZDROWIA

W Polsce nie ma premii za wprowadzenie innowacji robotowej w szpitalach w postaci zwrotu kosztów inwestycji. Zakupy robotów są realizowane z różnych źródeł finansowania: rządowych, regionalnych, prywatnych, grantów. „W segmencie publicznym dominuje model dotacyjny (MZ, MSWiA, MN, MON, Urzędy Marszałkowskie – to organy właścicielskie szpitali, więc mogą wyasygnować fundusze celowe na inwestycje) natomiast narzędzia i akcesoria są już kupowane ze środków poszczególnych Szpitali, oczywiście po zużyciu tzw. zestawu startowego. W 2022 roku spodziewamy się ponad 3000 procedur w 6 obszarach klinicznych. Czechy są znakomitym przykładem jak refundacja może stymulować zdrowy wzrost rynku, refundacją (na dobrym poziomie) jest objętych 11 procedur robotycznych, w konsekwencji tamtejsze systemy mają największą użycie w Europie! Na Słowacji jedynie ośrodek w Bańskiej Bystrzycy ma refundację, choć nie jest to jeszcze rozwiązanie systemowe. (Artur Ostrowski, Synektik – oficjalny dystrybutor robota da Vinci na Polskę, Czechy, Słowację; korespondencja autora). W Polsce, przy ponad 37 milionach mieszkańców, jest obecnie 18 ośrodków w których przeprowadzane są operacje z wykorzystaniem autoryzowanych systemów robotycznych da Vinci IS (17 robotów) (<https://www.synektik.com.pl/>). In 2021, over 2,000 robotic procedures (61% urological) were performed. Jest również kilka robotów kupionych z drugiej ręki oraz roboty Versius CMR (<https://cmrsurgical.com/>).” In place in hospitals we have 3. However we have 9 signed contracts of which the other 6 will be installed over the next 3-4 months plus we are expecting further contracts over the next 6 months till year end.” (Colin Eke, CMR Surgical – korespondencja z auto-

The Czech Republic is an excellent example of how reimbursement can stimulate healthy market growth, reimbursement (at a good level) covers 11 robotic procedures, and consequently the systems there have the highest utilization in Europe! In Slovakia, only the center in Banska Bystrica is reimbursed, although this is not yet a systemic solution. (Artur Ostrowski, Synektik - the official distributor of the da Vinci robot in Poland, the Czech Republic, Slovakia; the author's correspondence). In Poland, with over 37 million inhabitants, there are currently 18 centers where operations are carried out with the use of authorized da Vinci IS robotic systems (17 robots) (<https://www.synektik.com.pl/>). In 2021, over 2,000 robotic procedures (61% urological) were performed. There are also some second-hand bought robots and Versius CMR robots (<https://cmrsurgical.com/>). 'In place in hospitals we have 3. However we have 9 signed contracts of which the other 6 will be installed over the next 3-4 months plus we are expecting further contracts over the next 6 months till year end.' (Colin Eke, CMR Surgical - correspondence with the author). A breakthrough information on the reimbursement of prostate cancer treatments with the da Vinci robot in Poland was announced by the Minister of Health, Adam Niedzielski at the beginning of 2022. From April 1 this year, prostate cancer patients are guaranteed free treatment with the help of the da Vinci system (reimbursement by the National Health Fund of the National Health Fund) (Source: Puls Medycyny <https://pulsmedycyny.pl/rak-prostaty-beda-refundowane-przez-nfz-operacje-robotem-da-vinci-1139424>) 'operations will be performed by 14 centers in the country, with annual expenditure from the National Health Fund up to PLN 25 million'. The plan is to introduce further gynecological and urological procedures to the reimbursement list (Piotr Węclawik, director of the Department of Innovation, Ministry of Health; in an interview with the author). Summarize. In Poland, we already have 18 authorized da Vinci (IS) systems, 3 installations of the Versius system (CRM Surgical), a Senhance surgical robot (by Transenterix), ExcelsiusGPS systems (2) by Globus Medical (for spine procedures and neurosurgery) as Rosa's surgeon's assistant in neurosurgery (Zimmer Biomet) and the CorPath GRX system, developed by Siemens for cardiac treatment. The use of diagnostic robots (Tomograph, NMR) is refinanced (or can be used privately) and radiographic robots (e.g. three CyberKnife) are fully refinanced. In the rehabilitation centers there are robots, e.g. by Hocoma or exoskeletons by Ekso Bionics. 'In Poland, 45 facilities currently work with the Polish rehabilitation robots of Luna EMG, in the system of inpatient and outpatient

rem). Czyli "W szpitalach mamy 3 robotów Versius. Jednak mamy 9 podpisanych kontraktów, z których 6 zostanie zainstalowanych w ciągu najbliższych 3-4 miesięcy plus spodziewamy się kolejnych kontraktów w ciągu najbliższych 6 miesięcy do końca roku." Przetłumacz tę informację w sprawie refundacji zabiegów raka prostaty z robotem da Vinci w Polsce ogłosił Minister Zdrowia Adam Niedzielski na początku 2022 roku. Od 1 kwietnia br. chorzy na nowotwór prostaty mają zagwarantowane bezpłatne leczenie w asyście systemu da Vinci (refundacja przez Narodowy Fundusz Zdrowia NFZ). (Źródło: Puls Medycyny <https://pulsmedycyny.pl/rak-prostaty-beda-refundowane-przez-nfz-operacje-robotem-da-vinci-1139424>) "operacje będzie wykonywać 14 ośrodków w kraju, przy rocznych wydatkach z NFZ rządu nawet 25 mln zł". W planie jest wprowadzenie na listę refundacyjną kolejnych zabiegów ginekologicznych i urologicznych (Piotr Węclawik dyrektor Departamentu Innowacji, Ministerstwo Zdrowia; w rozmowie z autorem). Podsumujmy. W Polsce mamy już 18 autoryzowanych systemów da Vinci (IS), 3 instalacje systemu Versius (CRM Surgical), robota chirurgicznego Senhance (firmy Transenterix), systemy ExcelsiusGPS (2) firmy Globus Medical (do zabiegów kręgosłupa i neurochirurgii), asystent chirurga Rosa w neurochirurgii (Zimmer Biomet) oraz system CorPath GRX, opracowany przez firmę Siemens do leczenia kardiologicznego. Stosowanie robotów diagnostycznych (Tomografów, NMR) jest refinansowane (lub można prywatnie korzystać) i robotów radiochirurgicznych (np. trzech CyberKnife) jest w pełni refinansowane. W centrach rehabilitacji znajdują się roboty np. firmy Hocoma czy egzozoskielety firmy Ekso Bionics. „W Polsce z polskimi robotami rehabilitacyjnymi Luna EMG pracuje obecnie 45 placówek, w systemie opieki stacjonarnej oraz ambulatoryjnej. Roboty znajdują zastosowanie w rehabilitacji pacjentów z deficytami neurologicznymi, ortopedycznymi a także u pacjentów leczonych z powodu oparzeń. Roboty zostały zakupione przez placówki w programach Polcard, Narodowej Strategii Onkologicznej lub indywidualnie.” (www.egzotech.com). Koszty rehabilitacji pokrywa NFZ lub można również prywatnie. Narodowy Fundusz Zdrowia (NFZ www.nfz.gov.pl) jest państwową jednostką organizacyjną zajmującą się finansowaniem świadczeń zdrowotnych w powszechnym systemie opieki zdrowotnej. Rolą Agencji Oceny Technologii Medycznych i Taryf AOTiM (<https://www.aotm.gov.pl>) jest wspieranie ministra właściwego do spraw zdrowia w procesie podejmowania decyzji dotyczących finansowania świadczeń lekowych i nielekowych w systemie opieki zdrowotnej. Główne obszary działalności: ocena technologii medycznych i ocena świadczeń gwarantowanych. Ona np. wycenia koszty wyko-

care. The robots are used in the rehabilitation of patients with neurological and orthopedic deficits as well as in patients treated for burns. The robots were purchased by institutions under the Polcard programs, the National Oncological Strategy or individually.' (www.egzotech.com). The costs of rehabilitation are covered by the National Health Fund or also privately. The National Health Fund (NFZ www.nfz.gov.pl) is a state organizational unit dealing with financing health services in the general health care system. The role of the Agency for Health Technology Assessment and Tariffs AOTiM (<https://www.aotm.gov.pl>) is to support the minister responsible for health in the decision-making process regarding the financing of drug and non-drug services in the health care system. Main Activities: Health Technology Assessment and Guaranteed Services Assessment. For example, she estimates the costs of robots which help patients. Poland can certainly be considered a country that is catching up very quickly in the implementation of medical robots.

■ EVERYWHERE AND EVERYONE

Everywhere, but especially in medicine, robotization must combine three advantages – reduce costs and increase quality by reducing employment. And as usual in innovations and their implementations: it is necessary to be aware of the challenges and appropriate staff at every level of management and execution

Everyone is counting on the creation of autonomous robots and rooting for artificial intelligence, sometimes forgetting that without our human intelligence and work, there is no efficiency in any system of services, economy, and in medicine in particular.

■ BIBLIOGRAFIA/ BIBLIOGRAPHY

- [1] https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5513/27/1/1/wydatki_na_ochrone_zdrowia_w_latach_2018-2020.pdf
- [2] <https://files.mypmr.pro/77c25107da615b53e8354ff8706d852354d54dd0.Pdf> PMR & Upper Finance Group (Rynek robotyki chirurgicznej w Polsce 2021)
- [3] https://onkocafe.pl/images/dokumenty/Chirurgia_robotowa_w_Polsce_-_Raport_2021.pdf Modern Healthcare Institute (Chirurgia Robotowa w Polsce 2021)
- [4] <https://www.mzdrowie.pl/trendy/historia-chirurgii-robotowej-w-polsce-11-lat-20-placowek-45-tys-operacji/>
- [5] Kosta Jovanovic, Andrea Schwier, Eloise Matheson, Michele Xiloyannis, Esther Rodijk-Rozeboom, Nadine Hochhausen, Brecht Vermeulen, Birgit Graf, Peter Wolf, Zbigniew Nawrat, Jordi Escuder Tisairé, Mare Mechelinck, Birgitte Sørensen, Paola Roberta Boscolo, Michael Obach, Selene Tognarelli, Milica Jankovic, Christophe Leroux, Giancarlo Ferrigno, Françoise J. Siepel, and Stefano Stramigioli Digital Innovation Hubs in Health-Care Robotics Fighting COVID-19: Novel Support for Patients and Health-Care Workers Across Europe. January 2021. IEEE Robotics & Automation Magazine PP(99) DOI: 10.1109/MRA.2020.3044965 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9330556>

nane przy pomocy robotów. Na pewno można Polskę uznać za kraj, który bardzo szybko nadrabia zaległości w zakresie wdrażania robotów medycznych.

■ WSZĘDZIE I WSZYSCY

Wszędzie, ale szczególnie w medycynie robotyzacja musi łączyć trzy zalety – obniżać koszty i podnosić jakość zmniejszając zatrudnienie. I jak zwykle w innowacjach i ich wdrożeniach: niezbędne są świadome wyzwani kadry, odpowiednie na każdym szczeblu zarządzania i wykonania.

Wszyscy liczą na powstanie robotów autonomicznych i kibicują sztucznej inteligencji, czasem zapominając, że bez naszej ludzkiej inteligencji i pracy nie ma sprawności w żadnym systemie usług, gospodarki a w medycynie w szczególności.



Województwo
Śląskie



HYBRID _ ON THE SITE
AND TELECONFERENCE

MEDICAL ROBOTS CONFERENCE 2022

FINAL REPORT DAY of Digital Innovation Hub in Healthcare Robotics
3rd Medical Robotics FORUM
Medical Robotics Conference 2022
Forum - Round Table Discussion
"Surgical robots - medicine, business, business, private, public"

9th Dec 2022
FRIDAY

ZABRZE
Fundacja
Rozwoju Kardiochirurgii Zabrze
im. prof. Zbigniewa Religi

10th Dec 2022
SATURDAY

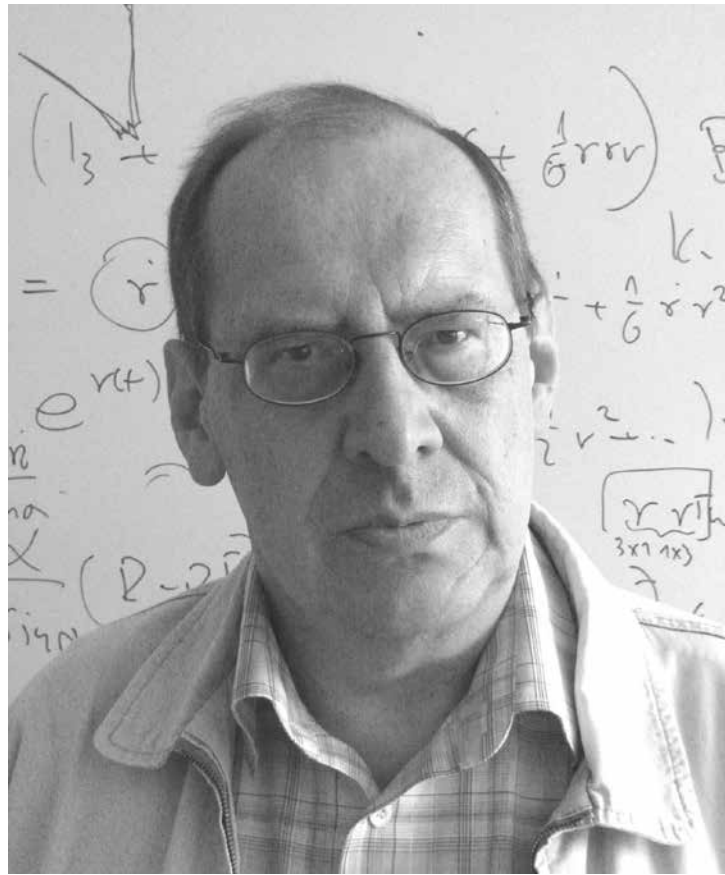
ZABRZE
Fundacja
Rozwoju Kardiochirurgii Zabrze
im. prof. Zbigniewa Religi

ISMR Academy

by **FRK**
&
**International Society for
Medical Robotics**
supported by Śląskie

Prof. dr hab. inż. Krzysztof TCHOŃ (1951-2021)

Wspomnienie



Prof. Krzysztof Tchoń urodził się 10 maja 1951 roku. W rodzinnym Tarnowie ukończył I Liceum Ogólnokształcące o profilu klasycznym. Następnie studiował na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej. W roku 1973 uzyskał tytuł magistra inżyniera w zakresie automatyki. Podczas studiów magisterskich rozpoczął studia doktorskie w Instytucie Cybernetyki Technicznej pod kierunkiem prof. Jerzego Jaronia. Stopień doktora uzyskał w roku 1976 broniąc pracę pt. „Zdarzenie jako pojęcie pierwotne teorii systemów”. Dziesięć lat później, uzyskał stopień doktora habilitowanego na podstawie monografii „On stable and typical properties of control systems”. W roku 1996 otrzymał tytuł profesora, a stanowisko profesora w roku 1998.

Kariera zawodowa prof. Tchonia była związana z Politechniką Wrocławską, gdzie w 1973 roku rozpoczął pracę na stanowisku starszego asystenta w Zakładzie Podstaw Cybernetyki niedługo później zostając adiunktem. W latach 1987-2015 sprawował funkcję kierownika Zakładu, a po zmianie nazwy Katedry Cybernetyki i Robotyki. W latach 1987-91 pełnił obowiązki zastępcy dyrektora Instytutu ds. dydaktycznych. Pod koniec 2015 roku zrezygnował z pełnienia funkcji kierowniczych i skoncentrował się wyłącznie na pracy naukowej i dydaktycznej.

Zainteresowania naukowe prof. Tchonia koncentrowały się na fundamentalnych problemach automatyki i robotyki rozważanych

z perspektywy matematycznej. Początkowo zajmował się teorią systemów, później nieliniową teorią układów sterowania. W obszarze robotyki zajmował się wieloma klasycznymi zadaniami planowania ruchu dla manipulatorów i robotów nieholonomicznych. W badaniach korzystał z narzędzi geometrycznej teorii sterowania i teorii osobliwości. Do najważniejszych wyników Profesora zalicza się: metodę postaci normalnych w zadaniu odwrotnym kinematyki, metodę endogenicznej przestrzeni konfiguracyjnej dla robotów nieholonomicznych, badanie różnego typu równoważności. Napisał 283 prace naukowe, znajdujące oddźwięk w środowisku krajowym i międzynarodowym.

W latach 1982-83 odbył staż na Uniwersytecie Warwick. W roku 1991 odbył staże w École des Mines de Paris, Fontainebleau i University of Twente, Enschede. Uczestniczył w licznych projektach badawczych finansowanych przez: Komitet Badań Naukowych, Fundację na rzecz Nauki Polskiej, Narodowe Centrum Nauki, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, 7-my Program Ramowy Unii Europejskiej.

W roku 2003 zainicjował w Zakładzie Podstaw Cybernetyki i Robotyki nowy kierunek działalności naukowej i dydaktycznej w obszarze robotyki społecznej, o silnie interdyscyplinarnym charakterze. W roku 2008 włączył Zakład do projektu LIREC, realizowanego ramach 7-go Programu Ramowego, którego celem było stworzenie wieloaspektowych podstaw teoretycznych i technologii sztucznych towarzyszy życia człowieka. Dzięki wiedzy pozyskanej od partnerów programu i zebranym doświadczeniom, robotyka społeczna uprawiana w Katedrze Cybernetyki i Robotyki osiągnęła zaawansowany poziom, a od roku 2012 stała się rozpoznawaną w kraju gałęzią robotyki.

Profesor Tchoń wspierał działalność swoich pracowników w zakresie robotyki medycznej. Od roku 2000 przez dwadzieścia lat w Zakładzie Podstaw Cybernetyki i Robotyki były prowadzone prace nad rozwojem bionicznej protezy ręki. W latach 2013-2017 pracownicy Katedry byli zaangażowani w budowę robota do telediagnostyki medycznej w ramach projektu ReMeDi, finansowanego przez Komisję Europejską w ramach 7-go Programu Ramowego.

Szczególną uwagę poświęcał dydaktyce. W roku 1987 współtworzył nowy kierunek studiów: Automatykę i Robotykę. Współtworzył od podstaw i przez wiele lat kierował specjalnością Robotyka na Wydziale Elektroniki. Był inicjatorem i współautorem podręcznika akademickiego do robotyki, a także matematycznych podstaw automatyki i robotyki. Prowadził kursy w zakresie szeroko pojętych matematycznych podstaw automatyki i robotyki. Wychował i wypromował grono uczniów z których 14-tu uzyskało stopień doktora, a dwójka z nich habilitacje.

Przez wiele lat brał aktywny udział w pracach Komitetu Automatyki i Robotyki PAN. Był członkiem komitetów naukowych licznych czasopism i konferencji naukowych w kraju i za granicą. Dzięki staraniom profesora cyklicznie odbywały się Krajowe Konferencje Robotyki, których szesnastą edycję zatrzymała pandemia.

Profesor Tchoń zmarł we Wrocławiu dnia 17 kwietnia 2021.

Krzysztof Arent (Politechnika Wrocławska)

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Kozłowski (1951-2021)

Wspomnienie



Profesor Krzysztof Kozłowski urodził się 28 marca 1951r. w Poznaniu. W 1968 został absolwentem męskiego I Liceum Ogólnokształcącego im. Karola Marcinkowskiego. W 1972 r. ukończył matematykę na Uniwersytecie im. A. Mickiewicza w Poznaniu, a rok później elektrotechnikę na Politechnice Poznańskiej. Po ukończeniu studiów został zatrudniony na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej. Rozprawę doktorską nt. „Zastosowanie specjalnych układów funkcji ortogonalnych do wyznaczania odpowiedzi impulsowych obiektów sterowania obronił w 1979. W roku 1992 uzyskał habilitację na podstawie dorobku naukowego i monografii pt. „Modele matematyczne dynamiki robotów oraz identyfikacja parametrów tych modeli”. Tytuł profesora nauk technicznych otrzymał z rąk Prezydenta RP w 1998 r.

W latach 2001-2004 Profesor Kozłowski współorganizował i był dyrektorem Instytutu Sterowania i Inżynierii Systemów. Następnie w latach 2004-2010 kierował Katedrą Sterowania i Inżynierii Systemów na Wydziale Informatyki i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Od roku 2010 do 2017 kierował w/w Katedrą na Wydziale Informatyki. Był współtwórcą Instytutu Automatyki i Robotyki. W latach 2017-2020 pełnił funkcję Dyrektora Instytutu Automatyki i Robotyki.

Początkowo profesor Kozłowski prowadził badania naukowe w obszarze automatyki i sterowania. W latach 1975-79 brał udział w pracach nad algorytmami sterowania silnikami wysokopiętnymi. W latach 1979-1980 przebył w University of California, Los Angeles i prowadził badania nad zastosowaniem filtracji Kalmana w bioinżynierii oraz zastosowaniem programo-

wania nieliniowego w telekomunikacji satelitarnej. W 1985 skierował swoje zainteresowania badawcze na robotykę. W 1991 roku uzyskał stypendium DAAD i przebywał w Instytucie Robotyki i Informatyki, University of Braunschweig, Niemcy (w latach 1991-1992), gdzie prowadził badania dotyczące modelowania i identyfikacji parametrów dynamicznych robota. W roku 1993 przebywała w Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, USA (stypendium Fulbrighta), gdzie prowadził badania w zakresie nowych algorytmów modelowania i sterowania robotów manipulacyjnych w przestrzeni quasiprędkości. Zainteresowania badawcze w zakresie robotyki obejmowały m.in. zagadnienia estymacji stanu, programowania nieliniowego, modelowania kinematyki i dynamiki dyskretnych struktur manipulatorów, analizę złożoności takich modeli oraz identyfikację parametrów robotów, wykorzystanie algebry przestrzennej Rodrigueza w robotyce, nieliniowe metody sterowania robotów manipulacyjnych i mobilnych oraz grup takich robotów. W ostatnich latach działalność naukowa koncentrowała się przede wszystkim na podstawowych zagadnieniach teorii sterowania układów nieliniowych z niecałkowalnymi ograniczeniami nałożonymi na prędkości (na poziomie kinematyki) oraz przyspieszenia (na poziomie dynamiki) i ich zastosowaniach. Interesował się użyciem zaawansowanych technik matematycznych wywodzących się z geometrii różniczkowej i grup Liego do rozwiązywania problemów sterowania i estymacji stanu w robotyce. Rozważał podstawy modelowania i sterowania maszyn kroczących i skaczących. Przedmiotem jego zainteresowań były zarówno aspekty teoretyczne jak i praktyczne robotyki, w tym zastosowania obejmujące m.in. robotykę w medycynie i rehabilitacji oraz autonomiczne systemy obserwacji optycznych w astronomii i segmencie Space Surveillance and Tracking. Był współtwórcą unikatowego w skali kraju laboratorium zautomatyzowanych obserwacji optycznych SkyLab znajdującego na terenie Politechniki Poznańskiej.

Profesor Krzysztof Kozłowski był autorem lub współautorem licznych publikacji w renomowanych czasopismach międzynarodowych i krajowych (opublikował około 300 prac i kilka monografii) oraz aktywnym uczestnikiem niezliczonych konferencji w kraju i na całym świecie. Jest autorem znanej monografii *Modelling and Identification in Robotics*, która została wydana w 1998r. przez wydawnictwo Springer-Verlag. W ramach swojej pracy naukowej uczestniczył w wielu projektach badawczych oraz kierował licznymi grantami naukowymi (30 grantów własnych i 10 promotor-skich) finansowanych ze źródeł krajowych i międzynarodowych. W 1991 roku otrzymał grant badawczy fundacji japońskiej Foundation for Promotion of Advanced Automation Technology na realizację eksperymentalną nowych algorytmów sterowania robotów.

Występował w roli profesora wizytującego w University of Nantes (Francja), University of Kobe (Japonia) oraz University of Evry (Francja). Od 2020 był członkiem korespondentem Polskiej Akademii Nauk.

Profesor Kozłowski był aktywnym organizatorem życia naukowego zarówno w kraju jak i w skali międzynarodowej. Wspierał organizację krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych, m.in:

- był współtwórcą, a następnie głównym organizatorem międzynarodowych warsztatów RoMo-Co (Robot Motion and Control),
- był współtwórcą i wiceprzewodniczącym międzynarodowej konferencji MMAR (International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics),
- był aktywnym członkiem komitetów programowych Krajowej Konferencji Robotyki i Krajowej Konferencji Automatyki.

Pełnił rolę edytora w ramach konferencji krajowych i międzynarodowych (w tym jako członek IEEE Control System Society Conference Editorial Board, Conference on Decision and Control oraz American Control).

Profesor uczestniczył w wielu organizacjach i stowarzyszeniach naukowych jako:

- wieloletni członek (Senior Member) organizacji IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers),
- członek Zarządu IEEE Robotics and Automation Society,
- przewodniczący Polskiego Oddziału IEEE Robotics and Automation Society (założycieli pierwszy przewodniczący tego oddziału, laureat nagrody Chapter of the Year Award z roku 2001)
- członek IEEE Control Systems Society
- członek komitetów w International Federation of Automatic Control (IFAC)
- członek Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik (GAAM)
- członek European Mechanics Society
- wiceprzewodniczący Komitetu Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
- członek Komisji Cybernetyki Technicznej oddziału PAN w Poznaniu
- członek Komitetu Teorii Maszyn i Mechanizmów oraz Komitetu Budowy Maszyn PAN
- członek Komisji Automatyki i Informatyki, Poznańskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk (Przewodniczący w latach 1996-2002, redaktor naczelny Studiów z Automatyki i Informatyki PTPN 1996-2002).
- członek Stowarzyszenia Elektryków Polskich
- Członek Honorowy ISMR (International Society for Medical Robotics) – od 2015.

Profesor Kozłowski zasiadał w Radzie Naukowej Centrum Badań Kosmicznych PAN. Brał udział w sieciach naukowych robotyki EURON (2005-2007), CLA-

WAR (2003-2005) i COST (2017-2021). W ramach swojej działalności naukowej pełnił funkcję edytora dla prestiżowych czasopism naukowych, m.in. dla:

- IEEE Robotics And Automation Magazine
- IEEE Transaction on Control Systems Technology
- International Journal of Applied Mathematics and Computer Science
- Journal of Intelligent & Robotics Systems

Profesor Krzysztof Kozłowski z bardzo dużym zaangażowaniem uczestniczył w działaniach związanych z rozwojem kadry akademickiej oraz dydaktyki w zakresie automatyki i robotyki. Brał udział w opracowaniu nowoczesnych programów kształcenia na kierunku automatyki i robotyki. W latach 2008-2011 brał udział w pracach Państwowej Komisji Akredytacyjnej, a w latach 2010-2012 był przewodniczącym Zespołu Ekspertów Komisji Akredytacyjnej Uczelni Technicznych (KAUT) dla standardów kierunku automatyka i robotyka. Był współtwórcą anglojęzycznych studiów międzynarodowych II stopnia w obszarze Smart Aerospace and Autonomous Systems (SAAS). Studia te realizowane są od 2013 przez Politechnikę Poznańską we współpracy z Paris Saclay University z Francji. W/w studia kończą się podwójnym dyplomem. Profesor Kozłowski dbał o wysoki poziom dydaktyki i kadry akademickiej na kierunku automatyka i robotyka. Był współautorem kilku podręczników akademickich. W latach 2015-2020 uczestniczył w pracach Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów w ramach Sekcji VI (nauki techniczne – automatyka i robotyka). Brał udział w unijnym programie dydaktycznym Leonardo da Vinci o nazwie E-PRAGMATIK (2010-12). Od 2008 był członkiem EURON Education & Training Board do oceny rozpraw doktorskich obronionych w Europie.

Profesor Kozłowski był laureatem licznych nagród za prace badawcze, dydaktyczne i organizacyjne, m.in.:

- nagrody zespołowej II-stopnia Ministra Szkolnictwa Wyższego i Techniki za osiągnięcia w badaniach naukowych w zakresie: "Metod pomiarowych i sterowania w układach dyskretnych" (1980)
- nagrody zespołowej III-stopnia Ministra Szkolnictwa Wyższego i Techniki za pracę w zakresie: „Zastosowania systemów mikroprocesorowych w biofizyce eksperymentalnej i optyce kwantowej” (1987)
- nagrody indywidualnej Ministra Edukacji Narodowej za monografię Modelling and Identification in Robotics, która została wydana przez wydawnictwo Springer-Verlag. (1999)
- nagrodę zespołową Ministra Edukacji Narodowej i Sportu za monografię prezentującą wyniki badań nowych algorytmów sterowania robotów (2004)

W 2003 r. profesor Kozłowski uzyskał tytuł Honorowego Profesora Politechniki w Budapeszcie, w roku 2010 tytuł „Professor University” nadany przez węgierski Obuda University. W 1997r. otrzymał Srebrny Krzyż Zasługi, a w 2019r. Krzyż Oficerski orderu Odrodzenia Polski za wybitne zasługi dla rozwoju polskiej nauki, za osiągnięcia w pracy naukowo-badawczej, dydaktycznej i organizacyjnej oraz za wspieranie międzynarodowej współpracy naukowej.

Dla profesora Kozłowskiego praca naukowa i dydaktyczna była bardzo ważna, była jego pasją, którą potrafił przekazać młodemu pokoleniu badaczy. Bardzo dobrze czuł się wśród studentów. Niespodziewana śmierć przerwała wiele działań Profesora. Profesor Kozłowski zmarł po dłuższej chorobie dnia 10 maja 2021r.

Na podstawie materiałów Współpracowników z Instytutu Automatyki i Robotyki Politechniki Poznańskiej

Pana profesora Krzysztof Kozłowskiego poznałem jako student po jego powrocie z Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, USA. Kończyłem wówczas studia i stanąłem przed problemem wyboru drogi życiowej. Spotkanie profesora Kozłowskiego, wówczas młodego pracownika naukowego oraz jego energia i zaangażowanie w pracę naukową stało się moją inspiracją w wyborze dalszej drogi rozwoju. Od momentu rozpoczęcia pracy na Politechnice Poznańskiej znalazłem się w zespole badawczym Profesora i od samego początku potraktowany jako Kolega. Od tego momentu stał się moim Mentorem, który wspomagał mnie w moich planach naukowych. Dzięki Jego zaangażowaniu obroniłem swoją rozprawę doktorską. Pamiętam wspólne dyskusje na temat mojej pracy naukowej nie tylko na Uczelni ale również w domu Profesora. Moje zainteresowania skupiły się wokół robotyki medycznej i mimo że nie był to temat popularny na Politechnice Poznańskiej, profesor Kozłowski zawsze mnie wspierał i motywował do dalszej pracy naukowej. Zachęcał do pozyskiwania grantów naukowych. Zawsze powtarzał, że jeśli nie spróbuje złożyć wniosku to na pewno go nie uzyskam. Zawsze swoim przykładem zachęcał do pracy badawczej. Odejście Profesora Kozłowskiego wprowadziło pustkę ale zawsze pozostanie w mojej pamięci

Drogi Nauczycielu, Profesorze, Mistrzu dziękuję za wszystko.

Piotr Sauer (Politechnika Poznańska)

Prof. dr. hab. n. med. Marian Zembala (1950-2020)

Wspomnienie



PRACA

26 marca 2022 napisałem: dzisiaj odprowadziliśmy w bezpowrotną drogę; jedni swojego szefa, dyrektora, inni kolegę czy przyjaciela, swojego lekarza, ojca, dziadka WSZYSCY zadbajmy, by nic się nie zmarnowało z wielkiej spuścizny tego niezwykle człowieka - który miał jedną słabość > **nie potrafił żyć bez swojej PRACY.**

Kilka dni wcześniej, zaś tak: Prof.MarianZembala. Dotarła właśnie do mnie wieść przesmutna o tym, że odszedł ktoś bardzo ważny i w moim życiu, i w życiu społeczności miasta a przede wszystkim dla medycyny i najtrudniejszych jej użytkowników -pacjentów. To był ten trzeci po prof. Wosiu i prof Bochenku, którzy otrzymali własne kliniki/katedry - On otrzymał bezpośrednią schedę po 10 letniej działalności prof. Zbigniewa Religi - Zabrze. I zrobił to czego Relidze się nie udało: z sukcesem transplantację serca i płuc (od tego czasu SCCS zabrzański jest centrum też transplantacji płuc) ale też zbudował kilka nowych oddziałów, świetne

kolejne szpitale specjalistyczne, których było brak w Polsce. Poszedł też jego drogą „w politykę” - jako poseł i minister zdrowia. Jak każdy z uczniów prof.Z.Religi był samodzielny, twórczy, charyzmatyczny, niezwykle. Pozostawił trwałe dzieło, sprawnie działający zespół, szpital, kolejną inwestycję i ... RODZINĘ, którą kochał ponad to wszystko - WYRAZY WSPÓŁCZUCIA WSZYSTKIM NAJBLIŻSZYM, by się podnieśli po tym trzęsieniu ziemi i ból minął, bo zadań będzie więcej przed nimi. Prof. Marian Zembala był też świetnym, uznanym w świecie naukowcem, prawdziwym erudytą - wiedzą Ci co mieli szczęście z nim spędzić rzadkie dla Niego wolne chwile. Był też w gronie 17 założycieli Fundacji Rozwoju Kardiologii i przewodniczył Radzie Naukowej FRK - wielu młodych naukowców ceni sobie nagrody im.prof.Z.Religi - przewodniczył też i temu konkursowi - z wielką atencją dzielił swoją sławę z tymi którzy podążali drogą prof. Religi. Pozostanie niezastąpiony i szczerze podziwiany w naszej pamięci.

Profesor Zembala często, dając dobry przykład rozsądku i właściwej miary rzeczom i faktom, „tak jak Ci mądrzy, zaradni Holendrzy”. Dobrze wiedział co mówi, bo spędził w znakomitych ośrodkach klinicznych w tym kraju kilka lat od 1980r. Stąd jego też fascynacja kardiologią dzieci. Już wtedy też pokazał swoje oblicze społecznika i osoby, która potrafi wskrzesić ideę i pociągnąć za sobą wszystkich – z wielkiej akcji pomocy dla polskich dzieci skorzystało setki małych pacjentów na zaproszenie Holendrów (i przez nich sfinansowanych operacji). Wiele lat później ruszył w rejs do Amsterdamu z podziękowaniem Darem Młodzieży – ze swoim zespołem, przy okazji światowej konferencji – co odnotował cały świat medyczny jako niezwykle, oryginalne i „typowe dla Zembali”. Wszyscy wiedzieliśmy o jego pasji żeglarskiej – od wejścia do Jego Szpitala.

W 1993 objął funkcję dyrektora Śląskiego Centrum Chorób Serca w Zabrzu. Interesował się wszystkim i wszystkimi, chyba każdego pracownika przyjmował osobiście, trzymał w korbach wykonawców robót budowlanych szpitali i firmy instalujące urządzenia, ciągle nadzorował kardiologię i wszystkich pacjentów. Wstawał pewnie przed 6 bo mieliśmy sms-y czy ma, wszechstronnie pisane zawsze z emocjami, czy dotyczyły nauki, konferencji, publikacji czy kolejnej inwestycji; często po 21 jeszcze można było go zastać w Zabrzu. Prof. Marian Zembala był wybitnym, wszechstronnym kardiologiem ale do historii przeszedł jako transplantolog, w szczególności płuco-serca, po pierwszym w Polsce przeszczepie w 2001.

Mój przyjaciel, Marek Breguła, ten pierwszy „składak” (jak o sobie mówi), co roku święcił z nim swoje „dru-gie urodziny”. Marek to zresztą do dzisiaj znany w Tar-nowskich Górach (też miasta w którym prof. Zembala mieszkał) społecznik i propagator idei transplantacji.

MISJA. MIAŁ POCZUCIE MISJI

Ponad 20 lat temu, gdy byliśmy z wizytą przyjaźni SUM (wtedy jeszcze Śląskiej Akademii Medycznej) na Uni-wersytecie Hebrajskim (nasi lekarze mieli tam staże naukowe w jednym z najlepiej na świecie wyposażo-nym laboratorium) w kampusie w którym spaliśmy zobaczyliśmy ogłoszenie o spotkaniu z jakimś amery-kańskim naukowcem, który rozprawił się z okresem Mikołaja Kopernika (jakieś kręcące się talerzyki, wy-woływanie duchów itp.) – starliśmy go w pył obydwa-j poddając w wątpliwości wiele faktów przez niego cy-towanych – „nie będzie nam Amerykanin szargał opinii naszego Mikołaja”. Kilka dni później, gdy zwiedzaliśmy w Jerozolimie muzeum Jad Waszem, gdy zobaczyli-smy zdjęcie granatowego policjanta z podpisem „pol-ski policjant i Żydzi..” nie wyszedł dopóki nie zszedł do nas zawieszany przez niego kustosz muzeum, która to Pani musiała wysłuchać emocjonalnej połajanki Ma-riana, że na pewno nie – polski, i że to błąd, i historycz-ny, i merytoryczny, i należy go usunąć (nikt nie mógł się mu oprzeć gdy retorycznie podnosił różne kwestie, więc i ty razem obiecano poprawę).

Gdy został ministrem i się dowiedział, że zagrożo-ne są fundusze EU dla nas powołał zespół młodych (sam do niego skierowałem mojego przyjaciela Ar-tura Bartoszewskiego) ludzi i w kilka miesięcy zreż-nie przekonali komisję, że jest wartościowy plan i że Polska warta jest tych funduszy. Zresztą jako minister ruszył we wszystkie strony odwiedzając każdy region Polski, stymulując, dyskutując i .. słuchając propozycji usprawnienia systemu zdrowia (idąc śladem Religi). Cały zespół SCCS był wtedy oddany sprawie pokazując własne doświadczenia...

Miał szerokie zainteresowania, to był erudyta, ocytany i obeznany ze światem. Był świetnym roz-mówcą. Znał wszystkich, którzy tworzyli medycynę XX w. Zaskoczył mnie, że również Willema Kolffa – twórcę sztucznej nerki i sztucznego serca (zwanego Jarvik od współtwórcy nazwiska).

ŻEGLARSTWO

Wychowywał dzieci i lekarzy pokazując świat z po-ziomu pokładu żaglowca i odpowiedzialności, która płynie z każdego udziału w pracy zespołu. Ale też i piękno przygody.

Jeszcze w młodości zaprzyjaźnił z **Adamem Jasserem** polskim żeglarzem, popularyzatorem i organizatorem żeglarstwa, założycielem Bractwa Żelaznej Szekli. Przy-jaźń przetrwała wieki – dosłownie. Marian zaprosił do swej przygody wszystkich swoich pracowników orga-

nizując szereg rejsów Medyków, które prowadził i or-ganizował kapitan Jasser. To był element wychowania. Ale też dzielenia się radością. Wśród nich znalazłem się również ja. Rejs pod hasłem "Dziękujemy, Holan-dio" był formą podziękowania dla społeczeństwa ho-lenderskiego, dzięki któremu w latach 80. i 90. ub. wieku bezpłatnie zoperowano w Szpitalu Uniwersy-teckim Królowej Wilhelminy w Utrechcie 426 polskich dzieci z ze złożonymi, wrodzonymi wadami serca.

„Dar Młodzieży” 24 sierpnia 2013 r. z grupą 90 pol-skich kardiologów i kardiochirurgów pożegnał Gdy-nię i wyruszy do Amsterdamu. Celem podróży jest kongres Europejskiego Towarzystwa Kardiologiczne-go.”

Ja uczestniczyłem w rejsie Amsterdam – Londyn na kolejną konferencję światową. W tą morską podróż na Kongres ESC Londyn 2015, w której wzięło prawie 100 lekarzy z całej Polski, pod hasłem „Rejs ku Inno-wacjom „, wziąłem robota Robin Heart Pelikan – był jednym z gwiazdorów wystawy dla zwiedzających nas żaglowiec. Też mieliśmy tam swoje kontakty. Robot inspirowany ośmiornicą powstawał w ramach mię-dzynarodowego projektu Stiff Flop, koordynowanego przez Kings College w Londynie, w którym udział brało 12 partnerów z 6 krajów.

Z kolei Pelikan, czyli model robota PortVisionAble, stworzony w Fundacji w ramach środków z Naro-dowego Centrum Badań i Rozwoju, był przykładem lekkiej, mobilnej, sterowanej joystickiem lub gło-sem maszyny, która trzymając kamerę endoskopową w operacjach małoinwazyjnych pełniła rolę asystenta lekarza.

Zaczęło się w 2010 r. gdy medycy popłynęli „Zawi-szą Czarnym” na zjazd do Sztokholmu, a w 2013 r. po raz pierwszy fregatą "Dar Młodzieży" odbyli " Rejs dla Serca", a potem wspomniany „Rejs ku innowacjom” w sierpniu 2015. W tym roku kontynuujemy tą trady-cję i płyniemy Pogorią w rejs „Fizyków i Medyków”. Wiedzieliśmy, że prof. Zembala nie popłynie z nami, ale nie, że powód będzie już tak nieodwracalny.

ROBOTY

Prof. Marian Zembala był częstym gościem naszych spotkań, konferencji, warsztatów. W SCCS spędziłem tysiące godzin wdrażając nasze komory wspomagania serca we wczesnych latach 90’ poprzedniego wie-ku. Do dzisiaj komory POLVAD które projektowałem w 1991 r. są stosowane klinicznie w Polsce ratując pacjentów (najdłużej prawie dwa lata skutecznego wspomagania). Od początku, od pierwszej konferen-cji Roboty Chirurgiczne w 2001 r. kibicował naszemu projektowi robota Robin Heart. Profesor przyjaźnił się z prof. Wojciechem Witkiewiczem, który pierwszy w Polsce kupił robota da Vinci i, oczywiście, z prof. Andrzejem Bochenkiem, który kupił AESOPa i zrobił pierwsze operacje kardiochirurgiczne w Polsce po-



życzonym robotem Zeus. W latach 2008 – 2009 prowadziliśmy eksperymenty na zwierzętach naszymi robotami. W eksperymentach uczestniczyli dr. Michał Zembala i Joanna Śliwka. Byliśmy umówieni na pierwsze eksperymenty z naszymi robotami w jego szpitalu. W 2008 r. jednak po pierwszych eksperymentach, gdy uzyskałem dobre opinie nt pierwszego robota – robota toru wizyjnego Robin Heart Vision – wybraliśmy właśnie ten model na początek drogi klinicznej Robina. Niestety – firma Famed z Żywca, która miała wdrażać nasze roboty – właśnie wpadła w kłopoty z powodu tzw. afery „opcji walutowych” i już się nie podniosła przez lata po tych kłopotach finansowych i zmianach właścicielskich. Prof. Marian Zembala, któremu co roku sprawozdawałem – jako szefowi Rady Naukowej FRK – postępy naszego Instytutu, wierzył w nasze możliwości twórcze i aplikacyjne w każdym wymiarze i rodzaju. Wiele zresztą z tych projektów dotyczących bioinżynierii i biotechnologii wykonywaliśmy wspólnie. A polskie roboty pozostały przed progiem kliniki do dzisiaj.

Z zapalem szkolił studentów i nowych adeptów kardiologii - drzwi SCCS otwarte za Zbigniewa Religi dla wszystkich takimi pozostały – przyjeżdżały tam sławy medycyny światowej i młodzi po pierwszy chrzest chirurgiczny. Tydzień temu na Zoomie ustalaliśmy plany pomocy dla kliniki kardiologii w Kijowie i było świetne, miłe spotkanie – Igora Mokryka z Kijowa i Bartosza Rylskiego obecnie z Freiburga (kilka lat temu nagrodzonego przez komisję konkursową nagrody naukowej FRK im prof. Zbigniewa Religi prowadzoną przez prof. M. Zembalę) – obydwaj dzisiaj znakomici ordynatorzy doświadczenia kardiologiczne zdobywali

w Zabrze. Przyjaźnie i wiedza to багаż, który pozwolił im działać też skalę międzynarodową. Wiele takich śladów do dziś można znaleźć w wielu miejscach na świecie, poczynając np. od Gruzji, gdzie kardiologia zaczęła się rozwijać dzięki SCCS, FRK i zabrzańskim lekarzom.

Był dumny ze swojej pracy akademickiej. W tamtym roku, podczas uroczystości otwarcia roku akademickiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach, skojarzonej z wręczeniem doktoratu honorowego tej jego macierzystej uczelni, w podziękowaniu pouczył wszystkich, że nie można odbierać emerytom możliwości pracy edukacyjnej, bo właśnie wtedy są oni najbardziej potrzebni, najcenniejsi dla swoich młodszych kolegów, adeptów medycyny. Taki apel.

Profesor Religa nauczył nas, że innowacje, edukacja, promowanie wiedzy i umiejętności to zawsze wspólna praca – lekarzy i inżynierów. Profesor Marian Zembala był samodzielnym mistrzem w tym planie. Zbudował kolejne, świetnie wyposażone szpitale, otworzył nowe działy medycyny serca w Polsce, był uznanym naukowcem, chirurgiem i znawcą technologii medycznych, innowatorem, twórcą i redaktorem czasopisma Kardiologia i Torakochirurgia Polska i postacią jak wyrysowaną w greckiej tragedii, czy szekspirowskim dramacie – co nam postanowił pokazać dnia ostatniego.

Zbigniew Nawrat (Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Fundacja Rozwoju Kardiologii im. prof. Zbigniewa Religi w Zabrze)

Raport – zdalne sterowanie robotem Robin Heart pomiędzy Zabrzem a Dubajem

Artykuł recenzowany

DARIUSZ KRAWCZYK^{1,2}
ZBIGNIEW NAWRAT^{1,3}

¹Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii
im. prof. Zbigniewa Religi w Zabrzu
²Szkoła Doktorska Nauk Medycznych,
Katedra Biofizyki, Wydział Nauk
Medycznych w Zabrzu,
Śląski Uniwersytet Medyczny
w Katowicach
³Wydział Nauk Medycznych w Zabrzu,
Śląski Uniwersytet Medyczny
w Katowicach

Słowa kluczowe:
roboty medyczne,
telemanipulatory chirurgiczne,
teleoperacje

Keywords:
medical robots,
surgical manipulators,
teleoperations

Streszczenie

Zdalne sterowanie narzędziami chirurgicznymi stanowi do dzisiaj wyzwanie. Badania różnych metod sterowania na odległość, w różnych warunkach technicznych i na różnych dystansach, pozwalają określić granice skuteczności i bezpieczeństwa telechirurgii. Zdobyta wiedza będzie wykorzystywana do doskonalenia wyposażenia, konstrukcji i oprogramowania, a w efekcie: optymalizacji celu wprowadzenia robotyki do medycyny. Celem wprowadzenia robotów jest poprawa skuteczności, precyzja, powtarzalność (standaryzacja) i zmniejszenie inwazyjności zabiegów chirurgicznych. W tym artykule autorzy opisali eksperyment podjęty w styczniu 2022 r. – demonstracja zdalnego sterowania robotem Robin Heart Pelikan wykorzystując ogólnodostępny Internet. Opracowano, zastosowano i przetestowano kilka różnych metod sterowania na odległość: pomiędzy Instytutem Protez Serca w Zabrzu (konsola sterowania) a robotem Robin Heart umieszczonym w halach targowych ArabHealth 2022 w Dubaju. Na podstawie pomiarów oceniono, która z metod transmisji sygnałów i obrazów jest najbardziej optymalna, czyli zapewnia zarówno niewielkie opóźnienia (latencja) w transmisji sygnałów jak i odpowiednią jakość oraz kontrolę przesyłanych informacji.

Abstract

The remote control of surgical instruments is still a challenge today. Research on various methods of remote control, in different technical conditions and at different distances, allows to define the limits of effectiveness and safety of telesurgery. The acquired knowledge will be used to improve equipment, construction and

software and, as a result: optimize the goal of introducing robotics into medicine. The purpose of introducing robots is to improve the efficiency, precision, repeatability (standardization) and reduce the invasiveness of surgical procedures. In this article, the authors describe an experiment undertaken in January 2022 - a demonstration of the remote control of the Robin Heart Pelikan robot using the public Internet. Several different methods of remote control from Zabrze, a robot located in Arab-Health2022 exhibition halls in Dubai, were developed, applied and tested. Based on the measurements, it was assessed which of the methods of signal and image transmission is the most optimal, i.e. it ensures both low delays (latency) in signal transmission and appropriate quality and control of the transmitted information.

WPROWADZENIE

W Fundacji Rozwoju Kardiologii im prof. Zbigniewa Religi w Zabrzu (FRK) w ramach pionierskich prac nad robotami chirurgicznymi z rodziny Robin Heart powstało kilkanaście modeli i prototypów innowacyjnych narzędzi chirurga [1].

Obecnie opracowywane roboty należą do grupy telemanipulatorów. Umiejętność skutecznej interwencji lekarza w miejscu i czasie, tam i wtedy kiedy jest konieczna, stanowi wyzwanie telemedycyny aktywnej, w tym telechirurgii. W 2009 wykonano w FRK pierwszą teleoperację

na modelu układu kostnego człowieka z naturalnym sercem świni w jego klatce piersiowej: kardiolog Joanna Śliwka (pracownik Śląskiego Centrum Chorób Serca w Zabrzu) z konsoli Robin Heart Shell umieszczonej w FRK w Zabrzu sterowała robotem umieszczonym w Katowicach w Centrum Medycyny Doświadczalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego (CMD SUM). W tej samej sali operacyjnej kilka miesięcy wcześniej wykonano eksperyment na świni, stosując najnowszego robota Robin Heart mc². W ramach współpracy z FRK firma Emitel zestawiała system komunikacji złożony z bezprzewodowego łącza radiowego punkt-punkt (13 km), systemu transmisji danych, sygnału audio-wideo z kilku źródeł wraz z konwersją sygnału analogowego na cyfrowy. Opóźnienia wynosiły odpowiednio: dla sygnału sterowania pomiędzy katowickim CMD SUM z FRK w Zabrzu robotem (1 ms) oraz dla obrazu (280 ms) [1,2]. Robin Heart Team, wykorzystując rozwijającą się sieć internetową wykonał następnie testy zdalnego sterowania robotem na odległość pomiędzy Meksykiem i Zabrzem oraz serię eksperymentów teleoperacji z FRK w Muzeum Górniczym w kopalni

Guido (poziom -320m). Przygotowywane są kolejne eksperymenty w tym zakresie, również wykorzystujące sieć 5G z partnerem – jednym z wiodących na rynku polskim dostawców usług telekomunikacyjnych.

Teleoperacja może być wykonywana dzięki aktywnej teleobecności chirurga i możliwości jego interakcji z pacjentem za pomocą robota. Kontrola położenia i działania narzędzi zostaje zapewniona obecnie przez dostęp do aktualnego obrazu miejsca operacyjnego. Prowadzone są prace badawcze nad wdrożeniem do praktyki klinicznej robotów przekazujących operatorowi również dane dotyczące reakcji siłowych. W pętli sprzężenia układu sterowania znajduje się człowiek [3]. Lekarz-operator robota chirurgicznego, może być traktowany jako element systemu sterowania powiązany przez system informatyczny i działanie układu elektromechanicznego robota z narzędziem wykonawczym (bierzemy tu pod uwagę zarówno przetwarzanie informacji w mózgu, jak i zależną od niego koordynację ruchową precyzyjnego sterowania poprzez interfejsy robota) [2].

Rozwój technologii telekomunikacyjnych inspirował postępy w zakresie teleoperacji. Systemy telemedyczne zostały przygotowane i po raz pierwszy zastosowane przez NASA. Podczas lotu kosmicznego amerykańskiego astronauty Johna Glenna zdalnie monitorowano parametry fizjologiczne, a wyniki przekazywano na Ziemię. W 1965 roku przez interaktywne połączenie wykorzystujące interkontynentalnego satelitę Early Bird (TV link-up), M. DeBakey wykonał operację zastawki aortalnej w Methodist Hospital (Houston, Texas, USA), utrzymując stały kontakt wizyjny z uniwersytetem w Genewie w Szwajcarii. Naturalnym następstwem tych pionier-

skich doświadczeń było wprowadzenie do medycyny różnorodnych technologii telekomunikacyjnych, które umożliwiały pośredni kontakt lekarza z pacjentem. Znaczenie i możliwości telemedycyny wzrosły dopiero w momencie pojawienia się masowego dostępu do globalnej sieci teleinformatycznej [1].

Możliwość operowania na odległość była główną przyczyną powstania robotów chirurgicznych. Stosowane klinicznie roboty chirurgiczne wywodzą się z zarzuconego programu wojen gwiazdnych, prowadzonego w latach 70. i 80. przez NASA (firma Computer Motion CMI produkująca robota Zeus) oraz Pentagon (firma Intuitive Surgical IS produkująca robota da Vinci). W 1986 r. Phil Green z Stanford Research Institute (SRI) otrzymał grant na opracowanie zdalnie sterowanego robota chirurgicznego. Pierwszy robot testowany był przez waszyngtońskiego chirurga – Richarda Satavę. Dobre wyniki testów jednego ramienia spowodowały, że DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) sfinansowała wykonanie pierwszego robota (na platformie wozu wojskowego) [1].

Procedury telechirurgiczne wprowadzono do praktyki wykorzystując połączenie satelitarne między Europą i USA oraz kabel światłowodowy USA–Europa. Fabrizio i wsp. [4] prowadzili badania wpływu opóźnienia obrazu i oceniali, że poniżej 700 ms jeszcze można operować, natomiast przy większym opóźnieniu liczba błędów jest nieakceptowalna. Większość badaczy za graniczną wielkość opóźnienia przyjmuje 300 ms [1].

Postępy telechirurgii wymagają rozwiązania problemów technicznych związanych z opóźnieniem przekazu informacji, głównie obrazu wideo. Podejmowano różne próby określenia i kompensacji wpływu latencji na zabiegi telechirurgiczne. Pierwsze teleoperacje prototypem robota da Vinci (opracowanym w stanfordzkim SRI) wykonali Richard Satava i John Bowersox w 1996 roku [5]. Pierwszym spektakularnym sukcesem telechirurgii była Operacja Lindbergh we wrześniu 2001 roku, w której sygnały sterujące robotem przekazywane były na odległość 7 tys. km, z Nowego Jorku do szpitala w Strasburgu (Francja). Jacques Marescaux ze swoim zespołem IRCAD za pomocą robota Zeus usunął pęcherzyk żółciowy 68-letniej pacjentce. Była to pierwsza operacja typu RARTS (Robot-Assisted Remote Telepresence Surgery). Opóźnienie podmorskiej sieci światłowodowej ATM OC-3 o przepustowości 10 Mb/s przesyłającej sygnały nie przekraczało 155 ms (ze względów bezpieczeństwa opóźnienie nie może przekraczać 200 ms) [6]. Operację na człowieku poprzedzały testy telechirurgiczne na zwierzętach, badania źródeł opóźnień i ich wpływu na jakość operacji. Transmisję sygnałów pomiędzy konsolą

i robotem w laboratorium przeprowadzono odtwarzając na terenie Francji sieć długości 3000 km (całkowita latencja 11 ± 3 ms). To było zbyt mało, więc w kolejnych eksperymentach wprowadzono sztuczne (programowe) opóźnienia w celu wyznaczenia maksymalnej tolerowalnej latencji.

W roku 2002 przeprowadzono kolejną operację, tym razem w Berlinie (rak prostaty). W lutym 2003 roku przeprowadzono pierwszą teleoperację szpital-szpital. Mehran Anvari z Kanady przeprowadził operację, fundoplikację sposobem Nissana na odległości 350 km (między McMaster University w Hamilton – Ontario, Kanada i North Bay) robotem Zeus (opóźnienie do 150 ms) [7].

W 2005 roku Hanly i Broderick opracowali wytyczne umożliwiające przeprowadzenie teleoperacji nawet przy latencji rzędu 1000 ms [8]. Oto główne zalecenia dla chirurga: wykonywanie spokojnych, wolnych ruchów, w procesie przygotowania doskonałości umiejętności przewidywania zmiany pozycji narzędzi chirurgicznych. Autorzy docenili również rolę chirurga asystującego na sali operacyjnej oraz zastosowanie synchronizacji obrazów.

W 2009 roku japońscy lekarze prototypowym robotem wykonali na zwłokach pierwszą próbę teleoperacji typu NOTES (natural orifice transluminal endoscopic surgery) na odległości 3,750 km. Opóźnienie sieci ethernetowej na trasie Japonia–Tajlandia wynosiło 65 ms, obrazu od 160 do 210 ms w jedną stronę [9].

Najważniejszym czynnikiem wpływającym na postęp w dziedzinie teleoperacji jest zmniejszenie opóźnień w transmisji sygnału związanych z odległością między operatorem a robotem, czyli lekarzem i pacjentem. Jedną z takich możliwości jest wprowadzenie standardu 5G. Pierwszym dowodem tej tezy są doniesienia o eksperymencie na zwierzętach przeprowadzonym w Chinach. Operację przeprowadzono z odległości 30 mil przy użyciu połączenia 5G z opóźnieniem zaledwie 100 milisekund [10]. Również w naszym zespole planujemy przeprowadzić eksperymenty z wykorzystaniem sieci 5G.

Jednak w tym roku postanowiliśmy wykorzystać okazję – pokazy naszego najłżejszego robota Robin Heart Pelikan na targach ArabHealth w Dubaju – by sprawdzić możliwości kontrolowania pozycji robota wykorzystując ogólnodostępną sieć internetową. W tej publikacji podsumowujemy nasze doświadczenia sterowania robotem na odległość Zabrze-Dubaj i Dubaj – Zabrze.

Prace nad doskonaleniem technicznym, metodologicznym, czy prawnym teleoperacji prowadzone są obecnie w wielu wiodących w dziedzinie robotyki ośrodkach. Mamy nadzieję, że również nasze doświadczenia wnoszą znaczący wkład w ten proces rozwoju teleoperacji.

METODY I MATERIAŁY

System telechirurgiczny Robin Heart (rys.1) umożliwia:

- Zdalny transfer obrazu z kamery endoskopowej umieszczonej wewnątrz ciała pacjenta do monitora umieszczonego w konsoli sterowania robotem.
- Transfer sygnałów sterowania robotem (położenia dłoni chirurga – operatora robota) pomiędzy zadajnikiem ruchu w konsoli a robotem.
- Transfer danych siłowego sprzężenia zwrotnego, mierzonego czujnikami siły umieszczonymi w narzędziu mechatronicznym robota – do zadajnika ruchu w konsoli sterowania.

Jak przeprowadzić teleoperację z najmniejszymi opóźnieniami (bez kontroli bezpieczeństwa, synchronizacji)?

- Transfer obrazu:

Teletransmisja – optymalizacja prędkości strumieniowania – minimalizacja opóźnień.

Do transmisji obrazu z minimalnymi opóźnieniami wykorzystano dedykowane urządzenie Encoder + Streamer firmy VITEC (rys.2). Tego typu urządzenie odbiera sygnał HDMI z kamery endoskopowej i transmituje go w sieci Ethernet o prędkości 1 GB/s za pomocą ramek UDP.

- Opóźnienia techniczne

Streaming, czyli udostępnianie obrazu i dźwięku „na żywo” w sieci, wymaga odpowiedniego zestawienia sprzętowego. Zgodnie z danymi katalogowymi czas jaki upłynie od momentu odebrania sygnału HDMI do wysłania ramki UDP to 4ms. A czas całej transmisji w sieci lokalnej od kamery -> poprzez enkoder -> sieć Ethernet -> dekodery, aż do wyświetlenia obrazu to 15 ms (rys.3).

Wykorzystując tego typu urządzenia jesteśmy w stanie transmitować obraz z minimalnymi opóźnieniami. Transmisja jest obciążona jednak pewnymi problemami z punktu widzenia założonego zadania – sterowania robotem medycznym na odległość.

Zalety:

- Ekstremalnie niskie opóźnienie transmisji obrazu w sieci lokalnej (1Gb/s) – 4 ms kodowanie i dekodowanie, 15 ms całość transmisji od kamery po monitor.

Wady:

- Minimalne opóźnienia są możliwe do uzyskania jedynie w sieci lokalnej.
- Ograniczona możliwość konfiguracji sieci w urządzeniu streamującym – mamy możliwość ustawić tylko automatyczny (DHCP) lub statyczny adres IP. Co za tym idzie połączenie serwer/klient VPN musi być realizowane przez dodatkowe urządzenia – wprowadzające dodatkowe opóźnienia.
- Połączenie internetowe robot – konsola sterowania należy zestawić w taki sposób, aby



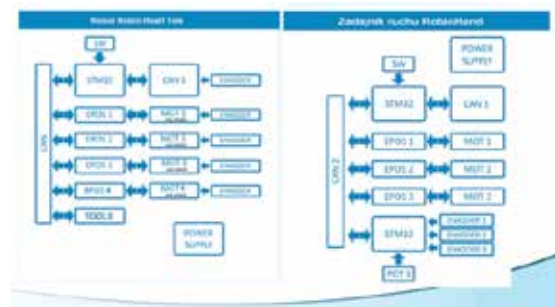
Rysunek 1. Schematycznie o teleoperacji robotem Robin Heart



Rysunek 2. Dokumentacja Enkodera VITEC



Rysunek 3. Schemat transmisji obrazu z minimalnymi opóźnieniami



Rysunek 4. Schemat blokowy zadajnika ruchu i robota TeleRobinHeart

z punktu widzenia urządzeń streamingowych były w tej samej podsieci i ich adresy IP były statyczne i widoczne między sobą.

- Specyficzny rodzaj streamingu – zestawienie wielu połączeń TCP/UDP, co powoduje bardzo duże obciążenie urządzeń szkieletowych sieci Ethernet, np. Firewalla sprzętowego, który analizuje w czasie rzeczywistym przesyłane dane pod kątem zagrożeń.



Rysunek 5. Schemat systemu przesyłania sygnałów sterowania robotem z minimalizacją opóźnień



Rysunek 6. Topologia optymalnego połączenia zdalnego robotu chirurgicznego – konsola operatora

- Brak jakiegokolwiek możliwości synchronizacji transmisji obrazu do transmisji sygnałów sterowania.

Szybki transfer sygnałów sterowania:

- Szybka transmisja sygnałów sterowania (minimalizacja opóźnień w torze sterowania)

Zgodnie ze schematami blokowymi (rys. 4) zarówno zadajnik ruchu po stronie konsoli sterowania, jak i robot kontrolowane są za pomocą mikrokontrolerów STM 32 F7. W wersji zdalnie sterowanej zamieniono mikrokontrolery jednorzeniowe STM32 F7 na dwurzeniowe STM32 H7, w takiej konfiguracji, że rdzeń nr 1 obsługuje sterowanie robotem lub zadajnikiem ruchu (obliczenie kinematyki itp.) natomiast rdzeń nr 2 odpowiada za komunikację z siecią Ethernet.

W rozwiązaniu przedstawionym na rys. 5 mamy do czynienia z minimalizacją opóźnień w torze sterowania (oprogramowania na bardzo szybkie wysyłanie ramek TCP). Uzyskany czas transmisji zadajnik-robot ~10 ms.

Ten sposób sterowania chociaż pozwala na transmisję z minimalnym opóźnieniem posiada pewne wady:

- Ograniczona możliwość konfiguracji sieci po stronie mikrokontrolerów.
- Usługi typu VPN i szyfrowanie transmisji muszą być zapewnione przez zewnętrzne dodatkowe urządzenia.
- Połączone urządzenia konsola – robot muszą znajdować się w jednej klasie adresów IP i w jednej podsieci.
- Brak możliwości synchronizacji obraz – sterowanie.

ROBOTY

DUBAJ: W eksperymencie wykorzystano ultralekiego, jednoramiennego robota toru wizyjnego Ro-

bin Heart Pelikan (4 stopnie swobody) opisanego w publikacji [11].

ZABRZE: W eksperymencie wykorzystano robota Robin Heart Tele opisanego w publikacji [12], zmodyfikowanego przez Dariusza Krawczyka. Robot w obecnej wersji stanowi pełny system chirurgiczny na który składa się: robot trójramienny wyposażony w dwa narzędzia produkcji Intuitive Surgical (producent robota da Vinci) oraz tor wizyjny kontrolowany z konsoli Robin Heart Stiff Flop. W tym modelu (7 stopni swobody) zainstalowano 6 czujników siły do testów sprzężenia siłowego. Wyniki zostaną opublikowane wkrótce.

JAK BEZPIECZNIE PRZEPROWADZIĆ TELEOPERACJĘ ?

Przygotowania do zdalnego sterowania z wykorzystaniem ogólnodostępnej sieci internetowej na dystansie Zabrze-Dubaj-Zabrze.

PRZYPADKÓW OPTIMALNY

Optymalny typ połączenia zdalnego robot – konsola to taki, który przy akceptowalnym poziomie opóźnień (<100ms) pozwala na:

- Synchronizację danych obrazu z danymi sterowania – aby nie dochodziło do sytuacji zmienności opóźnień obrazu względem sterowania.
- Kontrolę przepływu danych z automatyczną retransmisją pakietów w przypadku wystąpienia błędów lub utraty części danych.
- Ustandaryzowaną strategię postępowania na wypadek utraty pakietów, zbyt dużego opóźnienia, zerwania połączenia.

Topologia optymalnego połączenia jest przedstawiona na rys 6.

Komputer konsoli sterowania powinien mieć zapewniony dostęp do Internetu z statycznym publicznym adresem IP, na którym można zainstalować serwer VPN. Po stronie konsoli sterowania należy wprowadzić sygnał informacji o pozycji dłoni chirurga z zadajnika ruchu szybką magistralą np. USB wprost do komputera PC z zainstalowaną specjalną aplikacją. Rola komputera i aplikacji jest następująca:

- Uruchomienie serwera open-VPN
- Uruchomienie po stronie aplikacji konsoli serwera TCP.

Po stronie robota również należy wykorzystać komputer PC z specjalną aplikacją, do którego napędy robota oraz kamera endoskopowa zostaną podłączone szybkim interfejsem np. USB. Po zestawieniu połączenia VPN komputer konsoli – komputer robota następuje wymiana informacji między dwiema specjalnymi aplikacjami. Aplikacja Serwer – TCP po stronie konsoli i aplikacja Klient TCP po stronie robota. Aplikacja po stronie konsoli sterowania pobiera informację o położeniu i orientacji dłoni chirurga-operatora, a następnie pakuje te dane w pakiet TCP i wysyła do

aplikacji po stronie robota. Aplikacja po stronie robota, po nawiązaniu połączenia TCP z aplikacją konsoli odbiera dane dotyczące ruchu dłoni chirurga oraz zapytania o obraz. Dane dotyczące ruchu są „wyciągane” z ramek TCP i transmitowane po magistrali USB do robota. Na odebrane dane odnoszące się do sterowania robot odpowiada danymi związanymi ze sprzężeniem siłowym tworząc dwukierunkowy kanał transmisji sygnału sterowania. Równolegle do sygnału sterowania konsola wysyła zapytania o transmisję obrazu, na każde takie zapytanie aplikacja robota odpowiada transmisją jednej klatki obrazu. Aplikacja po stronie konsoli sterowania jest aplikacją główną typu MASTER. To ona zawiera serwer VPN, TCP i kontroluje całość przepływu danych. Monitoruje na bieżąco czas wysłania danych oraz czas uzyskania odpowiedzi na dany pakiet. Dzięki czemu w czasie rzeczywistym jest w stanie mierzyć opóźnienie w torze sterowania i w torze obrazu. Kolejną funkcjonalność aplikacji to synchronizacja danych, która polega na manipulowaniu ilością wysyłanych zapytań o obraz oraz danych sterowania z konsoli, w taki sposób, aby zachować stały czas opóźnienia np. na 10 transmisji danych przypada jedna transmisja obrazu. Dlatego możemy uniknąć desynchronizacji transmisji obrazu względem sygnałów sterowania robotem.

Zalety:

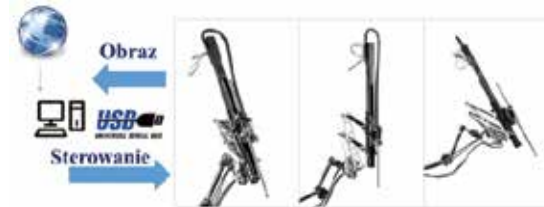
- I konsola i robot posiadają komputer PC dedykowany do zdalnego połączenia, dzięki czemu istnieje dowolna możliwość konfiguracji sieci, dostawców VPN i innych systemów np. szyfrowania danych.
- Możliwość synchronizacji danych obraz sterowania.
- Gdy całość danych zostaje zgrupowana w 1 aplikacji istnieje możliwość zastosowania sztucznej inteligencji, która będzie analizować transmisję i zapewniać jej bezpieczeństwo wraz z odpowiednią reakcją na sytuacje awaryjne np. zerwanie połączenia, utrata pakietów, zmienne warunki obciążenia łącza, niekontrolowany wzrost opóźnień danych.

Wady:

- Konwersja danych magistrali CAN -> USB po stronie zadajnika ruchu i robota wprowadza kolejne opóźnienia w torze sterowania.
- Konwersja obrazu z kamery za pomocą *video-grabera* HDMI-USB wprowadza dodatkowe opóźnienia w torze obrazu.
- Aplikacje dodatkowe po obu stronach sieci i synchronizacja danych w raz z ich analizą przez sieć AI wprowadzają dodatkowe największe opóźnienia.
- Video-grabber służy do przechwytywania sygnału ze źródła analogowego (kamera) i zapisywania go na dysku twardym



Rysunek 7. Model teleoperacji Zabrze-Dubaj-Zabrze w czasie targów ArabHealth 2022



Rysunek 8. Sprzęt wykorzystywany w testach w Dubaju (Robin Heart Pelikan połączony z komputerem 2 magistralami USB: 1 do kamery endoskopowej i 2 do sterowania)



Rysunek 9. Sprzęt testowy używany po stronie FRK – konsola sterowania z 2 zadajnikami ruchu, specjalistycznym oprogramowaniem i robot Robin Heart Tele (dla testów teletransmisji całość komunikacji z komputerem realizowana przez protokoły USB)

TESTY MODELU SYSTEMU TELEOPERACYJNEGO ZABRZE-DUBAJ-ZABRZE

Testy opracowanego, wielowariantowego systemu, przeprowadzono w styczniu 2022 r. podczas targów ArabHealth w Dubaju. Pokaz zdalnego sterowania robotem Robin Heart Pelikan (ultralekki robot toru wizyjnego o 4 stopniach swobody [11]) był wpisany w plan promocji polskiego stanowiska innowacji medycznych.

Rozpoczynając planowanie eksperymentu przyjęto następujące ograniczenia:

- brak dedykowanego łącza
- brak VLAN
- brak dedykowanego IP
- brak publicznego IP
- wyłącznie ogólnodostępny publiczny Internet

Uwzględniając ograniczenia wybrano topologię sprzętową zgodnie z rys 8:

Zaproponowano 4 alternatywne rozwiązania programowe wykorzystujące serwery chmurowe (Cloud-Serwer).

PROJEKT 1

Opis projektu nr 1

- Komputer PC jest podłączony poprzez komercyjną sieć do Internetu



Rysunek 10. Projekt nr 1



Rysunek 11. Projekt nr 2



Rysunek 12. Projekt nr 3



Rysunek 13. Projekt nr 4

- Aplikacja real VNC jest połączona do Cloud-Serwera po stronie FRK;
- Aplikacja real VNC jest połączona do Cloud-Serwera po stronie Dubai;
- Obie aplikacje przesyłają dane między sobą przez Cloud-Serwer;
- Sterowanie odbywa się poprzez aplikację umożliwiającą wykonywanie ruchów robota uruchomioną na komputerze zdalnym.

Takie rozwiązanie umożliwia zestawienie połączenia zdalnego dla komputerów nie posiadających publicznych adresów IP (będących za NATem). Jest to najszybszy sposób nawiązania połączenia tele – minimum konfiguracji sieci, nie jest wymagany publiczny adres IP – transmisja działa od razu po uruchomieniu systemu. Główna wada tego rozwiązania to Cloud-Serwer, który wprowadza dodatkowe opóźnienia transmisji i sieć tego typu posiada obniżone bezpie-

czeństwo (całość danych transmitowana przez serwer zewnętrznej firmy).

PROJEKT 2

Po stronie FRK znajduje się komputer z publicznym adresem IP w strefie DMZ. Po drugiej stronie, w Dubaju znajduje się komputer z dostępem do Internetu poprzez sieć GSM nieposiadającym publicznego adresu IP.

Plan działania w ramach projektu nr 2:

- W komputerze po stronie polskiej (z publicznym adresem IP) instalujemy serwer OPEN-VPN;
- Nawiązujemy połączenie zdalnym pulpitem za pośrednictwem Cloud-Serwera z modułu 1;
- Zdalnie na komputerze w Dubaju instalujemy klienta VPN i uruchamiamy szyfrowane połączenie VPN DUBAI – POLSKA;
- Rozłączamy zdalny pulpit podłączony poprzednio poprzez Cloud-Serwer;
- Uruchamiamy zdalny pulpit ponownie ale już bez Cloud-Serwera, tylko bezpośrednio poprzez VPN
- Rozpoczynamy sterowanie poprzez dedykowaną aplikację na komputerze zdalnym;
- Testujemy opóźnienia i dwa konkurencyjne oprogramowania do zdalnego pulpitu.

Tego typu połączenie posiada zapewnione bezpieczeństwo za pośrednictwem szyfrowanego połączenia VPN, lecz brak synchronizacji opóźnień sterowanie – obraz.

PROJEKT 3

Plan działania w projekcie nr 3:

- Instalujemy na obydwu komputerach sterownik służący do tunelowania portu USB za pośrednictwem VPN;
- Po stronie Dubaju podłączamy wirtualnie w oprogramowaniu dwa porty USB (od kamery i od sterowania robotem do portu VPN);
- Po stronie polskiej podłączamy dwa wirtualne interfejsy USB z połączenia VPN;
- Dzięki temu komputer po stronie polskiej zachowuje się tak, jakby były do niego wpięte bezpośrednio kamera i robot;
- Uruchamiamy aplikacje do sterowania robotem lokalnie w Polsce i sterujemy za jej pomocą robotem w Dubaju;
- Następnie rozłączamy sesję USB i zestawiamy ponowne połączenie w drugą stronę – interfejs USB z robota po stronie polskiej podłączamy jako tunel VPN i po stronie Dubaju jako wirtualny interfejs;
- Takie połączenie umożliwia sterowanie w odwrotnym kierunku, osoba z Dubaju steruje zdalnie robotem w Polsce.

Jest to najbardziej skomplikowany rodzaj połączenia. Bezpieczeństwo również zapewniane jest za pośrednictwem szyfrowania VPN.

Zalety:

- Pełna możliwość sterowania konfiguracją robota, łącznie ze zdalną aktualizacją oprogramowania (z punktu widzenia konsoli sterowania robot podłączony jest lokalnie)

Wady:

- Oprócz transmisji obrazu i sygnału sterowania przesyłamy bardzo dużą liczbę danych nadmiarowych odpowiedzialnych za transmisje tunelowanego portu USB - powoduje nie akceptowalne opóźnienia.
- Błąd w połączeniu TCP-IP powoduje rozłączenie tunelowanego połączenia USB i wyłączenie całego systemu.

PROJEKT 4

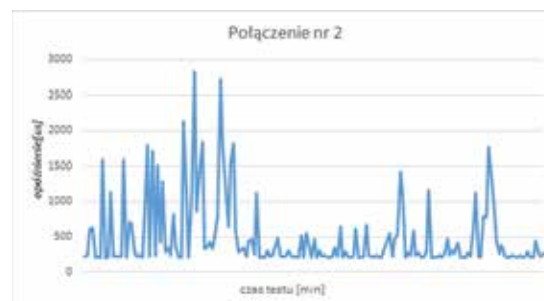
W komputerze w Dubaju zainstalowana jest dedykowana aplikacja połączona przez VPN do komputera w Polsce. Aplikacja po stronie robota w Dubaju odbiera strumień danych TCP, które są przetwarzane na ruch robota. Odpowiadając na zapytania wysyła dane obrazu zgodnie z opisem przypadku optymalnego wymienionego na początku artykułu (rys 6).

WNIOSKI I PODSUMOWANIE

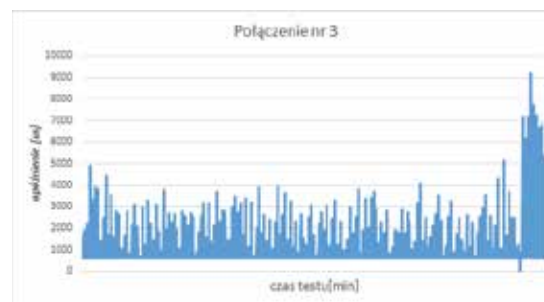
Połączenie nr 1 – Opóźnienie najbardziej zależy od wydajności Cloud-Serwera zewnętrznej firmy i może być zmienne w sposób całkowicie niekontrolowany – zależny od ilości osób podłączonych do cloud-serwera – dyskwalifikacja podczas teleoperacji z uwagi na niekontrolowane ryzyko wystąpienia niedopuszczalnego opóźnienia.



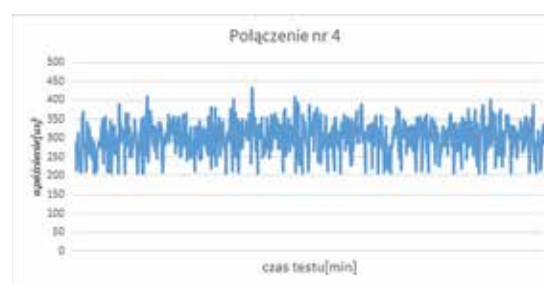
Połączenie nr 2 - Opóźnienie zależne od wydajności komputera po stronie konsoli sterowania oraz od sposobu kompresji obrazu protokołem zdalnego pulpitu. Może ulegać niekontrolowanej zmianie w zależności od tego, jaki obraz jest aktualnie wyświetlany (transmitowane są tylko piksele, które się zmieniły, a nie cały obraz) – dyskwalifikacja podczas teleoperacji z uwagi na niekontrolowane ryzyko wystąpienia niedopuszczalnego opóźnienia.



Połączenie nr 3 – Praktyczna dyskwalifikacja ze względu na słabą stabilność łącza i największe opóźnienia – największa ilość przesyłanych danych nadmiarowych. Ten typ połączenia nadaje się jedynie do celów serwisowych.



Połączenie nr 4 - Opóźnienie najbardziej zależy od optymalizacji i jakości aplikacji dedykowanej po stronie konsoli i robota oraz dostawcy oprogramowania VPN. Jedyny z testowanych sposobów połączenia umożliwiający kompensację zmienności opóźnień obraz – sterowanie wydaje się optymalny do teleoperacji.



Wykonane eksperymenty dowodzą możliwości i ograniczeń wykorzystania standardowych sieci komunikacyjnych wykorzystujących Internet. Oczywiście zakładamy dla planowych teleoperacji wykorzystanie szeregu specjalizowanych urządzeń i odpowiednich zabezpieczeń zapewniających szybkość i jakość przesyłanych informacji, obrazów i sygnałów pomiędzy lekarzem-operatorem a robotem na sali operacyjnej. Badania alternatywnych sposobów komunikacji mają znaczenie dla robotów stosowanych w procesie doradztwa, czy edukacji albo dla zapewnienia awaryjnych łączy podczas operacji.

■ PODZIĘKOWANIA

Przedstawiona praca została wykonana w ramach doktoratu wdrożeniowego Dariusza Krawczyka w Szkole Doktorskiej Śląskiego Uniwersytetu Śląskiego finansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Szkolnictwa Wyższego – dziękujemy. Autorzy składają podziękowania swoim współpracownikom i wszystkim, którzy w jakikolwiek sposób wsparli projekt. Projekt Robin Heart był finansowany przez Fundację Rozwoju Kardiochirurgii, sponsorów i wykonywany w ramach grantów krajowych: KBN 8 T11E 001 18, PW-004/ITE/02/2004, R1303301, R13 0058 06/2009, NCBR: R1303301 and R13 0058 06/2009, Robin PVA – nr 178576, TeleRobin – nr181019, LIDER /32/0175/L-8/16/NCBR/2017, oraz europejskich STIFF-FLOP FP7 European project FP7/ICT-2011-7-287728, ENIAC "INCITE" project No.621278. Robin Heart Team jest autorem wszystkich rozwiązań pokazanych w publikacji. Szczególne podziękowania kieruję dla Krzysztofa Lisa, Krzysztofa Lehricha, Łukasza Muchy, którzy odegrali kluczową rolę w projektowaniu i wykonaniu modelu Pelikan. Specjalne podziękowania dla wolontariusza – Michała Fronia – studenta Politechniki Śląskiej, który uczestniczył w wielu pracach przygotowawczych w ostatnich dwóch latach w FRK. Bardzo dziękujemy Śląskiemu Urzędowi Marszałkowskiemu za wsparcie finansowe naszego uczestnictwa w ArabHealth 2022 w Dubaju, co umożliwiło wykonanie testów opisanych w artykule.

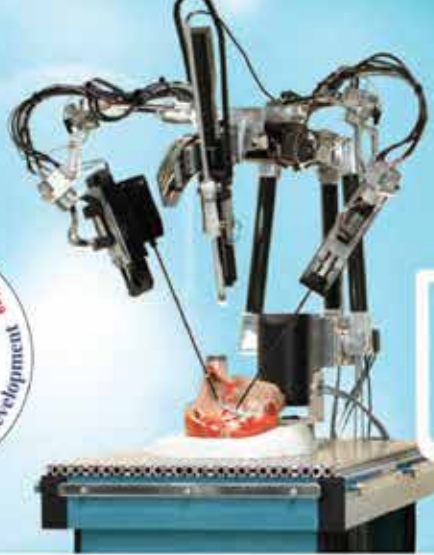
■ BIBLIOGRAFIA

- [1] Nawrat Z.: Robot chirurgiczny – projekty, prototypy, badania, perspektywy, Rozprawa habilitacyjna, Katowice 2011
- [2] Nawrat Z.: Roboty Medyczne w systemach teleinformatycznych. Inżynieria Biomedyczna Podstawy i Zastosowania red: W.Torbic, R.Maniewski, A.Liebert. Tom 7 Informatyka w medycynie. Red tomu. M.Kurzyński, L.Bobrowski, A.Nowakowski, J.Rumiński, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2019, Str 727-760
- [3] Zbigniew Nawrat, Dariusz Krawczyk: Robin Heart czyli jak pokonać odległość i wykorzystać człowieka jako element układu sterowania telemanipulatora. Medical Robotics Reports 8/9/ 2019, str 48-55
- [4] Fabrizio M.D., Lee B.R., Chan D.Y., Stoianovici D., Jarrett T.W., Yang C., Kavoussi L.R.: Effect of time delay on surgical performance during telesurgical manipulation. J. Endourol. 2000; 14: 133–138.
- [5] Bowersox J.C., Shah A., Jensen J., Hill J., Cordts P.R., Green P.S.: Vascular applications of telepresence surgery: initial feasibility studies in swine. J. Vasc. Surg. 1996; 23: 281–287.
- [6] Marescaux J., Leroy J., Rubino F., Smith M., Vix M., Simone M., Mutter D.: Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications. Ann. Surg. 2002; 235(4): 487–492.
- [7] Anvari M.: Remote telepresence surgery. The Canadian experience. Surg. Endosc. 2007; 21(4): 537–541
- [8] E.J.Hanly, M.R.Marohn, N.S.Schenkman, B.E.Miller, G.R.Moses, R.Marchessault, T.J.Broderick; Dynamics and organizations of telesurgery. European Surgery.v0.37, pp 274-278 (2005)
- [9] Suzuki N., Hattori A., Ieiti S., Konishi K., Maeda T., Fujono Y., Ueda Y., Navicharn P., Tanoue K., Hashizume M.: Tele-control of an endoscopic surgical robot system between Japan and Thailand for tele-NOTES. Medicine Meets Virtual Reality 17. Eds. J.D. Westwood, S.W. Westwood, R.S. Haluck et al. IOS Press 2009.
- [10] Humphries M., China Performs First 5G Remote Surgery Matthew Humphries January 15, 2019 <https://www.pcmag.com/news/365992/china-performs-first-5g-remote-surgery>
- [11] Lis Krzysztof, Lehrich Krzysztof, Mucha Łukasz, Nawrat Zbigniew. Concept of application of the light-weight robot Robin Heart ("Pelikan") in veterinary medicine: a feasibility study. Med.Weterynaryjna 2017 : Vol.73, No.2, p.88-91
- [12] Nawrat Zbigniew, Mucha Łukasz, Lis Krzysztof, Lehrich Krzysztof, Rohr Kamil, Kostka Paweł: Robot chirurgiczny Robin Heart Tele – następca Robin Heart mc2. Medical Robotics Reports – 5/2016, s.27-33

Wspiera nas Śląskie!



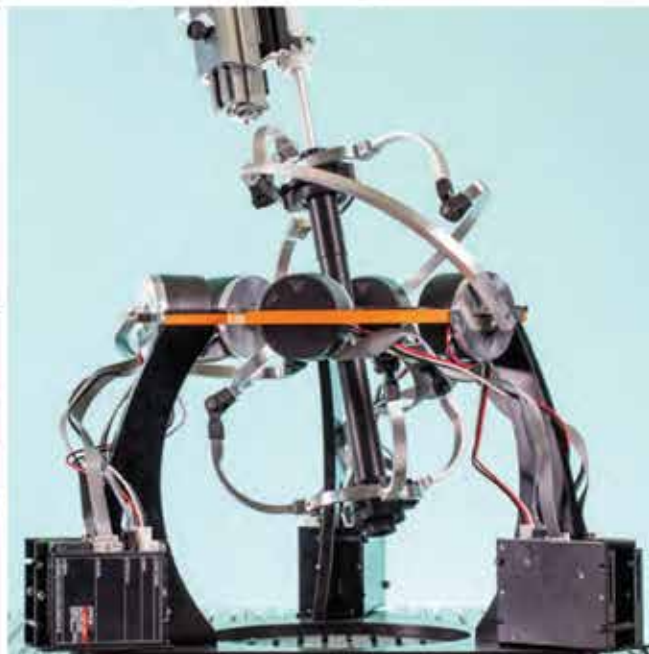
Województwo
Śląskie



Robin
Stiff Flap
Console

Rob**in**Heart

TELE MEDICAL ROBOTS



Nowoczesne osiągnięcia robotyki i cybernetyki we współczesnej diagnostyce medycznej

Artykuł recenzowany

DOMINIKA ADAMCZYK¹
JACEK JANKOWSKI²

¹Wielospecjalistyczny Powiatowy Szpital im. S.A. im. B. Hagera w Tarnowskich Górach

²Szkoła Doktorska Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach

Słowa kluczowe:

Słowa kluczowe: roboty medyczne, roboty diagnostyczne, diagnostyka medyczna

Keywords:

medical robots, diagnostic robots, medical diagnostics

Streszczenie

W artykule opisano zastosowanie nowoczesnych technologii takich jak robotyka i cybernetyka w wybranych metodach diagnostyki medycznej – zarówno już obecnie funkcjonujących jak i będących dopiero w sferze badań. Przedstawiono w skrócie zasadę działania urządzeń diagnostycznych oraz przytoczono najnowsze osiągnięcia techniki w dziedzinie wymienionych metod. Większa moc obliczeniowa maszyn, wyższa rozdzielczość uzyskiwanych obrazów, automatyzacja i wykorzystanie sztucznej inteligencji oraz integracja sprzętu z ludzkim ciałem – te wszystkie czynniki mają na celu uzyskanie najdokładniejszej, najtrafniejszej i najszybszej diagnozy. Diagnoza jest natomiast kluczem do sukcesu terapeutycznego.

Abstract

The article describes the use of modern technologies such as robotics and cybernetics in selected methods of medical diagnostics – those already functioning presently as well as still being in the field of research. The functional principles of diagnostic devices were briefly presented, and then authors focused on the latest technological achievements in the field of the above-mentioned methods. Greater computing power of machines, higher resolution of obtained images, automation and use of artificial intelligence, integration of equipment with the human body - all these factors aim to obtain the most accurate, exact and fastest diagnosis. After all, diagnosis is the key to therapeutic success.

WPROWADZENIE

W leczeniu chorób najważniejszym czynnikiem jest szybkość, pewność i dokładność diagnozy – kiedy wiadomo, z jakim schorzeniem się ma do czynienia, można w krótkim czasie wdrożyć najlepsze dostępne leczenie. To maksymalizuje szanse na powodzenie terapii. Z pomocą diagnostom i lekarzom przychodzi cybernetyka, elektronika i robotyka. Udział tych dziedzin nauki we współczesnej diagnostyce jest większy niż można by się było spodziewać.

Cybernetyka jest nauką o sterowaniu oraz przesyłaniu i przetwarzaniu informacji w systemach technicznych, biologicznych i społecznych [1], zatem opiera się na niej cała diagnostyka obrazowa. Natomiast robotyka to nauka o maszynach przeznaczonych do wspomagania lub realizacji czynności energetyczno-ruchowych, sensualnych i intelektualnych człowieka [2]. Najszerzej to każdy program komputerowy kontrolowany przez człowieka lub sztuczną inteligencję, który automatyzuje i przyspiesza wykonywanie pewnych zadań. Na tych programach i systemach przetwarzania informacji opierają się zarówno te dobrze nam znane techniki diagnostyczne, jak tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny, czy ultrasonografia, a także te będące zwiastunami przyszłości – wszelkie urządzenia typu „wearable”, sensory czy też kapsułki endoskopowe. Artykuł przybliży najnowocześniejsze zastosowania tych technologii w wybranych metodach badania czy też obrazowania ciała ludzkiego.

TOMOGRAFIA KOMPUTEROWA

Tomografia komputerowa to badanie obrazowe z użyciem promieniowania X (promieniowania rentgenowskiego). Obraz powstaje na podstawie danych o osłabieniu promieniowania pod wpływem przejścia przez organizm człowieka. Promieniowanie to jest w różnym stopniu pochłaniane przez poszczególne elementy budujące ciało ludzkie. Dane są zbierane przez układ naprzeciwległe położonych detektorów i lampy rentgenowskiej [3].

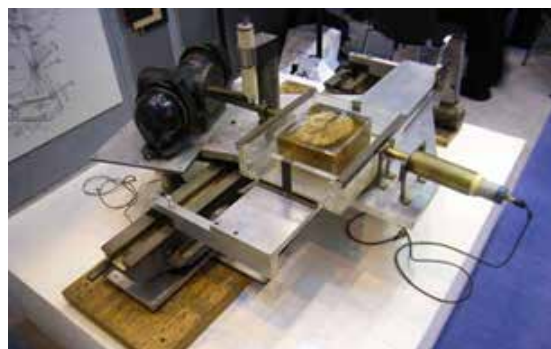
HISTORIA TOMOGRAFII KOMPUTEROWEJ

Technologia tomografii komputerowej została wynaleziona przez brytyjskiego inżyniera Godfreya Hounsfielda i amerykańskiego fizyka Allana Cormacka pod koniec lat 60. Pierwszy na świecie skan został uzyskany w 1971 roku za pomocą tomografu służącego do skanowania jedynie głowy – był to skan kobiety cierpiącej z powodu guza mózgu [4]. Pierwszy skan całego ciała za pomocą tomografii komputerowej został przeprowadzony przez amerykańskiego profesora biofizyki, fizjologii i radiologii Roberta Ledleya w 1973 roku [5].

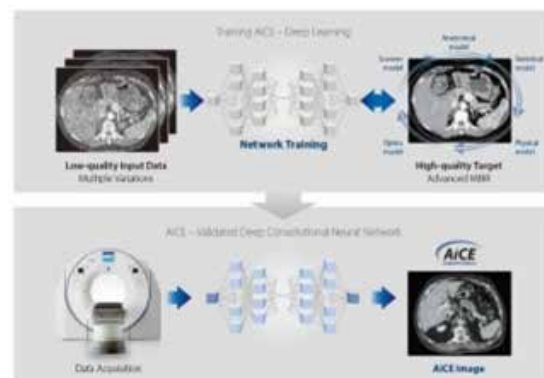
Przez lata technologia tomografii komputerowej rozwijała się – największy przełom nastąpił w latach 90-tych XX wieku, gdy wynaleziono spiralną tomo-



Rysunek 1. Godfrey Hounsfield z pierwszym komercyjnym tomografem komputerowym
https://www.amberusa.com/blog/remembering-sir-godfrey-hounsfield-inventor-ctscanner/?fbclid=IwAR21GE459Gw-OmvTLUPljfmQjx3LyYgOuFrYSKJaTikCTxkOy34tbHeB_u3RI



Rysunek 2. Prototyp tomografu komputerowego
<https://mdct.net/mdct-net-10-years/10-facts-you-may-not-know-about-godfreyhounsfield-and-the-early-days-of-ct/?fbclid=IwAR3P3n0oTU2754BPm9KjRXfA2c5qLVHf9T2I3xtQ6EElmO-tXZJho8SvKBM>



Rysunek 3. Grafika obrazująca proces uczenia się sieci neuronowych mający na celu doskonalenie się sieci w technice poprawiania jakości obrazu przez usuwanie zakłóceń
https://global.medical.canon/publication/ct/2019WP_AiCT_Deep_Learning

grafię. W odróżnieniu od pierwotnego trybu osiowego, poprzez który otrzymywano jedynie obrazy pojedynczych przekrojów, tryb spiralny zapewnia



Rysunek 4. Przenośny aparat USG Butterfly IQ, który składa się z głowicy USG podłączanej do telefonu komórkowego
<https://www.ultrasoundtraining.co.uk/resources/news/should-you-buy-a-butterflyultrasound-machine/ny>



Rysunek 5. Rycina przedstawia elementy systemu ReMeDi po stronie lekarza i pacjenta
<http://engineering.accrea.com/pl/projekt-remedi/>



Rysunek 6. Wykorzystanie systemu ADUM do badania USG gałki ocznej na pokładzie ISS
https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/benefits/ultrasound.html

ciągłość badania i skrócenie jego czasu, gdyż w tym trybie jednocześnie stół tomografu wykonuje ruch w wymiarze przód-tył, natomiast lampa i detektory ruch obrotowy. Z początku technologia spiralna stosowana była w skanerach posiadających jeden rząd detektorów (tomografia jednorzędowa), następnie wprowadzono ją do urządzeń o większej ilości rzędów detektorów (tomografia wielorzędowa)[6].

■ TOMOGRAFIA KOMPUTEROWA DZIŚ ULTRA WYSOKA ROZDZIELCZOŚĆ

Jednymi z najnowocześniejszych osiągnięć technologii wśród tomografów komputerowych są produkty amerykańskiej firmy Canon Medical Systems – seria Aquilion. Sprzęt osiąga rozdzielczość rzędu nawet do 150 mikronów, inaczej 50 lp/cm (50 linii naprzemiennie białych i czarnych w 1 cm) przy porównywalnej ze standardowym TK dawce promieniowania (różnica wynosi jedynie 0,6 mGy) [7].

SZTUCZNA INTELIGENCJA

System AiCE (Advanced Intelligent Clear-IQ Engine): Technologia oparta na systemie sieci neuronowych, który wykorzystuje technikę głębokiego uczenia się – sieci te są trenowane do jednego zadania – rekonstrukcji obrazów, które są wyostrezone, pozbawione zakłóceń, o teksturze jak najbardziej zbliżonej do naturalnej [7].

Wykorzystanie sztucznej inteligencji do rozpoznawania choroby COVID-19 w obrazach TK klatki piersiowej: W październiku 2020 w czasopiśmie „The Lancet” opublikowano wyniki badań Minghuan Wang i zespołu, które polegały na określeniu przydatności specjalnego programu opartego na sztucznej inteligencji w rozpoznawaniu na podstawie obrazów TK klatki piersiowej choroby COVID-19. W badaniach wzięło udział 2447 osób przyjętych między 1 lutego a 3 marca 2020 do Tongji Hospital, w chińskiej prowincji Wuhan, najbardziej dotkniętej wówczas epidemią SARS-CoV-2. Wśród pacjentów było 1647 z pozytywnym testem RT-PCR w kierunku SARS-CoV-2 oraz 800 z negatywnym. Dla współczynnika ufności 0,05 osiągnięto czułość 0,923, swoistość 0,851, wartość predykcyjna dodatnia wyniosła 0,790, a wartość predykcyjna negatywna 0,948. Określenie pozytywnego wyniku zabierało programowi średnio 00:55 minuty, natomiast radiologowi 23:06 minut do wydania raportu o pozytywnym wyniku. Współczynnik rzetelności Kappa Cohena (obrazujący zgodność między programem a radiologami) był również wysoki – na poziomie 0,839. Wniosek z badań jest taki, że program sztucznej inteligencji rozpoznawał na podstawie obrazów TK chorobę COVID-19 z bardzo dużą skutecznością i nieomylnością, porównywalnie do radiologów, ale do tego średnio 42 razy szybciej [8]. Wykorzystanie programu przyspieszyłoby wykrywanie zakażeń, co

zwłaszcza na wczesnym stadium choroby jest bardzo ważne – szybkie wykrycie zakażonych pozwala na lepszą kontrolę nad transmisją choroby, ograniczeniem jej, a w konsekwencji ma na celu odciążenie placówek medycznych i szpitali, co jest podstawą w walce z pandemią.

DYNAMICZNA TOMOGRAFIA KOMPUTEROWA 4D

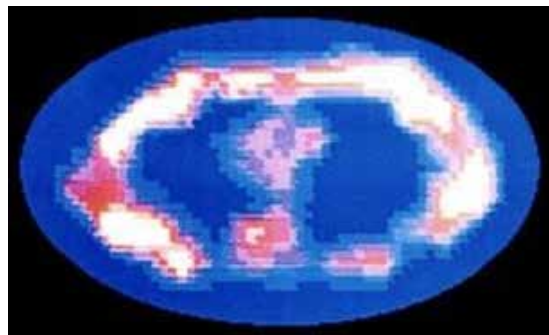
Czterowymiarowa tomografia umożliwia wykonywanie dynamicznego czy też funkcjonalnego badania. W przeciwieństwie do konwencjonalnej tomografii komputerowej, gdzie badana część ciała musi pozostać w bezruchu, w TK 4D możliwe jest przeskanowanie obszaru ciała w trakcie jego ruchu [9]. Przykładem przydatności badania może być sytuacja pacjenta, który odczuwa ból przy poruszaniu kończyny w stawie, natomiast konwencjonalne metody nie wykazały patologicznych zmian mogących odpowiadać za dolegliwości. Metoda pozwala zdiagnozować przyczynę np. bolesny skurcz mięśni bądź niestabilność stawu w trakcie ruchu.

■ ULTRASONOGRAFIA (USG)

Ultrasonografia jest nowoczesną nieinwazyjną metodą obrazowania narządów wewnętrznych ciała ludzkiego. Obraz w czasie rzeczywistym powstaje poprzez wysyłanie fal akustycznych przez głowicę urządzenia USG, która podczas badania przylega do badanej okolicy ciała. Fale te są odbijane na granicy struktur o różnej impedancji akustycznej (płyn/tkanki, tkanki/kość itp.) a następnie odbierane przez głowicę. Na podstawie siły odbijania i czasu powrotu sygnału do głowicy utworzony zostaje obraz. Zakres stosowanych częstotliwości to od 2-50 MHz [10]. Głowice o wyższej częstotliwości uzyskują wyższą rozdzielczość obrazu, natomiast pozwalają obrazować głównie struktury położone płytko (np. tarczyca). Głowice o niższych częstotliwościach pozwalają na obrazowanie głęboko położonych narządów ciała (np. w jamie brzusznej), kosztem rozdzielczości obrazu.

HISTORIA ULTRASONOGRAFII

Początków technologii USG możemy szukać już na początku XIX wieku kiedy wynaleziono SONAR (Sound Navigation And Ranging). Przez blisko 100 lat naukowcy rozwijali technologię sonografii głównie z myślą o łodziach podwodnych w kontekście nawigacji, pomiaru odległości i głębokości w wodzie. W 1880 roku Pierre i Jacques Curie odkryli efekt piezoelektryczny w kryształach kwarcu – kryształy te są podstawą budowy głowicy ultrasonograficznej. Największy rozkwit ultrasonografii jako metody diagnostycznej w medycynie przypadła na lata 60-te XX wieku. Rok 1965 był rokiem produkcji pierwszego aparatu do USG w czasie rzeczywistym – produkt firmy Siemens pod nazwą VIDOSON [11].



Rysunek 7. Pierwszy skan MRI – przekrój klatki piersiowej asystenta Damadiana, którego uzyskanie zajęło 5 godzin
<https://mri-q.com/who-invented-mri.html>



Rysunek 8. Raymond Damadian i jego dwóch asystentów przy prototypie rezonansu magnetycznego



Rysunek 9. Widok magnesu ISEULT z przodu po instalacji w Saclay, Francja
<https://www.metrolab.com/gigantic-11-7-t-mri-magnet-iseult-a-discussion-with-lionelquettier/>

ULTRASONOGRAFIA DZIŚ

Ultrasonografia rozwija się wielokierunkowo. Możemy wyróżnić kilka trendów, w kierunku których podążają najnowocześniejsze sprzęty do USG:

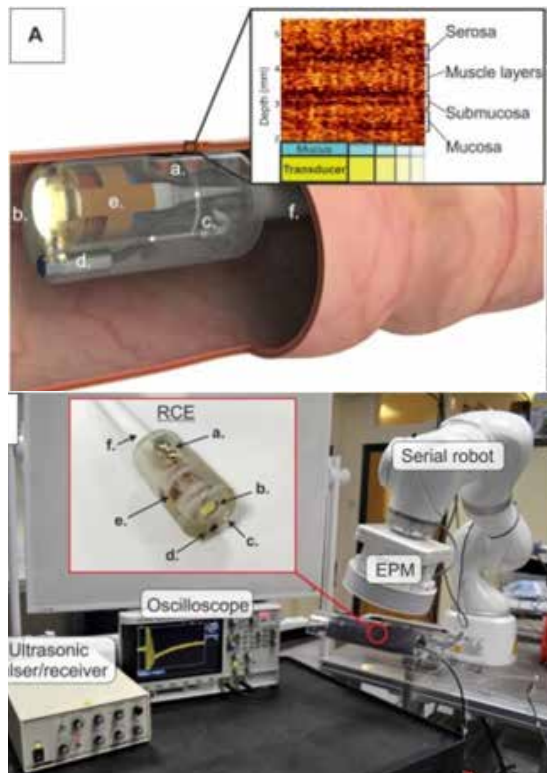
Uproszczenie i ułatwienie przebiegu badania:

Mniejsza masa urządzeń, mniejsza ilość przycisków na panelu obsługi, manipulatory kulowe zamiast ob-



Rysunek 10. Kapsułka PillCam

<https://www.dicardiology.com/article/capsule-endoscopy-systemsafety-patients-cardiovascular-implants>



Rysunek 11A. obrazuje ideę diagnostyki mikroUSG błony śluzowej jelita,

Rysunek 11B. przedstawia wszystkie kluczowe element system Sonopill. (a)-głowica USG, (b)-lampa LED, (c)-kanał irygacyjny, (d)-kamera, (e)-system rozpoznający ustawienie kapsułki w czasie rzeczywistym, (f)-miękki, elastyczny przewód.
<https://robotics.sciencemag.org/content/4/31/eaav772>

szernej klawiatury, automatyczna optymalizacja obrazu przy pomocy ustawienia parametru zasięgu fal akustycznych, automatyczne rozpoznawanie zmian strukturalnych w otaczających tkankach.

Integracja ultrasonografii ze sztuczną inteligencją:

Kwantyfikacja i wybieranie najlepszych do pomiaru danego parametru przekrojów (przydatne zwłaszcza w echokardiografii). Ułatwia to pracę zwłaszcza mniej doświadczonemu badającemu. W niektórych modelach ultrasonografów zastosowano technologię rozpoznawania głosu, dzięki czemu badający

może w jednej ręce trzymać głowicę, a drugą wykonywać zabieg np. nakłucie jamy opłucznej, a ustawienia urządzenia kontroluje komendami głosowymi.

Ultrasonografia 3D:

System wytwarza przestrzenny obraz badanej okolicy ciała, ułatwia np. chirurgowi zaplanować zabieg operacyjny, uwzględniając np. nietypowe warianty anatomiczne badanej okolicy ciała pacjenta lub kardiologowi interwencyjnemu lepiej ocenić strukturę mięśnia sercowego, naczyń wieńcowych czy też zastawki.

Nowa jakość obrazowania bardzo małych i/lub bardzo szybkich obiektów:

Jednym z najnowocześniejszych osiągnięć jest umożliwienie zbadania np. struktury serca bądź przepływu mózgowego płodu lub przepływu krwi w naczyniach włosowatych.

Point of Care Ultrasound (POCUS):

Coraz mniejsze, często rozmiaru tzw. „pocket-size” aparaty USG umożliwiające szybkie zbadanie pacjenta [12]. Taki sprzęt dałby wiele korzyści w różnych sytuacjach – przykładowo lekarz bada przyłożkowo pacjentów w całym szpitalu i ma przenośny lekki, mieszczący się w kieszeni sprzęt lub pacjent po wypadku wymaga natychmiastowej decyzji co do konieczności zabiegu operacyjnego. Wtedy przenośne urządzenie jest dużą pomocą. Urządzenie zwykle składa się z tabletu i podłączonej do niego głowicy. Są też warianty z możliwością podłączenia głowicy do telefonu komórkowego (Butterfly IQ) [13].

ULTRASONOGRAFIA NA ODLEGŁOŚĆ:

Projekt ReMeDi polskiej firmy ACCREA Engineering [14]:

Ze względu na zwiększony popyt na lekarzy specjalistów w naszym starzejącym się społeczeństwie powstał projekt mający zapewnić większy zasięg specjalistycznej opieki lekarskiej i lepszy do niej dostęp większej ilości pacjentów. W większości jednostek chorobowych najważniejsza jest szybko i sprawnie postawiona diagnoza, dlatego umożliwienie lekarzowi specjalście badania pacjentów na odległość ze stacjonarnego miejsca pracy byłoby doskonałym rozwiązaniem tego problemu. Projekt zakłada stworzenie systemu robotycznego, który umożliwi pełne zdalne badanie pacjenta przez lekarza specjalistę. Robot spełniałby funkcje: komunikację i kontakt wzrokowy lekarz-pacjent, zdalne badanie fizykalne zwłaszcza z uwzględnieniem badania jamy brzusznej oraz zdalne badanie ultrasonograficzne. System w założeniu składa się z:

Po stronie lekarza badającego – zdalny interfejs diagnostyczny (DiagUI): aktywne tory wizyjne z ekranami 3D, system telekonferencyjny, zaawansowane manipulatory sterownicze do obsługi ramienia

robota, aparatu i głowicy USG składające się m. in. z zadajnika haptycznego, pedałów obsługiwanych stopami, panelu dotykowego do obsługi aparatu USG i joystick'a. Kontroler haptyczny umożliwia odczuwanie oporu wywieranego przez ciało pacjenta oraz kontrolowanie siły nacisku głowicy czy ramienia robota.

Po stronie pacjenta – robot z ramieniem, głowicą USG, kamerami 3D, mikrofonami i wyświetlaczem do komunikacji z lekarzem, asystent ustawia robota i pacjenta wg poleceń lekarza, lekarz może także konsultować się z asystentem poza zasięgiem słuchu pacjenta.

Wszystkie funkcje systemu stworzone zostały tak, by maksymalnie urzeczywistnić kontakt bezpośredni lekarza z pacjentem – wizualizacja, czucie, mowa, informacje zwrotne dla lekarza podczas badania pacjenta – jego reakcje i emocje, opór i poczucie rzeczywistej palpacji. Połączenie wszystkich najnowocześniejszych technologii w tym jednym urządzeniu sprawia, że jest to projekt innowacyjny na skalę światową.

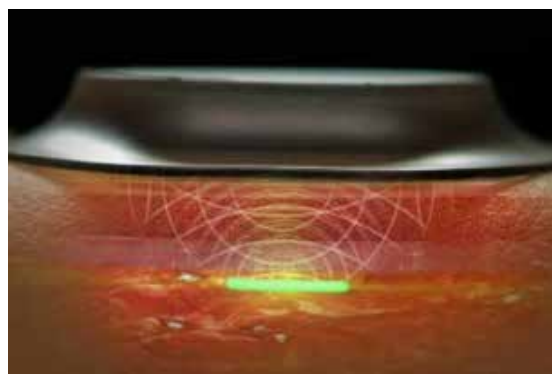
Ultrasonografia w kosmosie

Załoga Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) w przypadku podejrzenia choroby lub urazu z wiadomych przyczyn nie może liczyć na bezpośredni kontakt z lekarzem z Ziemi, na pokładzie Stacji nie ma także miejsca dla stale dyżurującego lekarza.

Przeprowadzenie badania, postawienie diagnozy i propozycja leczenia – to wszystko musi odbywać się zdalnie. Z tego powodu NASA utworzyło system ADUM (The Advanced Diagnostic Ultrasound in Microgravity) [15]. Ten projekt pod przewodnictwem Scotta Dulchavsky, chirurga Henry Ford Hospital w Detroit ma na celu uczenie pracowników ISS przeprowadzania badań ultrasonograficznych na współpracownikach ze Stacji w celu wstępnego rozpoznania nieprawidłowości bądź umożliwienie wyspecjalizowanemu personelowi z Ziemi zdalnego dokonania takiej oceny na podstawie wykonanego badania w kosmosie. Dotychczasowe obserwacje wykazały, że ultrasonografia jest przydatną techniką diagnostyczną wielu przypadłości klinicznych, które mogą dotyczyć pracowników ISS nie tylko aktualnie przebywających w przestrzeni kosmicznej, ale również po powrocie na Ziemię. Astronauci narażeni są m.in. na: większą skłonność do zakrzepów, miażdżycy, zapalenia zatok, zaniki mięśniowo-kostne, urazy, ciała obce w gałce ocznej [16], a po powrocie na Ziemię może wystąpić większa tendencja do spadków ciśnienia tętniczego przy pionizacji tzw. hipotensja ortostatyczna [17].

REZONANS MAGNETYCZNY

Rezonans magnetyczny to rodzaj badania obrazowe, które pozwala na uzyskiwanie obrazów dowolnych przekrojów ciała człowieka. Metoda ta nie używa promieniowania jonizującego, natomiast wykorzystuje



Rysunek 12. Hydrożelowy mikrobiosensor oraz czujnik optyczny przymocowany do powierzchni skóry <https://profusa.com>



Rysunek 13. Hydrożelowy mikrobiosensor <https://profusa.com>

własności magnetyczne materii – głównie jąder wodoru wchodzących w skład cząsteczki wody znajdującej się w badanym obiekcie (części ciała pacjenta). Jądra pod wpływem pola magnetycznego ulegają uporządkowaniu zgodnie z Efektem Zeemana. Pod wpływem emitowanego pod kątem 90 stopni w stosunku do głównego wektora pola magnetycznego promieniowania o częstotliwości rezonansowej dla atomów wodoru jądra ulegają wzbudzeniu. Po zakończeniu wzbudzenia wektor magnetyzacji stopniowo wraca do stanu początkowego a jądro emituje fale radiowe odbierane przez aparat oraz przetwarzane na obraz badanych struktur. (Więcej nt. zasady działania MRI - Biofizyka, red. nauk. F. Jaroszyk [18]).

HISTORIA MRI

Pierwsze początki rezonansu magnetycznego możemy datować już nawet na rok 1938 kiedy to Isidor Issac Rabi w swoich badaniach odkrył, że wiązka molekularna podczas przechodzenia przez pole magnetyczne może emitować fale radiowe o określonych częstotliwościach. Rabi jako pierwszy użył określenia „magnetyczny rezonans jądrowy” [19].

To pierwsze odkrycie po rozszerzeniu badań przez innych naukowców doprowadziło do stworzenia nowej metody diagnostycznej ciała ludzkiego. W 1977 roku amerykańskim fizyk Raymond Damadian opublikował pierwszy skan ludzkiego ciała wykonany za pomocą MR. Był to skan przekroju klatki piersiowej jego asystenta [20]. Od tamtej pory rezonans magnetyczny zaczął pełnić rolę w diagnostyce medycznej.

■ REZONANS MAGNETYCZNY DZIŚ

Współcześnie w technice diagnostycznej, jaką jest rezonans magnetyczny nacisk kładzie się przede wszystkim na zwiększanie rozdzielczości poprzez budowanie większych magnesów o większej indukcji pola, ale duże znaczenie ma również wykorzystanie sztucznej inteligencji, a także zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko wskutek tworzenia magnesów ograniczających zużycie ciekłego helu do chłodzenia.

■ NAJSILNIEJSZE MAGNESY NA ŚWIECIE

Naukowcy z CMRR (Center for Magnetic Resonance Research) Uniwersytetu w Minnesocie przeprowadzili pierwsze badania z użyciem największego na świecie wykorzystywanego w klinice rezonansu magnetycznego. Współcześnie w powszechnym postępowaniu diagnostycznym wykorzystuje się aparaty o indukcji magnetycznej od 1,5-3 T.

Ciekawostką jest, że w Polsce, w Lublinie znajduje się rezonans magnetyczny o największej w Europie Wschodniej indukcji magnetycznej 7 T – wykorzystywany jedynie w celach naukowych – w niektórych krajach aparaty o podobnych właściwościach już są dopuszczane do użytku klinicznego. Natomiast parametry rezonansu magnetycznego z Minnesoty są następujące [21]:

- Indukcja pola magnetycznego 10,5 T,
- łączna masa magnesu 110 ton (masa trzech samolotów Boeing 737),
- Apertura (średnica otworu do którego prowadzany jest pacjent) wynosi 88 cm,
- Tuba aparatu długości 400 cm.
- Żelazna osłona o wadze 600 ton,
- Samo zasilenie magnesu wymagało w przybliżeniu 40 tysięcy litrów ciekłego helu, a cały proces uruchamiania zajął 110 dni,
- Ostateczna instalacja całego sprzętu wraz z zasilonym magnesem trwała 5 dni.

Aparat został uruchomiony w 2014 roku, najpierw przez 4 lata prowadzono testy na zwierzętach. Po czterech latach w 2018 roku uzyskano pierwsze skany z udziałem ludzi [21]. Do dzisiaj pozostaje największym na świecie aparatem do rezonansu magnetycznego, który jest wykorzystywany klinicz-

nie do badań ludzi. Ośrodek w Minnesocie skupia się głównie na diagnostyce schorzeń ośrodkowego układu nerwowego, które są częstą przyczyną niepełnosprawności psychicznej jak i fizycznej [22].

Francuscy naukowcy z CEA IRFU (Institute for Research on the Fundamental Laws of the Universe) stworzyli magnes o indukcji magnetycznej 11,7 T i aperturze 90 cm. W ramach projektu ISEULT w lipcu 2019 został ukończony proces montażu i aktywacji magnesu na jednej z platform badawczych NeuroSpin ośrodka Frédéric Joliot Institute for Life Sciences w Saclay pod Paryżem [24]. Do tego procesu zużyto horrendalne ilości ciekłych gazów – 250 tysięcy litrów ciekłego azotu i 18,5 tysięcy litrów ciekłego helu [23]. Naukowcy mają nadzieję na uzyskanie rozdzielczości rzędu 0,1 mm (rozdzielczość „zwykłych” 3-T aparatów wynosi ok. 1 mm). Pierwsze skany planowano na przełom kwietnia-maja 2021 [23].

■ REZONANS MAGNETYCZNY Z OBSŁUGĄ BEZHELOWĄ

Jak widać wyżej, skanery rezonansu magnetycznego potrafią zużywać do aktywacji i chłodzenia bardzo duże ilości ciekłego helu. Klasyczne aparaty nie będą wymagały aż tak horrendalnych ilości jak największe magnesy na świecie (ISEULT czy magnes Uniwersytetu w Minnesocie), ale zwykle jest to ilość ok. 1500 litrów. Stanowi to wyzwanie finansowe jak i operacyjne. Firma Philips opracowała magnes BlueSeal, który zużywa 0,5% ilości ciekłego helu, który wymagany jest do działania konwencjonalnych aparatów. Wszystko dzięki uszczelnionej strukturze, która zapewnia zamknięty obieg cieczy, której fabrycznie umieszczana ilość wynosi zaledwie 7 litrów i zapewnia chłodzenie magnesu bez konieczności uzupełniania go do końca jego „życia”. Rozwiązanie to nie pogarsza rozdzielczości obrazu ani nie zmniejsza szybkości wykonywania badań. Producent zapewnia o łatwiejszej instalacji urządzenia oraz szybszym powrocie do pracy magnesu po jego wyłączeniu i ponownym uruchomieniu (poniżej 24 godzin podczas gdy średnio czas ten wynosi ok. 3 dni w klasycznych skanerach) [25]. Rozwiązanie wydaje się bardzo korzystne zarówno ekonomicznie jak i środowiskowo – ograniczenie ilości zużywanych drogich pierwiastków, których światowe naturalne zasoby są już mocno nadwyżnione.

■ ENDOSKOPIA KAPSUŁKOWA PILLCAM

Jest o bardzo nowatorskie badanie wykorzystujące najnowocześniejszą technologię z dziedzin miniaturyzacji, optyki i transmisji obrazów. Kapsułki mają wielkość zbliżoną do preparatów witaminowych. Są połykane przez pacjenta i transportowane przez przewód pokarmowy w naturalny sposób – przez

ruchy perystaltyczne. Po dotarciu do miejsca wykonywania badania (jelito cienkie lub jelito grube) wykonują zdjęcia, które następnie przekazywane są do odbiornika noszonego w tym czasie przez pacjenta. Po ukończeniu badania kapsułka jest wydalana, a obrazy przekazywane z odbiornika do komputera i analizowane przez lekarza [26]. Do endoskopii kapsułkowej wykorzystywane są produkty firmy Given Imaging – kapsułki firmy PillCam. Kapsułka zbudowana jest z baterii (ponad połowa wagi całego urządzenia), miniaturowej kamery, lampy LED oraz bezprzewodowego nadajnika. Pacjent w trakcie badania ma przyklejone do ciała elektrody oraz nosi na pasku odbiornik, który sygnalizuje zapisywanie danych miganiem niebieskiej diody. Kapsułki różnią się nieco budową w zależności, czy służą do badania jelita cienkiego czy grubego. Kapsułka PillCam SB3 do badania jelita cienkiego jest mniejsza – wymiary 26 x 11 mm, ma tylko jedną kamerę. Natomiast kapsułka do badania jelita grubego mierzy 31 x 11 mm i posiada dwie kamery po obu stronach, ma też szerszy kąt wykonywania zdjęć i częściej je wykonuje [27].

Badanie to w porównaniu z klasyczną kolonoskopią jest bardzo dobrze tolerowane przez badanego, jest bezpieczniejsze i nie niesie ze sobą prawie żadnych powikłań. Głównym powikłaniem jest zatrzymanie kapsułki w przewodzie pokarmowym, dzieje się to jednak rzadko – w mniej niż 1% przypadków. Wymagana jest wtedy interwencja chirurgiczna. W badaniach naukowych udowodniono większą skuteczność diagnostyczną endoskopii kapsułkowej w porównaniu do klasycznej endoskopii, która ma ograniczenia techniczne – długość endoskopu, brak możliwości uwidocznienia wszystkich przestrzeni i stanu błony śluzowej na całej długości jelita, a także często cierpienie pacjenta. Endoskopia kapsułkowa jest metodą zarówno bardzo dokładną diagnostycznie jak i komfortową dla pacjenta.

SONOPILL

Naukowcy z University of Leeds we współpracy z zespołem z University of Glasgow i in. pod koniec 2018 roku zakończyli prace nad projektem, który rozwija ideę endoskopii kapsułkowej – łączy w sobie elementy endoskopii oraz mikroultrasonografii. Wymyślili sposób, dzięki któremu możliwa jest precyzyjna lokalizacja i kontrola nad wprowadzaną przez odbyt kapsułką, która nie tylko ma możliwość zobrazowania jelita kamerą, ale przede wszystkim wykonuje badanie struktury błony śluzowej jelita z wykorzystaniem mikroUSG. Ta technika daje szerokie możliwości diagnostyki nieprawidłowości na poziomie mikroskopowym m.in. wczesnego stadium rozwoju nowotworu, na długo przed tym, zanim uwidocznią się makroskopowo [28]. Konsorcjum naukowców opracowało także technologie

zwaną inteligentną manipulacją magnetyczną [30]. W myśl zasady odpychania i przyciągania się magnesów zbudowano ramię robotyczne wyposażone w zewnętrzne magnesy – ramię przesuwając się delikatnie prowadzi kapsułę (również wyposażoną w magnes) przez światło jelita w przeciwną stronę do ruchów perystaltycznych. Technika ta eliminuje potrzebę fizycznego połączenia ramienia z kapsułką, a wykorzystanie pola magnetycznego jest bezpieczne dla organizmu [28]. Dodatkowo stworzono system sztucznej inteligencji, który odpowiedzialny jest za korygowanie pozycji kapsułki w jelicie tak, by uzyskać najlepszej jakości obrazy mikroUSG, a także w przypadku jej utknięcia, naprowadzić kapsułę z powrotem w odpowiednie miejsce [29][30]. Kapsułka ma wymiary 39 x 21 mm, posiada głowicę ultradźwiękową, kanał irygacyjny, kamerę, lampę LED, magnes oraz cienki elastyczny kabelek łączący głowicę z komputerem w pokoju badań – tędy przesyłane są dane – obrazy mikroUSG [30].

BIOSENSORY

Wszczepialny pod skórę mikrosensor, który monitoruje stężenia wybranych parametrów mogących świadczyć o zmianach w stanie zdrowia człowieka, takich jak tlen, glukoza, równowaga elektrolitowa i kwasowo-zasadowa i wiele innych oraz przekazuje te dane do urządzeń mobilnych [31] – prace nad takimi urządzeniami są już w toku. Amerykańska firma Profusa Inc. opracowała projekt o nazwie LumeeTM Oxygen Platform. Jest to wszczepialny biosensor, który stale monitoruje ciśnienie parcjalne tlenu w otaczających tkankach.

Urządzenie składa się z:

Wszczepianego biosensora w formie hydrożelowego elastycznego włókienka długiego na 5 mm, szerokości 500 mikronów [32]. Nowoczesna technologia pozwoliła uzyskać materiał, który jest biogodny z ludzkimi tkankami – przez średnio rok zapobiega to lokalnej reakcji zapalnej, która jest największym problemem, z jakim mierzyć się muszą twórcy jakichkolwiek implantowanych urządzeń [31]. Żel, z którego składa się sensor ma porowatą strukturę dobrze integrującą się z otaczającymi tkankami. Dzięki właściwościom luminescencyjnym pod wpływem wzrostu ciśnienia parcjalnego tlenu w środowisku emituje promieniowanie świetlne.

Czujnika optycznego – umocowany ponad biosensorem do powierzchni skóry odczytuje emitowany przez niego sygnał luminescencyjny o natężeniu, które jest proporcjonalne do zawartości badanej substancji [32].

Aplikacji w smartfonie – naukowcy pracują także nad aplikacją, dzięki której pacjent sam może monitorować stężenie tlenu, czy też innych substancji w swoim organizmie. Dane mogą być udostępniane

lekarzowi lub analitykowi medycznemu, który prowadzi historię pomiarów [32]. W dalszej perspektywie samo urządzenie posiadałoby pamięć, na której zapisywane byłyby pomiary.

■ PODSUMOWANIE

We współczesnej diagnostyce medycznej widać kilka wyraźnych trendów. Po pierwsze maksymalna poprawa jakości i rozdzielczości obrazowania. Naukowcy, by osiągnąć ten cel, konstruują wielkie maszyny o coraz wyższej mocy obliczeniowej, co oprócz rozdzielczości zwiększa także szybkość wykonywania badań – ten trend widoczny jest zwłaszcza przy technikach takich jak TK i MR. W ultrasonografii stawiany jest nacisk na mobilność urządzeń, a także diagnostykę na odległość. Widzimy także coraz większy udział sztucznej inteligencji, która ma poprawiać jakość obrazowania i przyspieszać analizę i przesyłanie danych, a także wręcz stawiać diagnozy. Zastępują nas roboty – ich użycie otwiera nowe możliwości zdalnej diagnostyki, precyzyjnej manipulacji mikroukładami, oraz automatyzacji pewnych procesów. Ponadto bardzo widoczna jest miniaturyzacja i integracja urządzeń z ludzkim ciałem. Za cel stawiane jest pokonanie bariery ciała ludzkiego tak, by urządzenia diagnostyczne mogły towarzyszyć nam na co dzień, monitorując w sposób ciągły stan naszego zdrowia. Rozwijane są także aplikacje medyczne zintegrowane ze smartfonami – w dzisiejszych czasach smartfon to obowiązkowe wyposażenie każdego człowieka. Bardzo ciekawe, co jeszcze przyniesie przyszłość w obszarze nowoczesnych technologii w diagnostyce medycznej, gdyż na ten moment mnogość i różnorodność projektów i badań jest bardzo duża.

■ PIŚMIENNICTWO:

- [1] Encyklopedia PWN [online], Wydawnictwo Naukowe PWN. Dostępny w Internecie: https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/cybernetyka;38_88555.html [Dostęp 27.05.2021].
- [2] Encyklopedia PWN [online], Wydawnictwo Naukowe PWN. Dostępny w Internecie: <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/robot;3968150.html> [Dostęp 27.05.2021].
- [3] Grzanka Piotr, Tomografia komputerowa [online], Medycyna Praktyczna 2017. Dostępny w Internecie: https://www.mp.pl/pacjent/badania_zabiegi/174820,tomografia-komputerowa [Dostęp 27.05.2021].
- [4] Catalina Imaging – portal o tomografii komputerowej, History of CT Scan [online]. Dostępny w Internecie: <https://catalinaimaging.com/history-ct-scan/> [Dostęp 30.05.2021].
- [5] Dean F. Sittig i in., The Story Behind the Development of the First Whole-body Computerized Tomography Scanner as Told by Robert S. Ledley, Journal of the American Medical Informatics Association 2006 Sep-Oct; 13(5): 465–469, doi: 10.1197/jamia.M2127. Dostępny w Internecie: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1561796/> [Dostęp 30.05.2021].
- [6] Prof. dr hab. inż. Grzegorz BUDZIK, mgr inż. Paweł TUREK, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Konstrukcji Maszyn, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technik Wytwarzania i Automatyzacji, Główne właściwości spiralnej tomografii komputerowej, Problemy Nauk Stosowanych, 2016, Tom 5, s. 125–132.
- [7] Kirsten Boedeker, AiCE Deep Learning Reconstruction: Bringing the power of Ultra-High Resolution CT to routine imaging, Quantifying diagnostic image quality, Canon Medical Systems Corporation, 2017. Dostępny w Internecie: https://global.medical.canon/publication/ct/2019W_P_AiCE_Deep_Learning [Dostęp 30.05.2021].
- [8] Minghuan Wang i in., Deep learning-based triage and analysis of lesion burden for COVID-19: a retrospective study with external validation, The Lancet October 2020 Volume 2, ISSUE 10, e506e515, DOI:[https://doi.org/10.1016/S25897500\(20\)30199-0](https://doi.org/10.1016/S25897500(20)30199-0). Dostępny w Internecie: [https://www.thelancet.com/journals/landig/article/PIIS2589-7500\(20\)30199-0/fulltext#%20](https://www.thelancet.com/journals/landig/article/PIIS2589-7500(20)30199-0/fulltext#%20) [Dostęp 27.05.2021].
- [9] I-MED Radiology Network – serwis radiologiczny, Dynamic 4D CT [online]. Dostępny w Internecie: <https://imed.com.au/procedures/dynamic-4d-ct> [Dostęp 27.05.2021].
- [10] Grzanka Piotr, Ultrasonografia [online], Medycyna Praktyczna 2017. Dostępny w Internecie: https://www.mp.pl/pacjent/badania_zabiegi/174821,ultrasonografia [Dostęp 27.05.2021].
- [11] Echson – serwis o ultrasonografii, Historia ultrasonografii [online]. Dostępny w Internecie: <https://echson.eu/historia-ultrasonografii/> [Dostęp 27.05.2021].
- [12] Dave Fornell, 5 Key Trends in New Ultrasound Technology [online], Imaging Technology News, 2019. Dostępny w Internecie: <https://www.itnonline.com/article/5-key-trendsnew-ultrasound-technology> [Dostęp 27.05.2021].
- [13] Smug – portal o ultrasonografii, Should you buy a Butterfly ultrasound machine? [online]. Dostępny w Internecie: <https://www.ultrasoundtraining.co.uk/resources/news/should-you-buy-a-butterfly-ultrasound-machine/> [Dostęp 30.05.2021].
- [14] Accrea Engineering – strona internetowa firmy, Projekt ReMeDi Remote Medical Diagnostician [online]. Dostępny w Internecie: <http://engineering.accrea.com/pl/projekt-remedi/> [Dostęp 27.05.2021].
- [15] Scott A. Dulchavsky i in., Advanced Ultrasound For the Space Program and on Earth, NASA Technology Innovation, Vol 15; 3, 2010; NP-2010-06-658-HQ, adaptacja artykułu Feb 29 2012 dostępna online: https://www.nasa.gov/mision_pages/station/research/benefits/ultrasound.html [Dostęp 30.05.2021].
- [16] Jennifer Law and Paul B. Macbeth, Ultrasound: From Earth to Space, Mcgill J Med. 2011 June, PMID: PMC3296555. Dostępny w Internecie: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3296555/> [Dostęp 27.05.2021].
- [17] Satoshi Iwase i in., Effects of Microgravity on Human Physiology, IntechOpen Feb 2020 [online]. Dostępny w Internecie: <https://www.intechopen.com/books/beyond-leohuman-health-issues-for-deep-spaceexploration/effects-of-microgravity-on-humanphysiology> [Dostęp 30.05.2021].
- [18] Józef Terlecki, Zjawisko rezonansu magnetycznego w rozdziale 21: Wpływ pola elektrycznego na żywy organizm. W: red. nauk. Feliks Jaroszyk, Biofizyka. PZW Warszawa 2008, wyd. 2, s. 735-737.
- [19] Questions and answers in MRI – portal o rezonansie magnetycznym, The Discovery of NMR [online]. Dostępny w Internecie: <http://mriquestions.com/who-discovered-nmr.html> [Dostęp 30.05.2021].
- [20] Questions and answers in MRI – portal o rezonansie magnetycznym, Invention of MRI Imaging [online]. Dostępny w Internecie: <https://mri-q.com/whoinvented-mri.html> [Dostęp 30.05.2021].
- [21] Anna Nowogrodzki, The world's strongest MRI machines are pushing human imaging to new limits, Nature 563, 24-26 (2018), doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-018-07182-7>, Dostępny w Internecie: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-07182-7> [Dostęp 27.05.21].
- [22] University of Minnesota – strona internetowa uczelni, U Scientists Scan World's First 10.5-Tesla Human MRI Image, 2018 [online]. Dostępny w Internecie: <https://research.umn.edu/inquiry/post/uscience-scan-worlds-first-105-tesla-human-mriimage> [Dostęp 27.05.2021].
- [23] Metrolab – strona internetowa firmy, How the CEA/Irfu developed Iseult; the gigantic 11.7 T MRI magnet! Wywiad z Lionelem Quettier, 24.02.2020 | Metronews, MFC2046, MRI. Dostępny w Internecie: <https://www.metrolab.com/gigantic-117-t-mri-magnet-iseult-a-discussion-with-lionelquettier/> [Dostęp 27.05.2021].
- [24] Frederic Joliot Institute for Life Sciences – strona internetowa instytutu, NeuroSpin platforms [online]. Dostępny w Internecie: https://joliot.cea.fr/drj/joliot/en/Pages/platforms_and_infrastructures/platforms/NeuroSpin_Platform.aspx [Dostęp 30.05.2021].
- [25] Philips – strona internetowa firmy, Magnes BlueSeal, Nowa rzeczywistość w badaniach rezonansem magnetycznym z obsługą bezhelową [online]. Dostępny w Internecie: <https://www.philips.pl/healthcare/resources/landing/the-next-mr-wave/sealed-mr-technology> [Dostęp 27.05.2021].
- [26] MultiMed – portal medyczny, Endoskopia kapsułkowa [online]. Dostępny w Internecie: <https://multimed.pl/bazawiedzy/endoskopia/endoskopia-kapsulkowa-naczyn-polega-wskazania-przygotowanie-opinieca/> [Dostęp 30.05.2021].
- [27] Certus – strona internetowa szpitala, Endoskopia kapsułkowa jelita grubego [online]. Dostępny w Internecie: <https://www.certus.med.pl/bazawiedzy/badania-endoskopowe/endoskopiakapsulkowa-jelita-grubego> [Dostęp 27.05.2021].
- [28] Science Daily – serwis naukowy, A miniature robot that could check colon for early signs of disease, University of Leeds, June 19, 2019 [online].

Dostępny w Internecie: <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/06/190619142523.htm> [Dostęp 27.05.2021].

[29] Joseph C. Norton i in., Intelligent magnetic manipulation for gastrointestinal ultrasound, *Science Robotics* 19 Jun 2019: Vol. 4, Issue 31, eaav7725 DOI: 10.1126/scirobotics.aav7725. Dostępny w Internecie: <https://robotics.sciencemag.org/content/4/31/eaav7725> [Dostęp 27.05.2021].

[30] Helen Knight, Robotic capsule inspects colon for cancer, *The Engineer* 21st June 2019, Dostępny w Internecie: <https://www.theengineer.co.uk/roboticcapsule-sonopill-cancer/> [Dostęp 30.05.2021].

[31] Genetic Engineering & Biotechnological News – portal naukowy, Profusa Wins \$7.5M DARPA Biosensor Grant, 2016 [online]. Dostępny w Internecie:

<https://www.genengnews.com/news/profusa-wins-7-5m-darpa-biosensor-grant/> [Dostęp 27.05.2021]. Profusa – strona internetowa firmy, Profusa is pioneering tissue-integrating biosensors for continuous monitoring of body chemistries [online]. Dostępny w Internecie: <https://profusa.com/ourvision/> [Dostęp 27.05.2021].



Roboty w służbie medycyny



RobinHeart

polski produkt, współpraca
FRK - Meden-Inmed

Vertimo Hi-Lo Step

polski produkt, współpraca
PIAP - Meden-Inmed



Mikroprocesorowy system do badania zaburzeń równowagi

Microprocessor system for examining imbalances

Artykuł recenzowany

**PIOTR SAUER*,
WERONIKA LEŚNA,
ZUZANNA STOLC,
ZOFIA ZIELIŃSKA**

Instytut Automatyki i Robotyki,
Politechnika Poznańska,
60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3a

*Piotr Sauer,
piotr.sauer@put.poznan.pl

Słowa kluczowe:

*zaburzenia równowagi,
akcelerometr, bluetooth,
rehabilitacja, układ równowagi,
mikrokontroler,
wychylenie od pionu*

Keywords:

*balance disorders,
accelerometer,
bluetooth, rehabilitation,
balance system, microcontroller,
tilt from the vertical*

Streszczenie

Celem pracy było opracowanie systemu monitorowania zaburzeń równowagi. Zaproponowany system może być przeznaczony zarówno do diagnostyki, jak i rehabilitacji zaburzeń równowagi. System umożliwia odczytywanie danych dotyczących przyspieszenia z dwóch osi pomiarowych czujników MPU6050, a następnie przeliczeniu ich na wartości procentowe. Tak przetworzone dane wysyłane są do opracowanej aplikacji mobilnej za pomocą protokołu Bluetooth. Lekarz lub fizjoterapeuta może przeprowadzić analizę badań na podstawie danych zebranych w tabeli lub wizualizacji. Zebrane dane przechowywane są w chmurze, a następnie wyświetlane na wykresach w aplikacji. W pracy zaprezentowano wyniki pracy dyplomowej inżynierskiej [1].

Abstract

The aim of the work was to develop a system for monitoring imbalances. The proposed system can be used both for the diagnosis and rehabilitation of balance disorders. The system can read acceleration data from the two measuring axes of the MPU6050 sensors and then convert them to percentages. The data processed in this way is sent to the developed mobile application via the Bluetooth protocol. The doctor or physiotherapist can analyze the research on the basis of the data collected in the table or visualization. The collected data is stored in the cloud and then displayed on charts in the application. In the presentation work, the results of the engineer diploma thesis [1].

WPROWADZENIE

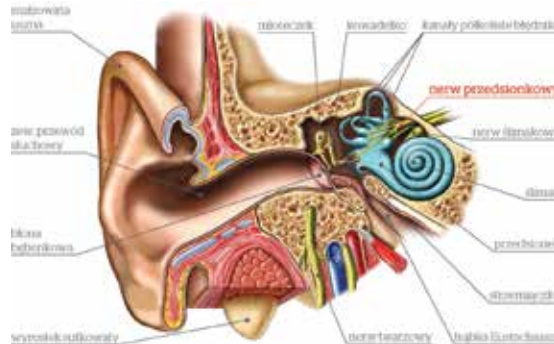
Zaburzenie równowagi to stan, który powoduje uczucie niepewności lub zawroty głowy. Jeśli stoisz, siedzisz lub leżysz, możesz czuć się tak, jakbyś się poruszał, wirował lub unosił. Zdolność organizmu do równowagi jest bardzo skomplikowana ze względu na ilość współdziałających ze sobą komponentów w ciele człowieka. Zaburzenia równowagi występują jako objaw wielu chorób i dysfunkcji. Istotna jest więc możliwość monitorowania tego faktu, w celu badania, diagnozowania chorób i poprawy zdrowia pacjenta. Choć samych w sobie zaburzeń równowagi nie definiujemy jako jednostki chorobowej, więc nie można mówić o ich wyleczeniu, to ich nasilenie może dawać istotną informację w sprawie innego występującego schorzenia, któremu właśnie zaburzenia równowagi towarzyszą. Motywacja do stworzenia niniejszego projektu wiąże się ze znikomą dostępnością tego typu urządzeń na rynku. Zaproponowany system monitorowania zaburzeń równowagi ma stanowić zarówno użyteczne narzędzie dla lekarza, jak i niezbędnik dla pacjenta z tym objawem.

Celem pracy dyplomowej inżynierskiej [1] było zaprojektowanie, zbudowanie oraz uruchomienie systemu, który posłuży do monitorowania występujących u pacjenta zaburzeń równowagi. Przyjęto że urządzenie ma być poręczne aby nie stwarzało dyskomfortu oraz nie ograniczało ruchów pacjenta. Równie ważnym aspektem, było stworzenie intuicyjnego interfejsu aplikacji, która miała wizualizować stopień odchylenia pacjenta oraz archiwizować pomiary z czujników. Zaimplementowana w projekcie aplikacja mobilna umożliwia monitorowanie postępów rehabilitacji. Dodatkowo, dla pacjentów ze skrajnie silnymi zaburzeniami równowagi zastosowano sygnał dźwiękowy informujący o zbyt dużym wychyleniu, który może skutkować przewróceniem się.

■ ZABURZENIA RÓWNOWAGI

Na poczucie równowagi w porównaniu z innymi zmysłami takimi jak węch, wzrok bądź słuch, które działają dzięki jednemu, dedykowanemu narządowi, składa się ściśle działanie kilku narządów. W skład układu równowagi wchodzi:

- narząd przedsionkowy – jest to układ bębnowy zlokalizowany w uchu wewnętrznym (Rys. 1)
- zmysł czucia głębokiego – są to receptory umiejscowione w mięśniach, stawach i ścięgna
- system wzrokowy, odpowiedzialny za wskazywanie położenia w stosunku do innych obiektów
- centralny układ nerwowy, który odpowiedzialny jest za koordynację ruchów poprzez wysyłanie sygnałów motorycznych do mięśni i oczu.



Rysunek 1. Budowa ucha [2]

Figure 1. Structure of the ear [2]

Do głównych przyczyn występowania zaburzeń równowagi zaliczamy choroby błędnika, układu nerwowego, narządu wzroku, układu krążenia, a także choroby o podłożu psychogenным. Objawami, które towarzyszą zaburzeniom równowagi są nudności, szum w uszach i przytępienie słuchu, czasem wymioty, osłabienie. Najczęstszym objawem są jednak zawroty głowy. Zawroty głowy [3] są objawem subiektywnym i definiowane są jako zaburzenie orientacji przestrzennej. Osoba z zawrotami głowy odczuwa wrażenie ruchu w głowie lub otoczeniu, co wiąże się z odczuciem chwiania się, zapadania, falowania otoczenia bądź wirowania własnego ciała, a nawet wrażeniem nadchodzącego omdlenia. Zawroty głowy możemy podzielić na dwie główne grupy:

- **zawroty usystematyzowane**, inaczej zwane układowymi, to zawroty głowy opisywane przez chorego jako pozorny ruch wirowy bądź unoszenie względem otoczenia. Często porównywane są do odczucia podczas jazdy windą, jednak z tendencją do wychyleń w jedną stronę. Wrażenie wirowania własnego ciała lub otoczenia występuje zazwyczaj gwałtownie, dlatego jest to uczucie wyjątkowo nieprzyjemne dla pacjenta, przez to często towarzyszą mu nudności i wymioty.
- **zawroty nieusystematyzowane**, inaczej zwane nieukładowymi, są to zawroty głowy opisywane jako poczucie niepewności, odurzenia, zamglenia widzenia, a nawet lęk przed upadkiem. Chory odczuwa wrażenie ściągania w bok, staczania się, zapadania bądź kołysania, co świadczy o tym, że w jakiś sposób uszkodzony został system poczucia orientacji przestrzennej.

Zawroty możemy podzielić również na podstawie ich przebiegu w tym przypadku wyróżniamy trzy typy:

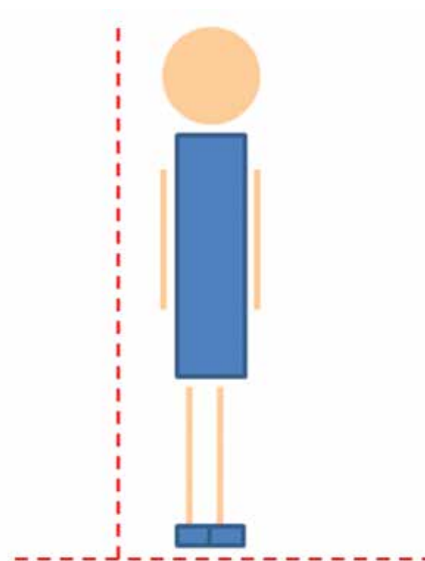
- **Typ 1:** zawroty nagłe, silne i krótkotrwałe, pojawiają się nagle, trwają przez krótki okres

czasu i równie szybko znikają. Do głównych przyczyn należą: zawroty związane ze zmianą położenia, ortostatyczne spadki ciśnienia, hipoglikemia, niewydolność krążenia w obszarze kręgowo podstawnym mózgu.

- **Typ 2:** zawroty nagłe, silne i stopniowo znikające, podobnie jak w typie 1, pojawiają się nagle, jednak znikają znacznie wolniej, zazwyczaj w ciągu kilku dni lub tygodni. Do głównych przyczyn należą: choroby lub urazy błędniaka, choroba nerwu przedsionkowego.
- **Typ 3:** zawroty przewlekłe, nienasilone, przeciągające się, obecne są stale, zazwyczaj łagodne, z tendencją do nasilania się. Do głównych przyczyn należą: miażdżyca tętnic mózgowych, urazy głowy, obecność guza mózgu w różnych lokalizacjach.

Badania równowagi [4] oparte są na pomiarach wychwiania ciała człowieka w badaniach posturograficznych. Rozróżniamy dwie grupy badań narządu równowagi. Pierwszą z nich jest grupa badań statycznych, gdzie pacjent stoi swobodnie w miejscu, bez przemieszczania się. Drugą są badania dynamiczne, podczas których badany poddany jest pewnym zakłóceniom. Do zakłóceń podczas dynamicznego badania równowagi możemy zaliczyć np. przemieszczanie, pchnięcie, mylące bodźce wzrokowe bądź rotację podłoża, które są zakłóceniami zewnętrznymi oraz wstawanie z pozycji siedzącej lub przechodzenie ze stania do pozycji siedzącej, wymachy ramion, ruchy głową, które nazywamy zakłóceniami wewnętrznymi. Należy pamiętać o tym, że nawet u osoby zdrowej podczas stania nieruchomo możemy zauważyć niewielkie wychylenie od pionu. Świadczy to tylko i wyłącznie o poprawnym działaniu układu równowagi, który pozostaje ciągle aktywny i dba o poprawne ułożenie ciała w przestrzeni. Zaproponowany w pracy [1] system mikroprocesorowy przystosowany jest do wykonywania badań statycznych. Poniżej przedstawiono przykładowe metody oceny narządu równowagi [5], które posłużyły nam do wykonania testów zaproponowanego systemu:

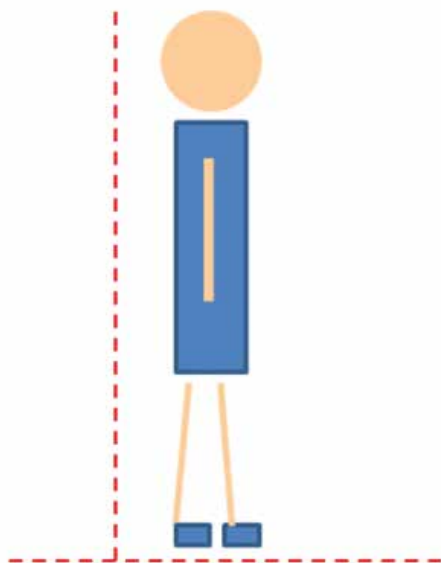
- **Próba Romberga** – ocenia zdolność utrzymywania równowagi statycznej przez pacjenta przy otwartych oraz zamkniętych oczach. W badaniu tym pacjent ustawia się w pozycji stojącej z równo złączonymi nogami i rękami wzdłuż ciała lub skrzyżowanymi na piersi. Test składa się z dwóch etapów, próba przy oczach otwartych i zamkniętych. Każda próba może dać wynik dodatni bądź ujemny. Jeżeli pacjent stoi stabilnie, a zamknięcie oczu nie wpływa na wychylenia, oznacza że wynik jest prawidłowy, czyli ujemny. Jeżeli pacjent już podczas pierwszego etapu, czyli z otwartymi oczami ma problem z utrzymaniem równowagi, świadczy to



Rysunek 2. Postawa pacjenta w próbie Romberga [1]
Figure 2. The patient's attitude in Romberg's attempt [1]

o ostrym uszkodzeniu błędniaka bądź uszkodzeniu mózdzku. W takim przypadku badanie zostaje przerwane i nie przechodzi się do drugiego etapu. Natomiast jeżeli pacjent stoi stabilnie, ale zamknięcie oczu zwiększa wyrażenie wychylenia w przód bądź tył oraz są to wychylenia jednostronne, tylko przód lub tylko w tył, czyli w stronę uszkodzenia świadczy to np. o osłabieniu czucia somatosensorycznego bądź ośrodkowego, jednostronnym uszkodzeniu błędniaka lub jednostronnym uszkodzeniu mózdzku bądź zespole Wallberga. Gdy wychylenia występują jednocześnie w przód i w tył może to świadczyć np. o nieskompensowanym uszkodzeniu błędniaka lub łagodnych położeniowych zawrotach głowy. Natomiast jeżeli pacjent wychyla się na boki, świadczy to o uszkodzeniach przedsionkowych. Gdy występuje tendencja do przewrócenia się, może to świadczyć o zaburzeniach proprioceptywnych (neuropatia czuciowa, melopatie) w przebiegu uszkodzeń rdzenia kręgowego. Na rysunku 2 przedstawiono postawę pacjenta podczas wykonywania próby Romberga.

- **Próba Manna** (uczulona próba Romberga) jest czulsza na zaburzenia równowagi. Od próby Romberga różni się ustawieniem stóp. Badany na polecenie lekarza ustawia bez obuwia w linii prostej stopę przed stopą, nie dotykając przy tym palcami stopy tylnej pięty stopy ustawionej z przodu. Wykonanie testu uczulonego np. na gąbce lub z jedną nogą wysuniętą przed drugą uwrażliwia test Romberga na wykrywanie zaburzeń. Diagnostyka powodów zaburzeń równowagi jest taka sama jak w próbie Romberga,

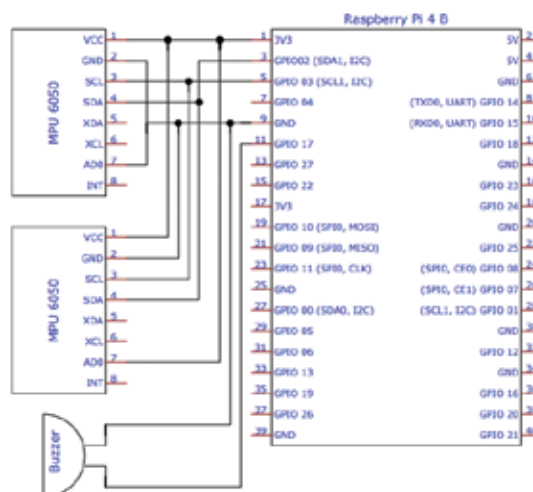


Rysunek 3. Postawa pacjenta w próbie Manna [1]
Figure 3. The patient's attitude in Mann's attempt [1]

stosowana jest jednak w przypadku gdy wynik próby Romberga nie jest jednoznaczny, ponieważ ukazuje dokładniej przyczynę zaburzeń. Na rysunku 3 zaprezentowano postawę pacjenta, podczas wykonywania próby Manna.

Stałe utrzymanie środka ciężkości nad podstawą podparcia umożliwia człowiekowi kontrolę postawy ciała, zarówno w warunkach statycznych, jak i dynamicznych. Celem rehabilitacji zaburzeń układu równowagi jest wyeliminowanie bądź też zmniejszenie dolegliwości, między innymi takich jak zawroty głowy i niestabilność. Poprawnie dobrany zestaw ćwiczeń może przyczynić się do przywrócenia poprawnego napięcia tkanek miękkich, poprawy ukrwienia oraz unerwienia układów związanych z równowagą ciała. Rehabilitacja wykonywana pod nadzorem specjalisty prowadzi do polepszenia poczucia równowagi statycznej i dynamicznej, a co za tym idzie poprawia jakość życia chorego. Poniżej przedstawiono przykładowe ćwiczenia z zakresu rehabilitacji statycznej:

- Ćwiczenie 1 – pacjent stoi stabilnie na prawej/lewej kończynie dolnej z asekuracją, prawą/lewą kończynę dolną ma lekko zgiętą w stawie kolanowym i biodrowym. Badany wykonuje powolne wymachy prawej/lewej kończyny dolnej do przodu i do tyłu. W fazie początkowej pacjent wykonuje ćwiczenie z otwartymi oczami, a wraz z postępem rehabilitacji ćwiczenie wykonuje z zamkniętymi oczami.
- Ćwiczenie 2 – pacjent wykonuje ruchy gałek ocznych w pozycji siedzącej. Naprzemiennie wykonuje ruch gałek ocznych góra/dół oraz lewo/prawo, przy czym głowa pozostaje nieruchoma. Następnie badany przechodzi do wo-



Rysunek 4. Schemat połączeń elektrycznych Raspberry Pi 4 [1]
Figure 4. Raspberry Pi 4 wiring diagram [1]

dzenia wzrokiem za wyprostowanym na wysokości wzroku palcem wskazującym. Wykonuje manewr przybliżania, a następnie oddalania palca od oczu.

- Ćwiczenie 3 – pacjent stoi na piłce dynamicznej. Głowa pozostaje nieruchoma. Ćwiczenie polega na zachowaniu równowagi z równoczesnym przekładaniem przedmiotu np. małej piłki z prawej do lewej kończyny górnej oraz stabilizacją wzroku na przedmiocie.

MIKROPROCESOROWY SYSTEM MONITOROWANIA ZABURZEŃ

Mikroprocesorowy system monitorowania zaburzeń równowagi opracowano w oparciu o mikrokomputer Raspberry Pi 4 [1]. W zaproponowanym systemie zastosowano dwa czujniki MPU6050, które w swojej strukturze zawierają 3-osiowe akcelerometry i żyroskopy. Czujniki komunikują się z mikrokomputerem poprzez interfejs I2C. Na rysunku 4 przedstawiono sposób podłączenia czujników do mikrokomputera Raspberry Pi 4.

Czujniki MPU6050 umożliwiają pomiar przyspieszenia oraz orientacji przestrzennej w trzech osiach [1]. W proponowanym systemie wykorzystano tylko akcelerometry, które umożliwiają pomiar składowych przyspieszenia ziemskiego, na podstawie których obliczono Na podstawie składowych przyspieszenia ziemskiego obliczane jest wychylenie segmentu ciała pacjenta (do którego podłączony jest dany czujnik) korzystając z funkcji trygonometrycznych. Rysunek 5 przedstawia wychylenie czujnika z jednej z płaszczyzn, przy czym krawędzie prostokąta X oraz Y symbolizują osie składowych przyspieszeń.

Kąt α jest badaną wartością odchylenia od pionu. Z rysunku 5 wynika następująca zależność:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{y}{9,81}\right) \quad (1)$$

Równanie (1) pozwala obliczyć wychylenie od pionu zarówno dla osi Y (wychylenie przód-tył) jak i osi Z (wychylenie prawo-lewo). Po obliczeniu parametru α , wartość tę przekształcono na wynik procentowy P (przyjmując jako pełne wychylenie kąt 90):

$$P = \frac{\alpha}{\pi/2} 100 [\%] \quad (2)$$

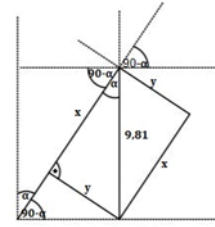
Jest to forma bardziej przyjazna dla użytkownika. Procentowe odchylenie od wybranej osi przesyłane jest do aplikacji mobilnej za pomocą interfejsu Bluetooth. Rysunek 6 prezentuje schemat sposobu działania i komunikacji w systemie.

Natomiast rysunek 7 prezentuje schemat blokowy przedstawiający działanie projektowanego systemu.

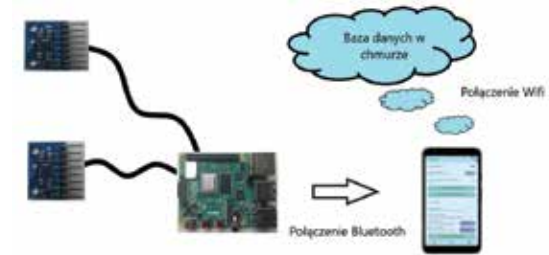
■ APLIKACJA MOBILNA KEEP BALANCE [1]

Aplikacja *Keep Balance* została stworzona jako interfejs użytkownika systemu pomiarowego do monitorowania zaburzeń równowagi i archiwizacji danych odczytywanych z czujników. Aplikacja wspomaga lekarzy/fizjoterapeutów w procesie rehabilitacji poprzez wizualizację w czasie rzeczywistym wyników osiągniętych w czasie realizowanych przez pacjenta ćwiczeń. Dodatkowo, wszystkie dane zebrane podczas procesu rehabilitacji są przesyłane do bazy danych istniejącej w chmurze, z której następnie łatwo ponownie pobrać informacje i przetworzyć lub użyć w ramach innego programu „medycznego”. Dokładny opis aplikacji zaprezentowano w pracy [1]. Aplikacja *Keep Balance* łączy się z systemem pomiarowym za pomocą interfejsu Bluetooth. Obsługę komunikacji między aplikacją, a systemem pomiarowym zrealizowano przy pomocy biblioteki *flutter_bluetooth_serial*. Biblioteka umożliwia oprócz nadawania i odbierania odpowiednich danych również zarządzanie ustawieniami telefonu z poziomu aplikacji. Aplikacja składa się z wielu ekranów np. ekranu ćwiczeń, tablicy danych, wykresów czy ustawień.

Ekran ćwiczeń jest najważniejszą częścią aplikacji *Keep Balance*, gdyż jest narzędziem pomocniczym podczas samego procesu ćwiczeń rehabilitacyjnych. Głównym elementem ekranu jest tarcza składająca się ze strzałek ilustrujących odchył oraz przycisku do zarządzania aktywacją programu (Rys. 8). Strzałki w zależności od wartości wychylenia zmieniają swoją barwę oraz jej natężenie. Przy braku odchyłu w daną stronę strzałki mają kolor cyjankowy, natomiast gdy wychylenie jest poza zakresem odchył normalnych (wartość ustawiana w panelu ustawień) zmienia barwę na odcień czerwieni zależnie od wartości odchylenia. W momencie odchy-



Rysunek 5. Rozkład zmiennych do opracowania algorytmu [1]
Figure 5. Distribution of variables for the development of the algorithm [1]



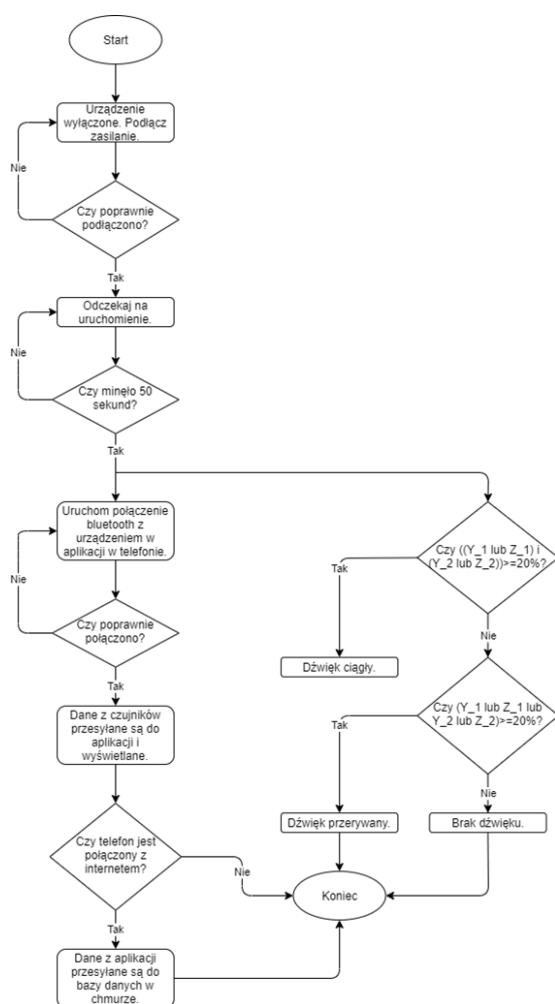
Rysunek 6. Schemat działania i komunikacji projektu [1]
Figure 6. Diagram of operation and communication of the project [1]

nia po ukosie kolor zmieniają dwie strzałki analogicznie do wartości składowych. Dodatkowo przy strzałkach o zabarwieniu czerwonym widoczne są wartości odchyłu podane w procentach. Mają one za zadanie ułatwić rehabilitację osobom mającym problem w pracy z kolorami lub osobom, które lepiej odbierają informacje w postaci tekstu. Po środku strzałek odchyłu znajduje się przycisk umożliwiający włączenie lub zatrzymanie programu. Dzięki niemu użytkownik może zarządzać czasem ćwiczeń oraz wprowadzać przerwy w czasie treningu. Przycisk ten obsługuje również aktywację odczytu danych z czujników.

Pacjent obserwując zmieniające się animacje na monitorze, jest informowany o tym czy zachowuje równowagę czy przechylił się w którąś ze stron. W zakładce nagłkowej ekranu ćwiczeń istnieje możliwość wyboru, którą część ciała (który czujnik) użytkownik chce obserwować. W zależności od tego ustawienia wyświetlane są dane dla wybranego czujnika. Nazwy części ciała, na których znajdują się czujniki użytkownik może ustawić za pomocą ekranu ustawień.

Ekran tablicy danych umożliwia wyświetlenie danych w postaci tablicy (Rys. 9). Ekran ten został stworzony z myślą o lekarzach oraz fizjoterapeutach, którzy chcieliby śledzić postępy podopiecznych podczas ćwiczeń. Wyświetlana tablica składa się z 4 kolumn reprezentujących następujące dane:

- odchyły w płaszczyznach X i Y dla czujnika 1 oznaczonego na rysunku 9 jako Head (w procentach)
- odchyły w płaszczyznach X i Y dla czujnika 2 oznaczonego na rysunku 9 jako Waist (w procentach)



Rysunek 7. Schemat blokowy działania systemu [1]
Figure 7. System operation block diagram [1]

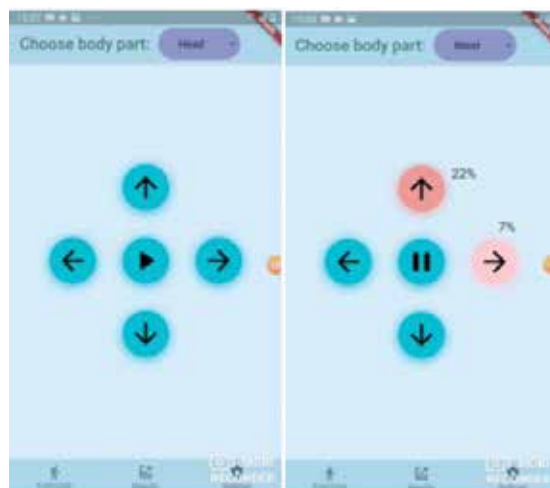
- godziny otrzymania wyników z urządzenia daty wykonywania ćwiczeń.

Kolumny, w których wyświetlane są dane dotyczące pomiarów czujnika zatytułowane są według nazw czujników nadanych przez użytkownika w sekcji ustawień (ekran ustawień). Na ekranie tabeli danych w dolnym prawym rogu znajduje się okrągły przycisk umożliwiający użytkownikowi wyświetlenie podstrony zawierającej ekran wykresów (Rys. 10).

Ekran wykresów (Rys. 10) umożliwia wyświetlanie następujących wykresów:

- wykresu zależności wychylenia od czasu
- wykresu wychylenia w zależności od składowych koordynat

W momencie otwierania ekranu wykresów zostają załadowane dane z bazy dotyczące pomiarów uzyskanych podczas realizacji ćwiczeń. Z bazy pobierane są dane ćwiczeń wykonanych w danym dniu, a następnie zostają przetworzone w taki sposób aby można było pobrać wartości odpowiednich



Rysunek 8. Ekrany ćwiczeń dla różnych danych [1]
Figure 8. Exercise screens for different data [1]

Head	Waist	Hour	Date
X: 3, Y: 14	X: 14, Y: 0	3:03:30 PM	1/23/2021
X: 0, Y: 13	X: 20, Y: -1	3:07:29 PM	1/23/2021
X: 3, Y: 16	X: 18, Y: 1	3:07:29 PM	1/23/2021
X: 5, Y: 15	X: 16, Y: -1	3:07:28 PM	1/23/2021
X: 3, Y: 17	X: 17, Y: -2	3:07:28 PM	1/23/2021
X: 6, Y: 16	X: 18, Y: -1	3:07:27 PM	1/23/2021
X: 7, Y: 16	X: 16, Y: 0	3:07:27 PM	1/23/2021
X: 5, Y: 13	X: 18, Y: 0	3:07:26 PM	1/23/2021
X: 5, Y: 12	X: 16, Y: 0	3:07:26 PM	1/23/2021
X: 3, Y: 12	X: 14, Y: -1	3:07:25 PM	1/23/2021
X: 4, Y: 11	X: 15, Y: 0	3:07:25 PM	1/23/2021
X: 5, Y: 10	X: 13, Y: 1	3:07:24 PM	1/23/2021
X: 5, Y: 11	X: 11, Y: 1	3:07:24 PM	1/23/2021
X: 2, Y: 16	X: 14, Y: 1	3:07:23 PM	1/23/2021
X: 6, Y: 21	X: 13, Y: -4	3:07:23 PM	1/23/2021
X: 18, Y: 20	X: 15, Y: 0	3:07:22 PM	1/23/2021
X: 23, Y: 15	X: 18, Y: 0	3:07:22 PM	1/23/2021

Rysunek 9. Ekrany tablicy danych [1]
Figure 9. Data table screen [1]

wychyleń. Każdy z wykresów jest wyświetlany na podstawie podobnych instancji kodu: stworzony zostaje wykres, opisy oraz charakterystyczne obszary wykresu, takie jak obszar wychylenia normalnego zaznaczony na wykresach zielonym kolorem (Rys. 10). W aplikacji istnieje możliwość ustawienia samodzielnie odchylenia normalnego, jednak preferowane jest ustawienie tego parametru przez lekarza lub inną osobę prowadzącą proces leczenia, gdyż wartość tego wychylenia może być zależna od stanu zdrowia pacjenta. Wstępnie wychylenie normalne ustawione jest na wartość 5% odchylenia od pionu. Wychylenie normalne można ustawić w zakładce Ustawienia. Wyświetlane dane w formie wykresu

dotyczą tylko jednego czujnika. Przy pomocy przycisku znajdującego się u dołu ekranu można zmienić czujnik, którego dane są wyświetlane na wykresie zależności wychyleń od czasu.

■ BADANIA EKSPERYMENTALNE

Po zbudowaniu systemu pomiarowego i jego uruchomieniu przystąpiono do przeprowadzenia testów w laboratorium. W pełni działający system został zamontowany na pacjencie, który stał na poduszce sensomotorycznej. Wprowadza ona pacjenta w stan podobny do zaburzeń równowagi. W celu poprawnego działania aplikacji mobilnej, czujniki należy umieścić po prawej stronie ciała pacjenta, w przeciwnym przypadku kierunki wskazywane przez strzałki w aplikacji mobilnej, nie będą pokrywać się z kierunkiem wychyleń badanej osoby. Czujnik nr 1 został zamontowany na głowie, a czujnik nr 2 w pasie, a mikrokontroler zamontowano na ramieniu pacjenta (Rys. 11). Również niezbędnym warunkiem jest umieszczenie telefonu z aplikacją i systemu pomiarowego w jednym pomieszczeniu, ze względu na komunikację Bluetooth, która ma ograniczony zasięg. Po podłączeniu zasilania, należy odczekać 50 sekund. Jest to czas uruchomienia systemu pomiarowego. Dla uzyskania poprawnych wyników, badania oraz rehabilitacja muszą odbywać się w formie statycznej.

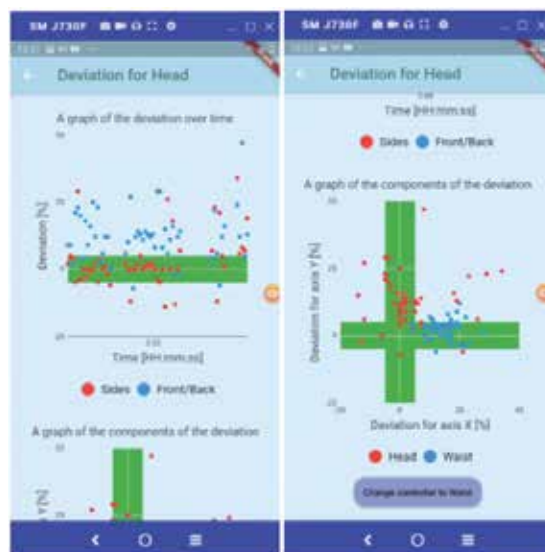
W trakcie przeprowadzonych testów, system działał poprawnie, zgodnie z przyjętymi założeniami. Sygnały dźwiękowe odpowiadają osiąganym przechyłom, a dane poprawnie wyświetlają się w aplikacji.

■ PODSUMOWANIE

Wynikiem niniejszej pracy jest mobilny mikroprocesorowy system do rehabilitacji zaburzeń równowagi. Układ działał zgodnie z głównymi założeniami. Pacjent w aplikacji widzi w czasie rzeczywistym dane dotyczące wychyleń od pionu, a strzałki kolorystyczne dają wizualne odzwierciedlenie problemu. Dodatkowo dźwięk informuje o niebezpieczeństwie upadku. Projekt cechuje się małą masą, a mocowanie urządzenia zostało wykonane w sposób komfortowy do użytkowania przez pacjenta. Dokładny opis mocowania czujników pomiarowych przedstawiono w pracy [1].

Pomimo zrealizowania głównych założeń projektu, istnieje wiele możliwości rozwijania systemu oraz wprowadzania ulepszeń. W dalszej pracy nad układem można rozważyć:

- dodanie do urządzenia funkcjonalności żyroskopu, w celu wykonywania testów oraz rehabilitacji dynamicznej
- możliwość ustawienia z poziomu aplikacji przechyłu granicznego, od którego włącza się ostrzegawczy sygnał dźwiękowy



Rysunek 10. Ekrany wykresów [1]

Figure 10. Graph screens [1]



Rysunek 11. Sposób montażu układu na pacjencie [1]

Figure 11. The method of mounting the system on the patient [1]

- zastosowanie zwijalnych przewodów, których długość dostosowywać się będzie w zależności od miejsca umieszczenia czujnika na ciele pacjenta bądź całkowite pozbycie się przewodów poprzez zastosowanie komunikacji bezprzewodowej pomiędzy czujnikami a mikrokomputerem Raspberry Pi
- wprowadzenie możliwości ustawienia z poziomu aplikacji mobilnej częstotliwości przesyła-

nia pomiarów z urządzenia (aktualnie na stałe ustawione 500ms)

- zastosowanie bazy danych spełniającej warunki RODO oraz możliwości logowania do aplikacji
- przeprowadzenie testów na osobach z prawdziwymi zaburzeniami równowagi w konsultacji z lekarzem, w celu dopracowania funkcjonalności i dokładności urządzenia

LITERATURA

- [1] W. Leśna, Z. Stolec, Z. Zelińska, Mobilny mikroprocesorowy system do rehabilitacji zaburzeń równowagi, Praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Poznańska, styczeń 2021.
- [2] Strona internetowa: slysze.ifps (<https://slysze.ifps.org.pl/zapalenie-nerwu-przedstonkowego-jak-odzyskac-rownowage/>)
- [3] D. Kulima, Zawroty głowy jako problem orzecznictwa, Orzecznictwo Lekarskie 2009, 6(2): 135-147
- [4] E. Zamysłowska-Szmytko, M. Śliwińska-Kowalska, Badanie układu równowagi dla potrzeb medycyny pracy, Ortolaryngologia 2012, 11(4):139-145
- [5] S. Szostek-Rogula, E. Zamysłowska-Szmytko, Przegląd skal i testów dla oceny czynnościowej pacjenta z zawrotami głowy i zaburzeniami równowagi, Ortolaryngologia 2015, 14(3):141-149

Badanie zakresu ruchów w stawie kolanowym – przegląd dostępnych urządzeń pomiarowych

Artykuł recenzowany

DOMINIK PAWLIŃSKI¹@

¹Pro Homine Promovendo Sp z o.o.,
B404B Sp z o.o.
@dpawlinski@gmail.com

Słowa kluczowe:
zakres ruchu, goniometr,
urządzenia pomiarowe stawów

Keywords:
range of motion, goniometer,
measuring devices for joints

Streszczenie

Celem pracy było przedstawienie biomechaniki stawu kolanowego jako największego stawu w organizmie człowieka, określenie systemu pomiaru zakresu ruchów w tym stawie oraz systematyczny przegląd urządzeń służących do wspomnianych pomiarów. Podstawą przygotowania przeglądu urządzeń pomiarowych były doświadczenia własne autora, a także przegląd dostępnej bibliografii oraz przegląd rynkowy funkcjonujących już urządzeń. Zestawienie narzędzi pomiarowych zostało usystematyzowane od najprostszych – manualnych do bardziej zaawansowanych – elektronicznych, aż po inteligentne.

Abstract

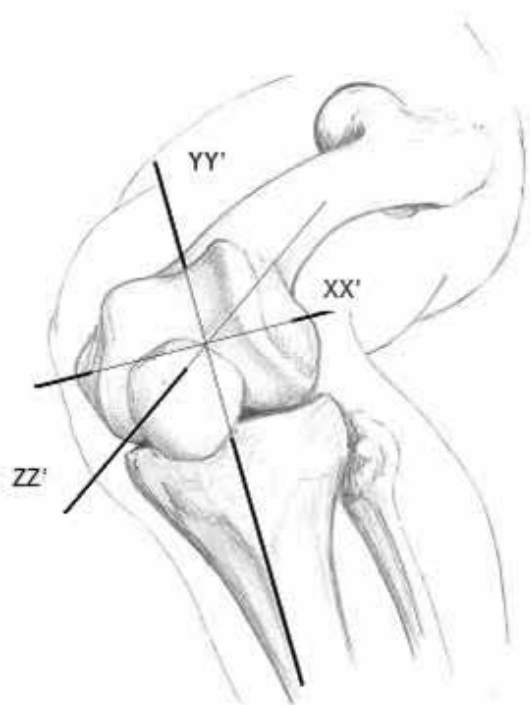
The aim of the study was to present the biomechanics of the knee joint as the largest joint in the human body, to define the system for measuring the range of movements in this joint and to systematically review the devices used for the above-mentioned measurements. The basis for the preparation of the survey of measuring devices were the authors' own experience, as well as a review of the available bibliography and a market review of existing devices. The list of measuring tools systematized them from the simplest – manual to advanced – electronic, until to intelligent.

WPROWADZENIE

Staw kolanowy jest największym stawem w ciele człowieka. Zbudowany jest on z końca dalszego kości udowej, końca bliższego kości piszczelowej oraz rzepki, w uproszczeniu łączy udo z podudziem. W obrębie stawu kolanowego znajdują się trzy połączenia stawowe: piszczelowo – udowe przyśrodkowe, piszczelowo – udowe boczne i rzepkowo – udowe [1].

Funkcją stawu kolanowego jest utrzymywanie stabilności połączenia pomiędzy udem a podudziem, zarówno przy ruchach (chodzenie, bieganie) jak i podczas stania.

Biomechanika stawu kolanowego jest dość skomplikowana, a ruch odbywający się w stawie kolanowym jest ruchem złożonym. Dokładne badania wykazały istnienie trzech stopni swobody inaczej trzech osi ruchu – przedstawionych na rys. 1



Rysunek 1. Osie stawu kolanowego

1. Oś XX – oś poprzeczna, przechodzi przez kłykcie kości udowej, leży w płaszczyźnie czołowej, jest osią obrotu dla zgięcia i prostowania stawu kolanowego.

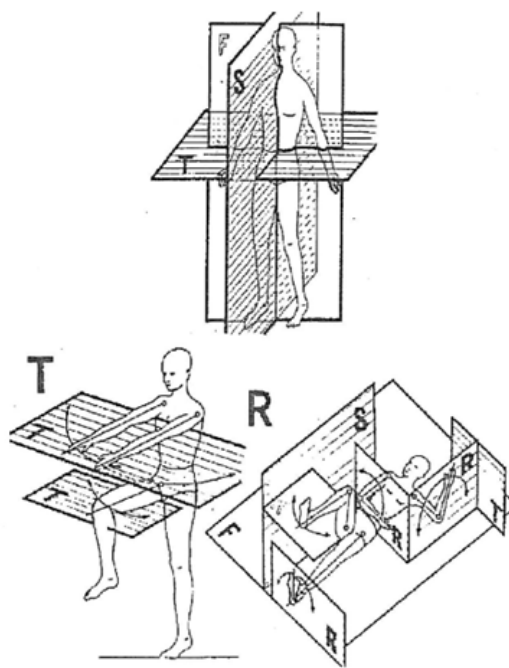
2. Oś YY – oś rotacji w płaszczyźnie horyzontalnej, związana z rotacją wokół osi podłużnej podudzia, ruch w tej osi nie jest możliwy do wykonania przy pełnym wyprostie stawu, odbywa się więc przy zgiętym stawie kolanowym.

3. Oś ZZ – oś rotacji w płaszczyźnie czołowej, jak w osi YY, ruch w osi ZZ nie jest możliwy do wykonania przy wyprostie kolana, a niewielkie wychylenia kątowe pojawiają się wzdłuż tej osi w zgięciu kolana [2].

Ze względu na niewielkie odchylenia stopniowe w osiach YY i ZZ w ogólnym uproszczeniu większość badaczy i opracowań podaje, iż staw kolanowy jest stawem zawiasowym, zmodyfikowanym o jednym stopniu swobody, wykonującym ruch głównie w jednej płaszczyźnie – strzałkowej, gdzie odbywa się ruch zgięcia i prostowania [3][4].

KIERUNEK BADAŃ

Od początku prób dokonania pomiarów zakresu ruchów w stawach istniały w tym zakresie różne sposoby oraz niejednorodna terminologia. Podstawą do rozważań niniejszej pracy jest powszechnie stosowany zapis uznany przez Polskie Towarzystwo Ortopedyczne i Traumatologiczne. Punktem wyjścia dla pomiarów zakresu ruchów w stawach jest pozycja pośrednia, czyli zerowa, która odpowiada normalnemu, anatomicznemu położeniu stawów człowieka.



Rysunek 2. Płaszczyzny podstawowe, względem których odbywają się ruchy w stawach (według Russe, Gerhardt) [7]

W przypadku badanego stawu kolanowego przyjmuje się pozycję zerową jako pełen wyprost [5]. Dzięki określeniu pozycji zerowej jako punktu wyjścia pomiarów, możliwe jest określenie punktu powtarzalnego dla różnych badaczy oraz różnych urządzeń pomiarowych. Ważne by określony punkt startowy pomiarów był wysoce powtarzalny i dokładny dla danej metody pomiarowej.

Ustawienie pozycji zerowej standardowo uzyskuje się na dwa sposoby:

- położenie pacjenta na kozetce na plecach z wyprostowanymi kończynami dolnymi spoczywającymi na kozetce jako punkt podparcia obu kończyn
- położenie pacjenta na kozetce na brzuchu z wyprostowanymi kończynami dolnymi, ale z modyfikacją, że od około ½ wysokości ud spoczywają one poza kozetką tj. kolana bez podparcia.

Sam zapis zakresu ruchów może odbywać się na trzy sposoby:

- tradycyjny w którym pozycja wyjściowa jest określona jako 0°, a ruch w danej płaszczyźnie opisany jest wartością kątową dodatnią, przy określeniu kierunku ruchu
- uproszczony – za pomocą trzech liczb, tj. 0 jako liczby wyjściowej oraz dwóch liczb oznaczających krańcowe pozycje ruchu
- system SFTR [6].

System SFTR powstał pod koniec lat 60. XX wieku, pierwsze litery, określają odpowiednie płaszczyzny, w których badane są ruchy, czyli:

- S – sagital (płaszczyzna strzałkowa);
- F – frontal (płaszczyzna czołowa);
- T – transverse (płaszczyzna poprzeczna);
- R – rotation (ruchy rotacyjne).

Według powyższych założeń oraz opisanej biomechaniki w stawie kolanowym fizjologiczny, czynny, badany zakres ruchów to:

- płaszczyzna strzałkowa:

przeprost 5° – pozycja wyjściowa 0° – zgięcie 140°

- w pozycji zgięcia:

rotacja wewnętrzna do 10°, rotacja zewnętrzna do 25°

- odwodzenie i przywodzenie podudzia – niewielki zakres ruchu od 6° do 14°.

Pomimo dużych zakresów głównego ruchu w stawie kolanowym badania kinematyczne wykazały, że do prawidłowego funkcjonowania podczas dnia codziennego normalny chód wymaga: 67° zgięcia podczas fazy przenoszenia, 83° podczas wchodzenia po schodach, 90° podczas schodzenia po schodach oraz 93° podczas wstawania z krzesła [8]. Trójpłaszczyznowy ruch kolana w trakcie chodzenia wykazał przenoszenie zgięcia i wyprostów około 70°, w fazie podporowej 20°, dodatkowo każdy cykl chodu generował do 10° odwiedzenia/przywiedzenia i 10°-15° rotacji [8]

Najczęściej popełniane błędy przy wykonywaniu pomiarów to:

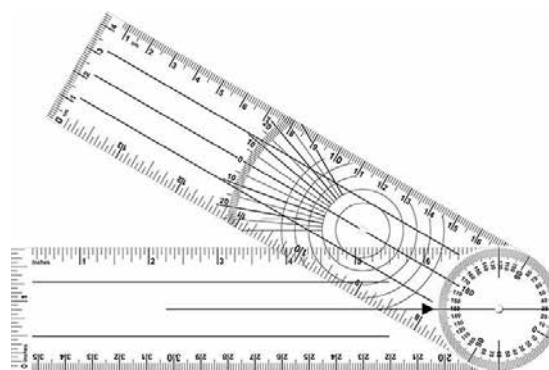
- niewłaściwy wybór urządzenia pomiarowego
- niewłaściwa pozycja wyjściowa – zerowa
- brak odpowiedniego podparcia
- niewłaściwy ruch w badanym stawie
- błędne odczytanie wartości z urządzenia
- złe przyłożenie – umiejscowienie urządzenia pomiarowego.

■ PRZEGLĄD URZĄDZEŃ POMIAROWYCH

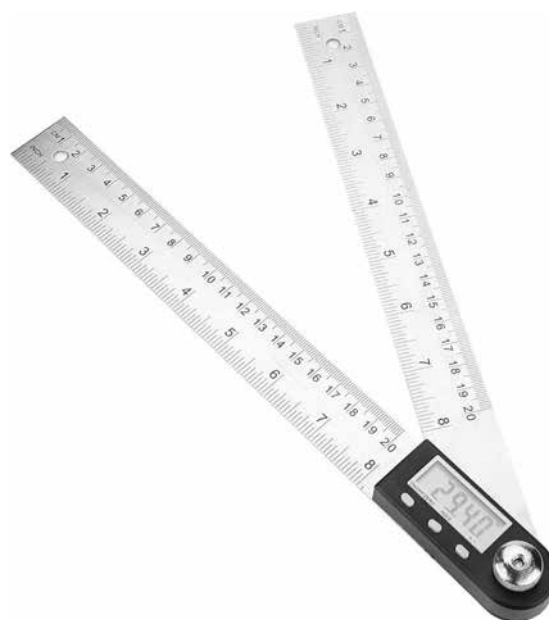
Poniżej w postaci usystematyzowanej, od najprostszej metody wzrokowej przez manualną, zelektronizowaną do inteligentnej, zostaną przedstawione urządzenia pomiarowe zakresu ruchów w stawie kolanowym.

■ METODA WZROKOWA

Przy braku jakichkolwiek urządzeń pomiarowych najprostszą metodą pomiarową jest ocena zakresu ruchu w stawie kolanowym za pomocą wzroku. Pozycją wyjściową pomiaru jest ustalona pozycja zerowa, czyli wyprost kolana – 0°, następnie zgięcie stawu do kąta prostego uzyskując 90°. Prostując kolano tj. w połowie pomiędzy 90° a 0° uzyskuje się kąt zgięcia 45°, zginając dalej kolano powyżej 90° uzyskuje się pełne czynne zgięcie około 135° – ten kąt będzie w przybliżeniu sumą kąta prostego 90° (który znacznie prosto uzyskać w stawie kolanowym) oraz wcześniej określonego kąta zgięcia 45°.



Rysunek 3. Goniometr manualny



Rysunek 4. Goniometr z zegarem elektronicznym

Pomiar tą metodą jest bardzo orientacyjny i daje powtarzalne wyniki dla kątów: 0°, 45°, 90°, 135°, pozostałe kąty pomiarowe ruchu stawu kolanowego powinny być określane w tej metodzie formułą opisową, np. zakres zgięcia pomiędzy 90° a 135°.

■ GONIOMETR

Najprostszym urządzeniem pomiarowym zakresu ruchów w stawie jest goniometr. Jest to narzędzie manualne, składające się z dwóch ramion: ruchomego i nieruchomego. Każdy goniometr posiada podziałkę od 0° do 360°[9]. Zastosowanie: centrum goniometru-zegar ustawia się po stronie bocznej stawu kolanowego mniej więcej w połowie tego stawu, ramię nieruchome ustawione jest po stronie bocznej uda wzdłuż linii środkowej, ramię ruchome ustawione jest odpowiednio co do strony i linii, ale na podudziu. Zakres kąta ruchu w stawie kolanowym uzyskuje się ru-



Rysunek 5. F-Force Sens pozycja zerowa i pomiarowa



Rysunek 6. Wygląd głównego okna aplikacji Goniometr v.1.0 [10]

chem podudzia przy nieruchomym udzie odczytując wynik na zegarze kątowym w centrum goniometru. Powtarzalność wyników jest uwarunkowana od przyłożenia części centralnej i ramion goniometru.

■ GONIOMETR ELEKTRONICZNY

Najprostszą modyfikacją stworzenia goniometru elektronicznego jest dodanie elektronicznego zegara pomiarowego do goniometru manualnego. Zasady przyłożenia goniometru pozostają niezmiennie, jedynie wynik wyświetlany jest w postaci cyfrowej.

■ K-FORCE SENS

Elektroniczny goniometr przeznaczony do oceny, monitorowania i rehabilitacji zakresu ruchu.

Urządzenie składa się z sensora wbudowanego w opaskę, którą umieszczą się poniżej badanego stawu – dla stawu kolanowego umieszcza się go



Rysunek 7. Aplikacja Goniometr Pro – ułożenie smartfonu i pomiar

na podudziu. Całe podudzie traktuje się jako ramię ruchome goniometru. Dane za pomocą bluetooth przesyłane są do komputera, gdzie podlegają analizie. Urządzenie proste, niewielkich rozmiarów, może służyć zarówno do oceny zakresu ruchów, monitorowania w krótkim czasie jak i do biofeedbacku programu rehabilitacji.

Kolejną grupą, urządzeń która umożliwia badanie zakresu ruchów są urządzenia z zastosowaniem akcelerometru. Akcelerometry stosowane są w pomiarach statycznego przyspieszenia grawitacyjnego, które pozwala wyznaczać kąt odchylenia mierzonego obiektu od pionu, a także w pomiarach przyspieszenia dynamicznego na skutek wstrząsów, ruchu, uderzenia czy wibracji, czyli drgań o małej amplitudzie i niskiej częstotliwości, przez co otrzymuje się bardzo dokładne wyniki pomiarów.

■ APLIKACJA GONIOMETR V.1.0

Aplikacja wykorzystuje smartfon, który ma wbudowany akcelerometr, co pozwala na sprawdzenie położenia urządzenia w przestrzeni. Badanie odbywa się poprzez przyłożenie smartfonu do ruchomego ramienia np. podudzia i włączeniu aplikacji pomiarowej na smartfonie. Aplikacja Goniometr v.1.0 jest produktem polskim.

W bazie PubMed można odnaleźć prace, które opisują porównanie wyników pomiarów wykonywanych tradycyjnym goniometrem i za pomocą aplikacji na smartfony. Artykuły te pokazują, że różnica pomiarów zakresu ruchu wykonanych tradycyjnym goniometrem i za pomocą aplikacji na smartfonie jest niewielka. [11].

W związku z szybkim rozwojem nowoczesnych technologii pomiarowych i zastępowaniem urządzeń analogowych przez cyfrowe na rynku jest kilkanaście różnych aplikacji wykorzystujących potencjał smartfonów. Dla przykładu inną dość dobrą aplikacją jest Goniometr Pro – jednakże chwilowo niedostępna na polskim rynku.

■ LABORATORIUM BADANIA CHODU

Ciągłe dążenie do wnikliwej analizy nie tylko zakresu ruchu w danym stawie, ale również kompleksowa analiza ruchu całego człowieka stała się podstawą do powstania laboratoriów badania ruchu, które wykorzystują różne techniki pomiarowe, a suma poszczególnych pomiarów daje obraz ruchu. Najpowszechniejszym dostępnym na rynku jest BTS SMART system. Jest to optoelektroniczny system trójpłaszczyznowej analizy ruchu. Jego działanie opiera się o technologię pasywnych markerów odbijających emitowane promieniowanie podczerwone (IR) wraz w połączeniu z platformami dynamograficznymi, zestawem do analizy EMG i kamerami do rejestracji obrazu video. Pozwala to na kompleksową ocenę parametrów kinetycznych, kinematycznych i sygnału EMG podczas każdego dowolnego ruchu [12].

System BTS SMART jest bardzo zaawansowanym, inteligentnym produktem, z możliwością rozbudowania o nowe moduły pomiarowe. Ze względu jednak na zaawansowanie a co za tym idzie cenę zestawu urządzeń pomiarowych jego dostępność jest znacznie dla rynku ograniczona.

■ PODSUMOWANIE

Założeniem publikacji było pokazanie dostępnych, komercyjnych urządzeń, z pominięciem aparatury, o której wspomina się w licznych doniesieniach i pracach naukowych. Powyżej przedstawione urządzenia pomiarowe do oceny zakresu ruchów w stawie kolanowym były także jedynie częścią dostępnej na rynku aparatury. Systematyka uwzględniała pewnego rodzaju kamienie milowe w kierunku coraz to nowocześniejszych urządzeń a zarazem dokładniejszych pomiarach. Wszystkie te aparaty pomiarowe uwzględniały co najmniej jedną, z wyszczególnionych we wprowadzeniu, z osi ruchu stawu kolanowego, osiągając mniej lub bardziej zbliżone do siebie wyniki pomiarów. Przekrój urządzeń pomiarowych ukazał jak bardzo ważną cechą dokonywanych pomiarów jest ich: powtarzalność, dokładność, a w przypadku urządzeń, które wykorzystują elektronikę także czułość takiego urządzenia.

WNIOSKI

Pomimo różnorodności dostępnych urządzeń pomiarowych na rynku, od tych najprostszych tj. manualnych poprzez bardziej zaawansowane tj. angażujące elektronikę, aż po te najbardziej rozwinięte tj. inteligentne, wciąż brak jest narzędzia pomiarowego, które mierzyło by zakres ruchów w stawie kolanowych nie tylko w jednej płaszczyźnie, ale równocześnie we wszystkich stopniach swobody wykonywanych przez ten staw, a zarazem potrafiłoby rejestrować pracę stawu kolanowego w aspekcie ciągłym tj. całościowym, a nie tylko w aspekcie chwili tj. momen-

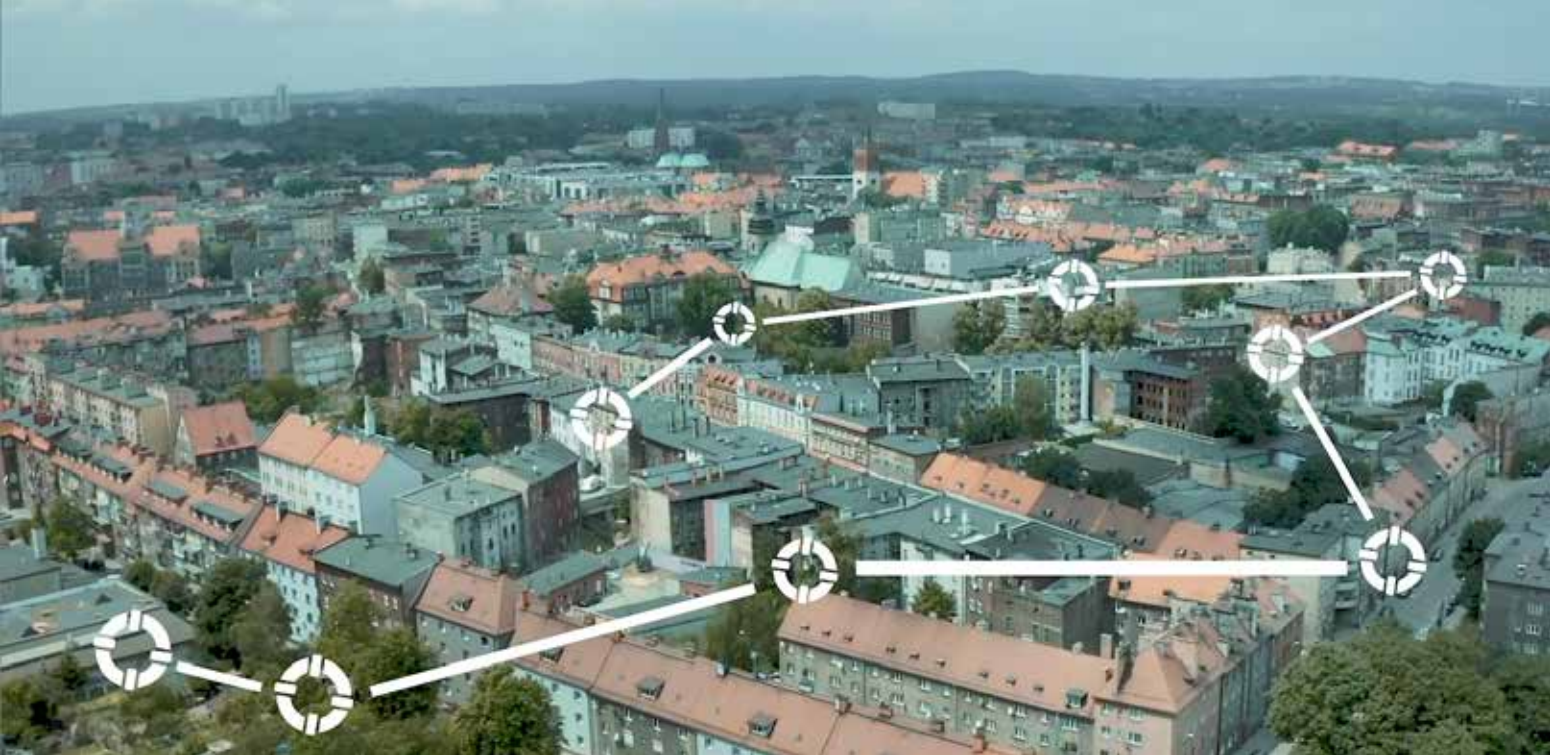


Rysunek 8. Przykładowa pracownia systemu BTS SMART [12]

cie pomiarów. Dodatkowo urządzenie to powinno charakteryzować się wysoką czułością, dokładnością i powtarzalnością wyników a także powinno być niedużych rozmiarów, tanie w zakupie i akceptowalne przez poddanych badaniu do korzystania z niego na co dzień tak by nie utrudniało normalnego funkcjonowania.

■ BIBLIOGRAFIA

- [1] R. McRae; Kliniczne badanie ortopedyczne, Urban&Partner, Wrocław 2006, s. 202
- [2] K. Cierniewska-Gorzela: Funkcja stawu kolanowego po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego, rozprawa doktorska, UM w Poznaniu, Poznań 2010, s.14
- [3] A.I. Kapandji: Anatomia funkcjonalna stawów, Kończyna dolna, Urban&Partner, Wrocław 2020, s. 66
- [4] A. Nowakowski, T. Mazurek i inni: Podręcznik dla lekarzy specjalizujących się w ortopedii i traumatologii narządu ruchu, Exemplum, Poznań-Gdańsk 2021, s. 49
- [5] J.Kruczyński, A. Szulc: Wiktora Degi Ortopedia i Rehabilitacja, PZWL, Warszawa 2016, s. 52
- [6] ibidem, s. 52-53
- [7] J.Szczechowicz: Pomiary kątowe zakresu ruchu zapisy pomiarów metoda SFTR, AWF w Krakowie, Kraków 2011, s. 15
- [8] S.T. Canale, J.H. Beaty: Campbell Ortopedia operacyjna, Medipage, Warszawa 2015, s. 372
- [9] A. Straburzyńska-Lupa, G. Straburzyński: Fizjoterapia, PZWL, Warszawa 2003
- [10] S. Stiler i inni: Porównanie pomiaru zakresu ruchu mierzonego za pomocą autorskiej aplikacji mobilnej oraz goniometru tradycyjnego, Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna, vol. 22, nr 2, 2016, s.64
- [11] ibidem, s. 69
- [12] <https://technomex.pl/sprzet-diagnostyczny/analiza-ruchu/bts-smart#pretty-Photo>



B4.0.4B All & more
B4.0.4B WSZYSTKO I WIĘCEJ



B4.0.4B Sp. z o.o.

Al. Wojciecha Korfantego 125a | 40-156 Katowice

www.b404b.com

Bo wierzymy, że innowacje są po to, by pomnażać wolność człowieka



Interfejsy mózg-komputer

– krótka historia

Artykuł recenzowany

ANDRZEJ MICHNIK^{1,2}

¹Sieć Badawcza Łukasiewicz
- Instytut Techniki
i Aparatury Medycznej
ul. Roosevelta 118, 41-800 Zabrze
andrzej.michnik
@itam.lukasiewicz.gov.pl

²Wydział Inżynierii Biomedycznej,
Szkoła Doktorów,
Politechnika Śląska, ul. Akademicka 2a,
44-100 Gliwice
andrzej.michnik@polsl.pl

Słowa kluczowe:
interfejs mózg-komputer,
neuralink, mózg

Keywords:
brain-computer interface,
neuralink, brain

Streszczenie

Nie tak dawno temu, interfejsy mózg-komputer były jedynie domeną powieści science-fiction. Obecnie dla wielu osób niepełnosprawnych ruchowo, interfejsy mózg-komputer stają się powoli nadzieją na przywrócenie lub kompensację utraconych funkcji. Niezależnie od branży medycznej, interfejsy mózg-komputer stanowią również bardzo interesujący temat dla firm działających w branży rozrywkowej czy mediach społecznościowych. W artykule zostały przedstawione najpopularniejsze techniki odczytywania aktywności mózgu wykorzystywane w interfejsach mózg-komputer. Przedstawiono również przykłady najnowszych prac prowadzonych w tej dziedzinie.

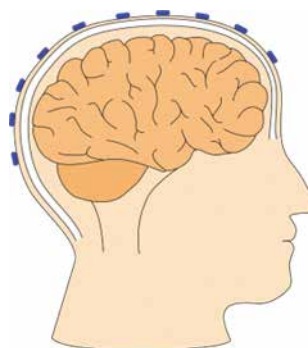
Abstract

Not so long ago, brain-computer interfaces were only the domain of science fiction novels. Currently, for many people with motor disabilities, brain-computer interfaces are slowly becoming a hope for restoring or compensating for lost functions. Regardless of the medical industry, brain-computer interfaces are also a very interesting topic for companies operating in the entertainment and social media industry. The article presents the most popular brain activity reading techniques used in brain-computer interfaces. Examples of recent work in this field are also presented.

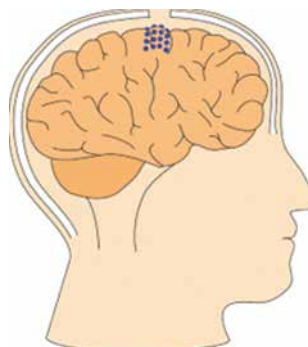
WPROWADZENIE

Pierwsze popularne komputery osobiste, na początku lat 80-tych, komunikowały się z użytkownikiem za pomocą trybu tekstowego, a podstawowym interfejsem wejściowym była klawiatura, gdzie interfejsem wyjściowym był telewizor lub monitor (kineskopowy). W kolejnych latach systemy operacyjne przeszły do graficznych interfejsów komunikacji, gdzie klawiatura pojawiała się w towarzystwie myszki, którą później, głównie w przypadkach laptopów, zastąpił lub uzupełnił gładzik. W kolejnym kroku rozwoju naszej współpracy z komputerami, będziemy coraz częściej korzystali z przestrzeni wirtualnej, do której na początku będziemy się przenosili korzystając z gogli VR a także z użyciem nowych interfejsów, o których dzisiaj jeszcze niewiele wiemy. Wciąż trwają poszukiwania interfejsów bardziej intuicyjnych i niezawodnych, np. wydaje się, że możliwość rozmowy głosowej z komputerem jest rozwiązaniem najbardziej intuicyjnym, jednak już dzisiaj widzimy, korzystając z asystentów głosowych takich jak: Siri, Cortana, Alexa czy Google Assistant, że są to rozwiązania wolne i z ograniczeniami. Wciąż trwają poszukiwania doskonalszego sposobu komunikacji człowieka z komputerem. W dzisiejszych rozwiązaniach, pomiędzy myślą, która powstaje w naszym mózgu a wprowadzeniem informacji do komputera, pośredniczą nasze mięśnie wprowadzające odpowiednio kończyny w ruch, które znów wchodzą w interakcję z urządzeniami elektronicznymi takimi jak np.: klawiatura, myszka lub gładzik. Powstaje pytanie, czy można wyeliminować tych pośredników? Są przypadki, w których np. z powodu wypadku lub choroby, człowiek traci władzę w kończynach lub traci kończynę. Wtedy pojawiają się rozwiązania, które pozwalają na komunikację bezpośrednio z mózgiem lub układem nerwowym człowieka. Rozwiązaniami interfejsów mózg-komputer zainteresowane jest także wojsko, np. 25 listopada 2020 został opublikowany artykuł na portalu c4isrnet [1] o tym, iż armia USA chce zbadać potencjalne możliwości bezgłośnej komunikacji żołnierzy na polu walki za pomocą interfejsów mózg-komputer. Niezależnie od wcześniej opisanych zastosowań medycznych czy wojskowych, interfejsy mózg-komputer stają się również interesujące dla firm produkujących urządzenia powszechnego użytku. Może w niedalekiej przyszłości zamiast uczyć się pisać na klawiaturze, będziemy się uczyć obsługiwać interfejs mózg-komputer, który stanie się tak powszechny jak dzisiejsza klawiatura?

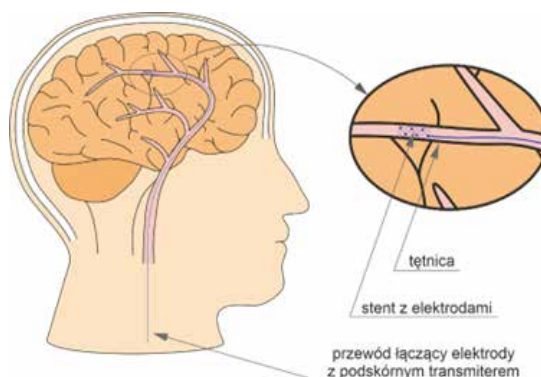
Mózg jest najbardziej skomplikowanym organem człowieka. Obecnie, pomimo już posiadanej przez naukę ogromniej wiedzy na temat budowy i realizowanych przez ludzki mózg funkcji, wciąż jest organem, który skrywa niezliczoną ilość tajemnic [2]. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest to, iż



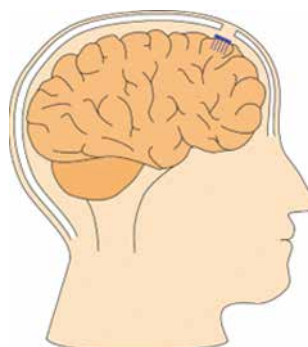
Rysunek 1. Przykładowe rozmieszczenie elektrod EEG lub czujników fNIRS, źródło własne.



Rysunek 2. Elektrokortykografia (ECoG), źródło własne.



Rysunek 3. Elektrody ECoG umieszczone na stencie, źródło własne.



Rysunek 4. Implant w postaci elektrod wbitych w tkankę mózgu, źródło własne.

natura w drodze ewolucji, zabezpieczyła ten organ z każdej strony twardą kością czaszki wraz z dodatkową osłoną w postaci opon mózgowych [3]. Taka

osłona zapewnia skuteczną ochronę przed urazami mechanicznymi a jednocześnie utrudnia wykradanie informacji o sposobie funkcjonowania mózgu przez badaczy.

Jedną z najprostszych i najstarszych technik nieinwazyjnego odkrywania tajemnic mózgu jest badanie jego czynności bioelektrycznej czyli elektroencefalografia (EEG) za pomocą elektrod mających kontakt elektryczny ze skórą głowy. Pierwsza rejestracja sygnału EEG człowieka została przeprowadzona przez Hansa Bergera w roku 1929. Jednak szczegółowe analizowanie aktywności elektrycznej, niecałych 100 miliardów neuronów, naszego mózgu za pomocą kilku czy nawet kilkuset elektrod umieszczonych na głowie, przez grubą ścianę kości i tkanek miękkich, nie pozwala odczytać zbyt szczegółowych informacjach kłębiących się w jego wnętrzu.

Inną techniką, która łączy badanie EEG ze stymulacją za pomocą bodźców np. wzrokowych, głosowych lub czuciowych, jest technika potencjałów wywołanych, przykłady zastosowania tej bardzo interesującej techniki zostaną opisane w dalszej części artykułu. Elektrody EEG przedstawione na Rys.1 mogą również zostać zastąpione przez czujniki optyczne funkcjonalnej spektroskopii w bliskiej podczerwieni (fNIRS), taki pojedynczy czujnik jest czujnikiem podobnym do czujnika pulsoksymetrycznego, badającego zmiany poziomu natlenienia krwi w danym obszarze mózgu. Badanie jest możliwe dzięki dobremu przenikaniu fal bliskiej podczerwieni (700–1000nm) przez skórę i kości. Jeżeli dany obszar mózgu będzie wykonywał jakieś absorbujące zadanie, to czujnik fNIRS po pewnej chwili będzie w stanie wykryć wzrost przepływu i natlenienia krwi w tym obszarze[4]. Dzięki tej metodzie, w stosunkowo tani i nieinwazyjny sposób możemy obrazować aktywność mózgu, niestety nie jest to metoda potrafiąca szybko reagować na zmiany aktywności mózgu.

Jeżeli jednak będziemy chcieli zbadać aktywność mózgu z większą szczegółowością, możemy zastosować inwazyjną metodę zwaną elektrokortykografią (ECoG) Rys.2, która polega na nałożeniu elektrod na powierzchnię mózgu, co niestety w tym przypadku wymaga usunięcia fragmentu czaszki naturalnie chroniącej mózg.

Metodę ECoG możemy również zastosować w sposób mniej inwazyjny, nie uszkadzając naturalnych barier ochronnych mózgu w postaci kości czaszki i tkanek miękkich, można to uzyskać za pomocą specjalnego stenta-elektrody, wprowadzonego za pomocą angiografii cewnikowej do naczynia krwionośnego w wybranym obszarze mózgu. Na obwodzie stenta rozmieszczone są mikroelektrody, które przylegając do ścianek naczynia krwionośnego pozwalają odczytywać aktywność mózgu lub go stymulować, Rys.3. Taki stent musi współpracować

z dodatkowym transponderem umieszczonym pod skórą w innej części ciała.

Kolejnym krokiem uzyskania jeszcze dokładniejszej informacji z mózgu jest wbicie implantu w postaci elektrod w tkankę nerwową, Rys.4. W tym wypadku uzyskamy sygnał o dużej amplitudzie z dużą rozdzielczością czasową, dzięki takiemu sygnałowi będziemy w stanie precyzyjnie analizować pracę neuronów mózgu, niestety jest to metoda wysoce inwazyjna.

Pojedyncza igła implantu może się składać z kilku elektrod na różnych głębokościach, umożliwiających odczyt sygnałów elektrycznych z różnych głębokości tkanki nerwowej. W Internecie można znaleźć firmy, które specjalizują się w produkcji tego typów implantów do przeprowadzania badań na mózgach, głównie zwierząt. Przykładem takiej firmy jest np. NeuroNexus [5], Rys. 5.

■ WZROST ZAINTERESOWANIA INTERFEJSAMI MÓZG – KOMPUTER

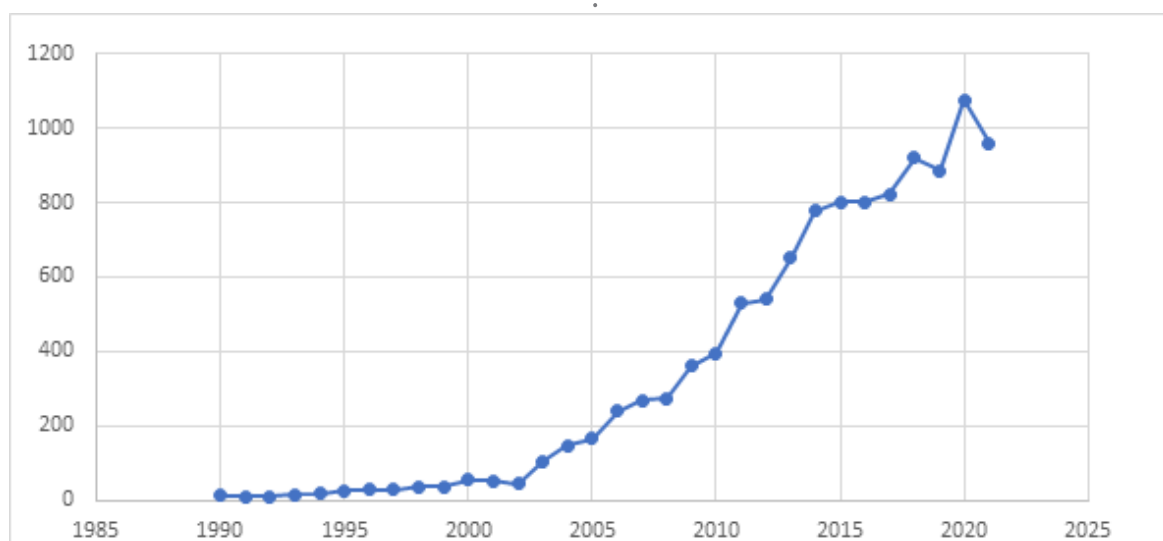
Prostą metodą sprawdzenia zainteresowania danym zagadnieniem jest przeszukanie bazy artykułów naukowych. Analizując wyniki przeszukania w bazie PubMed, można zauważyć ciągły wzrost zainteresowania zagadnieniami interfejsów mózg-komputer. Bazę przeszukano na obecność słów kluczowych zawierających hasła: Brain – Computer Interface (BCI) lub Brain – Machine Interface (BMI), użyto zapytania: „(brain) AND ((computer) OR (machine)) AND (interface)”. Wykres zaprezentowany na Rys.6 przedstawia ilość artykułów na temat interfejsów mózg-komputer w poszczególnych latach, można łatwo zauważyć, że szczególną datą jest rok 2002, od którego następuje liniowy wzrost zainteresowania, który w chwili przeprowadzenia przeszukania (2021-11-30) przekracza 1000 artykułów rocznie. Można podejrzewać, że przyczyną zwrócenia uwagi naukowców na temat interfejsów mózg-komputer był odważny eksperyment przeprowadzony przez zespół Kevina Warwicka w roku 2002, który został szczegółowo opisany w dalszej części artykułu. Innym czynnikiem wzrostu zainteresowania, może być również wzrost zainteresowania sieciami neuronowymi, które znakomicie ułatwiają wielokanałową analizę sygnałów neuronalnych mózgu w czasie rzeczywistym.

■ EEG

Pierwszym przykładem techniki, która może posłużyć do budowy interfejsu mózg-komputer, jest elektroencefalografia. Takie rozwiązanie zostało opracowane na amerykańskim uniwersytecie w Houston. Badaczom udało się stworzyć algorytm, który na podstawie nieinwazyjnie odczytanych sygnałów z 64-kanalowego EEG, był w stanie sterować otwieraniem i zamykaniem protezy dłoni, Rys. 7. Algorytm



Rysunek 5. Przykład oferty producenta implantów elektrodowych firmy NeuroNexus[5].



Rysunek 6. Zainteresowanie interfejsami mózg-komputer na podstawie przeszukania PubMed.

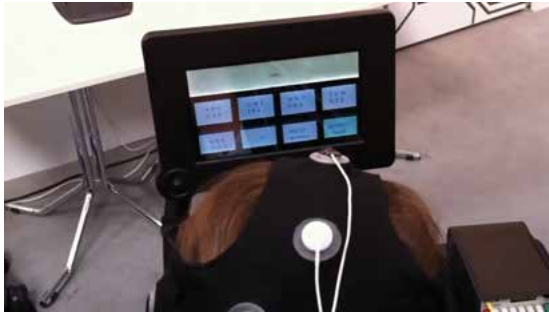


Rysunek 7. Eksperyment kontroli protezy za pomocą myśli, zdjęcie z komunikatu prasowego University of Houston[6].

sterowania protezą powstał na bazie analiz aktywności mózgu zdrowych osób podczas chwytania różnych przedmiotów. Wyniki prac nad algorytmem zostały opublikowane w roku 2015 [6], wcześniej uważano, że taka kontrola protezy jest możliwa tylko dzięki sygnałom mózgowym odczytanym inwazyjnie z wnętrza lub z powierzchni mózgu. Jednocześnie można zauważyć, że zastosowane rozwiązanie nie pozwala na selektywne odczytywanie pobudzeń wielu mięśni a jedynie na proste zamykanie i otwieranie protezy.

■ POTENCJAŁY WYWOŁANE

Kolejnym przykładem nieinwazyjnej i dość widowiskowej metody komunikacji z komputerem jest technika potencjałów wywołanych. Jednym z popularnych zastosowań potencjałów wywołanych jest wypisywanie tekstu za pomocą skupiania wzroku na kolejnych literach lub grupach liter. W tej technice,



Rysunek 8. Zdjęcie ekranu komputera z elektrodami EEG na głowie badanej osoby. Wczesna wersja programu „Blinker” z roku 2012, polskiej firmy BrainTech [7].



Rysunek 9. Kadr z filmu reklamowego firmy NextMind, prezentujący kontrolę myślami interfejsu programu multimedialnego [8].



Rysunek 10. Zdjęcie z artykułu opisującego przypadek Terrego Haringtona [9].



Rysunek 11. Przykład obrazów wygenerowanych na podstawie zmierzonej aktywności mózgu. Zdjęcie: Grigory Rashkov/Neurobotics [11].

na monitorze wyświetlane jest kilka pól, na których wypisane są litery (Rys. 8). Istotne jest, że każde z tych pól pulsuje ze swoją charakterystyczną częstotliwością. W następnym kroku należy odczytać tą charakterystyczną częstotliwość z sygnału EEG osoby badanej. Taka metoda znacząco upraszcza problem „czytania myśli”.

Wykorzystanie potencjałów wywołanych może być nieocenione dla osób z porażeniami lub amputacjami, jednocześnie można również zauważyć pewien trend wykorzystania tych technik przez osoby zdrowe w życiu codziennym. Przykładem takiego zastosowania jest urządzenie opracowane przez francuski startup NextMind, który w roku 2020 udostępnił proste urządzenie odczytujące skupienie uwagi wzrokowej na elementach graficznych np. interfejsu programu multimedialnego, Rys. 9. Ten interfejs może również współpracować z okularami VR.

Ciekawostką jest, że potencjały wywołane, w tym wypadku słuchowe potencjały wywołane, są już obecnie powszechnie wykorzystywane podczas badania słuchu u noworodków. To nieinwazyjne badanie (ABR) pozwala już w pierwszych dniach życia zapłodnionego dziecka sprawdzić czy dziecko dobrze słyszy.

Inne bardzo interesujące wykorzystanie wzrokowych potencjałów wywołanych wiąże się z reakcjami mózgu na pokazywane obrazy. Mózg inaczej reaguje na obrazy, które zna osoba badana, a inaczej na obrazy nieznanne. Reakcję mózgu bada się za pomocą technik EEG. Wyniki takiego badania mogą zostać wykorzystywane w sądownictwie. Przykładem praktycznego wykorzystania tej techniki jest przypadek Terrego Haringtona [9], który po 23 latach spędzonych w więzieniu, poddał się takiemu badaniu, w wyniku czego został zwolniony z odbywania kary. Jako 17-latek został oskarżony o zabójstwo i skazany na dożywocie. Podczas badania Terrego (Rys.10), analizowano pojawianie się fali P300 (P300 oznacza załamek dodatni na przebiegu EEG, który pojawia się z opóźnieniem 300ms od wyświetlenia obrazu) w odpowiedzi na pokazywane mu zdjęcia z miejsca zbrodni i zdjęcia z koncertu, na którym jak twierdzi był w czasie popełnienia zbrodni.

Badanie czy dana osoba rozpoznaje przedstawiane jej obrazy lub frazy, zostało nazwane „Brain Fingerprinting”. W latach 2016-2017, doktor Larry Farwell prowadził liczne badania w USA nad ocenianą dokładności i wiarygodności tej techniki. Może ta technika pozwoli w przyszłości odciążyć wymiar sprawiedliwości przez szybkie rozstrzygnięcie spraw, które obecnie toczą się latami? Z drugiej strony, czy nie zbliżamy się do momentu w historii ludzkości, w którym myśli ludzi przestaną być ich prywatną własnością? Takie pytanie powoli przestaje być tylko pytaniem retorycznym, są już dostępne publikacje,

które opisują eksperymenty odczytywania z mózgu obrazów (Rys.11), które widzimy, śnimy lub wyobrażamy sobie [10][11].

FACEBOOK (META)

Nowymi interfejsami mózg-komputer interesują się również najwięksi giganci technologiczni. Podczas konferencji Facebooka, w roku 2017 dr Regina Dugan, wiceprezes Facebooka ds. inżynierii, ujawniła plan opracowania w ciągu dwóch lat nieinwazyjnego interfejsu mózg-komputer, który umożliwi wpisywanie tekstu z szybkością 100 wyrazów na minutę. Ten rezultat miał być osiągnięty poprzez odczytywanie aktywności neuronalnej ośrodka mowy w mózgu za pomocą funkcjonalnej spektroskopii w bliskiej podczerwieni (fNIRS). W roku 2021 projekt prowadzony przez Facebook Reality Labs został zamknięty z uwagi na nieosiągnięcie zamierzonych rezultatów. Siły zespołu Facebook Reality Labs zostały skupione m.in. na elektromiograficznej (EMG) opasce odczytującej elektryczne pobudzenia mięśni przedramienia (Rys.12). Opaska jest rozwinięciem wcześniejszej opaski Myo opracowanej przez startup Thalmic Labs, do której patenty zakupiła firma CTRL-labs, która następnie w roku 2019 została przejęta przez Facebooka.

Innym ważnym wydarzeniem dla Facebooka było w roku 2014 przejęcie firmy Oculus, która była twórcą dobrze znanych okularów VR Oculus Rift. Obecnie okulary VR Oculus Quest 1 i 2 potrafią również śledzić dłonie i palce za pomocą wbudowanych w nie czterech kamer (Rys.13), jednak nie jest to rozwiązanie wolne od wad z uwagi ograniczeń wynikających z zastosowania kamer, takich jak np. przystawianie jednej ręki drugą. Te ograniczenia można wyeliminować stosując opaski EMG.

Facebook jest bardzo silnie zaangażowany w budowanie ekosystemu bazującego na wirtualnej rzeczywistości. W 2021 ogłosił stworzenie w Europie 10 tys. nowych miejsc pracy [14], które pomogą w rozwoju metawersum, czyli nowego wirtualnego świata, w którym będzie można: pracować, spotykać się, grać czy robić zakupy.

KEVIN WARWICK – PIERWSZY CYBORG

Historia bardziej inwazyjnego podejścia, a jednocześnie dająca większe możliwości, rozpoczęła się w roku 2002, gdy profesor Kevin Warwick wraz z zespołem z Uniwersytetu Coventry z Wielkiej Brytanii, pozwolił wszczepić sobie matrycę elektrod 10x10 (Utah) do nerwu pośrodkowego w lewym przedramieniu (Rys.14). Celem eksperymentu była ocena potencjalnych możliwości takiego interfejsu i możliwych powikłań [15].

W trakcie eksperymentu, trwającego 96 dni, wykorzystano wzmocnione sygnały do kontroli pracy



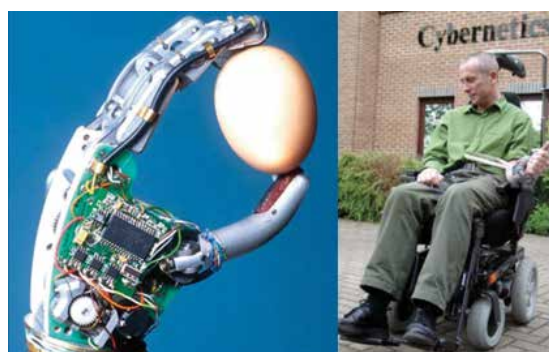
Rysunek 12. Kadr z filmu prezentujący prototyp opaski Facebooka [12].



Rysunek 13. Kadr z prezentacji możliwości okularów VR Oculus Quest należącej do Facebooka [13].

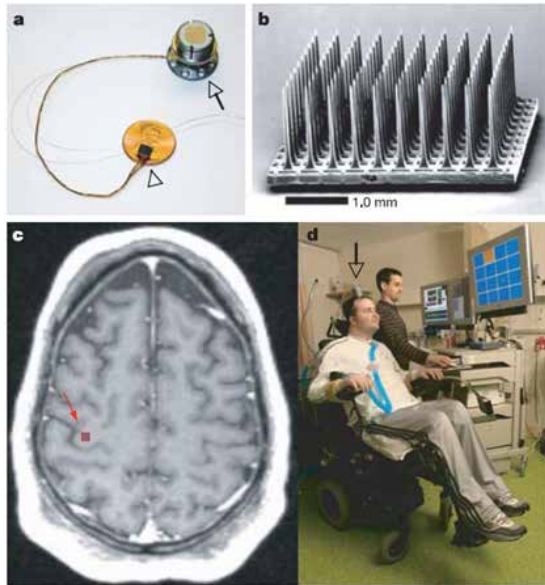


Rysunek 14. Po lewej zdjęcie matrycy Utah 10x10, po prawej zdjęcie z operacji wszczepienia matrycy [15].

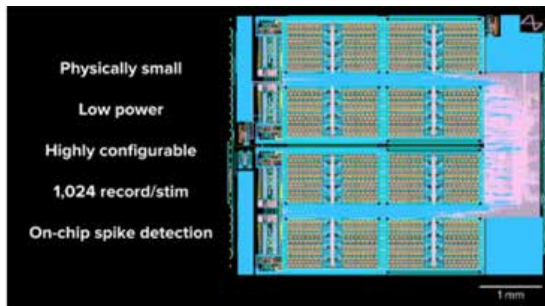


Rysunek 15. Zdjęcie protezy i wózka inwalidzkiego kontrolowanego przez wszczepiony implant [15].

protezy dłoni, a także prowadzono stymulację nerwów w celu uzyskania wrażenia dotyku. Implant został również wykorzystany do sterowania wózkiem inwalidzkim. Główną obawą podczas trwania eksperymentu był problem wystąpienia stanu zapalnego



Rysunek 16. Zdjęcie z opublikowanego artykułu, a – porównanie matrycy elektrod z monetą 1-dno pensową i złączem przytwierdzonym do czaszki, b – powiększone zdjęcie matrycy Utah 100-elektrodowej, c – wskazanie miejsca umieszczenia matrycy, d – pacjent z implantem podłączony przewodowo do komputera [17].



Rysunek 17. Zdjęcie struktury układu N1, materiały prasowe Neuralink [18].



Rysunek 18. Zdjęcie elementów składowych interfejsu LINK w raz z opisami, materiały prasowe Neuralink [18].

związanego z przechodzeniem przewodów przez skórę eksperymentatora.

Jako ciekawostę można wspomnieć, że Kewin Warwick był autorem artykułu w „Medical Robotics Reports” 2/2013 po tytule „The Diminishing Human-Machine Interfaces” [16], do którego nawiązuje obecny artykuł.

BRAINGATE

Kolejnym przykładem w zbliżaniu się do źródła informacji, czyli do mózgu, był projekt BrainGate zrealizowany w Massachusetts General Hospital, Brown University oraz przez Department of Veterans Affairs w latach 2004-2006. W ramach tego projektu przeprowadzono badania kliniczne na czterech osobach z tetraplegią, czyli porażeniem czterokończynowym. Eksperyment polegał na implantacji matrycy elektrod 10x10 (Utah) do kory ruchowej, a przetworzone sygnały z tych elektrod umożliwiły kontrolę kursora na ekranie komputera, otwieranie poczty elektronicznej lub obsługę urządzeń np. telewizora (nawet podczas rozmowy).

Przeprowadzony eksperyment i uzyskane rezultaty zostały szczegółowo opisane w artykule opublikowanym w czasopiśmie Nature w 2006 [17]. W tym eksperymencie zastosowano ten sam typ matrycy Utah użytej wcześniej przez Kevina Warwicka. Tutaj również dużym ograniczeniem technicznym były przewody. Do gniazda zamocowanego do czaszki pacjenta był mocowany interfejs w postaci sporej wielkości skrzynki z przedwzmacniczami, którą widać na Rysunku 16d, następnie z tej skrzynki biegł przewód do komputera. W tym eksperymencie również występowało ryzyko pojawienia się stanu zapalenia, związane z przechodzeniem przewodów przez skórę pacjenta z wnętrza mózgu.

NEURALINK

Opisane wyżej doświadczenia były w roku 2016 inspiracją do powstania firmy Neuralink, której właścicielem jest Elon Musk. W roku 2020 firma zaprezentowała opracowany przez siebie specjalizowany układ scalony o nazwie N1 o rozmiarach 5x5x2mm (Rys.17), który umożliwia obsługę 1024 elektrod, służących do rejestracji lub stymulacji wybranego obszaru mózgu. Wewnątrz konfigurowalnej struktury układu scalonego zawarte jest wstępne przetwarzanie sygnałów, pozwalające ograniczyć ilość danych przesyłanych drogą radiową do dalszej obróbki.

Następnie został zaprezentowany gotowy interfejs mózg-komputer o nazwie LINK, którego sercem jest układ N1. Komunikacja interfejsu z komputerem zrealizowana została za pomocą bezprzewodowego standardu Bluetooth Low Energy, czyli opracowana technologia wolna jest od głównej wady wcześniejszych rozwiązań. Zasilaniem implantu jest akumulator, którego pojemność według Neuralinka powinna wystarczyć na cały dzień pracy. Ładowanie akumulatora rozwiązano za pomocą sprzężenia indukcyjnego. Obudowa interfejsu ma średnicę 23mm i wysokość 8mm (Rys.18), co umożliwia „instalację” interfejsu w otworze wykonanym w kości czaszki pacjenta i zakrycie go skórą głowy bez powstania wybrzuszenia w miejscu implantacji. Dodatkowo

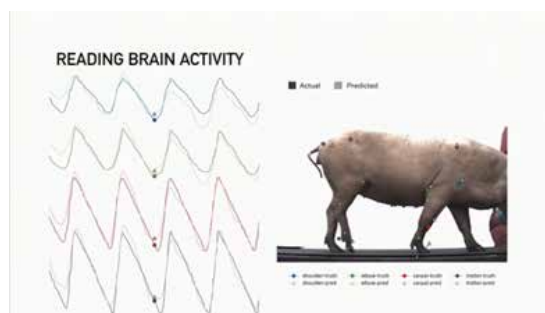
w interfejsie umieszczone są czujniki mierzące przyspieszenia, temperaturę i ciśnienie. Po kompresji danych możliwy jest bezprzewodowy transfer danych z szybkością 1Mbit/s, oczywiście transmitowane są jedynie wybrane kanały z 1024 elektrod, z których odczytuje się najbardziej reprezentatywne sygnały dla danej aktywności.

W sierpniu 2020 roku odbyła się prezentacja, na której Elon Musk przedstawił możliwości implantu LINK. Na jednym ze slajdów udostępnionej prezentacji [18], Elon Musk wymienia długą listę chorób neurologicznych takich jak: utrata pamięci, utrata słuchu, ślepota, paraliż, depresja, bezsenność, silny ból, drgawki, lęki, uzależnienie, udar, uszkodzenie mózgu, dla których implant mózgowy mógłby być skutecznym i niedrogim „lekarstwem”. Można sobie wyobrazić, że walka z wymienionymi chorobami wymagałaby różnych scenariuszów działania, w niektórych przypadkach konieczna będzie tylko stymulacja odpowiedniego obszaru mózgu, w innych przypadkach taki implant musiałby być interfejsem współpracującym z innym zewnętrznym urządzeniem np.: mikrofonem, kamerą, bioniczną protezą dłoni itd. W każdym z wymienionych przypadków taki implant programowany byłby dedykowanym oprogramowaniem i umieszczany byłby w odpowiednim miejscu głowy, by móc współpracować z powiązaniem z danym schorzeniem rejonem mózgu. Na tej prezentacji przedstawiane również zostały wyniki prace ze świniami, którym wszczepiono implanty. Jako pokaz możliwości implantu, przedstawione zostało porównanie markerów optycznych z odwzorowaniem ruchów kończyn na podstawie odczytów z kory motorycznej (Rys.19).

Ważnym elementem tworzonej technologii, który został również zaprezentowany na opisywanej konferencji był robot chirurgiczny (Rys.20), którego zadaniem będzie automatyzacja procesu implantacji interfejsu. Według zaprezentowanych informacji, operacja implantacji będzie trwała poniżej godziny, pacjent będzie mógł wrócić do domu tego samego dnia.

Na innym slajdzie (Rys.21) przedstawione zostały kroki „instalowania” implantu za pomocą opracowanego robota chirurgicznego.

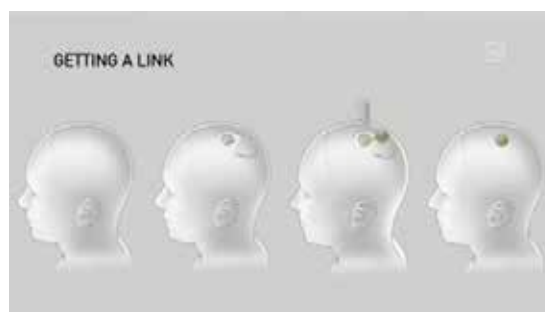
By pokazać potencjał tworzonej technologii, Neuralink w kwietniu 2021 roku udostępnił film [19], którego bohaterką jest małpka o imieniu Pager (Rys.22). Małpce wszczepiono implanty do dwóch półkul mózgowych w korze motorycznej. Na filmie można zobaczyć, jak w pierwszej fazie eksperymentu, małpka porusza kursorem przy pomocy joysticka, podążając za zmieniającymi pozycję kwadratami. W nagrodę za poprawne wykonanie zadanie, małpka nagradzana jest sokiem bananowym podawanym przez rurkę. Podczas pierwszej fazy eksperymentu,



Rysunek 19. Prezentacja dokładności śledzenia ruchów kończyn świni, materiały prasowe Neuralink [18].



Rysunek 20. Robot chirurgiczny do implantowania interfejsu LINK, materiały prasowe Neuralink [18].



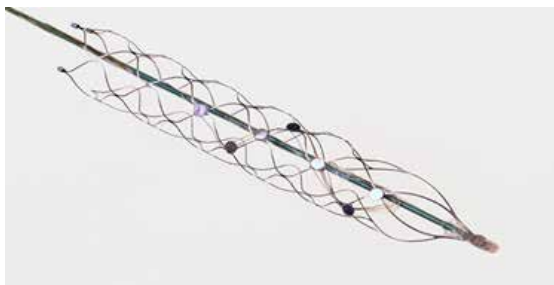
Rysunek 21. Etapy instalowania interfejsu LINK, materiały prasowe Neuralink [18].

porównywana jest reakcja kory mózgowej z ruchami kończyny ruszającej joystickiem. Równolegle w tej fazie następuje uczenie sztucznej sieci neuronowej korelacji sygnałów odczytanych z mózgu z sygnałami odczytanymi z joysticka. W następnej fazie eksperymentu, po procesie nauczania sieci neuronowej, joystick jest odłączany, a później demontowany, małpka już porusza kursorem tylko za pomocą myśli i interfejsu LINK.

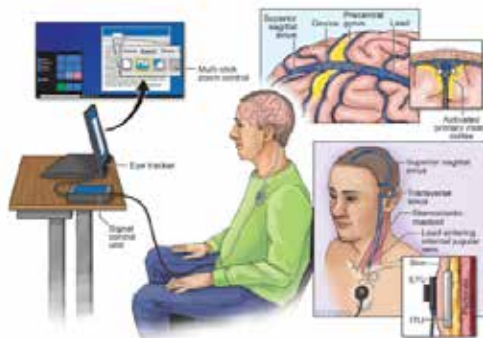
Obecnie Neuralink przygotowuje się do przeprowadzenia eksperymentu klinicznego na ludziach, w lipcu 2021 Neuralink ogłosiło pozyskanie finansowania w wysokości 205 milionów dolarów na dalsze prace [20]. Patrząc na efekty osiągane podczas prac nad innymi futurystycznymi projektami prowadzonymi przez firmy Elona Muska, można z dużym



Rysunek 22. Prezentacja eksperymentu, w którym małpka porusza kursorem za mocą myśli, materiały prasowe Neuralink [19].



Rysunek 23. Stentrode czyli stent z mikroelektrodami, materiały prasowe Uniwersytet Melbourne[21].



Rysunek 24. Rysunek opisujący eksperyment użycia stentu Stentrode do kontroli pracy komputera PC [22].

prawdopodobieństwem przyjąć, że ta technologia w niedalekiej przyszłości wejdzie do powszechnego użytku.

■ STENT JAKO NOŚNIK ELEKTROD

Inne podejście do wykradania informacji z naszego mózgu przyjęli badacze z australijskiego Laboratorium Bioniki Naczyniowej na Uniwersytecie w Melbourne. Naukowcy opracowali rozwiązanie mniej inwazyjne niż zostało zaproponowane przez Neuralink, w którym nie jest wymagana trepanacja czaszki. W tym rozwiązaniu elektrody zostały umieszczone na zewnętrznej powierzchni stenta (Rys.23), który po wprowadzeniu cewnikiem i rozprężeniu się przy-

lega elektrodami do ścian naczynia krwionośnego np. w obszarze kory ruchowej. To rozwiązanie jest przykładem elektrokortykografii (ECoG). Pierwsze eksperymenty odczytywania aktywności mózgu za pomocą Stentrode (stent-elektrody) przeprowadzone były na owcach i sfinansowane przez amerykańską Agencję Zaawansowanych Projektów Badawczych w Dziedzinie Obronności (DARPA).

Następnie, w roku 2016 powstaje firma Synchron, założona przez głównego twórcę rozwiązania, neurologa Thomasa Oxleya. W latach 2019-2020 przeprowadzony został eksperyment [22], w którym brały udział dwie osoby chore na stwardnienie zanikowe boczne (ALS). Umieszczono im implant Stentrode w zatoce strzałkowej górnej, sąsiadującej z korą ruchową. Przewody z elektrod zostały wyprowadzone z żyły szyjnej i podskórnie poprowadzone do podskórnej części interfejsu z komputerem. Na zewnątrz ciała pacjenta, pod obojczykiem, umieszczono zewnętrzny element interfejsu. W omawianym rozwiązaniu, zewnętrzny element interfejsu indukuje pole magnetyczne, które zasila implant. Sygnał z mózgu odczytywany za pomocą elektrod próbkiwany był z częstotliwością 2kHz i transmitowany cyfrowo przez skórę, w postaci impulsów światła podczerwonego, do części zewnętrznej interfejsu. Część zewnętrzna mocowana była do skóry za pomocą kleju medycznego. Implant umożliwiał komunikację dwukierunkową, czyli można nim było badać zarówno aktywność mózgu jak i stymulować mózg do odczuwania reakcji zwrotnej np. dotyku, co może być pomocne w przyszłości do pełniej kontroli pracy protezy bionicznej. Następnie uczestnicy przeszli wielodniowy trening, umożliwiający kontrolowanie implantu do generowania akcji w postaci klikania myszką na różne sposoby. System komputerowy, będący interfejsem użytkownika, był wyposażony w urządzenie śledzące wzrok do nawigacji kursorem (Rys.24). Uczestnicy eksperymentu, po przejściu treningu, byli w stanie obsługiwać komputer PC z systemem operacyjnym Windows 10.

Jednak w przedstawionym opisie widać, że zastosowanie technologii elektrokortykografii, której ewidentną zaletą jest mniejsza inwazyjność, ma duże ograniczenia w porównaniu do możliwości wcześniej opisaną technologię firmy Neuralink. Firma Synchron, która jest twórcą stentu Stentrode, otrzymała w roku 2021 zgodę amerykańskiej Agencji ds. Żywności i Leków (FDA) na przeprowadzenie badań klinicznych z udziałem ludzi. Synchron otrzymał zgodę FDA przed swoim największym konkurentem, czyli firmą Neuralink Elona Muska [23]. W wyścigu do opracowania komercyjnego interfejsu mózg-komputer, który będzie zatwierdzony przez FDA, biorą udział głównie trzy firmy: Synchron, Neuralink i Paradromics. Firma Paradromics [24] opracowała

interfejs o nazwie Connexus, który jest podobny do rozwiązania firmy Neuralink.

■ PODSUMOWANIE

Przedstawione wyżej wybrane przykłady zaawansowanych projektów pokazują, że pewnie tylko kwestią krótkiego czasu jest moment, w którym standardem stanie się coś co kilka lat temu było jedynie widowiskowym rozwiązaniem technicznym z powieści lub filmu science-fiction. Z jednej strony przedstawione rozwiązania mogą budzić obawy etyczne, z drugiej jednak strony, dla wielu osób po poważnych wypadkach lub chorobach neurologicznych, mogą być nadzieją na nowe życie. Dodatkowo można zauważyć postępującą cyfryzację kontaktów międzyludzkich, przykładem może być wizja metawersu zaproponowana przez firmę Meta (dawniej Facebook), w której ludzie będą się spotykać korzystając ze swoich cyfrowych awatarów, w takim świecie trudno będzie odróżnić osobę w pełni sprawną od niepełnosprawnej, sprawne ciało w takim transhumanistycznym świecie nie będzie potrzebne. Złudzenie realności nowego świata będzie bardzo silnie uzależnione od interfejsów jakie będą pośredniczyły pomiędzy człowiekiem a komputerem. Można sobie wyobrazić, że dzięki interfejsom podłączonym bezpośrednio do odpowiednich obszarów mózgu, będzie można wywoływać: obrazy, dźwięki, zapachy, smaki. Idąc dalej, będzie można wpływać również na stany emocjonalne. Ciekawym przykładem efektów prostej stymulacji mózgu jest scena z prawdziwej operacji na otwartym mózgu w filmie „Iluminacja” Krzysztofa Zanussiego z roku 1973. Powoli wkraczamy w nową erę, w której pojawią się nowe możliwości, ale też nowe zagrożenia, o których obecnie możemy jedynie przeczytać w powieściach, np. Neala Stephensa [25] czy Siergieja Łukjanienki [26, 27].

■ PODZIĘKOWANIE

Praca powstała w ramach projektu finansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Nauki nr DWD/3/7/2019 – RJO15/SDW/001.

■ BIBLIOGRAFIA

1. <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/it-networks/2020/11/25/could-soldiers-silently-communicate-using-brain-signals-in-the-future/>, 2020.11.25.
2. J.Vetulani, „Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice”, Kraków 2014, wyd. 4, ISBN: 978-83-735-4520-5.
3. P.A.Young, P.H.Young, D.L.Tolbert, „Neuroanatomia kliniczna”, Wrocław 2016, wyd.3, ISBN: 978-83-65373-40-3.
4. I.S.Di Domenico, H.R.Achala, C.A.Ruocco „Functional Near-Infrared Spectroscopy: Proof of Concept for Its Application in Social Neuroscience” w „Neuroergonomics” 2019, s.49-53, DOI: 10.1016/c2016-0-02196-4.
5. <https://www.neuronexus.com/products/electrode-arrays>, 2021.12.02.
6. <https://www.uh.edu/news-events/stories/2015/March/0331BionicHand.php>, 2015.03.31.
7. <https://youtu.be/xXgZHQopgXM>, 2012.03.30.
8. <https://youtu.be/1V-BiqZe20>, 2019.11.21.
9. https://psychology.wikia.org/wiki/Brain_fingerprinting, 2020.11.25.
10. <https://www.science.org/content/article/mind-reading-algorithm-can-decode-pictures-your-head>, 2018.01.10.
11. <https://scitechdaily.com/image-reconstruction-from-human-brain-waves-in-real-time-video/>, 2019.11.14.
12. <https://youtu.be/WmxLiXAO9ko>, 2021.03.18.
13. <https://youtu.be/2Vko-Kc3vks>, 2019.09.25.
14. <https://about.fb.com/news/2021/10/creating-jobs-europe-metaverse/>, 2021.10.17.
15. K.Warwick, M.Gasson, B.Hutt, I.Goodhew, P.Kyberd, B.Andrews, P.Teddy, A.Shad, „The Application of Implant Technology for Cybernetic Systems”, Archives of Neurology, 2003 DOI: 10.1001/archneur.60.10.1369.
16. K.Warwick, „The Diminishing Human-Machine Interfaces”, Medical Robotics Reports – 2/2013, s.4-11, ISSN: 2299-7407.
17. L.R.Hochberg, M.D.Serruya, G.M.Friehe, J.A.Mukand, M.Saleh, A.H.Caplan, A.Branner, D.Chen, R.D Penn, J.P.Donoghue, Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia, Nature 2006, DOI: 10.1038/nature04970.
18. <https://youtu.be/iOWFXqT5MZ4>, 2020.08.29.
19. <https://youtu.be/rsCul1sp4hQ>, 2021.04.09.
20. https://www.crunchbase.com/organization/neuralink/company_financials, 2022.01.19.
21. <https://www.darpa.mil/news-events/2016-02-08>
22. Oxley TJ, Yoo PE, Rind GS, et al, “Motor neuroprosthesis implanted with neurointerventional surgery improves capacity for activities of daily living tasks in severe paralysis: first in-human experience”, Journal of NeuroInterventional Surgery 2021;13:102-108. DOI:10.1136/neurintsurg-2020-016862.
23. J.J.Han “Synchron receives FDA approval to begin early feasibility study of their endovascular, brain-computer interface device”, Artificial Organs. 2021;45:1134-1135, DOI: 10.1111/aor.14049.
24. <https://www.paradromics.com>, 2022.01.08.
25. N. Stephenson, „Zamieć”, 2009, ISBN: 978-83-7418-228-7.
26. S. Łukjanienko, „Labirynt Odbić”, 2009, ISBN: 978-83-7480-144-7.
27. S. Łukjanienko, „Linia Marzeń”, 2001, ISBN: 978-83-241-1460-3.

■ KOMENTARZ RECENZENTA...

Prof. Ryszard Tadeusiewicz

Artykuł podejmuje problematykę, która perspektywnie może mieć bardzo duże znaczenie. Na obecnym etapie rozwoju metody BCI (Brain-Computer Interface) są traktowane jako badania przyszłościowe, których korzenie i historyczne dokonania zostały w artykule bardzo dobrze przedstawione. Artykuł nie wnosi nowych informacji naukowych lub technicznych, bo oparty jest na analizach literatury, często zresztą raczej reklamowej, a nie naukowej. Niemniej jako wprowadzenie do tematu BCI artykuł może być bardzo przydatny dla czytelników i z tego powodu został pozytywnie zaopiniowany do druku.

Robotyka kosmiczna będzie miała zastosowanie nie tylko w kosmosie,

czyli podsumowanie studenckiego projektu łazika planetarnego Silesian Phoenix

**MICHAŁ FRONĆ,
PIOTR PRZYSTAŁKA,
WAWRZYNIEC PANFIL**

Raport Studenckiego
Koła Naukowego „AI-METH”
przy Wydziale Mechanicznym
Technologicznym Politechniki Śląskiej
w Gliwicach

Słowa kluczowe:
roboty mobilne, łazik planetarny,
roboty dezynfekcyjne

Keywords:
mobile robots, planetary rover,
disinfection robots

Streszczenie

Ciekawość motywuje do odkrywania, poznawania i badania. Głównie w celu realizacji tych wyzwań buduje się roboty mobilne. Pozwalają one bowiem odkrywać miejsca niedostępne i nieprzyjazne człowiekowi ze względu na potencjalnie niebezpieczne środowisko. Przy rosnącym zainteresowaniu eksploracją kosmosu oczywistym stała się implementacja tego typu robotów do zadań interplanetarnych.

Artykuł omawia przegląd prac przeprowadzonych w ramach projektu prototypu łazika planetarnego „Silesian Phoenix” [1], budowanego przez studentów Politechniki Śląskiej. Publikacja porusza problematykę związaną z realizacją złożonego i długofalowego projektu prowadzącego do osiągnięcia rozwiązania innowacyjnego w swojej skali. W artykule opisano kolejne wersje prototypów robotów oraz ich podukłady, takie jak: podwozie, manipulator, urządzenie próbkujące glebę czy układ komunikacji i wizji. Co więcej, zaproponowane przykład implementacji technologii wypracowanych w czasie realizacji projektu w postaci demonstracyjnego robota mobilnego przeznaczonego do zadań dezynfekcyjnych.

Abstract

Curiosity motivates us to discover, learn and research. Mobile robots are mainly built to meet these challenges. They allow you to discover places that are inaccessible and hostile to humans due to the potentially dangerous environment. With the growing interest in space exploration, it has become obvious to implement this type of robots for interplanetary tasks.

The article presents an overview of the work carried out as part of the project of the prototype of the planetary rover "Silesian Phoenix" [1], built by students of the Silesian University of Technology. The publication deals with related issues with the implementation of a complex and long-term project leading to an innovative solution

in its scale. The article describes successive versions of robot prototypes and their subsystems, such as: chassis, manipulator, soil sampling device or communication and vision system. Moreover, the proposed example of the implementation of technologies developed during the project implementation in the form of a demonstration mobile robot intended for disinfection tasks.

WPROWADZENIE

Popularyzacja robotyki w świecie spowodowana jest w dużej mierze dzięki rozpoczęciu wykorzystywania tych urządzeń w przemyśle. Ale obecnie ogromny potencjał robotów wykorzystuje się również w innych dziedzinach życia. Choć pierwsze maszyny, które pojawiały się w zakładach pracy pozwalały na tworzenie stacjonarnych linii produkcyjnych, dziś coraz większą popularnością cieszą rozwiązania mobilne, które mogą w jeszcze większym stopniu uniezależnić roboty od człowieka. Przystosowanie robotów, na przykład, do zadań eksploracyjnych pozwala na prowadzenie badań oraz wszelkiej działalności poznawczej również w środowiskach niebezpiecznych lub nieosiągalnych dotąd dla człowieka. Jednym z najniebezpieczniejszych obszarów do eksploracji jest niewątpliwie przestrzeń kosmiczna. Ludzka ciekawość, która kiedyś poddawała wątpliwości tezę, że Ziemia jest w centrum wszechświata, dziś motywuje naukowców do odnalezienia życia na innych planetach. Z drugiej strony, w czasach pandemii wirusa SARS-CoV-2, środowiskiem niebezpiecznym dla człowieka nazwiemy również pomieszczenia użyteczności publicznej i szpitale, ponieważ naraża osoby przebywające w nich na zakażenie. Co istotne, również w takie miejsca można wysłać roboty w celu unieszkodliwienia niebezpiecznego czynnika.

W XXI wieku, gdy eksploracja kosmosu definitywnie przestała być domena politycznego wyścigu kosmicznego dwóch mocarstw, sektor kosmiczny staje się coraz bardziej powszechny. Eksploracja obcych planet wiąże się z rozwiązaniem szeregu problemów, które dzisiaj podejmuje coraz więcej naukowców i ośrodków badawczych z całego świata. Jednym z takich wyzwań jest rozwijanie specjalistycznych pojazdów, które sterowane zdalnie bądź w pełni autonomicznie, będą badać obszar planety oraz zbierać niezbędne informacje bez konieczności narażania ludzkiego życia. Budowa łazików, bo tak nazywane są te roboty mobilne, jest zadaniem niezwykle trudnym, wymagającym wysoce wykwalifikowanego i doświadczonego zespołu inżynierów. W celu edukacji oraz przybliżenia studentom uczelni wyższych tematyki kosmicznej powstały międzynarodowe zawody prototypów łazików marsjańskich. Od 2007 roku corocznie organizowanych jest kilka tego typu wydarzeń na świecie, podczas których roboty zbudowane przez zespoły przyszłych inżynierów mają za zadanie wykonać szereg czynności wzorowanych na rzeczywistej misji łazika planetarnego. Jeden z takich zespołów powstał w ramach Studenckiego Koła Naukowego „AI-METH” na Politechnice Śląskiej w Gliwicach przy Wydziale Mechanicznym Technologicznym. Powstała grupa badawcza nosi

nazwę Silesian Phoenix [1] i od 2018 roku prowadzi badania oraz prace projektowe nad robotami eksploracyjnymi w kontekście udziału w międzynarodowych zawodach European Rover Challenge (ERC) [2].

European Rover Challenge to największe zawody robotyczno-kosmiczne w Europie, organizowane od 2014 roku przez European Space Foundation [3]. Głównym założeniem konkursu jest opracowanie i zbudowanie przez grupy studenckie robota zdolnego do wykonania szeregu zadań określonych w regulaminie, imitujące misję kosmiczną. Wśród zadań wyróżnia się między innymi: autonomiczne pokonywanie wymagającego terenu, pobranie różnego rodzaju próbek powierzchniowych, wykonanie odwiertu w celu pobrania próbki głębokościowej, obsługa panelu elektrycznego wyposażonego w przyciski i przełączniki. Idea zawodów, choć niezwykle ciekawa, nie dąży do wystania takiego robota na Marsa, dlatego istotne jest znalezienie praktycznego zastosowania dla takiego prototypu – na Ziemi.

■ PIERWSZY PROTOTYP

Phoenix I to prototyp łazika marsjańskiego, który powstał z myślą udziału w zawodach European Rover Challenge w roku 2018. Podczas budowy Phoenix I użyto podwozia, które pierwotnie było projektowane jako niezależny, wielozadaniowy robot gąsienicowy. Układ zawieszenia był inspirowany bezzałogowym szybkobieżnym czołgiem Ripsaw, firmy Howe and Howe Technologies [4] oraz prototypem robota z zawieszeniem niezależnym, opartym na konstrukcji I-Robot, opracowanym przez amerykańską agencję rządową "DARPA" [5]. Za napęd MTR odpowiadają dwie przekładnie łańcuchowe(po jed-

nej i po drugiej stronie robota) przenoszące moment z dwóch silników DC o mocy 450W każdy, na gąsienice. Maksymalnie rozwijana prędkość sięga 8 km/h, co wraz z niezależnym zawieszeniem oraz prześwitem wynoszącym 90mm pozwala pokonywać trudne i wymagające przeszkody terenowe. Rozbudowa konstrukcji o dodatkowe podukłady skutkowałą dodatkowym obciążeniem, co wymagało przystosowania podwozia do nowej dynamiki całej platformy. Modyfikacji poddany został układ napędowy, w którym wał przekładni musiał poradzić sobie z większym zmęczeniem materiału oraz zawieszenie, które wymagało większej sztywności.



Rysunek 2. Prototyp Phoenix I



Rysunek 1. Wizualizacja prototypu Phoenix I

W projekcie manipulatora każdy element układu mechanicznego został dobrany z wykorzystaniem analizy MES [6], przy użyciu programu Inventor firmy Autodesk [7]. Do wytworzenia manipulatora w większości zostały wykorzystane elementy gotowe, jednak do części jednostkowych skorzystano z obróbki skrawaniem oraz druku 3D. Manipulator o pięciu stopniach swobody został zaprojektowany tak, aby z pomocą chwytaka była możliwość manipulowania przedmiotami i obsługa panelu zawierającego przełączniki dźwigniowe i obrotowe. Przestrzeń robocza manipulatora daje możliwość ruchów rotacyjnych oraz translacyjnych na wysokość do 1.5m nad ziemią. Maksymalny udźwig robota manipulacyjnego wynosi 2kg. Za połączenia obrotowe robota manipulacyjnego odpowiadały produkty z serii Iglus Iglider® [8] w postaci wieńców obrotowych (pierwsza i piąta oś) oraz łożyska ślizgowe (trzecia i czwarta oś). Natomiast za napęd służyły silniki DC wraz z przekładniami, motorreduktor (w przypadku osi drugiej) oraz elektryczny siłownik liniowy napędzający oś trzecią. Sterowanie odbywa się z wykorzystaniem kinematyki prostej.

Układ zasilania całej platformy został oparty o 22,2V akumulator Litowo-Polimerowy, o pojemności 26000mAh. Dodatkowo w łaziku została zastosowana przetwornica dużej mocy, umożliwiająca zasilanie silników. Ze strony łazika do układu manipulatora prowadzone były wiązki o wartości: 12V oraz 22V, które po odpowiednim obniżeniu napięcia za sprawą przetwornic było wykorzystywane do zasilania silników i elektroniki.

Na łaziku zamontowano również próbnik rdzeniu- jący głębię dla pobrania próbki z głębokości 15-35cm spod powierzchni. Urządzenie jest osobnym modu-łem, dlatego, gdy nie jest potrzebne, bez problemu istnieje możliwość demontażu. Sposób pobierania próbek został oparty o świder do gleby. Dzięki zastosowaniu specjalnego pojemnika, który okala wiertło, pobierana próbka pozostaje w nienaruszo- nym stanie, co pozwala na wstępną analizę poszcze- gólnych warstw gleby. Za napęd wiertła odpowiada zmodyfikowany silnik wkrętarci wraz z uchwytem trójszczękowym.

Oprogramowanie komputera pokładowego Pho- enix I zostało oparte o komputer jednopłytkowy Raspberry Pi [9], a do sterowania elementami wyko- nawczymi oraz zbierania danych z czujników użyte zostaną płytki developerskie Nucleo oparte o mikro- kontroler z rodziny STM32 [10] oraz Arduino, z mi- krokontrolerem Atmel AVR [11]. Do opracowania systemu sterowania zastosowano środowisko ROS [12], co pozwoliło na wykorzystanie wielu gotowych pakietów i skoncentrowanie uwagi zespołu na pro- totypowaniu nowych bibliotek, które początkowo nie były dostępne w tym środowisku. Wszystkie pro- gramy zostały napisane w języku Python [13] oraz C++ [14]. Komunikacja operatora z łazikiem odbywa się na drodze radiowej z wykorzystaniem pasm ama- torskich, których parametry sygnału komunikacji nie naruszają polskiego prawa. Operator posiada widok z kamer umieszczonych w strategicznych miejscach robota, aby umożliwić niezawodną obserwację pra- cy wszystkich podukładów platformy. Kamery IP za- montowano na maszcie anteny oraz kiści chwytaka.

■ DRUGI PROTOTYP

Projekt drugiego prototypu, o nazwie **Phoenix II**, zakładał wykorzystanie zawieszenia wzorującego się na podwoziu typu rocker-bogie [15] – typowe dla tego rodzaju zadań. Układ jezdny o nieco zwiększonych gabarytach miał lepiej radzić sobie z pokonywaniem przeszkód terenowych, co równocześnie miało wpłynąć pozytywnie na właściwości jezdne. Na robocie zamontowano nowe urządzenie do po- bierania próbek głębokościowych. Nowe rozwiąza- nie bazowało na otwornicy ze specjalnie zaprojekto- wanymi ostrzami, na które zgłoszony został wniosek w urzędzie patentowym [16].



Rysunek 3. Wizualizacja Phoenix II

Opracowane zostało również zupełnie nowe ramie robotyczne, charakteryzujące się wykorzysta- niem autorskich przekładni cykloidalnych wy- konanych w technologii druku 3D. Pozwoliło to na ograniczenie masy tego układu przy zachowaniu małych luzów oraz właściwości manipulacyjnych z poprzedniego prototypu. Ponadto, więcej uwa- gi przyłożono również do samego chwytaka, będącego ostatnim członem manipulatora. W tym przypadku, urządzenie chwytne jest bardziej uni- wersalne poprzez możliwość wymiany końcówek chwytanych oraz pozwala na udźwig większych ele- mentów.



Rysunek 4. Prototyp Phoenix II

System sterowania podwoziem oparty został o na przemysłowym sterowniku PLC. Tego typu zabieg miał zagwarantować niezawodność układu jezdnego, niezależnie od reszty układów robota.

■ PHOENIX III

Trzecia wersja robota jest w trakcie etapu projektowania. Wśród głównych założeń wymienia się m.in. zmianę zawieszenia na podwozie wyposażone w cztery niezależnie napędzane koła z osiami skrętnymi. Poprawkom ulegnie również korpus samego łoża. Ma to pomóc zredukować masę całego robota oraz zwiększyć manewrowość samego układu jezdnego. Projekt robota zakłada również, że dużo



Rysunek 5. Wizualizacja prototypu Phoenix III

więcej uwagi zostanie przyłożone do niezależności poszczególnych układów tak, aby była możliwość sprawniej i szybkiej zmiany konfiguracji robota. Ta wersja robota ma być rozwinięciem poprzedniej, dlatego w ten sposób poszczególne układy robota (jak manipulator/chwytnik) po drobnych korektach będą kompatybilne w pewnym zakresie z poprzednimi wersjami prototypów.

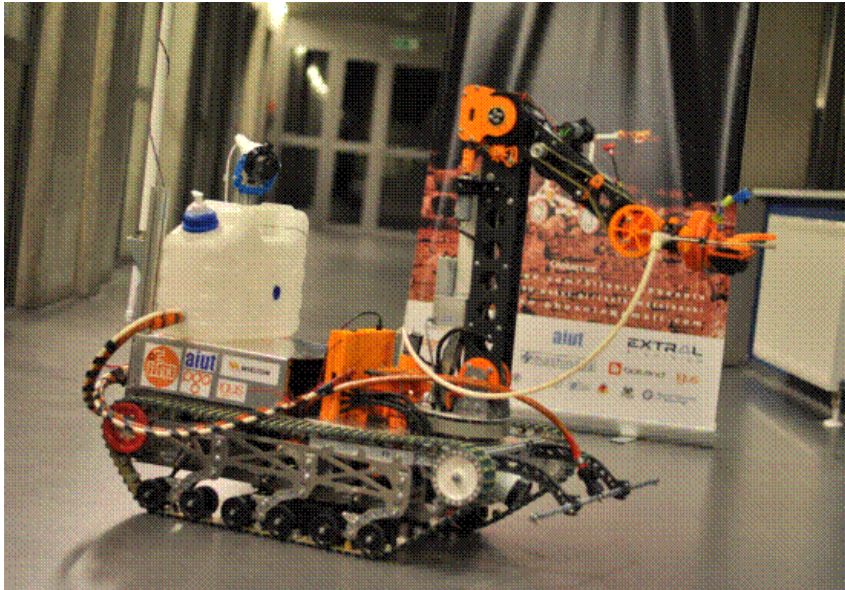
■ MOBILNY ROBOT DO DEZYNFEKЦИИ

W 2020 roku, w czasie pandemii koronawirusa SARS-CoV-2 dość dużą uwagę poświęcano pomysłowi wykorzystania nowych technologii w zwalczaniu jej skutków. Przykładem może tu być zastosowanie robotów mobilnych w wyręczeniu ludzi przy dezynfekcji obszarów, gdzie występuje wysokie ryzyko zakażeniem. Istnieją przesłanki ku temu, że epidemie (lub/i pandemii), stanowiąc będą zagrożenie cykliczne.

W ramach działalności zespołu-projektu Silesian Phoenix opracowany został demonstrator robota mobilnego umożliwiającego neutralizację i zwalczanie wirusów lub różnego rodzaju czynników potencjalnie niebezpiecznych dla człowieka. Konstrukcja w dużej mierze oparta na prototypie Phoenix I. Jednakże przeprojektowany został m.in. system komunikacji i sterowania [17] oraz zaprojektowany został układ do dozowania środka dezynfekującego. W wyniku przeprowadzonych prac powstał robot, który pod kontrolą operatora jest w stanie zdezynfekować wybrane miejsce w przestrzeni z wykorzystaniem specjalistycznego środka chemicznego, tak aby zniwelować ryzyko rozpowszechniania się wirusa. Przykładowy scenariusz zakłada, że po uprzednim transporcie (np. z pomocą samochodu dostawczego),



Rysunek 6. Wizualizacja prototypu Phoenix III wraz z powierzchnią Marsa



Rysunek 7. Robot dezynfekujący

robot zjedzie po rampie i uda się w kierunku miejsca skażenia, aby dokonać jego dezynfekcji. Podczas całej operacji operator znajduje się w centrum dowodzenia (np. kabina samochodu), gdzie zdalnie steruje robotem bez narażenia się na zakażenie. Czynności dezynfekujące mogą być przeprowadzane na dwa sposoby. Pierwszy z nich zakłada wykorzystanie czterech dysz umieszczonych na przedniej części korpusu łoża, pozwalających za pomocą mgiełki na odkażanie pasma powierzchni płaskiej o szerokości ok. 1 metra podczas jazdy robota. Natomiast drugi wykorzystuje oddzielną dyszę kierunkową, umieszczoną na ramieniu robotycznym. Takie rozwiązanie pozwala na odkażanie pojedynczych obiektów, takich jak klamki czy innego rodzaju mało powierzchniowych przedmiotów.

■ PODSUMOWANIE

Ważnym elementem projektu jest ciągły rozwój skonstruowanych platform mobilnych, a także kontynuacja badań poświęconych robotyce mobilnej, ponieważ robotyka coraz częściej rozwiązuje problemy natury nie tylko technicznej. Przytoczony przykład wykorzystania prototypu łoża planetarnego jako robota dezynfekującego pokazuje potencjał tego typu konstrukcji nie tylko w kontekście zadań eksploracyjnych. Szybka adaptacja robota do nowego środowiska pracy pozwoliła odpowiedzieć na realną potrzebę, co tylko umacnia w przekonaniu, że realizacja takich projektów ma sens, ponieważ obecny postęp techniki pozwala mówić już nie tylko o futurystycznych wizjach, ale o celach, których realizację należy po prostu dobrze zaplanować.

■ BIBLIOGRAFIA

Załączniki (dostęp z dn. 30.03.2022):

- [1] Strona internetowa projektu Silesian Phoenix: <https://sknaimeth.polsl.pl/silesian-phoenix/>
- [2] Strona internetowa konkursu: <https://roverchallenge.eu>
- [3] Strona internetowa Fundacji: <https://spacefdn.com>
- [4] G. S. Hove, M. D. Hove, „Fast tracked ground vehicle”. USA Patent US20100236844 A1, 2010.
- [5] „darpa.mil,” Defense Advanced Research Projects Agency, 2012.
Strona internetowa agencji: <https://www.darpa.mil/program/maximum-mobility-and-manipulation>.
- [6] Rakowski G., Kacprzyk Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [7] Strona internetowa oprogramowania Autodesk Inventor: <https://www.autodesk.pl/products/inventor/overview>
- [8] Strona internetowa i katalog produktów Iguus Iglider®: <https://www.igus.pl/iglider/>
- [9] Strona internetowa producenta Raspberry Pi: <https://www.raspberrypi.com>
- [10] Strona internetowa firmy ST: <https://www.st.com>
- [11] Strona internetowa projektu Arduino: <https://www.arduino.cc>
- [12] Strona internetowa Robotic Operating System: <https://www.ros.org>
- [13] Strona internetowa z dokumentacją języka Python <https://pl.python.org/docs/>
- [14] Strona internetowa z dokumentacją języka C++ <https://isocpp.org>
- [15] Rocker-bogie: D. Bickler, US Patent Number 4,840,394—Articulated Suspension Systems, US Patent Office, Washington, D.C., 1989.
- [16] K. Sterna, T. Waleczek, D. Wachla, W. Panfil, P. Przystałka: "Układ pobierania i magazynowania powierzchniowych próbek gruntu z zachowaniem warstwowości, zwłaszcza do robota eksploracyjnego oraz sposób jego realizacji"- nr zgłoszenia w UPRP P.431157, dn. 16.09.2019.
- [17] P. Olszówka, P. Przystałka: „Układ komunikacji i system wizyjny mobilnego robota dezynfekującego”, Metody komputerowe - 2021 : Studencka konferencja naukowa, Gliwice, wrzesień 2021, 2021, Politechnika Śląska, 148 p., ISBN 978-83-951185-2-4

RoPuc:

Precise biopsy procedure with a robotic arm

Artykuł recenzowany

ŁUKASZ JAWORSKI¹

ADAM KURNICKI²

¹Project Manager,
ACCREA Engineering, Lublin

²Department of Automation
and Metrology, Lublin University
of Technology, Lublin

Założyciel i właściciel firmy:
Bartłomiej Stańczyk

Słowa kluczowe:
roboty medyczne,
onkologia, biopsja

Keywords:
medical robots,
oncology, biopsy

Streszczenie

Wczesna diagnostyka zmian w tkankach ludzkich jest gwarantem skutecznego leczenia, w tym leczenia onkologicznego. Biopsja pod kontrolą CT umożliwia badanie tkanek dostępnych do tej pory głównie w trakcie otwartej biopsji chirurgicznej. Wymaga jednak wysokiej precyzji przy wprowadzaniu igły biopsyjnej oraz obarczona jest ryzykiem wielokrotnie powtarzanych skanów przy wprowadzeniu ręcznym. Operujące zdalnie precyzyjne urządzenia robotyczne stanowić mogą istotną alternatywę dla tradycyjnego podejścia. Autorzy prezentują w artykule wstępne rezultaty projektu prowadzonego w ramach grantu DIH-HERO, wykorzystującego technologię robotyczną ARIA/BATEO firmy ACCREA Engineering do zastosowania przy biopsji tkanek płuc, wątroby czy nerek.

Abstract

Early diagnosis of lesions in human tissue is a guarantee of effective treatment, including oncological treatment. CT-guided biopsy enables examination of tissues previously available mainly during open surgical biopsy. However, it requires high precision when inserting the biopsy needle and carries the risk of repeated scans when inserted manually. Remotely operated precise robotic devices may be an important alternative to the traditional approach. In this paper, the authors present the initial results of a project carried out under the DIH-HERO grant, using ACCREA Engineering's ARIA/BATEO robotic technology for lung, liver or kidney biopsy.

PROBLEM

In the modern ageing societies, the demand for specialized medical care becomes higher, whereas a worldwide lack of physicians is observed. Forecasts warn that this lack will grow worse in the near future [actionforglobalhealth.eu]. Robotics plays a key role in a mankind development. When we take into account gradually rising healthcare demands, we need to pay attention to the role of medical robotics.

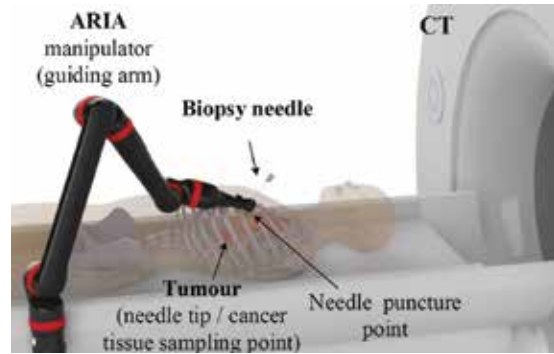
Thanks to the specific approach, facilitating the use of specialized equipment designed to work inside the body cavities through one or more trocars, the surgery itself is especially beneficial for the patient, as causing less trauma, pain and blood loss, while leaving smaller skin scars, effectively reducing the duration of hospital stay.

Image-guided biopsy procedure is an area where accuracy and space efficiency is essential. Despite robotic device's paramount precision, its cost-effectiveness is invaluable due to the workforce reduction with simultaneous capacity increase. Additionally, in a time of an increase in a number of patients, time saving is crucial. Within the field of oncology, percutaneous strategies have developed, in which biopsy and removal of tumors are performed by means of a needle through the skin utilizing image-guidance. Such procedure, performed in the traditional way, relies on manual insertion of the needle by the doctor. Needle insertion is time consuming and most of the time target tissues cannot be reached due to their small sizes.

SOLUTION

Robot-assisted biopsy procedure is another alternative that can help out the surgeon to inject the needle precisely, while omitting the risk of medical errors due to tremor, fatigue etc. Since 2019, ACCREA Engineering Poland has been developing an assistive robotic device aimed at helping diagnosticians by motorizing the movement of a needle for a biopsy procedure. Robotic approach provides higher stiffness and precision by a more stabilized robotic manipulator compared to human hands. The first functional prototype device is based on an off-the-shelf ARIA/BATEO robotic arm designed by ACCREA in the course of an R&D grant-based project L2R. In 2020 ACCREA had been granted funding from DIH-HERO, supporting the proposal aiming at demonstrating the feasibility of new, innovative and enhanced robotic solution in abovementioned field. The target system is further destined to reach Clinical Trials Phase by October 2023, supported by PL NCBR grant agreement.

The proposed system will utilize the tailor-made medical image processing software paired with state-of-the-art robotic devices, allowing for an



easy, point&click biopsy procedure planning and execution, performed based on CT scans (abdomen, chest) of desired tissues.

SYSTEM DESCRIPTION

The main system components are, see figure, the CT Scanner, the Guiding Arm, CT Imaging Workstation and DICOM-based Robot Control Module DRCM. A Biopsy Needle is connected to the guiding arm using a dedicated Needle-Robot Interface. The arm is paired with control interfaces: i) Robot Interaction Module RIM for direct physical interaction (by means of pushing and pulling the arms with the physician's hand) and also with ii) a joystick placed in the control room of the CT scanner, controlling the arm via DRCM. The device is connected to the CT Bed using a universal Bed-Robot Interface. The DRCM reconstructs the imaging data, uploaded to the Module from CT Imaging Workstation in DICOM file, and calculates the best trajectory for robot's alignment with the Vector of Entry VoE, which is based on the point of the human tissue to be examined ET and an Optimal Entry Point OEP selected by the radiologist. After alignment, the diagnostician inserts the biopsy needle along the path set out by Needle-Robot Interface, to the depth calculated by DRCM.

IMPLEMENTATION & EVALUATION

During the course of RoPuc project, ACCREA successfully adapted their 6 Degree of Freedom robotic ARIA/BATEO robotic arm technology to meet the requirements derived with assistance on project's Clinical Partner, Grosshadern Clinic of Ludwig Maximilian University of Munich.

The device had been equipped with an aluminium, CNC-manufactured precise end-effector guiding the biopsy needle, and with ACCREA's own 6DoF Force/Torque sensor-based Robot Interaction Module for easy prepositioning. Once in the CT room, the device's experimental software with uploaded CT scan of the patient, enables the user to select desired points of tissue collection and skin puncture, based on which calculates the vector of entry and

in effect – position of the robot. The user may check the projected movement of the arm from home position to working position in the same software using Pre-Biopsy procedure, where a 3D visualization of both arm and body is depicted.

The verification and validation of the results were conducted during two stationary trials:

- 1) Szpital na Klinach Living Lab – June 4th 2021, Kraków, PL
- 2) Klinikum Großhadern of the Ludwig Maximilian University of Munich – June 23rd-24th 2021, Munich, DE

Both trials were led by Prof. Dr. med. Konrad Karcz, Head of Minimally Invasive, Robot-Assisted Surgery and Surgical Technological Innovations at LMU Munich and a Medical Consultant for RoPuc project.

Both rounds aimed at presenting and testing the overall workflow during minimally invasive surgery, although the first one was conducted using ARIA arm V1.1 as a basis, while the second – using ARIA V2. First steps were to test interfaces responsible for integration within the testing environment – intervention room or CT room. Next, the arm was covered in sterile drape, which in real-life conditions would reduce the risk of contamination. Lastly, the DCRM software was tested and the accuracy of the robot-induced tissue-collection point was checked. Trials shown, that the arm at this point reaches the desired end-point with approximated accuracy of $\pm 7,5$ mm, affected by a number of factors: (i) the accuracy of alignment between robot's and body's coordinate frames; (ii) the reduced stiffness of lightweight structural components of the robotic arm, superior for initial ARIA/BATEO wheelchair use-case, but problematic in clinical applications.

SUMMARY & ACKNOWLEDGEMENTS

Imaging and robotic technologies provide additional support for the doctor or diagnostician to perform procedures in a safer and more accurate way. A CT-guided biopsy usually results in fewer complications and excludes the need for general anaesthesia, ensuring faster recovery times.

The integration of imaging and robotic technology can act as a 'third hand and eye' for the diagnostician, avoiding the need to repeatedly switch eyes between the patient and the monitor. Using robotics during this procedure makes it even safer and faster. In addition, the reduction in the number of follow-up scans necessary when performing the procedure manually results in a minimum of x-ray exposure time and indirectly reduces the cost of the procedure, resulting from less operation of the imaging device.

The importance of diagnostics in modern medicine is increasing, which is reflected in the market



size. The market for kidney diagnostics is projected to grow at a CAGR of $\sim 5.2\%$ from 2019 to 2026, for lung diagnostics at a CAGR of 7.7% , for liver diagnostics even at a CAGR of 8.1% . This is accompanied by an increase in the size of the global smart biopsy devices market at a CAGR of 5.6% during the period 2019-2026. This demonstrates the fact that modern technologies (especially robotic) will find increasing demand in the coming years.

Validation trials had shown that the idea behind the RoPuc system proves to be applicable in laboratory conditions, with possible introduction to real-life environment and ultimately to market.

ACCRES Engineering would like to thank NEO HOSPITAL Group for the permission to perform a validation run at Szpital na Klinach in Kraków.

ACCRES Engineering informs, that RoPuc Technology Demonstrator has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the DIH-HERO grant agreement no 825003.

KOMENTARZ RECENZENTA...

Prof. Zbigniew Paszenda

Tematyka pracy nawiązuje do zagadnień wczesnej diagnostyki zmian w tkankach ludzkich. Ta kwestia jest bardzo istotna, w szczególności ma zasadniczy wpływ na proces leczenia zmian o charakterze nowotworowym. Zastosowanie biopsji pod kontrolą CT umożliwia pobieranie i w dalszej kolejności badanie tkanek. Do tej pory były one pobierane głównie podczas otwartej biopsji chirurgicznej. Taki sposób pobierania tkanek wymaga dużej precyzji przy wprowadzaniu igły biopsyjnej. Dodatkowo obciążony jest ryzykiem wielokrotnie powtarzanych skanów przy wprowadzeniu ręcznym. Z tego też względu dla zapewnienia wymaganej precyzji ruchów w pracy zaproponowano zastosowanie precyzyjnego urządzenia robotycznego. W pracy zaproponowano wstępne rezultaty realizowanego projektu prowadzonego w ramach grantu DIH-HERO. Autorzy wykorzystali technologię ARIA/BATEO firmy ACCRES Engineering do zastosowania przy biopsji tkanek z płuc, wątroby czy nerek. Wstępne wyniki przeprowadzonych testów wskazują, że zastosowanie takiego podejścia skutkuje poprawą bezpieczeństwa pacjenta w trakcie realizacji tego rodzaju procedury. Ponadto, możliwość zmniejszenia liczby skanów kontrolnych niezbędnych przy ręcznym wykonywaniu zabiegu skutkuje minimalnym czasem naświetlania promieniami RTG, co również wpływa na obniżenie kosztów zabiegu.

SOLARBOT:

How robotics may relieve OR physicians in 21st century

Artykuł recenzowany

Streszczenie

Proces starzenia się społeczeństwa skutkuje między innymi zwiększonym popytem na operacje chirurgiczne, w tym operacje małoinwazyjne z użyciem narzędzi laparoskopowych umożliwiających skrócenie niezbędnego czasu hospitalizacji. Operacja laparoskopowa wymaga, oprócz chirurga prowadzącego, również udziału asystentów odpowiedzialnych za nawigację kamerą laparoskopową oraz podtrzymywanie nieaktywnych narzędzi. Wprowadzanie technologii robotycznych umożliwia redukcję zarówno problemów w komunikacji między chirurgiem a asystentem, jak i możliwych błędów medycznych na skutek np. drżenia rąk oraz zmniejszenie kosztu procedury. Autor przedstawia w artykule rezultaty projektu prowadzonego w ramach grantu DIH-HERO, wykorzystującego technologię robotyczną ARIA/BATEO firmy ACCREA Engineering w zastosowaniu przy chirurgii małoinwazyjnej.

Abstract

The ageing of the population results, among other things, in an increased demand for surgical operations, including minimally invasive surgeries using laparoscopic instruments to reduce the necessary hospitalisation time. Laparoscopic surgery requires, in addition to the attending surgeon, the participation of assistants responsible for navigating the laparoscopic camera and supporting inactive instruments. The introduction of robotic technology makes it possible to reduce both the problems with communication between the surgeon and the assistant and the possible medical errors due to e.g. hand tremor, as well as reduces the cost of the procedure. The author presents the results of a project carried out under the DIH-HERO grant, using ACCREA Engineering's ARIA/BATEO robotic technology in minimally invasive surgery use-case.

ŁUKASZ JAWORSKI¹

¹Project Manager,
ACCREA Engineering, Lublin

Założyciel i właściciel firmy:
Bartłomiej Stańczyk

Słowa kluczowe:
roboty medyczne,
chirurgia małoinwazyjna,
endoskopia

Keywords:
medical robots,
minimally invasive
surgery, endoscopy

■ PROBLEM

In the modern ageing societies, the demand for specialized medical care becomes higher, whereas a worldwide lack of physicians is observed. Forecasts warn that this lack will grow worse in the near future [actionforglobalhealth.eu]. Minimum invasive surgery (MIS) is rapidly growing, with 7.5Mn/year interventions worldwide, increasing this number and also broadening the interventions types.

Thanks to the specific approach, facilitating the use of specialized equipment designed to work inside the body cavities through one or more trocars, the surgery itself is especially beneficial for the patient, as causing less trauma, pain and blood loss, while leaving smaller skin scars, effectively reducing the duration of hospital stay.

MIS is typically performed by a surgeon with 1-2 assistants holding the camera, instruments, patient organs, etc. The assistant salaries increase the overall procedure cost and the need of managing the assistants (verbal communication, overlooking, control) is cumbersome for the surgeon. As some procedures may take longer to perform, the fatigue of additional supporting staff rises accordingly, increasing a risk of medical errors.

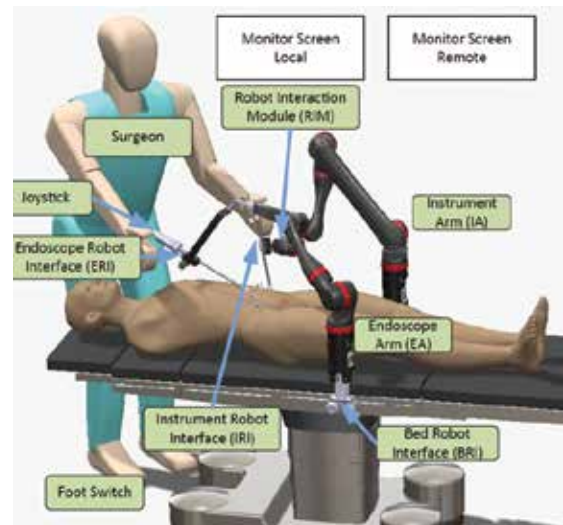
■ SOLUTION

Robot-assisted surgery is another alternative that can help out the surgeon who is a subject to tremor, fatigue etc.

Since 2019, ACCREA Engineering Poland has been developing an assistive robotic device aimed at helping minimal invasive surgeons by motorizing the movement of a laparoscopic camera around the trocar. The device is based on an off-the-shelf ARIA/BATEO robotic arm designed by ACCREA in the course of an R&D grant-based project L2R. In 2020 ACCREA had been granted funding from DIH-HERO, supporting the proposal aiming at demonstrating the feasibility of new, innovative and enhanced robotic solution in abovementioned field.

■ SYSTEM DESCRIPTION

The main system components are the Endoscope Arm EA, Instrument Arm IA, Local and Remote Screens. An Endoscope is connected to the EA using a dedicated Endoscope-Robot Interface ERI. The camera provides a live video stream presented on both Screens. The Local Screen is used by the Surgeon to view the operation scene inside the patient body. The Remote Screen is located in a different physical location, and serves the purposes of: i) remote consultations with another expert ii) training other surgeons remotely. The IA serves as a support of the instrument when not used by the surgeon, equipped with an Instrument-Robot Interface IRI



being able to quickly attach to an adapter fixed on each of the instruments. Both arms are equipped with control interfaces: i) Robot Interaction Module RIM for direct physical interaction (pushing and pulling the arms with the surgeon's hand) and also ii) by means of a joystick placed on the instrument or iii) voice control

■ IMPLEMENTATION & EVALUATION

During the course of SOLARBOT project, ACCREA successfully adapted their ARIA robotic arm technology to meet the requirements derived with assistance on project's Clinical Partner, Grosshadern Clinic of Ludwig Maximilian University of Munich.

The core of the system is a redundant, 7 Degree of Freedom arm with specialized end-effector suited for integration with a range of laparoscopic cameras and tools. The arm had been equipped with rail-mounting system to allow for a quick installation on the surgical table. Once in the OR, the device can be controlled by (i) hand, using a specialized Robot Interaction Module based on Force/Torque sensor; (ii) joystick, either simple 2DoF or Spacemouse, allowing for intuitive control of the end-effector point in all linear and rotational directions; (iii) voice control, around a virtually-assigned point in the trocar. Redundant kinematics gives the advantage of re-aligning the arm's structure not to obstruct the physician's field-of-view, while maintaining stable position of the camera or tool.

The main device is supported by a range of possible auxiliary arms: a half-motorized, half-passive redundant arm, 6DoF arm with a 3-finger gripper, gravity-compensated brake-based passive arm and redundant brake-based passive arm.

The verification and validation of the results were conducted during two stationary trials:

- 1) Szpital na Klinach Living Lab – June 4th 2021, Kraków, PL

- 2) Klinikum Großhadern of the Ludwig Maximilian University of Munich – June 23rd-24th 2021, Munich, DE

Both trials were led by Prof. Dr. med. Konrad Karcz, Head of Minimally Invasive, Robot-Assisted Surgery and Surgical Technological Innovations at LMU Munich and a Medical Consultant for Solarbot project.

First round focused mostly on testing additional equipment – interfaces responsible for integration with the surgical table and with camera and tools, and overall preparation procedures. Robot Interaction Module was used to preposition the arm over the phantom, while 6DoF joystick acted as an interface to facilitate more precise movement.

The second round aimed at presenting and testing the overall workflow during minimally invasive surgery. The system containing two robotic arms was decontaminated and suited with sterile drapes. Both devices were then integrated with surgical table, on left and right side of the medical phantom of the human abdomen. Just like during first testing round, both arms were initially positioned to be connected with surgical equipment – white 7DoF arm was used to navigate the camera (mounted on the arm via Endoscope-Robot Interface), while black arm was holding either unused laparoscopic tools or a magnet used for externally controlling the position of an intestine-holding metal clip. The leading surgeon then performed a model laparoscopic procedure in the phantom abdomen, facilitating the functionalities of the system.

SUMMARY & ACKNOWLEDGEMENTS

The segment of the healthcare market related to Minimally Invasive Surgeries is rich with different devices tackling the problem of inefficient assistant's role during MIS procedures, however currently available products don't approach this issue globally but rather locally, where to hold the camera and additional instruments operators need multiple devices from different companies. Therefore, there is a gap on the market for a holistic, multipurpose robotic system tackling all desired use-cases at once. ACCREA attempts to fill this gap by introducing SOLARBOT system containing multiple, compatible robotic devices to be used during MIS, each one designed to work with both camera and instrument holding use-cases.

Validation trials had shown that the idea behind the system proves to be applicable in laboratory conditions, with possible introduction to real-life environment and ultimately to market.

ACCREA Engineering would like to thank NEO HOSPITAL Group for the permission to perform a validation run at Szpital na Klinach in Kraków.



ACCREA Engineering informs, that SOLARBOT Technology Demonstrator has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the DIH-HERO grant agreement no 825003.

KOMENTARZ RECENZENTA...

Prof. Zbigniew Paszenda

Zastosowanie technik małoinwazyjnych znajduje coraz większe zastosowanie w różnych dziedzinach medycyny. Stosowanie tego rodzaju technik wymaga, oprócz chirurga prowadzącego, dodatkowo udziału osób asystujących odpowiedzialnych za nawigację kamerą laparoskopową oraz podtrzymywanie nieaktywnych narzędzi. W pracy przedstawiono wyniki testów realizowanych w ramach projektu DIH-HERO' w którym wykorzystano technologię robotyczną ARIA/BATEO firmy ACCREA Engineering w odniesieniu do chirurgii małoinwazyjnej. Zaproponowany system SOLARBOT zawiera szereg kompatybilnych urządzeń zrobotyzowanych do użycia podczas tego rodzaju zabiegów z których każde jest zaprojektowane do pracy zarówno z aparatami, jak i uchwytami narzędzi. Przeprowadzone testy w warunkach laboratoryjnych potwierdziły przydatność analizowanego systemu do zastosowań w chirurgii małoinwazyjnej.

Instrumenty EndoWrist® stosowane w systemie robotowym da Vinci

DOMINIKA SZUBERLA,
ROMAN SOSNOWSKI,
ADAM GRUDZIŃSKI,
MONIKA
NEKANDA-TREPKA,
TOMASZ BORKOWSKI,
TOMASZ JAKUBCZYK,
JERZY DRAUS

Postęp w zakresie technik zabiegowych niewątpliwie odegrał istotną rolę w poprawie wyników leczenia. Jednym z istotnych elementów tego postępu jest rozwój i udoskonalanie narzędzi operacyjnych, polegające między innymi na ich miniaturyzacji czy poprawie precyzji i swobody w manewrowaniu.

Przedruk z Przegląd Urologiczny 3/2022 s.15-20.

Dziedzinami medycznymi, w których w szczególności sposób obserwujemy wpływ technologii na postęp chirurgii, niewątpliwie są urologia, ginekologia oraz chirurgia końcowego odcinka przewodu pokarmowego [1, 2]. Rozwój tzw. technik minimalnie inwazyjnych (minimally invasive surgery – MIS), których dobrym przykładem jest laparoscopia, w wyżej wymienionych dziedzinach medycznych, a w szczególności w zabiegach onkologicznych, w istotny sposób przyczynił się do ograniczenia działań niepożądanych oraz usprawnił rekonwalescencję chorych. Kolejnym „krokiem milowym” w rozwoju MIS było wdrożenie technologii z udziałem systemów robotowych. Rozwój tej techniki miał za zadanie przeciwdziałać ograniczeniom wynikającym w laparoskopii z np. niepełnego zakresu swobody ruchów narzędzia chirurgicznego, nieergonomicznej pozycja operatora, drżenia dłoni czy długiej krzywej nauki, ale także umożliwić pracę „na odległość”, co początkowo w szczególności sposób dedykowane było medycynie wojskowej [3].

Pod koniec ubiegłego wieku wprowadzenie systemu robotowego da Vinci (Intuitive Surgical, USA) spowodowało szersze wykorzystanie MIS w urologii, ginekologii oraz chirurgii końcowego odcinka przewodu pokarmowego. Wzrost liczby wykonywanych procedur chirurgicznych oraz instalacji systemów robotowych na świecie odzwierciedla potrzeby chirurgów w zakresie precyzji preparowania tkanek, obrazowania trójwymiarowego oraz ergonomicznej postawy ciała [4].

System robotowy da Vinci składa się z trzech komponentów: konsoli chirurga (*Surgeon Console*), wózka pacjenta (*patient cart*) oraz kolumny z torem wizyjnym (*Vision Cart*) (ryc. 1). Wśród najważniejszych elementów wchodzących w skład opisywanego systemu da Vinci należy ponadto wymienić: przeglądarkę 3D HD, dwa manipulatory, cztery uniwersalne

ramiona zamontowane na regulowanym wysięgniku (*Boom*), narzędzia EndoWrist®, dotykowy zewnętrzny monitor, generator ERBE VIO dv oraz kontroler endoskopu. Wszystkie elementy stanowią integralną strukturę całego systemu robotowego.

Brak pełnej swobody zakresu ruchów narzędzi chirurgicznych w laparoskopii stanowi jedno z jej najważniejszych ograniczeń. Przeprowadzenie zabiegu laparoskopowego wymaga bardzo precyzyjnego umiejscowienia portów, okresowej konieczności zmiany położenia narzędzi pracujących (zmiana portów), konieczności zmiany „prowadzącej” dłoni (np. zmiana położenia igły w imadle podczas szycia z jednego do drugiego narzędzia laparoskopowego) [5, 6].

Chcąc sprostować wyżej wymienionym ograniczeniom, opracowano narzędzia System EndoWrist® (ryc. 2). To unikalne rozwiązanie systemu robotowego da Vinci pozwala na naśladowanie ruchu dłoni ludzkiej z wykorzystaniem siedmiu zakresów swobody elementu pracującego. Praca narzędzia chirurgicznego niejako jest odzwierciedleniem zmiany położenia ręki chirurga.

Dokładna znajomość rozwiązań technicznych systemu robotowego da Vinci pozwala na wykorzystanie wszystkich dostępnych możliwości technologicznych, ułatwia posługiwanie się narzędziami, zapewnia bezpieczną pracę oraz właściwą integrację z danymi klinicznymi (np. informacje pochodzące z badań obrazowych) [7].

Poniżej przedstawiamy najważniejsze informacje dotyczące systemu narzędzi operacyjnych EndoWrist®. Wśród najważniejszych zalet tego rozwiązania technicznego niewątpliwie należy wymienić możliwość zgięcia narzędzia pracującego, np. nożyczek, imadła czy graspera. Na rycinie 3 przedstawiono możliwe płaszczyzny swobody ruchów narzędzia laparoskopowego i EndoWrist®:

- Wprowadzenie (*Insertion; In-Out*): jest kierunkiem ruchu w osi długiej, który reguluje głębokość, na jaką wprowadzana jest końcówka instrumentu.
- Odchylenie zewnętrzne (*External Yaw*): ruch końcówki narzędzia „na boki” względem punktu obrotu (*Remote Center*) poprzez ruch ramienia instrumentu.
- Wychylenie zewnętrzne (*External Pitch*): ruch końcówki narzędzia „w górę i w dół” względem punktu obrotu (*Remote Center*), poprzez ruch ramienia instrumentu.
- Obracanie (*Roll; Rotation*): ruch obrotowy trzonu instrumentu wokół własnej osi centralnej.
- Odchylenie wewnętrzne (*Internal Yaw*): obrót końcówki instrumentu „na boki” poprzez zgięcie w dystalnym przegubie nadgarstka instrumentu.
- Wychylenie wewnętrzne (*Internal Pitch*): obrót końcówki instrumentu „w górę i w dół” poprzez zgięcie w proksymalnym przegubie nadgarstka instrumentu.
- Chwytywanie (*Grip; Grasp*): otwieranie oraz zamykanie szczęk instrumentu.

Narzędzia EndoWrist® składają się ze: szczęk, nadgarstka, trzonu oraz obudowy z dyskami (ryc. 4). Ponadto zawierają dwa przyciski zwalniające, które służą do wyjmowania instrumentu, wskaźnik maksymalnego użycia – zmiana koloru elementu kontrolnego na czerwony oraz występujące w niektórych narzędziach gniazda diatermii monopolarnej i bipolarnej. Narzędzia zaopatrzone są w porty do przepłukiwania i czyszczenia wewnętrznych elementów instrumentu.

Istnieje wiele różnych narzędzi EndoWrist®, których budowa dedykowana jest do poszczególnych procedur chirurgicznych. Dostępne są instrumenty monopolarne oraz bipolarne, imadła, instrumenty retrakcyjne (chwytyaki), nożyczki, klipsownice, narzędzia zamykające naczynia, ssak/irygator oraz ultradźwiękowy instrument energetyczny (ryc. 5). Przedstawione powyżej narzędzia mogą różnić się liczbą możliwych użyć, to tzw. żywotność narzędzia, która najczęściej wynosi od 10 do 18. Po wykorzystaniu danego narzędzia następuje automatycznie jego dezaktywacja. W czasie pracy systemu robotowego operator może skontrolować na ekranie, które narzędzie jest w danym momencie aktywne oraz w ilu zabiegach dany sprzęt może być jeszcze wykorzystany. Niektóre instrumenty, np. narzędzie zamykające naczynia (*vessel sealer*), są instrumentami jednorazowego użytku.

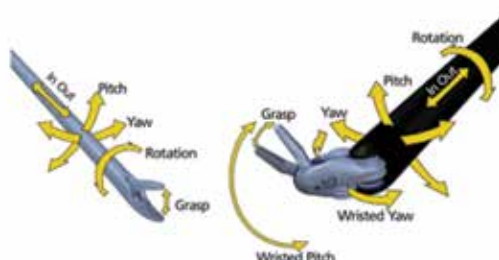
System da Vinci zapewnia eliminację drżeń rąk operatora (*tremor filtration system*). Rozwiązanie to pozwala na precyzyjne poruszanie narzędziami, co



Rycina 1. Trzy elementy systemu robotowego da Vinci: konsola chirurga, wózek pacjenta oraz kolumna z torem wizyjnym. Źródło: <https://www.synektik.com.pl/pl/oferta/da-vinci/o-systemie/>



Rycina 2. System EndoWrist® odwzorowujący zakres ruchów dłoni chirurga. Źródło: Palep JH: Robotic assisted minimally invasive surgery. J Minim Access Surg 2009 Jan; 5(1): 1–7. https://www.journalofmas.com/viewimage.asp?img=JMinAccessSurg_2009_5_1_1_51313_u3.jpg



Rycina 3. Zakres ruchów narzędzia pracującego: lewa strona – narzędzie laparoskopowe; prawa strona – EndoWrist®. Źródło: Stanley W: Wireless Teleoperation Control Interface of Articulated Forceps for Minimally Invasive Surgery. Intelligent Robotics and Biomechanics Laboratory. School of Engineering. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, 2018 https://www.researchgate.net/publication/327561755_Wireless_Teleoperation_Control_Interface_of_Articulated_Forceps_for_Minimally_Invasive_Surgery



Rycina 4. Narzędzie EndoWrist®: prawa strona – końcówka pracująca. Całe narzędzie EndoWrist® składa się ze: szczęk, nadgarstka, trzonu oraz obudowy z dyskami. Źródło: materiał własny autorów



Rycina 5. Różne końcówki operacyjne EndoWrist®. Źródło: Da Vinci X/Xi Instrument & Accessory Catalogue, December 2021



Rycina 6. Skalowanie czułości ręcznych kontrolerów w stosunku do instrumentów. Źródło: https://www.researchgate.net/publication/236044306_Robotic_surgery_in_gynecology



Rycina 7. SManipulatory konsoli chirurgicznej (master tool manipulators – MTM). Źródło: materiał własny autorów

ma szczególne znaczenie w preparowaniu nerwów, drobnych naczyń czy szyciu nićmi o małej średnicy. Kolejnym ważnym elementem jest skalowanie ruchu (scale movement), które polega na filtrowaniu i zmianie zakresu ruchu narzędzia pracującego w różnych proporcjach w stosunku do ruchu dłoni (ryc. 6). I tak np. ruch dłoni chirurga o 3 cm przenoszony jest na ruch narzędzia o 1 cm. Zakres zmian (tzw. skalowanie) może być w proporcjach 1:1,5; 1:2 oraz 1:3.

Ruch końcówek instrumentów chirurgicznych odbywa się dzięki przełożeniu ruchów dłoni chirurga z ręcznych manipulatorów (Master Tool Manipulator – MTM) (ryc. 7) poprzez ramiona wózka pacjenta (ryc. 8) na dyski narzędzia EndoWrist® (ryc. 9). Po właści-

wym umiejscowieniu narzędzia w porcie ramienia, końcówki pracujące są wprowadzane w ruch poprzez silniki umieszczone w ramionach wózka pacjenta. Ruch ten jest mechanicznie przenoszony na 5 zakreśłów swobody instrumentu pracującego. Każde narzędzie ma swój chip oraz magnes, za pomocą którego system automatycznie wykrywa obecność sterylne-go adaptera, rodzaj instrumentu oraz określa ramię, w którym instrument został zainstalowany.

Długość instrumentów wynosi ok. 66 cm, a średnica 8 mm. W wersji systemu robotowego da Vinci Si dostępne są także narzędzia 5 mm. Obrót w osi długiej narzędzia możliwy jest do 540 stopni, co zapewnia większy zakres ruchów niż naturalne możliwości nadgarstka człowieka.

Sterowanie narzędziami pracującymi odbywa się poprzez poruszanie manipulatorów MTM zamontowanych tuż pod monitorem konsoli chirurgicznej. Na rycinie 7 przedstawione są dwie metody ułożenia dłoni w MTM. Palce dłoni lewej (dalszy plan na zdjęciu) wprowadzone są do uchwytów, palec wskazujący spoczywa na przycisku wyzwalającym, tzw. sprzęgle. Przy takim ułożeniu dłoni i palców możliwy jest zakres obrotu o 360 stopni w osi długiej manipulatora. Rozsuniecie i złączenie palców wywołuje adekwatny ruch końcówki narzędzia pracującego. Palce dłoni prawej widoczne na pierwszym planie ściskają proksymalną część manipulatora, co pozwala na artykulację w pełnym, 540-stopniowym zakresie. Ich delikatne rozwarcie powoduje otwarcie końcówki pracującej. Odpowiednie poruszanie MTM umożliwia wykonanie obrotu, wychylenia, odchylenia i chwytania narzędziem pracującym.

Operowanie z pomocą EndoWrist® ma istotną przewagę nad operowaniem techniką klasyczną lub z wykorzystaniem instrumentów laparoskopowych w niektórych etapach procedur chirurgicznych [8]. Dotyczy to posługiwania się narzędziami w małych przestrzeniach anatomicznych, gdzie EndoWrist® zapewnia analogicznie do dłoni chirurga pełną swobodę (zakres) ruchów. Fakt ten umożliwia precyzyjne preparowanie, szycie czy zespolenie. Nie bez znaczenia jest także doskonała widoczność (powiększony, trójwymiarowy obraz) w trudno dostępnych, głęboko położonych obszarach, np. miednicy małej. W odniesieniu do chirurgii dolnego odcinka przewodu pokarmowego zalety EndoWrist® wykorzystywane są szczególnie w operacjach tzw. niskich nowotworów odbytnicy, zaawansowanych nowotworów jelita grubego (T4a-b), skomplikowanej chirurgii przetok jelitowych czy jelitowo-pęcherzowych. W odniesieniu do zabiegów związanych z nowotworem prostaty zalety tego rozwiązania technicznego wykorzystywane są w preparowaniu pęczków naczyniowo-nerwowych (techniki między i podpowięziowe) oraz w precyzyjnym wypreparowaniu kikuta cewki moczowej i wykonaniu beznapięciowego, szczelnego

zespolenia pęcherzowo-cewkowego. Ważną cechą jest możliwość zgięcia nożyczek lub imadła, co istotnie poprawia efektywność pracy.

W ginekologii użycie EndoWrist® umożliwia precyzyjne i delikatne preparowanie w miednicy małej, przydatne zwłaszcza w oszczędzaniu pęczków naczyńowo-nerwowych w okolicy przegrody odbytniczo-pochwowej i okolicy przedkrzyżowej, a także w trakcie wszywania w tej okolicy siatki w czasie sakrokolpopeksji. Rozwiązanie to ułatwia wykonanie radykalnej histerektomii w nowotworach narządu rodowego czy głęboko naciekającej endometriozy. Ponadto trudne w czasie klasycznej laparoskopii kilkuwarstwowe szycie w czasie myomektomii, często wykonywane techniką extracorporeal, w opcji EndoWrist® jest możliwe w technice intracorporeal, z zapewnieniem precyzji i właściwego tempa szycia.

Robotyka medyczna z pewnością jest przyszłością chirurgii mało inwazyjnej. Szybkość, z jaką rozwija się technologia, jest zaskakująca. Pierwsza operacja transatlantycka przy użyciu robota Zeus odbyła się w 2001 roku. Operator przebywający w Nowym Jorku w Stanach Zjednoczonych przeprowadził operację wycięcia pęcherzyka żółciowego pacjentce w Strasburgu we Francji, opóźnienie wynosiło około 0,58 sekundy. Możemy sobie wyobrazić, iż już niedługo nie tylko dzięki rozwiązaniom technologicznym związanym z narzędziami, ale także poprawiającym jakość i szybkość transmisji danych operacje na odległość staną się powszechnie dostępne. Być może w niedalekiej przyszłości nowa generacja instrumentów pozwoli na usunięcie ograniczenia systemu robotowego da Vinci związanego z brakiem czucia siły nacisku końcówek pracujących narzędzia [9]. A być może już niedługo automatyzacja czynności zabiegowych zostanie zaimplementowana do procedur chirurgicznych, co faktycznie spowoduje wykonywanie zabiegu przez zautomatyzowane narzędzie, czyli robota. Wciąż jednak system robotowy da Vinci, choć nazwa może być mylnie interpretowana, wspomaga pracę chirurga, a nie wykonuje ją za niego.

mgr inż. **Dominika Szuberla**

Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki,
Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej, Warszawa, Polska
dr hab. n. med. **Roman Sosnowski**, prof. inst.

Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie,
Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, Polska

mgr **Adam Grudziński**

Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Fizyki,
Poznań, Polska

lekarz **Monika Nekanda-Trepka**

Oddział Ginekologii i Ginekologii Onkologicznej,
Szpital Specjalistyczny im. Świętej Rodziny, Warszawa, Polska
dr hab. n. med. **Tomasz Borkowski**

Klinika Urologii Ogólnej, Onkologicznej i Czynnościowej,
Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska
dr n. med. **Tomasz Jakubczyk**

Dept. of Urology, Ryhov County Hospital, Jönköping, Szwecja
dr n. med. **Jerzy Draus**

Oddział Kolorektalny, Hallands Hospital Halmstad, Szwecja



Rycina 8. Cztery uniwersalne ramiona wózka pacjenta systemu da Vinci Xi. Źródło: materiał własny autorów



Rycina 9. Dyski w ramieniu robota. Źródło: materiał własny autorów

PIŚMIENNICTWO:

- [1] Hibner M, Marianowski P, Szymusi I, Wielgoś M: Zastosowanie robotów w chirurgii ginekologicznej. *Ginekol Pol* 2012; 83: 934–938.
- [2] Podędkowski L: Roboty medyczne, budowa i zastosowanie. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
- [3] Challacombe B, Khan M, Murphy D, Dasgupta M: The history of robotic in urology. *World J Urol* 2016; 24: 120–127.
- [4] Rassweiler J, Safi S, Subotic D, Frede D: Robotics and telesurgery – an update on their position in laparoscopic radical prostatectomy. *Minim Invasiv Therap* 2005; 14: 109–122.
- [5] Murphy D, Challacombe B, Khan MS, Dasgupta P: Robotic technology in urology. *Postgrad Med J* 2006; 82: 743–747.
- [6] Szwed I, Michalak A, Zawadzki M, Witkiewicz W: Instrumentarium i techniki zabiegów w chirurgii robotowej. PZWL Wydawnictwo Lekarskie, Warszawa 2021.
- [7] Nawrat Z: Robotyka medyczna w Polsce. *Medical Robotics Reports* 2012; 1: 7–16.
- [8] Leal Ghezzi T, Campos Corleta O. 30 Years of Robotic Surgery. *World J Surg* 2016 Oct; 40(10): 2550–2557.
- [9] Chłosta P, Słojewski M, Sosnowski R i wsp.: Atlas laparoskopii urologicznej. Polskie Towarzystwo Urologiczne, Warszawa 2008.

XVIII Konferencja Roboty Medyczne

– ZABRZE 2020 – Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii

2020 ISMR Academy

II Forum robotyki medycznej

HERO Report Day

Zbigniew Nawrat

prezydent Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej

Zabrzeńskie Konferencje **Roboty Medyczne**, organizowane przez Fundację Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi i Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej to jedno z najstarszych cyklicznych konferencji poświęconych robotyce medycznej na świecie. Obszar zainteresowania jej uczestników obejmuje wszelkie aspekty naukowe inżynierii medycznej związane z tą dziedziną. Robotyka medyczna stanowi również obszar stymulacji aktywności przedsiębiorców dla Uni Europejskiej. FRK pełni rolę centrum komunikacji z projektem europejskim wspierającym grantami roboty medyczne, w tym specjalne pule projektowe dla robotów stosowanych dla zmniejszenia ryzyka i skutków pandemii CoVid. Zaplanowaliśmy, więc także specjalną sesję poświęconą ofercie i efektom projektu cyfrowego hubu: **DIH Healthcare Robotics HERO**. Z kolei Forum jest formą dyskusji, podczas której poruszamy tematy związane z edukacją, ekonomią, badaniami, wdrożeniami, produkcją oraz rynkiem robotów medycznych. Rozmawiamy z głównymi aktorami tych scen – naukowcami, wynalazcami, przedsiębiorcami, politykami, finansistami oraz przedstawicielami instytucji wspierających przedsiębiorców.

XVIII konferencja Medical Robots w 2020 roku to było niezwykle ważne spotkanie zarówno profesjonalistów, inżynierów i lekarzy, jak i młodzieży czy fanów robotyki medycznej. Było multidyscyplinarne i międzynarodowe. W związku z tym, że pracuję od kilku lat w międzynarodowym grancie Digital Innovation Hub Healthcare Robotics (liderem jest holenderski Twente University) zaproponowałem możliwość pokazania aktualnych osiągnięć finansowanych przez projekt start upów wprowadzających nowe roboty medyczne – HERO Report Day. Z kolei,

w związku z tym, że bardzo silnie zaczęto angażować się we wdrożenia robotów chirurgicznych da Vinci w Polsce uznaliśmy z Panią Prezes Joanną Szyman, że warto porozmawiać z tymi, którzy będą nimi operować, dla tych, co mogą nimi być operowani. Prowadzony przez Panią Szyman Neo Hospital w Krakowie obudził z letargu robotykę chirurgiczną w Polsce – zakupiono robota i pokazano, że można. I, że się opłaca. Dzisiaj w 2022 roku jest to jeden z najlepszych szpitali w Europie, wykonujący 500 operacji rocznie. Nastąpiło niezwykle przyspieszenie. Dzisiaj w Polsce pracuje 20 robotów da Vinci – w czym nasze zabrzeńskie spotkania, a w tym też i to w 2020 – odegrało istotną rolę.

Był grudzień i XVIII konferencję Roboty Medyczne 2020 oraz II Forum Robotyki Medycznej oraz 5 grudnia do Akademii Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej.

Akademia. W sobotę 5.12 spotkaliśmy my się w zupełnie innej atmosferze akademii czyli w relacji mistrz-uczeń, rozważając z mistrzami różnych nauk humanistycznych, psychologami, artystami, projektantami o tym, czym powinny być roboty, by wychodzić naprzeciw oczekiwaniom społecznym. Serdecznie zapraszamy, jak zawsze, każdego, kto tworzy roboty lub chce z nich korzystać, wszystkich tych dla których przyszłość medycyny wspomaganej technologicznie robotami w diagnostyce, terapii, rehabilitacji, w szpitalu, w domu i w drodze nie jest obojętna.

W tym roku spotkania odbywały się fizycznie w Zabrzu oraz online. Mieliśmy nadzieję, że forma telekonferencji będzie dogodna dla uczestników spoza Polski. Mistrzami Akademii było professor AGH i innowator z AESCULAP (Niemcy) Józef Kozak i współzałożyciel Hanson Robotics Poland, człowiek orkiestra, Edi Pyrek.

W ramach **HERO REPORT DAY** poznaliśmy roboty firm Hocoma/Pal Robotics/Voxdale/AMC Tech/AC-CREA – przedstawionych przez L.McKinley/K.Beyers/M.Węgrzyn/B.Stańczyk i HERO Innovation Coach B.Vermelen (DIH Hero Strategy)/P.Wolf/J.Escuder/Z.Nawrat i innych.

Podczas konferencji wystąpiły prawdziwe gwiazdy tej dziedziny: pionierzy robotyki chirurgicznej W. Witkiewicz, P. Wisz, J. Doniec, P. Kania, K. Karcz, K. Kaseja, S. Marecik, M. Zawadzki. Obecny był prezes najsilniej rozwijającego się szpitala używającego robotów medycznych Joanna Szyman, szef firmy sprzedającej i serwisującej roboty Artur Ostrowski a także ekspert wojskowy epidemiologii Przemysław Romelczyk oraz liczni innowatorzy i przedsiębiorcy.

Konferencję otworzył wykładem prof. Stanisław Czudek, niezwykle pionier dziedziny robotyki chirurgicznej (też .. kosmicznej), który był świadkiem narodzin robotyki chirurgicznej (EITS), związany z Europejskim Instytutem Telechirurgii (EITS) w Strasburgu oraz obecnie z Szpitalem Powiatowym w Zawierciu.

Miło nam było, że współorganizatorem konferencji było Województwo Śląskie, które zapewniło wsparcie finansowe. Bardzo dziękujemy Urzędowi Marszałkowskiemu Województwa Śląskiego. Poniżej Program wszystkich spotkań poniżej. Zapraszamy do udziału w kolejnych wydarzeniach organizowanych w Zabrzu przez ISMR I FRK. A uczestnikom, którzy stworzyli razem z nami te niezwykle spotkania – ukłon podziękowania i szacunku.

KONFERENCJA ROBOTY MEDYCZNE/Medical Robots 2020

Piątek, 4 grudnia 2020

ZABRZE – Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii Zabrze im. prof. Zbigniewa Religi.

TELEKONFERENCJA

8.50 Reklamy/Program konferencji

9.00 OTWARCIE KONFERENCJI Cz.I

Zbigniew Nawrat; prezydent International Society for Medical Robotics, dyrektor kreatywny Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii, nauczyciel Katedry Biofizyki Śląskiego Uniwersytetu Medycznego, PL lider Digital Innovation Hub Healthcare Robotics HERO

WYKŁAD INAUGURACYJNY

9.05 Stanisław Czudek – Krótka historia początków robotyki chirurgicznej lat 90 tych.

Europejski Instytut Telechirurgii (EITS) w Strasburgu. Szpital Powiatowy w Zawierciu.

ROBIN HEART

9.20 Dariusz Krawczyk – Robot chirurgiczny Robin Heart ze sprzężeniem siłowym - postępy prac badawczych. Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof Zbigniewa Religi, Zabrze. Szkoła Doktorska, Śląski Uniwersytet Medyczny

9.35 Łukasz Mucha*, K.Lis**, K.Lehrich** – Stanowisko badawcze do wyznaczania statycznych charakterystyk mechanicznych manipulatora haptycznego RobinHand. *Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof Zbigniewa Religi, Zabrze. **Politechnika Śląska, Gliwice

AI - INSPIRACJE

9.50 Mikołaj Basza – Patient Centered Approach IRBA Founder & Co-founder of Sculo Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

10.10 W. Konrad Karcz, Dorian Andrade, Alexander Frank – The Cybernetic Hospitals REvolution in the Age of Artificial Intelligence. Clinic for General, Visceral and Transplant Surgery Hospital of the LMU Munich

10.30 Reklamy/Program konferencji/przerwa techniczna

REPORT DAY OF DIGITAL INNOVATION HUB IN HEALTHCARE ROBOTICS

11.00 Brecht Vermeulen – Digital Innovation Hub Healthcare Robotics 2019-2020 imec/Ghent University

11.15 Lars Lünenburger, Ellen Jaspers – Sensor-based arm and hand functional tele-rehabilitation with Armeo®Senso Hocoma

11.30 Lorna McKinley – Pal Robotics

11.45 Koen Beyers – Voxdale

12.00 Mateusz Węgrzyn – AMC TECH

12.15 Bartłomiej Stańczyk – Accrea

12.30 IC Innovation Coach Round Table Discussion – Brecht Vermeulen (Voxdale), Peter Wolf (AMC, Hocoma), Zbigniew Nawrat (ACCREA), Jordi Escuder (Pal) &

12.45 SME Entrepreneurs Round Table Discussion – Bartłomiej Stańczyk (Accrea), Mateusz Węgrzyn (AMC TECH), Lars Lünenburger (Hocoma), Lorna McKinley (Pal Robotics), Koen Beyers (Voxdale) & ...

13.00 Tele DiH HERO Workshop – Invitation to the robot show and workshop Testing of medical robots in the FRK Foundation of Cardiac Surgery, Zabrze, Poland The show is hosted by Dariusz Krawczyk, Łukasz Mucha, Krzysztof Lis, Michał Froń, Zbigniew Nawrat

WSPARCIE INNOWACJI MEDYCZNYCH: MIASTO/WOJEWÓDZTWO/PAŃSTWO/EUROPA S TOWARZYSZENIA/KLASTRY

13.20 Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego (Aleksander Kotulecki), MedSilesia (Izabela Czeremcha). Life Science (Kazimierz Murzyn). Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej (Zbigniew Nawrat), Startup City Zabrze (Janusz Dramski). Aleksander Kotulecki „Oferta Województwa Śląskiego w zakresie wsparcia internacjonalizacji małych i średnich przedsiębiorstw”

13.45 REKLAMY/PROGRAM KONFERENCJI/PRZERWA TECHNICZNA

II FORUM Robotyki Medycznej

Konferencja Robotyki Medycznej 2020 Pionierzy chirurgii da Vinci

- | | |
|---------------|---|
| 14.00 - 14.20 | Wojciech Witkiewicz / Marek Zawadzki
Wprowadzenie do robotyki chirurgicznej w Polsce
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny we Wrocławiu |
| 14.20 - 15.00 | Sławomir Marecik
Przyszłość robotyki w chirurgii jelitowej i nie tylko.
University of Illinois Chicago, Advocate Lutheran General Hospital, Park Ridge, USA |
| 15.00 - 15.20 | Paweł Wisz
Standardy szkolenia chirurgów v. efektywność metod robotycznych
NEO Hospital Kraków, Kierownik Centrum Chirurgii Robotycznej NEO Hospital, Urolog (PW) |

Forum - Dyskusja Okrągłego Stołu

„Roboty chirurgiczne - medycyna, biznes, biznes, prywatni, publiczni”
Moderator sesji: dr hab.n.med Zbigniew Nawrat, prof IPS

Zaproszeni uczestnicy dyskusji:

dr n. med. **Paweł Wisz** – NEO Hospital Kraków, Kierownik Centrum Chirurgii Robotycznej NEO Hospital, Urolog (PW)
dr n. med. **Piotr Kania** – Mazowiecki Szpital Specjalistyczny w Siedlcach – Kierownik Centrum Chirurgii Robotowej w Szpitalu, Urolog (PK)
dr n. med. **Jacek Doniec** – Wojskowy Instytut Medyczny w Warszawie – Kierownik Centrum Chirurgii Robotowej w Szpitalu, Ginekolog (JD)
dr n. med. **Krzysztof Kaseja** – Państwowy Szpital Kliniczny Nr 2 Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie – Koordynator Ośrodka Chirurgii Robotowej Szpitala (KK)
Joanna Szyman – Prezes zarządu NEO Hospital (JS)
Artur Ostrowski – Członek Zarządu Synektik SA (AO)

- | | |
|---------------|---|
| 15.20 - 15.40 | Programy szkoleniowe w Polsce z perspektywy poszczególnych operatorów, 20 minut (PW, AO, PK, JD, KK) |
| 15.40 - 16.00 | Doświadczenia kliniczne z dotychczasowej praktyki robotowej 20 minut (PW, PK, JD, KK) |
| 16.00 - 16.15 | Program badawczo-rozwojowy w dziedzinie chirurgii robotycznej 15 minut (PW, JS) |
| 16.15 - 16.30 | Oczekiwania wobec przyszłych technologii następnych generacji 15 minut (PW, PK, JD, po potwierdzeniu KK) |
| 16.30 - 16.50 | Co dzisiaj utrudnia upowszechnienie rozwiązań opartych na robotach medycznych. 20 minut (PW, PK, JD, JS, AO) – dane z raport PMR, szkolenia + kwestia finansowania zabiegów |
- Podsumowanie: Zbigniew Nawrat

Dyskusja Okrągłego Stołu

„Usługi medyczne w czasie pandemii CoVid – roboty/AI/organizacja”

Moderator sesji: Zbigniew Nawrat

Zaproszeni uczestnicy dyskusji:

Ppłk **Przemysław Romelczyk** (specjalista, Departament Wojskowej Służby Zdrowia MON, Centrum Eksperckie ds. Medycyny Wojskowej NATO w Budapeszcie (NATO MILMED COE) na Węgrzech. Podczas trwającej pandemii, dodatkowo uczestniczy w pracach grupy roboczej NATO do spraw COVID-19)

W. Konrad Karcz (lekarz, Clinic for General, Visceral and Transplant Surgery Hospital of the LMU Munich)

Joanna Szyman (prezes NEO Hospital)

& pozostali

18.00 Zakończenie pierwszego dnia Konferencji i Forum – Zbigniew Nawrat

Akademia ISMR International Society for Medical Robots Academy

Akademia sztuki budowania robotów medycznych Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej.

SOBOTA 5 grudnia 2020

TELEKONFERENCJA

8.50 Reklamy/Program konferencji

OTWARCIE AKADEMII

9.00 **Zbigniew Nawrat**; prezydent International Society for Medical Robotics, dyrektor kreatywny Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii, nauczyciel Katedry Biofizyki Śląskiego Uniwersytetu Medycznego, PL lider Digital Innovation Hub Healthcare Robotics HERO

9.05 **Zbigniew Nawrat** – „...by roboty stały się medyczne...” FRK,SUM,ISMR

9.30 **Józef Kozak** – Poszukiwania patentowe w zasobach Europejskiego Urzędu Patentowego (EPO) do określenia nowości stanu techniki (State of the Art) w Inżynierii Biomedycznej w celach naukowych i biznesowych. Aesculap, Tuttlingen, Niemcy oraz AGH, Kraków, Polska

10.15 **Edi Pyrek** – AI & Etyka Co- founder Hanson Robotics Europe

11.00 **Józef Kozak** – Regulatory Affairs of Medical Devices and Quality Management. Zajęcia w ramach modułu obejmują referat na temat rozporządzenia (EU) 2017/745 w sprawie wyrobów medycznych, które weszło w życie w dniu 25 maja 2017 r. Jest ono również nazywane Medical Device Regulation (MDR) lub „Europejskim rozporządzeniem w sprawie wyrobów medycznych” Aesculap, Tuttlingen, Niemcy oraz AGH, Kraków, Polska

AKADEMIA – KONFERENCJA ROBOTY MEDYCZNE 2020 Cz.II

12.00 **Krzysztof Mianowski** – Roboty medyczne inspirowane naturą, Politechnika Warszawska

SESJA ROBOTY REHABILITACYJNE

12.20 **Dominika Adamczyk**, Jacek Jankowski* – Zastosowanie egzozoskieletów w rehabilitacji ruchowej u pacjentów ze stwardnieniem rozsianym, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, *Szkoła Doktorska SUM

DYSKUSJA OKRĄGŁEGO STOŁU – ROBOTY REHABILITACYJNE

Udział biorą:

Mirosław Szymelnyec (LUNA – Egzotech)

Krzysztof Cygon (Technomex)

Andrzej Michnik (ITAM Łukasiewicz)

SESJA INSPIRACJE STOMATOLOGIA

- 13.00 **Kacper Wachol** 1,2, Tadeusz Morawiec 1,2, Patryk Kownacki 1,2, Rafał Rój 2, Anna Nowak-Wachol3, Bartłomiej Kubaszek 1 – Wykorzystanie dynamicznej nawigacji implantologicznej w aspekcie czynników prozapalnych śliny., 1 – Zakład Chirurgii Stomatologicznej w Bytomiu, Katedra Chirurgii Czaszkowo-Szczękowo-Twarzowej i Chirurgii Stomatologicznej, Wydział Lekarski z Oddziałem Lekarsko-Dentystycznym SUM w Zabrze, 2 – Specjalistyczna Przychodnia Lekarsko-Stomatologiczna "Comfortdent", Katowice, ul. Zabrska 14/1, 3 – Zakład Propedeutyki Stomatologii, Katedra Stomatologii Zachowawczej z Endodoncją, Wydział Nauk Medycznych SUM w Zabrzu

SESJA AI – INSPIRACJE

- 13.15 **Iga Paszkiewicz**, Jakub Kufel – Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w klasyfikacji chorób klatki piersiowej na zdjęciach RTG. Studenckie Koło Naukowe im. Prof. Zbigniewa Religii przy Katedrze Biofizyki, Wydział Nauk Medycznych w Zabrzu, Śląski Uniwersytet Medyczny. W Katowicach

SESJA SMARTFON- INSPIRACJE

- 13.30 **Mateusz Daniol** – Kształcenie studentów inżynierii biomedycznej z dziedziny szybkiego prototypowania, medycyny opartej na smartfonach oraz wprowadzania innowacyjnych rozwiązań medycyny spersonalizowanej. Szkoła Doktorska AGH, Kraków

SESJA COVID ROBOTY

- 13.45 **Krzysztof Starszak**, Michał Smoczok, Weronika Starszak – Technologia w służbie pacjenta – Rola nowych rozwiązań w kontekście pandemii COVID-19. Studenckie Koło Naukowe im. Prof. Zbigniewa Religii przy Katedrze Biofizyki, Wydział Nauk Medycznych w Zabrzu, Śląski Uniwersytet Medyczny.

14.00 ZAKOŃCZENIE KONFERENCJI ROBOTY MEDYCZNE 2020

Zbigniew Nawrat; prezydent International Society for Medical Robotics, dyrektor kreatywny Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii, nauczyciel Katedry Biofizyki Śląskiego Uniwersytetu Medycznego, PL lider Digital Innovation Hub Healthcare Robotics HERO

KONFERENCJE Roboty Medyczne 2020
WSPIERA FINANSOWO
URZĄD MARSZAŁKOWSKI WOJEWÓDZTWA ŚLĄSKIEGO
Dziękujemy!



Województwo
Śląskie

inSilesia

**SILESIA INVESTOR AND EXPORTER
ASSISTANCE CENTER**

XIX Konferencja Roboty Medyczne – ZABRZE 2021 – Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii

Zbigniew Nawrat

prezydent Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej

Kolejna, już XIX edycja pewnie najstarszej na świecie cyklicznie odbywającej się konferencji poświęconej robotom medycznym - XiX Konferencja Roboty Medyczne / Medical Robots 2021 (MR 2021) odbyła się w typowym czasie, czyli na początku grudnia. Konferencja w wersji Tele odbyła się w piątek 3 grudnia 2021 r. Organizatorem konferencji jest Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. Prof. Zbigniewa Religi (FRK) i Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej ze wsparciem Śląskiego Uniwersytetu Medycznego.

Konferencja na platformie Zoom i YouTube była dostępna dla każdego i za darmo (Rys.1). Tele-spotkania mają swoje znane wady i ograniczenia ale jedną zaletę – można ją nagrać. Jeśli ktoś nie zdążył, nie mógł a chciałby – zapraszam na nasz portal FRK na YouTube (Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii Zabrze - YouTube) gdzie materiały zgromadzone ze wszystkich naszych spotkań zawsze będą dostępne.

W bogatym programie konferencji poznaliście roboty medyczne, ich twórców i użytkowników. Konferencję rozpoczął o godz. 13 wykład inauguracyjny w którym prof. **Kosta Jovanović** z Belgrade University („Robotic innovations in response to the COVID-19 pandemic - a pan-European perspective”) podsumował osiągnięcia projektu europejskiego DiH HealthcareRobotics HERO koordynowanego przez University Twente w Holandii. FRK z Zabrze jest również partnerem tego projektu opiekując się naszą częścią Europy. Nasz wykładowca doświadczenie zawodowe zdobywał w Niemieckim Centrum Lotniczym (DLR), Politechnice Monachijskiej oraz firmie SMS Siemag, wszystkie w Niemczech. Jego zainteresowania badawcze to fizyczna interakcja człowiek-robot oraz roboty współpracujące. Potem zaprosiliśmy na sesję ortopedii i rehabilitacji. Wystąpił prof. **Józef Kozak** z wykładem „Zwyrodnienia szkieletu w procesie starzenia się i ich wpływ na patologię kręgosłupa, stawu biodrowego i kolanowego” z niemieckiej firmy Aesculap, B Braun. Nasz gość, prof. Józef Kozak, jest pionierem, opracował i wdrożył pierwszą na świecie nawigację stosowaną w ortopedii. Potem był czas na przedsiębiorców: dwie gliwickie firmy: Technomex i EGZOTech. **Krzysztof Cygoń**, wraz z **Grzegorzem Boczulą**, ujawni tajniki stosowania egzoskieletów i zrobotyzowanej rehabilitacji. Technomex to firma,



*Rysunek 1. Materiały z konferencji dostępne pod adresem:
<https://www.youtube.com/watch?v=cpMKbkipOL4>*

która łączy naukę, technikę, produkcję, wdrażanie i... opiekę nad pacjentami. To w znacznym stopniu dzięki Krzysztofowi Cygoniowi firma Technomex była na pierwszym miejscu w rankingu sprzedaży i wdrożeń egzoskieletów EksoBionic w Europie. Kolejną firmę, największego producenta polskich robotów rehabilitacyjnych, przedstawiła **Anna Poświata** „Luna – zrobotyzowana rehabilitacja” EGZOTech, Gliwice. Firmę EGZOTech założył w 2013 r. Michał Mikulski, gliwiczaniek od urodzenia. Gliwicka firma Egzotech zajmuje się badaniami oraz opracowaniem innowacyjnych robotów rehabilitacyjnych i urządzeń elektrodiagnostycznych dla fizjoterapii, neurorehabilitacji i terapii zajęciowej. Do końca 2019 r. zainstalowano ponad 120 robotów Luna EMG – to zaawansowany system robotyczny, który pomaga w rehabilitacji kończyn górnych i dolnych osobom ze znacznymi niedowładami neurologicznymi i pacjentom ortopedycznym. tego typu robotów w ponad 20 krajach na całym świecie. Robot zdobył wiele nagród i wyróżnień, m.in: TOP8 Startup Worldwide od Google for Entrepreneurs i Worldwide Winner Reddot Award za projekt Luna EMG. W ciągu ostatnich czterech lat firma Egzotech osiągnęła niemal 3000 % wzrost przychodów. Luna to obecnie jedno z najlepiej sprzedawanych robotów rehabilitacyjnych w Europie. Dr Anna Poświata, absolwentka AWF w Katowicach jest kierownikiem klinicznym EGZOTECH, to ona odpowiada za wszystko co dzieje się pomiędzy produktami firmy a pacjentami.

W czasie konferencji spotkaliśmy znakomitych naukowców takich jak **Andrzej Michnik** (Sieć Ba-

dawcza Łukasiewicz, Instytut Techniki i Aparatury Medycznej i Politechnika Śląska, Zabrze); **Agnieszka Kobierska**, **Łukasz Frącczak**, **Piotr Rakowski**, **Leszek Podśędkowski** (Politechnika Łódzka), **Katarzyna Ciemny** (Uniwersytecki Szpital Dziecięcy w Krakowie), **Krzysztof Mianowski** (Politechnika Warszawska), **Krzysztof Lis** (Politechnika Śląska), **Roman Trochimczuk**, **Rafał Kryński**, **Adam Wolniakowski** (Politechnika Białostocka), **Piotr Sauer** (Politechnika Poznańska), **Jacek Jankowski**, **Jakub Kufel** (Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze), **Łukasz Mucha**, **Dariusz Krawczyk** (Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi w Zabrze). Byli również studenci **Agata Ogrodzka**, **Gabriela Pacholicka**, **Galust Tovmasyan**, **Natalia Ponomarenko**. (Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Me-

dycznych w Zabrze), **Nasser Almarri** „How I built my first medical robot” Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Medycznych w Katowicach, **M. Froń**, **P. Przysała**, **W. Panfil** (Politechnika Śląska w Gliwicach), **Bartłomiej Kubaszek** (Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze).

W konferencji nie zabrakło oczywiście zabrzańskich akcentów i kolejnych innowacji wprowadzanych do robota Robin Heart. Konferencja zakończyliśmy po godz. 20. Jeśli dodamy uczestników obecnych w czasie konferencji i tych, którzy odtworzyli ją na YouTube to osiągamy liczbę ponad 1000. Przed nami kolejna, XX Konferencja – serdecznie zapraszamy autorów i słuchaczy, bo inspiracji i robotów nie zabraknie.

XIX Medical Robots/ROBOTY MEDYCZNE 2021

PROGRAM

Piątek 3 grudnia

13.00. OTWARCIE KONFERENCJI

Zbigniew Nawrat prezydent International Society for Medical Robotics

13.10 KEYNOTE LECTURE

Keynote speaker: **Kosta Jovanović**, University of Belgrade

Robotic innovations in response to the COVID-19 pandemic - a pan-European perspective

14.00 SESJA ORTOPEDII I REHABILITACJI

14.00 **Józef Kozak** – „Zwyrodnienia szkieletu w procesie starzenia się i ich wpływ na patologię kręgosłupa, stawu biodrowego i kolanowego” Aesculap, B Braun, Germany

14.20 **Krzysztof Cygoń**, Grzegorz Boczuła „Egzoskielety i zrobotyzowana rehabilitacja”. Technomex, Gliwice

15.00 **Anna Poświata** – „Luna – zrobotyzowana rehabilitacja” EGZOTech, Gliwice

15.30 **Andrzej Michnik** – „Interfejsy mózg-komputer” Sieć Badawcza Łukasiewicz, Instytut Techniki i Aparatury Medycznej i Politechnika Śląska, Zabrze

15.55 **Agnieszka Kobierska**, **Piotr Rakowski**, **Leszek Podśędkowski** – „Jak mierząc przyspieszenie ziemskie ortopeda może ustalić położenie kości” Politechnika Łódzka

16.10 **Piotr Sauer** – „Automatyczna orteza stawu kolanowego” Politechnika Poznańska

16.25 SESJA INSPIROWANE PRZEZ COVID

16.25 **Katarzyna Ciemny** – „Szpital CoVidowy – techniczne aspekty utrzymania standardu w sytuacji kryzysu pandemicznego...” Uniwersytecki Szpital Dziecięcy w Krakowie

16.40 SESJA SZTUCZNE NARZĄDY

16.40 **Krzysztof Mianowski** – „Postępy rozwoju technologii robotowej – sztuczna ręka”. Politechnika Warszawska

16.55 **Zbigniew Giebułtowiec**, **Adrian Banaszak**, **Łukasz Mucha** – „Jednostka napędowa komór wspomaganie serca POLVAD – ide, projekt, badania” FRK INTRACORDIS, Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi w Zabrze

17.10 SESJA INNOWACJE ROBOTY MEDYCZNEJ

17.10 **Łukasz Frącczak**, **Katarzyna Koter**, **Sandra Zarychta**, **Leszek Podśędkowski** – „Robot wężopodobny do diagnostyki jelit” Politechnika Łódzka

17.25 **Mateusz Wąsik**, **Łukasz Mucha**, **Krzysztof Lis** – „Design optimization of innovative haptic motion controller RobinHand” Politechnika Śląska i Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii

17.40 **Roman Trochimczuk** – Politechnika w Lublinie **Rafał Kryński**, dr inż. **Adam Wolniakowski**, dr inż. **Roman Trochimczuk** – Pozycjonowanie ramienia robota w trybie teleoperacji i z zachowaniem stałopunktowości przemieszczeń narzędzia – wybrane zagadnienia, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Instytut Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki, Katedra Automatyki i Robotyki

18.00 SESJA STUDENCKA

- 18.00 **Agata Ogrodzka**, Gabriela Pacholicka, Galust Tovmasyan, Natalia Ponomarenko – „Roboty medyczne domowe – ankieta” Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze
- 18.15 **Nasser Almarri** – „How I built my first medical robot” Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Medycznych w Katowicach
- 18.30 **M. Froń**, P. Przyszałka, W. Panfil – „Robotyka kosmiczna będzie miała zastosowanie nie tylko w kosmosie, czyli podsumowanie studenckiego projektu łazika planetarnego Silesian Phoenix”, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska w Gliwicach.

SESJA INSPIRACJI

- 18.45 **Bartłomiej Kubaszek**, Tadeusz Morawiec, Kacper Wachol, Joanna Śmieszek-Wilczewska, Flora Menzel Armand Cholewka – „Ocena radiologiczna skuteczności rekonstrukcji defektów kostnych wyrostka zębodołowego szczęki i części zębodołowej żuchwy z wykorzystaniem autogennej macierzy zębinowej” Katedra Chirurgii Stomatologicznej, Bytom, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Katowice, Uniwersytet Śląski w Katowicach

19.00 ROBOTY MEDYCZNE OD DEFINICJI DO PRAKTYKI – DLACZEGO?

- 19.00 **Jacek Jankowski**, Jakub Kufel, Zbigniew Nawrat – „Roboty diagnostyczne czyli od roboty do diagnozy...” Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze
- 19.15 **Dariusz Krawczyk**, Piotr Kroczyk, Michał Froń, Zbigniew Nawrat – „Przygotowania robota Robin Heart do pierwszego w Polsce eksperymentu teleoperacji z zastosowaniem technologii 5G” Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im prof. Zbigniewa Religi w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze
- 19.30 **Zbigniew Nawrat** – „Róbmy roboty medyczne” Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze

20.00 ZAMKNIĘCIE KONFERENCJI.

Serdecznie zapraszamy. Nie może Was zabraknąć na kolejnych odsłonach Medical Robots.

Zbigniew Nawrat – prezydent Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej

International Society for Medical Robotics ACADEMY in coalition with Digital Innovation Hub Healthcare Robotics HERO and on behalf of the host of the meeting – the Prof. Zbigniew Religa Cardiac Surgery Development Foundation – 29.09.2021 organized a meeting with a medical robotics master and absolute free software guru, the legendary American hacker:

"Universal, free access to health services – opportunities and threats"

16.15 – 17.00 Zbigniew Nawrat – "Robots, Freedom and Its Implications for Medical Service"

17.00 – 18.30 Richard Stallman – "Free Software and Its Political / Ethical Implications for Medicine"

We met to discuss the impact of free access to software source codes on the development of medical services, those based on robots and software. We touched upon all the topics of robotics and software, information security and patient safety. After all, a robot is just an intelligent combination of sensors, through software, with mechanical work. One of the topics was artificial organs and the dangers of remote control of them. Richard was deeply involved in the case and promised to support the development of medical robotics. A few hours earlier, in a secret ballot of ISMR members, he had been elected an honorary member of the association. He accepted the new dignity with satisfaction. Richard listened with interest to the information about our ISMR & HERO activities and said that we can count on his support. In general, he congratulated us for our activity in an important field of study for people and their health. However, he asked us to remember that development requires the involvement of many free people and we must not accept the legal and technical barriers of our participation in the development of software and knowledge "what is happening behind our data?" Let's also remember his Free Software Foundation.



RAPORTY

- 2022 XX Konferencja Roboty Medyczne
- 2022 ISMR Academy
- III Forum robotyki medycznej
- HERO Report Day 2022

Jak co roku, już dwudziesty raz, spotykaliśmy się w grudniowy piątek, by podsumować rok robotyki medycznej na świecie i określić miejsce Polski na tej mapie sukcesów. Konferencja Roboty Medyczne została zainicjowana w czasie tworzenia polskiego projektu robota chirurgicznego Robin Heart i również w tym roku zaprezentowaliśmy kolejne innowacyjne elementy rodziny naszych robotów i mechatronicznych narzędzi chirurgicznych. Tym razem był to sys-



tem teleoperacji z aktywnym sprzężeniem siłowym oraz aplikacją sztucznej inteligencji w torze wspomagającym decyzje operatora. Pokaz został powiązany warsztatami testowania robotów medycznych w ramach DIH Healthcare Robotics HERO. W tym pokazie mieliśmy również na scenie roboty Solarbot i Aria fiemy ACCREA, która była beneficjentem kilku grantów z puli tego europejskiego grantu. W czasie Medical Robotics Show można było na miejscu poznać kilka wymienionych robotów medycznych, ale wśród nich największym magnesem dla widzów pewnie był francuski robot MELODY. W czasie konferencji uczestniczyliśmy „na żywo” w pokazie tele-diagnostyki USG na dystansie Polska-Francja (Philip Homsy, AdEchoTech). W Zabrze umieszczona była końcówka sterowania sondą USG umieszczoną nad pacjentem znajdującym się pod Paryżem. Poznaliśmy nowości w dotyczących medycznej wersji robota Sophia, która nazywa się Grace. Dzięki połączeniu



z Hong Kongiem, gdzie w firmie Davida Hansona był David Lake, który odpowiada za projekt medycznego robota humanoidalnego (w ramach nowej firmy Awakening Health Limited). Otrzymaliśmy też pełną instrukcję stosowania gliwickiego robota rehabilitacyjnego LUNA – jednej najszybciej rozwijającej się firmy robotów medycznych w Europie EGZOTECH.

Otrzymaliśmy z "pierwszej ręki" osiągnięcia europejskiego projektu DIH Healthcare Robotics (Maren Bödding). W czasie Forum Robotyki Medycznej ze znakomitymi gośćmi panelu poruszamy tematy związane z edukacją, ekonomią, badaniami i wdrożeniami, produkcją, rynkiem robotów medycznych. Rozmawialiśmy z głównymi aktorami tych scen – był z nami prof. Wojciech Witkiewicz, dr hab. Marek Zawadzki (Wrocław), Krzysztof Jakubiak z Modern Healthcare Institute (Warszawa), dr Artur Banach z Harvard Medical School/Brigham and Women's Hospital, prof. Jacek Cieślak (AGH, ale łącznie z jego pobytu w Kazachstanie), Janusz Dramski I-szy Wiceprezes w Regionalnej Izbie Gospodarczej w Katowicach, Startup Officer w Zabrze, Andrzej Michnik (ITAM, Lukaszewicz, Zabrze), dr Piotr Sauer (Politechnika Poznańska), dr. Kris B. Siemionow, M.D., Ph.D. is Tenured Associate Professor of Orthopaedics and Neurosurgery at the University of Illinois in Chicago. Medicalgorithmics S.A. Biofund Medicalgorithmics S.A.

Następnego dnia spotykaliśmy się w zupełnie innej atmosferze AKADEMII, rozważając z mistrzami różnych nauk humanistycznych, nauczycielami akademickimi, przedsiębiorcami, konstruktorami – aby porozmawiać o tym, czym powinny być roboty, by wy-

chodzić naprzeciw oczekiwaniom odbiorców, oczekiwaniom społecznym – w luźniejszej atmosferze Mistrz-Uczeń.

Zaprosiliśmy wszystkich, po dłuższej przerwie, do gościnnej zabrzańskiej FRK ale można nam było towarzyszyć na platformie Zoom i YouTube (w sumie prawie 15 godzinne dwa spotkania). Nasze nagrania z konferencji można znaleźć na portalu YouTube Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii. Zapraszamy do Zabrza na kolejne spotkania – wspólnie tworzymy kulturę tworzenia robotów medycznych.

Organizatorzy Konferencji:

- Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi
- Międzynarodowe Stowarzyszenie na rzecz Robotyki Medycznej
- Śląski Uniwersytet Medyczny
- WSPIERA NAS ŚLĄSKIE

Dziękujemy Urzędowi Marszałkowskiemu Województwa Śląskiego za wsparcie finansowe.

KONFERENCJA





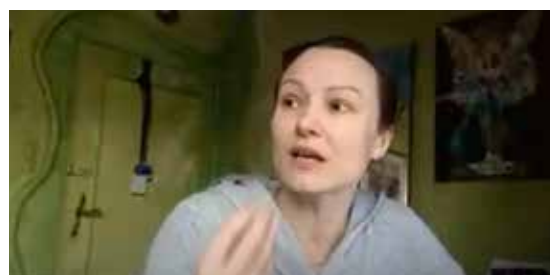
HERO Workshop: Surgical robot testing lab



FORUM ROBOTYKI MEDYCZNEJ



ACADEMIA



ZAPIS NASZEJ HYBRYDOWEJ
KONFERENCJI DOSTĘPNY JEST
NA PORTALU YouTube FRK:



Fundacja Rozwoju Kardiologii Zabrze
@fundacjarozywkardio2016 • 65 subskrybentów

ISMR ACADEMY

Simple (?) question

We learned that the world is made of atoms from a philosopher, robots were created by an artist, and the first Internet users were heroes of fantasy novels. It is difficult to bring into reality what was created in the imagination. All functional, economic, legal and ethical aspects of robotics or artificial intelligence are created by the method of trial and omission, because we cannot afford mistakes. As with an atom. But it is worth asking simple questions and trying to answer them. Medical robotics is a field that has already taken its first steps, so you can also infer something from experience. It does not change the fact that the sentences, opinions and sometimes controversial decisions presented below may be modified many times. Like all organisms, they evolve and... their offspring also.

#AI

AI – what is it?

By Zbigniew Nawrat

Faculty of Medical Sciences in Zabrze, Medical University of Silesia, Katowice, Poland

Foundation of Cardiac Surgery Development International Society for Medical Robotics

■ ARTIFICIAL INTELLIGENCE

In my opinion, **artificial intelligence is a part of robotics**. The source of the word robot is associated with the figure of an artificial man introduced by Czech Karel Čapek 100 years ago to the scene; R.U.R. Rossumovi Univerzální Roboti (Rossum's Universal Robots). Robotics is a technical discipline which deals with the synthesis of certain human functions through the use of mechanisms, sensors, executive assemblies and computers. Because human have a brain – artificial intelligence is an integral part of robotics.

Generally, artificial intelligence was created to link machinery communication with human intelligence. A robot is an artificial man or part of it, a humanoid robot, artificial organs or artificial intelligence.

The traditional definition of robot means artificial man. From this point of view, the robot should have the ability to move (the ability to perform mechanical work) and the ability to make decisions based on information provided by its senses (intelligence).

In medicine, artificial intelligence can definitely play a positive role in developing strategies and controlling tactic solutions for operations and generally health services.

The art of robotics is based on an intelligent combination of mechanical work and information management obtained by sensors.

AI & robotics transforms medicine. Intelligence is a way of drawing conclusions from the analysis of data obtained from sensors, signals or images.

ISO/IEC 22989:20201 contains the following defi-

inition of AI: **'AI – capability to acquire, process, create and apply knowledge, held in the form of a model, to conduct one or more given tasks'**.

In June 2022, the Coalition for AI in Health prepared – the White Book of AI in clinical practice. Basically the document shows how much there is to be done.

Let's start with the fact that The legal definition of AI has not yet been adopted (although legislative work related to it is in progress at the level of EU law). There are many definitions of **AI, in simplified terms, 'it can be assumed that it is software that is based on previously collected knowledge, and on the basis of the obtained data, performs the assigned tasks, his task, while perfecting himself'**. 'The legal framework for the use of AI is still in the process of being developed. Currently, AI can be legally used in clinical practice, but one should remember to comply with the rules resulting, inter alia, from patient's rights and the requirements related to the performance of medical professions'. [1]

'The obligation to respect patients' rights applies to, among others, medical professionals and health-care entities. Although AI may help, for example, in the process of admitting patients to treatment, suggest its optimal course, and even provide the patient with advice, it does not replace a doctor, other medical workers or a medical entity. Thus, AI does not have to follow patient's rights, but the person who uses them does.'[1]

'The patient has the right to information, inter alia about the proposed and possible diagnostic

and treatment methods and the foreseeable consequences of their use or omission. This means, in particular, the right to information about the availability and use of AI in the provision of health services.' [1]

'AI should be treated as a tool in the hands of a medical professional, which may provide support for many processes, not only diagnostic and therapeutic, but also scientific, research, organizational and management. AI does not replace a medical professional, does not make decisions for them, does not provide health services for them, and does not make a judgment on his / her own health.' [1]

'Education in the field of AI is of key importance from the perspective of the development and popularization of this technology, as it can potentially shape realistic opinions of medical professionals with regard to AI, improve their competences in this field and translate into an increase in the safety of using the technology in question'[1]

Like any tool, it must be used in the right way. AI learns from examples. The more repetitive situations analyzed, the better the reaction to the discovered pattern. AI will not make us immune to stupidity. We have to educate it in the right way, on the right data, and we ourselves – we humans – have to learn to use it.

Control. 'Man should remain in control of AI systems. Human beings, in particular, should make the final medical decisions.' [1]

What is important? Transparency, explainability, understandability. Responsibility.

Inclusiveness. AI in health care should be designed in a way that encourages the widest and fair use and access possible, regardless of age, gender, income, race, ethnicity, sexual orientation, abilities or other characteristics protected under human rights codes.

Responsiveness. Designers, developers and users should continuously and transparently evaluate AI applications during their actual use to determine whether AI is adequately and appropriately responding to expectations and requirements. In our opinion, the responsiveness of AI systems should be subject to further clarification and standardization

Following the White Paper, we provide an overview the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on harmonised rules on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain Union Legislative Acts [2].

The definition of AI used in the Artificial Intelligence Act project is very broad. It includes not only **software based on machine learning mechanisms, but also e.g. knowledge bases and search methods**. In April 2022, a new version of the Artificial Intelligence Act project appeared, introducing changes e.g. in terms of the definition of AI. Originally, such a system means **software, developed using one or more of the techniques**

and approaches listed in Annex I, that can generate results for a given set of human-defined purposes.

A change was proposed whereby the results would not need to be determined by humans. Moreover, the hypothesis was added to the catalog of potential results for the operation of AI systems.

On May 26, 2021, the application of new and extensive legal changes resulting from Regulation (EU) 2017/745 of the European Parliament and of the Council of April 5, 2017 on medical devices began, amending Directive 2001/83 / EC, and Regulation (EC) No 178/2002 and Regulation (EC) No 1223/2009 and repealing Council Directives 90/385 / EEC and 93/42 / EEC – hereinafter MDR (Medical Device Regulation).

For any advisory systems the key concepts are input and output. 'According to the guidelines of the Medical Device Coordination Group [3], any data provided to the software can be considered input data in order to obtain an output after it has been computed.

According to the guidelines of the Medical Device Coordination Group [3], any data generated by the software can be used as output.

The central rule relating to software that is a medical device in MDR Appendix VIII is Rule 11/185.

185 Rule 11:

Software designed to provide information to be used in making decisions for diagnostic or therapeutic purposes is in Class IIa, except where the consequences of such decisions are likely to result in: death or irreversible deterioration of the person's health, in which case the software is class IIa. III, or there is a serious deterioration of the individual's health or the need for surgical intervention, in which case the software is class IIb. Software designed to monitor physiological processes is in class IIa, except where it is intended to monitor vital physiological parameters, where a change in these parameters is likely to present an immediate risk to the patient in which case the software is in class IIb. All other software belongs to class I.

The problem is certification – especially important for AI, which is a medical device. In this context, attention should be paid to the different situation where AI software is introduced as a 'frozen', 'trained' tool in full (in fact, we use a ready-made tool) and when AI software is used with continuing learning from the data obtained during the process of providing health services (decision algorithms will develop additionally). The European legislator sees this as a problem, which is reflected in the Artificial Intelligence Act (cf. point 7.1.2.). Issue on the certification of artificial intelligence systems (but here it only refers to the assessment and confirmation of compliance with regard to the so-called quality assessment systems and technical documentation). [1]

The proposed regulation of the Artificial Intelligence Act may have significant consequences for producers. For example, in the case of high-risk AI systems, it will be necessary to introduce an additional risk management system (Art. 9 of the Artificial Intelligence Act) or to meet more stringent requirements regarding technical documentation (Art. 11 of the Artificial Intelligence Act), registers (Art. 12 of Artificial Intelligence Act), human oversight of the product (Art. 14 of the Artificial Intelligence Act) and cyber security (Art. 15 of the Artificial Intelligence Act) [1].

AI, on the other hand, is great for helping when the doctor has less information than usual – e.g. he has an X-ray image and no specialist's description, he performs operations using a less invasive method, that see less, cannot touch, and operates through small openings in the patient's body. After all, we know the human body, we know the anatomy, physiology, pathology, we have diagnostic data, we know the patient's interview, so we have the data that AI can analyze.

■ AI IN MEDICAL ROBOTS

AI and medical robots are a dream couple. They match themselves. Why? Because of communication: fast, accurate and digital. Full synergy and process optimization. It is somewhat anachronistic to use robots as telemanipulators, just as it makes no sense to steer a vehicle if it can drive itself to a destination. Of course, the key is the security criterion.

Autonomous robots, autonomous vehicles require an artificial brain and its education on examples. The world, its architecture, nature or man and his diseases are variable, determined and verified data in a given time and place. They need updating. That is, access to information sources. So sensors – sensitive, stable, reliable, resistant to various changes in the environment.

The **robot** is not a machine but an **IT device** that creates a great opportunity for the integration of an entire diagnostic system with the operator. This is a challenge for creating new tools, and both artificial intelligence and robots are one of them. The less invasive the surgery, the less visual and sensory information we have – the more the role of AI increases [4].

■ AUTONOMY OF MEDICAL ROBOTS

The autonomy of medical robots on a five-point scale (modeled on the SAE J3016 standard).

0. The lowest level, 0, is a lack of autonomy.

1. Level 1 is telemanipulation (remote control) with support. In these type of robots, some elements have been introduced to support operation automatically. It can be, for example, an emergency stop system for a robot in a hazardous situation.

Surgical robots such as da Vinci and Robin Heart are currently in this group.

2. Level 2 presents robots with the option of partly automated work. A robot that can perform one of the tasks in an automated manner, e.g. tying a node or orientation of the cam-vision track to a tool.

3. Level 3 is highly automated work. The system moves independently in the work space and scope of tasks but is able to assess the limits of its freedom. It notices that if the working conditions are outside the defined area, the operator must immediately take control of the robot. In the absence of such a reaction, the robot stops. Such robots are self-propelled robots for tele-presentation and so-called robotic nurses for communication and transport of various products and materials in hospitals.

4. Level 4 is fully automated work. The robot works independently but should be supervised, e.g. by a doctor, rescuer or physiotherapist. An example of a vehicle – a robot – included in this level is the autonomous Volvo XC90 used in Uber tests (in the vehicle there is a driver – a human verification element that can take over steering, after warnings from the control system). Such machines are currently computer tomography or robotic radio-surgical knives that move and operate in accordance with the planned trajectory and tasks specified before the surgery.

5. Level 5 means a robot working fully autonomously. The medical robot works independently, sharing space with the patient and medical staff, makes independent decisions and performs tasks provided for in its specialization. The robot has no tele-manipulation system. An example is the city car prototype developed by Google, Waymo Firefly, a car without a manual control system, including the steering wheel, gear lever or pedals. There are currently no such medical robots.

An evolutionary trend moves toward progressive automation. Medicine is the greatest challenge for this, the most difficult, but also the most important.

Let's add – there is a lot to do ahead of us, but ... it will pay off. According to analysts: AI in the healthcare market has been valued at \$ 8.23 billion in 2020 and is projected to reach \$ 194.4 billion by 2030. Due to the growing demand for minimally invasive surgeries, in which artificial intelligence technologies are supported, the widely used robot-assisted surgery segment will be characterized by an extremely high dynamic of 36.6% y / y.

For those interested in the role of AI in surgery, I recommend the book: 'Artificial Intelligence and the Perspective of Autonomous Surgery', which will be published this year by Springer, prepared by Gumbs / Karcz / Nawrat with the world's most distinguished representatives of medicine and AI technology as chapter authors.

BIBLIOGRAFIA

- [1] https://aiwzdrowiu.pl/wp-content/uploads/2022/06/BIA_A-KSIE_GA_AI-W-ZDROWIU_2022.pdf?fbclid=IwAR3m0glmokM1T3rRkQCvh2_9ymGBJN_n-RbU-ExpP9EI0k8Xjurg6g6HQYyM
- [2] https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/plmrep/COMMITTEES/CJ40/PR/2022/05-11/1254442EN.pdf
- [3] MDCG 2019-11 Guidance on Qualification and Classification of Software in Regulation (EU) 2017/745 – MDR and Regulation (EU) 2017/746 – IVDR, 2019, https://ec.europa.eu/health/system/files/2020-09/md_mdcg_2019_11_guidance_qualification_classification_software_en_0.pdf
- [4] Zbigniew Nawrat, MIS AI – the artificial intelligence application in minimally invasive surgery. *Mini-invasive Surg.* 2020. 4:28. 16 pages Open Access <https://misjournal.net/article/view/3464>

#Diagnostic Robots

A diagnostic robot – what is it?

By **Zbigniew Nawrat**

Faculty of Medical Sciences in Zabrze, Medical University of Silesia, Katowice, Poland

Foundation of Cardiac Surgery Development International Society for Medical Robotics

A **medical diagnosis** is the process of determining which disease or condition explains a person's symptoms with medical data.

Diagnostic methods are used to collect information in the form of a patient's history (interview), medical data (blood condition, secretions, ...), medical signals (blood pressure, ECG, EMG, ... – uses the measurement of physical signals), medical images (photography, ultrasobography, Tomography, MRI ... – uses the physical phenomena of interaction with the body).

The **medical diagnostic robot** is

1) a doctor's tool in performing measurements and / or collecting information (interview, questionnaire, data collection review) and / or data acquisition (storage + easy access = creation of personalized and cataloged files), and / or analysis, inference (proper diagnosis) and / or forecasting (predictive advisory programs)

2) replacing a doctor-diagnostician.

The robot is an intelligent combination of sensors with mechanical work and decision-making skills.

The diagnostic robot can therefore perform part of the measurement work independently on site or remotely in a controlled setting, but it is also a computer (smartfon) program (software) drawing conclusions regarding the evaluation of the collected data, observations, and measurements for a given patient.

Diagnostic robots are diagnostic tools in the form of a physical robot or any device with software in the form of an expert system.

The algorithm itself, the recipe itself, is not a robot, just as a book or a mathematical formula is not human. The key to distinguish them is interactivity, intel-

ligence, and the ability to react appropriately to input data – that is, just like a specialist (who uses textbook knowledge), a robot is a properly programmed device. In the best version, both can learn, i.e. modify their knowledge base and decision-making (deep learning).

We can also use the term **diagnostic robots** for measuring devices with mechanical parts and **diagnostic bots** – if they only have an intellectual, analytical part.

An example of diagnostic robots: tomography; diagnostic bots: Watson. In February 2013, IBM announced that Watson software system's first commercial application would be for utilization management decisions in lung cancer.

Medical diagnosis is the identification of the cause of a disease, injury, or abnormal physiological state. In a **physical examination**, **medical examination**, or **clinical examination**, a medical practitioner, diagnostician (*physician, physiotherapist, dentist, podiatrist, optometrist, nurse practitioner, healthcare scientist or physician assistant*) examines a patient for any possible medical signs or symptoms of a medical condition using **medical tests** (physical and visual exams, **diagnostic** imaging, genetic testing, chemical and cellular testing).

Robotic tools use sensors (visual, audible, electro-magnetic, mechanical, temperature, radiation...) and programmable precise movements, kinematics, signal analysis and signal transmission technologies to perform a physical examination of the patient. Unlike the basis of physical examination used by medical team: inspection, palpation (feel), percussion (tap to determine resonance

characteristics), and auscultation (listen), robotic tools can also use other physical phenomena such as x-ray or nuclear radiation, magnetic resonance of hydrogen nuclei, etc., to make millions of spatially ordered observations, assembling them into a computer spatial image of the patient's body and gathering information about local processes taking place in organs and cells obtained non-invasively (controlled harmfulness of the organism). Due to the fact that the applied physical phenomena are also harmful to the personnel – precisely the robotization of these diagnostic systems – also protects medical teams.

I propose to divide the diagnostic robots and diagnostic tools according to the physical / chemical / biological **phenomena used**:

1. visual (observation in visible light, eye examination),
2. laser
2. nuclear radiation
3. infrared radiation (thermal cameras, temperature measurement)
4. X-ray (X)
5. acoustic (auscultation, hearing test)
6. ultrasonic (ultrasound)
7. magnetic resonance imaging (NMR, MRI)
8. mechanical (pressure, strength and range of motion of the musculoskeletal system, chest movement while breathing, stress tests ...)
9. electric / magnetic (EKG, EMG, ..)
10. chemical (analysis of the composition of the exhaled air, etc.)
11. genetic
12. biochemical examination of secretions (urine, ...)
13. blood chemistry tests
14. bacteriological and virological tests ...
15.

The method of organizing diagnostic robots according to their **method of control**:

1. automatic measurement (e.g. X-ray control gates at airports, measuring medical boxes, measuring temperature of people, photos, cameras analyzing movement, e.g. falls in hospitals or nursing homes..., devices for long-term measurements, e.g. holters) with a computer part diagnosis of observed people and creating information sets and possibly making decisions, e.g. alarm ...
2. programmable measuring and diagnostic devices (computer tomographs, NMR, capsules for observation of the digestive system, a bed or chair using a specific sequence of movement for diagnostic measurements, etc.) with computer processing and presentation of data
3. diagnostic devices controlled at a distance by a specialist (e.g. making measurements by remotely

controlling the movement of the ultrasound probe, remotely controlled devices for assessing the movement system in the rehabilitation process, biopsy robot etc.)

4. autonomous external diagnostic robots – specialized testing devices that independently select and evaluate patients with a specific disease state

5. autonomous internal diagnostic robots – diagnostic implants, mini-, nano-diagnostic robots for diagnostics of organs and cells, lab-on-chip with a system for collecting, evaluating, and transmitting data

Mix – Diagnostic-therapeutic and diagnostic-rescue medical robots:

1. rescue robots for artificial respiration and heart massage

2. robots for medical transport with patient diagnostics (e.g. medical robots for the army and space expeditions or for saving people at sea, in caves or mines or in urban infrastructure, used during war, pandemic, catastrophes)

3. Diagnostic systems of continuous measurements operating in the loop of automatic supervision of executive systems, e.g. for patients with diabetes (external)

4. Implantable diagnostic devices that also have the ability to activate vital functions (pacemakers with cardioverters – heart diagnosis, analysis and specific action)

5. Artificial organs with an extensive diagnostic part (respirators, artificial lungs or an artificial heart responding to the patient's condition, orthopedic prostheses diagnosing the patient's condition, e.g. muscle spasticity and triggering a specific action).

Division of diagnostic AI robots according to the **time horizon**:

– diagnostic robots assessing the current state on the basis of current research

– prognostic robots assessing the future state on the basis of diagnostic tests

The diagnosis is at the beginning of the treatment process; it has a decisive influence on the patient's fate and the achievement of a positive result, as well as, the cost of the medical service. We have more and more data from more and more perfect measuring and imaging devices, and an insufficient number of specialists who can analyze this data, in addition, clinicians are sometimes wrong, so now there is a struggle to automate diagnostics. It is, in a sense, an experimental field for AI-based robot systems – the progress of all medical robotics depends on the success or failure of diagnostic robotics. If we succeed, we will have a paradigm shift in medical services from patient-technology-doctor to patient-technology system, i.e. to full health technology, in which devices will communicate with each other on the patient's path during the next stages of their treatment.

#Medical Robots

A medical robot – what is it?

By Zbigniew Nawrat

*Faculty of Medical Sciences in Zabrze, Medical University of Silesia, Katowice, Poland
Foundation of Cardiac Surgery Development International Society for Medical Robotics*

What is a robot and what is it not. Which of the robots is a medical robot. Let's start with ISO. ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). This document provides a vocabulary of terms and related definitions for use in ISO documents relating to robotics. It supports the development of new documents and the harmonization of existing International Standards. Future amendments might be published in order to harmonize with the ISO/TC 299 documents currently under development. Poniżej fragmenty ed.-2 i ed.-3.

■ 1. ISO

Key definitions (according to ISO 8373:2012 and ISO 10218-1:2011)

2.6 robot

actuated mechanism programmable in two or more **axes** (4.3) with a degree of **autonomy** (2.2), moving within its environment, to perform intended tasks

Note 1 to entry: A robot includes the **control system** (2.7) and interface of the control system.

Note 2 to entry: The classification of robot into **industrial robot** (2.9) or **service robot** (2.10) is done according to its intended application.

2.12 professional service robot

service robot for professional use

service robot (2.10) used for a commercial task, usually operated by a properly trained **operator** (2.17)

EXAMPLE:

Cleaning robot for public places, delivery robot in offices or **hospitals**, fire-fighting robot, and **rehabilitation and surgery robot in hospitals**.

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>

■ TERMS AND DEFINITIONS — GENERAL

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>

3.1 robot

programmed actuated mechanism with a degree of **autonomy** (3.2) to perform locomotion, manipulation or positioning

Note 1 to entry: A robot includes the **control system** (3.4).

Note 2 to entry: Examples of the mechanical structure of robots are **manipulator** (4.14), **mobile platform** (4.16) and **wearable robot** (4.17).

3.2 autonomy

the ability to perform intended tasks based on the current state and sensing, without human intervention

Note 1 to entry: For a particular application, the degree of autonomy can be evaluated according to the quality of decision-making and independence from human. For example, metrics for the degree of autonomy exists for medical electrical equipment in IEC/TR 60601-4-1.

3.3 robotic technology

practical application knowledge commonly used in the design of robots or their control systems, especially to raise their degree of **autonomy** (3.2)

EXAMPLE:

Perception, reasoning and planning algorithms.

3.4 control system robot controller

a set of hardware and software components implementing logic and power control, and other functions which allow monitoring and controlling of the behaviour of a robot (3.1) and its interaction and communication with other objects and humans in the environment

3.5 robotic device

a mechanism developed with **robotic technology** (3.3), but not fulfilling all characteristics of a robot (3.1)

EXAMPLE:

A teleoperated remote manipulator, haptic device, end-effector, and unpowered exoskeleton.

3.7 service robot

a robot (3.1) in personal use or professional use that performs useful tasks for humans or equipment

Note 1 to entry: Tasks in personal use, include handling or servicing of items, transportation, phys-

ical support, providing guidance or information, grooming, cooking and food handling, and cleaning.

Note 2 to entry: Tasks in professional use, include inspection, surveillance, handling of items, person transportation, providing guidance or information, cooking and food handling, and cleaning.

3.8 medical robot

a robot (3.1) intended to be used as medical electrical equipment or medical electrical systems

Note 1 to entry: A medical robot is not regarded as an industrial robot (3.6) or a service robot (3.7).

3.11 operator

a person designated to start, monitor and stop the intended operation

3.15 human–robot interaction (HRI)

HRI

information and action exchanges between a human and a robot (3.1) to perform a task by means of a user interface (6.18)

EXAMPLE:

Exchanges through vocal, visual and tactile means.

Note 1 to entry: Because of possible confusion, it is advisable not to use the abbreviated term 'HRI' for human–robot interface when describing user interface.

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en>

2. IFR

International Federation of Robotics – A non-profit organization since 1987. IFR represents more than 2,000 organizations from 25 countries.

From International Federation of Robotics Press Conference World Robotics 2021 | 28 Oct 2021

- 'Robot' defined by the International Standards Organization ISO (Sic!)
- Non-robots: software ('bots', AI, Robotic Process Automation-RPA) remote-controlled drones, UAV, UGV, UUV voice assisted autonomous cars, ATMs, smart washing machines, etc.

We can also note: 'Human-robot collaboration is still in its infancy' (bad news for improving technology that medical services need); 'Robots are crucial for cost-efficient production of green technology' (good news as hospitals are a source of high pollution and toxic waste); 'Service Robotics – TOP 5 Application trends' • AMR and delivery robots offering flexible solutions • Cleaning and disinfection + 50 companies due to Covid-19 • Medical and rehabilitation individual support • Social robots telepresence – particularly during Covid-19 • Automated restaurant staff support, reduce personal contact due to Covid-19'.

https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf

So according to ISO, medical robots are service robots for professional use> **medical service robot for medical professional use**; but according to IEC TR 60601-4-1:

'A medical robot is defined as 'robot intended to be used as medical electrical equipment or a medical electrical system' in IEC TR 60601-4-1. Medical electrical equipment / systems are terms roughly corresponding to 'active medical devices and systems using electric energy.'

In broader terms, this is important because, for example, the best-selling rehabilitation robot in 2020 – the LUNA robot – has only one axis, so according to ISO 8373 ed.-2 it is not a robot.

2. My consideration

The problem with the definition of a robot, i.e. a device for performing work, modeled on a human being, begins with the problem of the definition of work. Let's look at only two dictionaries – British (generally known and recognized) and Polish (because robot is a word of Slavic origin).

Britannica Dictionary definition of WORK

1

a: to have a job

b: to do things as part of your job

c: to do work in, on, or at (an area, event, etc.)

2

a: to do something that involves physical or mental effort

b: to force (someone or something) to do something that involves physical or mental effort

3: to use and control (something)

4: to perform or operate in the correct way

5

a: to have the intended effect or result

b: to have a particular effect or result

6: to cause (something) to happen

7: to move (something) into or out of a particular position slowly or with difficulty

8: to bring (something) into a desired shape or form by cutting it, pressing it, etc.

9: to talk to and try to gain the friendship or support of (the people in a group)

Wg Słownik Języka Polskiego PWN encyklopedia Polskie Wydawnictwo Naukowe – tylko 5 możliwości.

praca

1. «celowa działalność człowieka zmierzająca do wytworzenia określonych dóbr materialnych lub kulturalnych»

2. «wytwór takiej działalności, zwłaszcza w dziedzinie nauki lub kultury»

3. «zajęcie, zatrudnienie jako źródło zarobku; też: instytucja, w której się pracuje zarobkowo»

4. «funkcjonowanie organizmu, narządu lub urządzenia»

5. «wielkość fizyczna określająca ilość energii potrzebnej do przemieszczenia ciała materialnego w przestrzeni, równa iloczynowi wartości siły działającej na to ciało przez wartość przebytej przez nie drogi»

Wg. Encyklopedia PWN – dwie:

praca,

ekon., socjol. proces złożonej aktywności fizyczno-umysłowej, której celem jest przekształcenie szeroko rozumianego środowiska w ten sposób, by zwiększyć szanse przeżycia gatunku ludzkiego.

praca,

fiz. skalarna wielkość będąca miarą energii przekazywanej do układu fizycznego w procesach mechanicznych, elektrycznych i in.;

According to the PWN Dictionary of the Polish Language, the encyclopedia Polish Scientific Publishers – there are only 5 definitions.

job, work

1. 'deliberate human activity aimed at creating specific material or cultural goods'
2. 'a product of such an activity, particularly in the field of science or culture'
3. 'occupation, employment as a source of income; also: institution where you work for profit'
4. 'functioning of the organism, organ or device'
5. 'a physical quantity that determines the amount of energy required to move a material body through space, and is equal to the product of the force acting on this body by the distance traveled through it'

According to PWN encyclopedia – there are two possibilities to define job/work:

– in economics, sociology the process of complex physical and mental activity, the aim of which is to transform the broadly understood environment in such a way as to increase the chances of survival of the human species.

– phys. scalar quantity which is a measure of energy transferred to the physical system in mechanical, electrical and other processes;

So let's use the following algorithm:

If> A robot is an operator-controlled or self-controlled mechanism to perform tasks.

Then> A **medical** robot is an operator-controlled or self-controlled mechanism to perform **medical** tasks.

The robot should contain a decision transmission system from the operator or a decision-making system independently based on the analysis of information obtained from its own sensors or network database, and end effector – a part that works effectively on an external object / environment (there must be an effect of the performed work mechanical / electrical / optical / chemical / biological /).

If we extended the activity to the intellectual sphere, creating mathematical solutions (calculations), logical thinking (making an assessment), or creative activity in the field of art (medicine is still art, Sic!), Artificial intelligence would also be part of robotics, especially medical.

In my opinion, the work of a doctor is mainly about making decisions. So expert and advisory programs that undertake medical goals on the basis of an interview with the patient, an analysis of diagnostic data or own research are part of medical robotics.

We can define a robot as an electrically, pneumatically or hydraulically powered mechanism, a controllable device that performs mechanical work, and remotely controlled or autonomous in making decisions. Or – simply – as a programmable device to get the job done. For medicine – it is a device that performs work for healthcare: from cleaning, and sterilization to surgery. It can be defined regardless of the number of axes or the number of sensors.

The medical robot is an intelligent combination of sensor technology with healthcare work and decision-making skills.

The robot is one of the few words of Slavic origin, which entered the global language of modern science and technology. Robotics is a technical discipline devoted in principle to mechanisms, with robots performing selected human activities. The robot, unlike automaton, is a smart combination of perception (sensors) with action (mechanical work). The robot consists of a mechanical manipulator, a control and programming system. A fully autonomous robot acquires and processes information and takes specific physical action.

Medical robotics, as the technical discipline, deals with the synthesis of certain functions of the doctor or nurse by means of using some mechanisms, sensors, actuators and computers. It includes the manipulators and robots dedicated to support surgery, therapy, prosthetics and rehabilitation. Medical robots improve quality and create an opportunity to introduce new standards.

To shorten the discussion: a robot is a Slavic word meaning a person who performs work (in Polish, work being done = job = robota). So let's assume that a medical robot is a device that performs or supports the work performed within the framework of medical services by medical personnel. In this sense, a surgical robot is a tool to assist or replace the surgeon. The intervention or diagnostic robot – similar.

Since the doctor performs mechanical work (treatment specialties) and / or decision-making (collects and analyzes information, determines which drugs or procedures are best for a given patient), then he or she extends the definition of a robot from meas-

uring devices (e.g. a holter for automatic ECG measurements, collection, selection of infections) to advisory programs and other applications of decision algorithms in medical equipment: from cleaning, disinfection and transport to surgical operations and micro-devices supervising the body or automatically dosing (sensory analysis) drugs. From educating doctors to automatic pharmacies or evaluating medical images (radiologists), because that's what people do (did).

Important – as in medicine – is the target function. Even typical activity such as walking or eating a meal can be, after all, a form of medical activities. Similarly, devices become medical when they are used in a medical process, i.e. they have an impact on preventing disease or eliminating the effects of disease, pathology or injuries.

Let us add that since an artificial man is a robot, artificial organs also belong to this group. And there are artificial organs that use cells or biological tissues.

We come to conclusions. Let us use a slightly broader definition of a technical device. The dictionary definition of the term technical devices says that they are objects that enable the performance of specific activities. Technical devices consist of interconnected elements that constitute a coherent, functional whole characterized by a specific type of construction depending on the operating parameters and intended use.

To sum up. A medical robot is any technical or biological-technical device that performs a medical service; diagnostic, therapeutic, rehabilitative, rescue or is a necessary element of the decision-making or executive process of such a service; if it has intelligence, i.e. the possibility of appropriate reaction, action, movement modification or the result of data analysis (decision making) based on information (e.g. sensory or control).

A robot is not a software or a mathematical formula, just like a robot is not a technical documentation of a robot's execution. A computer or smartphone with an appropriate user interface, communication with sensors, or signal or image data – yes.

You can also use the indirect method. Any activity performed by a doctor, nurse, physiotherapist or other medical personnel in the process of medical services, if it is replaced by a device – it is a medical device, but if this device has elements of independence in the performance of work (access to sensory data or information databases) and makes decisions or enhances human skills in the process (telemanipulators), it can be called a medical robot.

Finally, I propose a view from the management perspective. The strategy of managing health care units requires the use of improvement methods (not only for business but also for ethical reasons) and there should be proof of the application of standards for all processes affecting the quality of services (i.e. measurements, verification, validation in accordance with the relevant ISO). The medical enterprise pursues medical, economic and social goals. One of the main goals of a medical enterprise is to obtain a high-quality service. Quality means 'customer satisfaction', the complexity of a hospital service consisting of, inter alia, from the processes of prevention, diagnosis, treatment, rehabilitation, evidence-based, EBM – Evidence Based Medicine, guidelines, and state-of-the-art knowledge in each field. The quality depends on the hospital equipment and the qualifications of the medical staff. The operation of the hospital is also subject to legal and ethical evaluation. In this sense, EVERY ROBOT used in medical and health services is a medical robot.

So we have the simplest answer to a simple question: What is a medical robot? Any robot used in medicine.



'DIH Robotics in Healthcare' & FRK that is a continuation of HERO

Zbigniew Nawrat • Dariusz Krawczyk

Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrzu, DIGITAL INNOVATION HUBS IN HEALTHCARE ROBOTICS

DIH-HERO (DIGITAL INNOVATION HUBS IN HEALTHCARE ROBOTICS) DIH-HERO (Digital Innovation Hubs in Healthcare Robotics) established a broad-based pan-European network of Digital Innovation Hubs specializing in Healthcare Robotics. DIH-HERO operate throughout the healthcare "pathway" that connects Prevention, Diagnosis, Treatment and Care as well as covering all aspects of hospital logistics and clinical services. It will also focus on home and care-based robotics addressing healthy aging and elderly care. DIH-HERO is supported by the European community (European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 825003)

'DIH Robotics in Healthcare' is an Europe-wide network connecting different regional eco-systems active in the robotics-in-healthcare domain. Digital Innovation Hub is a support center that helps enterprises to improve their competitiveness on the market, mainly through working on business and production processes, but also developing products and services including digital technologies. These centers operate as one-stop shops providing companies with access to technological facilities, financial support, market analysis or networking opportunities.

DIH HERO is currently working through projects, grants for SMEs – over 9 million euro is donated to the creation, development and implementation of new European medical robots. HERO GRANTS HERO grants are meant to provide financial support for eligible projects tailored to the five main application areas: Diagnostic Robotics, Interventional Robotics, Rehabilitation Robotics, Robotics supporting Patients, Robotics supporting Healthcare Professionals Travel vouchers: By providing SMEs with 200 travel vouchers for cross-border travelling up to a maximum amount of €2,000 per voucher, financial barriers that hinder connectivity are reduced and knowledge exchange is stimulated. The Technology Demonstrator call (max. € 100,000) is to stimulate cross-border collaboration among pan-European

companies (SME's and slightly larger companies) which are working in the area of Healthcare Robotics. Technology Transfer Experiment (TTE) call (max. €200,000) is to stimulate the transfer of technology from outside and creating new links inside the value chain [Information from: <https://dih-hero.eu/>].

DIH-HERO **1st Travel Voucher Call** was closed on 15th of December 2019. A total of 50 proposals have been received for this call. 38 proposals will receive funding for a total amount of 76,000 EUR. Selected proposals 39, cost €78,000 (<https://dih-hero.eu/wp-content/uploads/2020/04/TV-Public-evaluation-summary-.pdf>)

DIH-HERO **Technology Demonstrator Open Call 2019** was closed on 31st of January 2020. A total of 53 proposals from 23 pan-European countries have been received for this call. Selected proposals 13 (of 53), cost €1,276,000 (<https://dih-hero.eu/wp-content/uploads/2020/08/TD-Public-evaluation-summary-.pdf>)

DIH-HERO **Technology Transfer Experiment Open Call 2020** was closed on 15th of July 2020. A total of 42 proposals from 21 pan-European countries have been received for this call. Selected proposals 20, cost €3.954.816 (TTE-Public-evaluation-summary-.pdf (dih-hero.eu))

DIH-HERO **Fighting COVID-19 Open Call 2020** (Special emergency call) was closed on 17th of April 2020. A total of 146 proposals from 30 countries have been received for this call. Selected proposals 10, cost €930,000 (COVID-19-Public-evaluation-summary-.pdf (dih-hero.eu)).

DIH-HERO **Technology Demonstrator Open Call 2021** was closed on 30th of June 2021. A total of 24 proposals from 15 countries were received. Selected proposals 9, cost €895.882 (TD-Public-evaluation-summary-.pdf (dih-hero.eu))

Particularly noteworthy results of the first project during the pandemic. These results were summarized in the publication [1]. List of companies that received support and undertook to work quickly to help health services during the plague, production

of medical robots: Voxdale (Belgium) ROB-ID (Robot for Intradermal Drug Delivery), F&P Personal Robots Autonomous Sanitiser and Assistant Lio (Switzerland), Akara (Ireland) Autonomous Sanitiser and Assistant Lio JMR Jonker Makis Robotics (Belgium), Autonomous mobile disinfection robot SAM-Air, Hocoma (Switzerland), Tele-AX Metralabs (Germany) STERY – Portable and agile autonomous disinfection robot, ACCREA Eengineering (Poland) DisiRT (DISinfecting RoboT), Kelo Robotcs GMBH (Germany), ARODIS (Autonomous robots for disinfection), Rubedos (Lithuania) UDS (Unmanned Disinfection Solution), Pal Robotics (Spain) Fast Deployment of Autonomous Vehicles to Help Hospital Staff Fight COVID-19.

Let us quote [1]: „In .. analysis of the DIH-HERO COVID-19 call, most of the applications targeted the domain of robots supporting health-care professionals (64), patients (27), and diagnostics (29), demonstrating the priorities of supporting frontline health-care workers and reducing the spread of the disease. Six disinfection projects and one logistics support project have been funded based on the DIH-HERO COVID-19 call in this area. Akara Robotics is developing an affordable UV solution that can speed up the disinfection of radiology treatment rooms tenfold. MetraLabs' portable and agile autonomous disinfection robot STERY uses UV lights sensors to detect the correct exposure for disinfecting specific objects. It introduces a user-friendly mobile application for the disinfection process configuration and autonomous charging at a provided docking station. In addition, KELO Robotics is developing a mobile robot that can work in the proximity of humans by modulating UV-C as needed. Its person-detection system is based on four red, green, blue (RGB) cameras providing a 360° field of view. Jonker-Makis Robotics' SAM-Air autonomous mobile disinfection robot combines air filtering with a probiotics surface-cleaning spray that can achieve an affordable, around-the-clock, safe disinfection solution. Rubedo Sistemas is upgrading its existing autonomous mobile robot to include disinfection modules that utilize an ionized hydrogen peroxide mist spray that is nontoxic and leaves no residual deposits on disinfected surfaces other than water vapor and oxygen. It is noncorrosive, friendly to various materials, and does not damage medical equipment or computers. Rubedo Sistemas' VIPER Perception System, powered by the NVIDIA Jetson TX2 graphics processing unit, which is integrated with the solution, detects humans, while the company's ORCA smart navigation system allows users to create a catalog of disinfection maps (to specify driving routes and mark waypoints). Finally, ACCREA Engineering's Disinfecting RoboT (DisiRT) system will be the first European

solution to provide multimodal disinfection possibilities (for example, UV lights, disinfection fluid dispenser, and ozone gas generator) while maintaining safety via an advanced sensor-fusion system.'

HERO has been operating since 2019 – the last year of operation is ahead of us. The project involves 17 partners from almost all European countries led by University Twente. FRK exists as an innovation center in the very center of the local ecosystem in Poland, has an innovative infrastructure and offers services to other organizations and enterprises located at the national and regional level. FRK has extensive knowledge of robotics and many aspects of healthcare.

FRK performs its tasks within the project schedule and a specific work package devoted to the following goals: according to the WP responsible for communication, outreach and dissemination, providing services and services for companies, financing for SMEs, sustainability, online portal.

Let us summarize the last period of our work in short words:

Fundacja Rozwoju Kardiologii FRK im. prof. Zbigniewa Religi (FRK)

Foundation of Cardiac Surgery Development, POLAND

R&D artificial organs/surgical robots/biotechnology/advisory systems/education

NGO non – government organization

SME Medium entrepreneur < 100 employees

Educational center (conference, workshop 1000 participants per year)

Owner of the research and implementation center

Owner of FRK IntraCordis (AH) & FRK Homograft (Tissue Bank) company

FRK Infrastructure

A three-storey building with a basement – an area of 2800 m2

10 testing laboratories

Air conditioning (separate for tissue bank and TAH LAB)

Supply – vacuum pumps/ compressed air pumps/ electrical supply – 24 hours safe / liquid nitrogen for a tissue bank

Computing cluster – 144 computing cores on Xeon processors, a total of 1.4TB of RAM. Computing power ~ 33 TFLOPS including 8 TESLA cards by ~ 3 TFLOPS each

FRK Offer

Own experience in the design and testing of surgical robots and heart prostheses / heart pumps

Original methods and specialized test stands for testing heart prostheses and surgical robots

Experience in animal studies of artificial organs, robots and surgical instruments as well as biomaterials

Own, original advisory system for surgeons including: surgery planning, simulation of surgery effects and training.

An educational system including conferences, demonstrations, workshops, publications, tele-education, e-learning

This is us

Foundation for Cardiac Surgery Development (FRK), is established in 1991 known for its achievements, research and implementation, promotion and education related to technologies saving cardiac surgery patients. The Polish system of mechanical heart POLVAD support has been clinically implemented since 1993. The license for the Robin Heart PortVisionAble – one of the representatives of a large family of medical robots and mechatronic tools developed here – was sold in 2019. FRK is therefore a pioneer of healthcare robotics in the field of artificial organs and surgical robots, has well-equipped research laboratories and experience in technical, biological and clinical experiments.

The activities of FRK as part of DIH HERO:

Consulting (coaching) – 4 robots, 2 company

Own **publications** for HERO – 3.

Dissemination – 5 own conferences, workshops (participation in total of about 2,000 people) + voice informing about HERO at over 30 conferences. We were with the Robin Heart robot and information about HERO at fair Medica 2019 and Arab-Health 2022. Developed competences in the field of medical robots testing – available laboratories. Medical robotics in Poland is developing dynamically. When we started the HERO project, we had 1 one da Vinci robot in Poland, today we have 20 and in April the public refinancing of the first kind of operations (prostate) begins. A Polish company from Gliwice produces LUNA, the best-selling rehabilitation robot in Europe (2021). We invite you in December to – according to us, the oldest professional specialist conference in the world – XX Medical Robots Conference

FRK ecosystem consist of:

FRK (Leader, Non-profit, R & D, www.frk.pl),

1. Society

International Society for Medical Robotics (Society, Non-profit, www.medicalrobots.eu)

2. Company / SME

ACCREA (SME, R & D, engineering.accrea.com), EGZOTECH (SME, <https://egzotech.com/>); Meden-Inmed Sp. z o.o. (Medical company (over 200 employees), www.meden.com.pl), UniDoseOne UnitDoseOne – Fully robotic hospital pharmacy (<https://unitdoseone.com>), Revolve Spółka jawna (Software; <https://revolve.pro/>), iDentOn (R&D Med-Rob www.identon.com); B4.0.4B (R&D Med. Innov. www.b404b.com)

3. Institute

ITAM (Institute of Medical Technology and Equipment ITAM, R & D, <http://www.itam.zabrze.pl>);

Engineering Academic Centers

4. Technological Academic Centers:

Silesian University of Technology (Silesian University of Technology, <https://www.polsl.pl/>), Lublin University of Technology (Lublin University of Technology, www.pollub.pl/); Wrocław University of Technology (Wrocław University of Science and Technology, pwr.edu.pl/); Warsaw University of Technology (Warsaw University of Technology, <https://www.pw.edu.pl/>); Poznań University of Technology (Poznań University of Technology, <https://www.put.poznan.pl/>); Łódź University of Technology (Łódź University of Technology, <https://www.p.lodz.pl/pl/>);

5. Medical Academic Centers

Medical University of Silesia (<http://sum.edu.pl>); Medical University of Lublin (Medical University of Lublin <http://www.umlub.pl>)

6. Private Hospital

"Neo Hospital Sp. z o.o." (www.szpitalnaklinach.pl; www.neohospital.pl)

7. Cluster

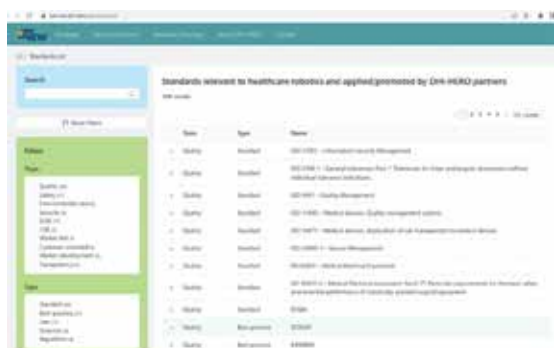
MedSilesia (<https://medsilesia.com>)

To develop and test next-generation healthcare robots, all HERO partners create and develop an information portal (Hub is digital in this sense) as a knowledge bank where both academics and their (industrial) partners can seamlessly navigate searching for data, addresses, places and partners for research, production or implementation.

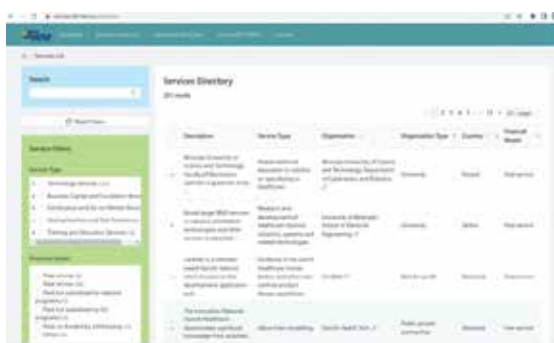
We recommend for you <https://dih-hero.eu/>:



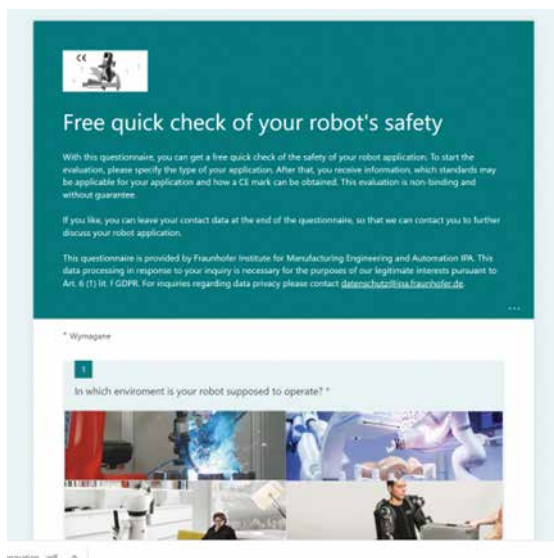
Standards directory. Standards relevant to healthcare robotics and applied/promoted by DIH-HERO partners



Services Directory



SAFETY



Ethics

The project DIH Healthcare Robotics will end in a year, but Hub is to continue. It will last if the institution and ... the robots survive. Each of you can use it and should participate in its development. The world, Poland needs robots. Improving the quality of medical services, equality and universal access, resistance to tragedies similar to the recent CoVid 19 pandemic, require technological support for doctors. We are unable to provide the appropriate number of professionals needed to provide a medical care – we are able to provide them with technology, supervised devices and vending machines, robots that will serve people in need in a responsible and safe way.

Be the hero of the future. HERO.

REFERENCE:

- [1] Jovanovic Kosta, Schwier Adnrea, Matheson Eloise, Xiloyannis Michele, Rodijk-Rozeboom Esther, Hochhausen Nadine, Vermeulen Brecht, Graf Birgit, Wolf Peter, Nawrat Zbigniew, Tisaire Jordi Escuder, Mechelinck Mare, Sorensen Birgitte, Boscolo Paola Roberta, Obach Michael, Tognarelli Selene, Jankovic Milica, Leroux Christophe, Ferrigno Giancarlo, Siepel Françoise J., Stramigioli Stefano.
Digital innovation hubs in health-care robotics fighting COVID-19: novel support for patients and health-care workers across Europe, IEEE Robot.Autom.Mag. 2021 : Vol.28, No.1, p.40-47, id. art. 9330556. Digital Innovation Hubs in Health-Care Robotics Fighting COVID-19: Novel Support for Patients and Health-Care Workers Across Europe | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore, IEEE Xplore Full-Text PDF:

Acknowledgments: The work presented in this article received funding from the EU's Horizon 2020 research and innovation program under grant 825003 DIH-HERO



MIĘDZYNARODOWE STOWARZYSZENIE NA RZECZ ROBOTYKI MEDYCZNEJ

DEKLARACJA CZŁONKOWSKA

Proszę o przyjęcie mnie w poczet Członków Międzynarodowego Stowarzyszenia na Rzecz Robotyki Medycznej z siedzibą w Zabrzu przy ul. Wolności 345a, w charakterze¹:

- ☐ **CZŁONKA ZWYCZAJNEGO**
- ☐ **CZŁONKA WSPIERAJĄCEGO**

Oświadczam, że znane mi są postanowienia statutu, cele i zadania Stowarzyszenia. Zobowiązuje się do ich przestrzegania oraz aktywnego uczestnictwa w działalności Stowarzyszenia, regularnego opłacania składek i sumiennego wypełniania uchwał Władz Stowarzyszenia.

Wyrażam zgodę na przechowywanie i przetwarzanie moich danych osobowych przez Stowarzyszenie zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie swobodnego przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE (ogólne rozporządzenie o ochronie danych) z dnia 27 kwietnia 2016 r. (Dz. Urz. UE L Nr 119, str. 1). Przysługuje mi prawo wglądu w te dane, ich poprawianie lub uzupełnianie oraz prawo do cofnięcia ww. zgody. Wyrażam zgodę na otrzymywanie informacji w rozumieniu ustawy z dnia 18.07.2002 roku o świadczeniu usług drogą elektroniczną (Dz. U. z 2002 r. Nr 144 poz.1204 z późn. zmian.) na mój adres mailowy lub przy użyciu innych środków komunikacji elektronicznej.

Dane osobowe/firmy²:

1. Nazwisko i Imiona/Firma/Instytucja:
2. Forma prawna:
3. Imiona rodziców:
4. Data i miejsce urodzenia:
5. Numer w KRS EDG:
6. Adres zamieszkania/siedziby:
7. Seria i numer dowodu osobistego/PESEL/NIP/REGON:
8. Telefon/e-mail:

.....
miejscowość, data i podpis

Wypełnioną i podpisaną deklarację prosimy przesłać na poniższy adres:
Międzynarodowe Stowarzyszenie na Rzecz Robotyki Medycznej ul. Wolności 345a, 41-800 Zabrze
Składki członkowskie należy wpłacać na poniższy nr konto:
BNP Paribas Bank Polska S.A., ul. Kasprzaka 10/16, 01-211 Warszawa
Nr rachunku: 70 1600 1462 1897 6873 0000 0001

¹ We właściwym polu proszę zaznaczyć znakiem X, jaki status Członka Pan/Pani wybiera. Można wybrać tylko jedną opcję. Członek zwyczajny to osoba fizyczna. Członek wspierający to osoba prawna lub fizyczna, która deklaruje pomoc (finansową, rzeczową lub merytoryczną) Stowarzyszeniu w realizacji jego celów statutowych.

² Dane firmy wypełnia tylko Członek Wspierający

UCHWAŁA ZARZĄDU MIĘDZYNARODOWEGO STOWARZYSZENIA NA RZECZ ROBOTYKI MEDYCZNEJ

Uchwałą Zarządu Stowarzyszenia nr z dnia

Pan / Pani / Firma

został(a) przyjęty(a) w poczet członków

Międzynarodowego Stowarzyszenia na Rzecz Robotyki Medycznej.

Zabrze, dnia

Podpisy członków Zarządu:

1.

2.

Po przyjęciu do Stowarzyszenia, członek zobowiązany jest regularnie opłacać roczną składkę członkowską pod rygorem wykluczenia (§15 pkt 1b Statutu) zgodnie z wysokością określoną w drodze uchwały przez Walne Zgromadzenie (Paragraf 16 pkt.2 Statutu)

Roczną składkę członkowską w wysokości:

Członek zwyczajny: 100 PLN

Członek Stowarzyszony: 1000 PLN

należy wpłacać na n/w konto:

Międzynarodowe Stowarzyszenie na Rzecz Robotyki Medycznej Bank PEKAO S.A. O/Zabrze

BNP Paribas Bank Polska S.A., ul. Kasprzaka 10/16, 01-211 Warszawa

Nr rachunku: 70 1600 1462 1897 6873 0000 0001

International Society for Medical Robotics
ul. Wesołoci 145a
41-800 Zabrze
tel.: +49 32 373 56 00
www.medicalrobotics.eu



International Society
for Medical Robotics



International Society *for* Medical Robotics



Invitation

You are cordially invited to join the International Association for Medical Robotics / International Society for Medical Robotics ISMR. Currently we are the Witnesses of the expansion of medical robotics into medicine areas. Unlike industrial robots, medical robots operate directly in the human being environment of and on behalf of Him. It's a fascinating area of research and often create a need to introduce a completely new design and technological solutions. Robots are a chance to introduce new standards of service and medical care, and are the only solution to problems related to general support of the old or disable patients in the future. It depends on us how fast will the development of this important field, and how accurate will the decisions related to it. Feel free to work actively in the Association! The Association is a voluntary, self-governing, a permanent association of science and technology, bringing together members whose professional activities or interests related to the medical robotics.

So – this is OUR ASSOCIATION!

President
Zbigniew Nawrat

Ladies and Gentlemen,

All interested in joining the International Association for Medical Robotics and support its statutory activities we invite you to submit personally or send by mail a signed declaration by the membership. At the same time, please refer to the Statute.

Zaproszenie

Serdecznie zapraszam do przystąpienia do Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej / International Society for Medical Robotics ISMR. Jesteśmy świadkami ekspansji robotyki na obszar medycyny. W odróżnieniu od robotów przemysłowych roboty medyczne działają w bezpośrednim oddziaływaniu i na rzecz człowieka. To fascynujący obszar badań naukowych i często potrzeba wprowadzenia zupełnie nowych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych. Roboty stanowią szansę na wprowadzenie nowych standardów usług i opieki medycznej, są jedynym rozwiązaniem problemów związanych powszechną obsługą osób niepełnych. To od nas zależy jak szybki będzie rozwój tej ważnej dziedziny i jak trafne będą podejmowane decyzje z jej rozwojem związane. Zapraszam do aktywnej pracy w Stowarzyszeniu! Stowarzyszenie jest dobrowolnym, samorządnym, trwałym zrzeszeniem o charakterze naukowo-technicznym, skupiającym członków, których działalność zawodowa lub zainteresowania wiążą się z robotyką medyczną.

Czyli – to NASZE STOWARZYSZENIE!

Zbigniew Nawrat
Prezydent

Szanowni Państwo,

Zapraszamy wszystkich zainteresowanych przyłączeniem się do Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej i wspieraniem działalności statutowej do złożenia osobiście lub drogą pocztową podpisanej deklaracji członkostwa.

www.medicalrobots.eu



Digital Innovation Hub
in Healthcare Robotics

www.dih-hero.eu



Our primary objective is to accelerate innovation in robotics for healthcare. To connect innovators, providers, businesses, users and politicians, DIH-HERO has created an open online portal offering multiple services facilitating collaboration on various innovations, emphasizing the sharing of best practice and enhancing the delivery of innovation throughout the value chain. The DIH-HERO Services Directory **helps YOU identify the different services offered by companies in the DIH-HERO network that could add value in the creation of YOUR novel healthcare robotics solutions.** The DIH-HERO Services Directory helps YOU identify the different services offered by companies in the DIH-HERO network that could add value in the creation of YOUR novel healthcare robotics solutions.

Respond to the challenges of the future - create medical robots in Europe! Your doctor, you, your family, and the global healthcare system all need these robots. We cannot afford to miss the opportunity that robots and automation offer for spreading healthcare services at the highest quality standard. Choose a secure future. Let's create medical robots!

The DIH-HERO project has received funding from the European Union's Horizon 2020 493 research and innovation programme under grant agreement No 825003.