

ZARZĄDZANIE PROCESEM TELEREHABILITACJI CHORYCH PO UDARZE MÓZGU Z WYKORZYSTANIEM GIER KOMPUTEROWYCH

MANAGING OF TELEREHABILITATION PROCESS IN PATIENTS AFTER STROKE WITH THE USE OF COMPUTER GAMES

Kazimierz Frączkowski^{1*}, Justyna Witkowska², Grzegorz Ślązak²

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Informatyki i Zarządzania,
50-370 Wrocław, ul. Łukasiewicza 5

² CSHARK Sp. z o.o., 50-102 Wrocław, ul. Rynek 36/37

*e-mail: kazimierz.fraczkowski@pwr.edu.pl

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono prototyp systemu teleinformatycznego do rehabilitacji pacjentów po przebytych udarach mózgu. Rehabilitacja pacjentów była prowadzona z wykorzystaniem interaktywnych gier komputerowych, w trakcie których pacjent wykonywał zlecone ćwiczenia rehabilitacyjne, będące elementem scenariusza gry. W trakcie leczenia rodzaj gry oraz jej poziom trudności był dobierany w zależności od stopnia niedowładu poudarowego kończyny górnej oraz predyspozycji pacjenta. W badaniach wzięły udział dwie grupy pacjentów o porównywalnym stopniu i rodzaju skutków poudarowych, jedna z nich rehabilitowana była w sposób tradycyjny a druga eksperymentalna rehabilitowana była z wykorzystaniem systemu FizoGame. W pracy przedstawiono wyniki badań ilościowych, które wskazują na pozytywne efekty zastosowania gier komputerowych w rehabilitacji w porównaniu do procedur konwencjonalnych.

Słowa kluczowe: gry komputerowe w rehabilitacji, gry komputerowe, teleopieka, telemedycyna, telerehabilitacja

ABSTRACT

The paper presents a prototype of a teleinformatic system for the rehabilitation of patients after a stroke. The rehabilitation of patients was conducted using interactive computer games incorporating rehabilitation exercises in the game scenario. During the treatment, the type of game and its level of difficulty were selected depending on the degree of upper limb paresis and the predisposition of the patient. Two groups of patients with a comparable degree and type of post-stroke impairments participated in the study. The first one was rehabilitated in a traditional way and the other one was rehabilitated using the FizoGame system. The paper presents the results of quantitative research, which indicate the positive effects of the use of computer games in the rehabilitation comparing to conventional procedures.

Keywords: computer games in rehabilitation, computer games, telecare, telemedicine, telerehabilitation

1. Wstęp

Udary mózgu są drugą przyczyną śmiertelności na świecie, trzecią w Polsce i w Europie oraz pierwszą przyczyną niepełnosprawności osób po 40. roku życia. Z raportu „Udary mózgu: skala problemu” zaprezentowanego przez organizację Stroke Alliance for Europe (SAFE) [1] wynika, że w ciągu najbliższych 20 lat można spodziewać się niemal 35-procentowego wzrostu udarów w krajach Unii Europejskiej. Konsekwencje społeczne i ekonomiczne są ogromne, ponieważ około 70 procent pacjentów, którym udało się przeżyć, doznaje różnego stopnia niepełnosprawności. Wielu z nich cierpi z tego powodu do końca życia. Według WHO „udar mózgu to zespół kliniczny charakteryzujący się nagłym wystąpieniem objawów ogniskowego, niekiedy również uogólnionego zaburzenia czynności mózgu, którego objawy utrzymują się dłużej niż 24 godziny lub prowadzą do wczesnej śmierci i nie mają innej przyczyny niż naczyniowa”. Niestety do tej pory nie wynaleziono skutecznych leków neuroprotektynowych, wobec czego jedna trzecia osób, które przeżyją pierwszy miesiąc po udarze mózgu, jest niepełnosprawna, wymaga stałej opieki, co w dalszej perspektywie dezorganizuje życie bliskich i generuje koszty społeczne. W świetle tych faktów wzrasta znaczenie rehabilitacji chorych po udarze mózgu. Powinna być ona powszechna (dostępna dla ogółu społeczeństwa), wczesna (wprowadzona w pierwszej dobie od zachorowania – wykorzystanie wczesnych mechanizmów kompensacyjnych centralnego układu nerwowego) oraz kompleksowa [2]. Z raportu Instytutu Ochrony Zdrowia z 2016 r [2] wynika, że w Polsce hospitalizowanych było 144 700 pacjentów, a współczynnik hospitalizacji wynosił 37,6/10 000 mieszkańców. W 2015 roku choroby naczyń mózgowych (kod ICD-10: I60–I69) stanowiły przyczynę wydania 47,1 tys. zwolnień lekarskich na łączną liczbę ponad 1 mln dni absencji chorobowej. W tym samym roku z powodu udarów wydano 2416 orzeczeń pierwszorazowych ustalających stopień niezdolności do pracy oraz 9472 orzeczenia ponowne. Całkowity koszt leczenia był o 7,6 procent wyższy niż w 2014 roku i wyniósł 545 mln zł. Roczny koszt samej rehabilitacji chorych po udarze wyliczony został na 159 mln zł. Natomiast koszty rehabilitacji, leczenia, absencji chorobowej i rent chorych po udarze mózgu wynoszą rocznie niemal 1,4 mld złotych [3]. Kwota w rzeczywistości jest duża wyższa, gdyż informacje w raporcie nie uwzględniają kosztów związanych z wydatkami pacjentów na prywatne leczenie i rehabilitację, a także kosztów ponoszonych przez Kasę Rolniczego Ubezpieczenia Społecznego (KRUS). Zapewnienie jakości życia stanowi wyzwanie dla większości krajów, jak i dla technologii informacyjnych (IT).

2. Przykłady wykorzystania gier komputerowych w rehabilitacji

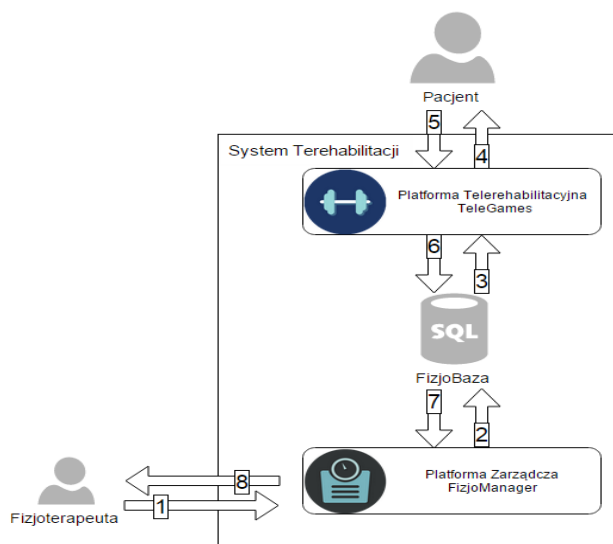
Games for Health Journal, wydawany od 2013 roku (<https://home.liebertpub.com/publications/games-for-health-journal/588>), prezentuje liczne prace, które wskazują na coraz szersze zastosowania gier video, interaktywnych gier komputerowych w rehabilitacji i leczeniu licznych schorzeń. Technologie IT udostępniają między innymi czujnik ruchu konsoli Xbox 360, Xbox Kinect, pozwalający na interakcję użytkownika z konsolą bez użycia kontrolerów, który został wprowadzony do sprzedaży pod koniec 2010 roku. Technologia pozwalająca na otrzymanie informacji o pozycji kończyn i stawów w trójwymiarowej przestrzeni stała się atrakcyjną alternatywą standardowej rehabilitacji [4]. Rehabilitacja bazująca na wirtualnej rzeczywistości oferuje zaawansowany interaktywny system, który ma wiele udokumentowanych korzyści, w szczególności dla pacjentów po udarach mózgu [5]. Pojawiło się wiele różnorodnych projektów dotyczących rehabilitacji, opartych na grach i wirtualnej rzeczywistości z wykorzystaniem czujnika Kinect. W jednym z eksperymentów autorzy zbadali efekty stosowania systemu rehabilitacyjnego, zawierającego sensor Kinect, podczas rehabilitacji niedowładów połowiczego kończyn górnych. System nazwany został UMBRELLA – (Parasolka: lampa rehabilitacyjna kończyn górnych) [6]. Składał się on z projektora wyświetlającego obraz na stole, sensora Kinect służącego do analizowania ruchów dłoni oraz komputera Vostro 420 marki DELL. Ćwiczenia opracowane na potrzeby badań obejmowały szeroki zakres ruchów dłoni i kończyn. Polegały one na zginaniu i prostowaniu łokcia oraz nadgarstka. Ćwiczenia miały za zadanie odwzorować codzienne czynności. Podczas wykonywania zadań przez użytkownika, projektor wyświetlał dodatkowe informacje, takie jak: czas pozostały na wykonanie zadania, ilość poprawnych powtórzeń oraz najlepszy dotychczasowy wynik osiągnięty przez pacjenta. Trudność ćwiczeń regulowana była zmianą parametrów, które wpływały na szybkość, intensywność i dokładność ruchów. Gdy po ukończonym zadaniu dokładność wykonywania

zadania była wyższa niż 80%, program automatycznie zwiększał poziom trudności. Natomiast w wypadku, gdy pacjent radził sobie słabo i osiągnął wynik poniżej 20%, poziom był obniżany. Podczas ćwiczeń pacjent musiał wykonywać następujące czynności: zgarnianie okruszków chleba ze stołu, tarcie sera na tarce, pukanie do drzwi, komponowanie potraw na talerzu, wyciskanie wody z gąbki, wybieranie numeru telefonicznego, granie na pianinie oraz robienie zakupów. Badania były wykonywane w tzw. trybie ABA – podczas fazy A pacjent uczestniczył w standardowych ćwiczeniach, natomiast w fazie B pacjent korzystał z eksperymentalnego systemu UMBRELLA. Obie fazy składały się z 30 sesji treningowych, trwających po 45 min. W badaniach uczestniczyło 10 pacjentów i po dokonaniu analizy wyników, wszystkie testy badające aktywność kończyny po urazie wykazały znaczące zmiany. Poprawę zauważyli również sami badani – były to zmiany pod kątem jakości ruchu i stopnia używania ręki. Wyniki tych badań wskazują, że systemy rehabilitacji z użyciem gier mogą być efektywniejsze od standardowych metod. Wskazana jest jednak kontynuacja prowadzenia badań, uwzględniająca grupę kontrolną oraz większą liczbę badanych osób.

W badaniach prowadzonych przez Liorens i innych [7], wzięło udział 14 pacjentów po udarze. Zostali oni podzieleni na dwie siedmioosobowe grupy. Grupa eksperymentalna miała oprócz zwykłej rehabilitacji dodatkowe pół godziny gry z użyciem Kinect. Przed i po okresie treningowym zmierzono siłę oraz napięcie mięśni i sprawność podczas wykonywania czynności codziennych. Pacjenci mogli wybrać dwie gry z każdego zestawu wedle upodobań, a następnie mieli ćwiczyć na każdej po 15 min. Po okresie testów, w porównaniu z początkowymi wynikami zauważono znaczny postęp w sile mięśni zginaczy ramion, prostowników barku, zginaczy i prostowników łokcia w grupie eksperymentalnej. Jednakże nie znaleziono znaczących różnic pomiędzy obiema grupami. Na wynik tego badania mogły wpływać takie fakty, jak to, że te gry nie były stworzone jako gry rehabilitacyjne, jak i mała grupa badawcza. Na Uniwersytecie w Parmie zaproponowano system do monitorowania ruchów człowieka, który może być wykorzystany w terapii rehabilitacyjnej [8]. System składał się z małych zintegrowanych bezprzewodowych sensorów noszonych przez użytkownika, które pobierają dane z akcelerometrów o wysokiej precyzji przy bezprzewodowej transmisji pobranych danych. W ramach innowacyjnej działalności firmy IMMD Health, zbudowano system do odwzorowania trójwymiarowego modelu ruchu człowieka poprzez IMCR – Inteligentny Mobilny Czujnik Ruchu [4, 9]. Pobiera on dane na podstawie zintegrowanego zespołu sensorów ruchu, które rozmieszczone są na ciele człowieka w określonych jego punktach. IMCR zasilany jest akumulatorem i posiada niewielkie wymiary: 55 mm × 25 mm × 10 mm. Przesyła wstępnie przetworzone dane z czujników drogą radiową do odbiornika w porcie USB komputera. Badania na IMCR przeprowadzono w celu opracowania metod wizualizacji odwzorowujących ruch człowieka.

3. System telemedyczny do rehabilitacji z wykorzystaniem gier komputerowych

W celu umożliwienia szerszego dostępu do rehabilitacji możliwie wcześnie oraz kontynuacji jej w warunkach domowych, co dotyczy pacjentów, u których proces rehabilitacji powinien być kontynuowany po wypisaniu ze szpitala, zaprojektowano i wykonano system informatyczny, który wspomaga pracę fizjoterapeuty oraz rehabilitację pacjenta. Założeniem tego rozwiązania jest to, że system o umownej nazwie „FizjoGames” ma wspierać zespół fizjoterapeutów w specjalistycznej jednostce medycznej, która leczy pacjentów po udarach mózgu, w wyniku których doszło między innymi do niedowładów kończyn górnych.



Rys. 1. Architektura systemu telerehabilitacji „FizjoGames”

System pozwala między innymi na prowadzenie Elektronicznej Dokumentacji Medycznej, poprzez integrację z systemem HIS w szpitalu (ang. Health Information System) lub może pracować autonomicznie. Na rysunku 1 przedstawiono schemat przepływu danych przez system:

1. Wczytanie danych pacjenta i preferowanych ćwiczeń do systemu telerehabilitacji.
2. Wysłanie danych o pacjentach i ćwiczeniach do serwera bazy danych FizjoBaza.
3. Wczytanie danych z serwera bazy danych do Platformy Rehabilitacji: dane pacjenta i parametry ćwiczeń.
4. Prezentowanie użytkownikowi postępów pacjenta przez Platformę Rehabilitacji.
5. Odczytanie, poprzez Platformę Rehabilitacji, postępów pacjenta, wykonującego ćwiczenia rehabilitacyjne.
6. Przekazanie wyników wykonanego ćwiczenia z Platformy Rehabilitacji do serwera bazy danych.
7. Odczytanie dotychczasowych wyników pacjenta z serwera bazy danych na Platformie Zarządczej.
8. Prezentowanie fizjoterapeucie wyników pacjenta przez Platformę.

Komponenty Systemu Telerehabilitacji FizjoGames to różnego rodzaju platformy:

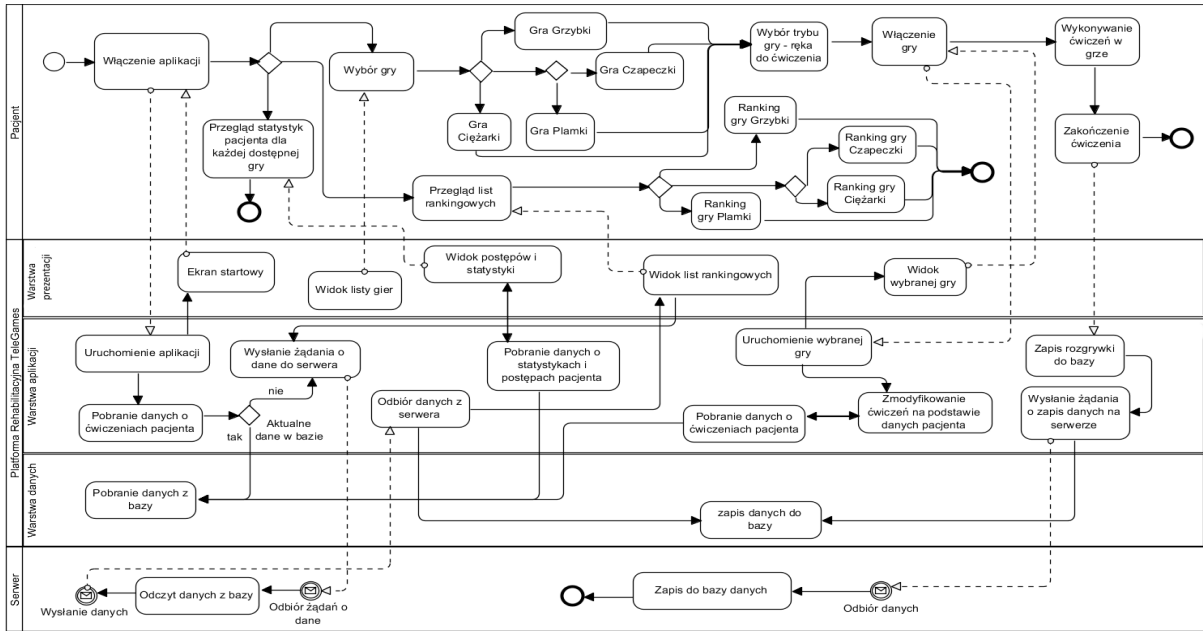
Platforma Rehabilitacji

1. Ustawienie parametrów ćwiczeń na podstawie otrzymanych parametrów z Platformy Zarządczej.
2. Odczyt ruchów pacjenta podczas wykonywania ćwiczeń.
3. Prezentowanie postępów pacjenta.
4. Przekaz odczytanych postępów pacjenta do Platformy Zarządczej.

Platforma Zarządcza

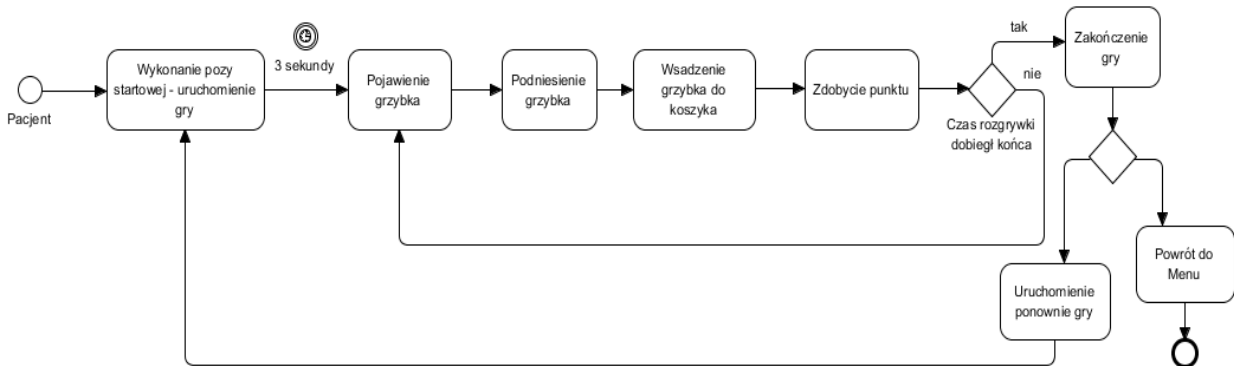
1. Obsługa rejestru pacjentów do telerehabilitacji.
2. Obsługa pakietu ćwiczeń pacjenta.
3. Synchronizacja z platformą Rehabilitacji.

System pozwala na obsługę procesów biznesowych przedstawionych na rysunku 2.



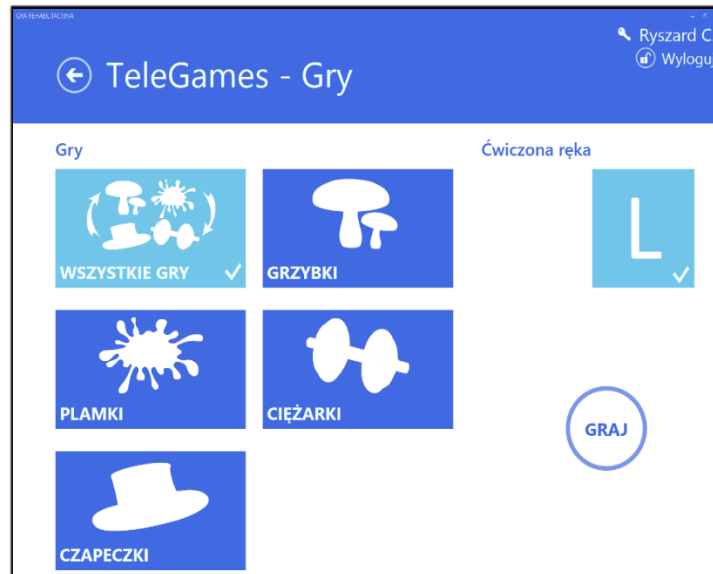
Rys. 2. Model procesów biznesowych Platformy Rehabilitacyjnej TeleGames; notacja: BPMN

W celu umożliwienia rehabilitacji określonych przypadków, będących następstwem udaru, opracowano cztery scenariusze gry oraz je zaimplementowano. Poniżej jedna z gier, która polega na tym, aby pacjent stojąc lub siedząc przed ekranem monitora z kamerą, widział siebie w lustrzanym odbiciu oraz obserwował różnych gatunków grzybki, chwycił je ręką i wkładał do koszyka. Model procesu przedstawia rysunek 3.



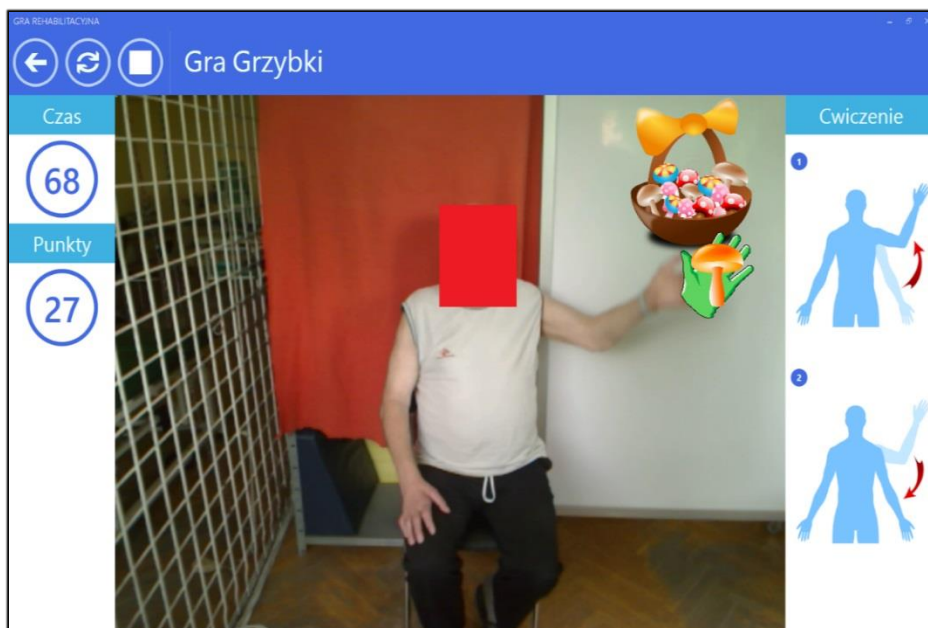
Rys. 3. Model procesu biznesowego gry Grzybki Platformy Rehabilitacyjnej TeleGames

Rehabilitant po przeszkoleniu pacjenta, wybiera odpowiednią grę oraz jej stopień trudności, co zilustrowano na rysunku 4.



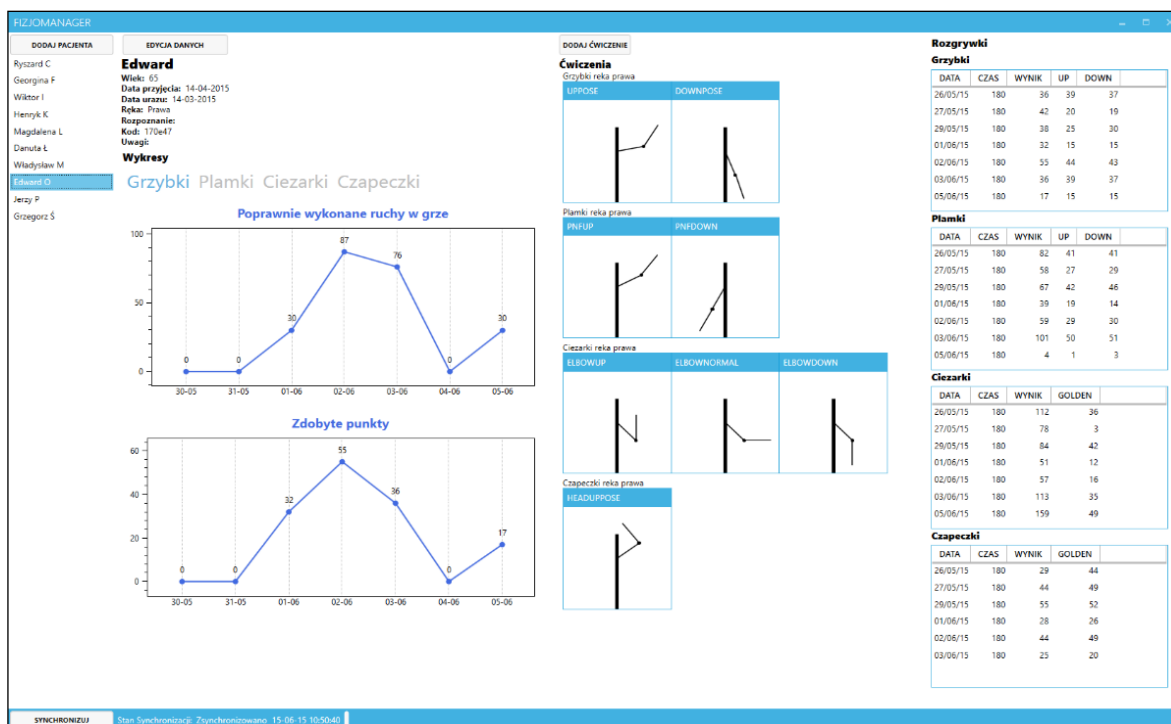
Rys. 4. Ekran Lista Gier – Platforma Rehabilitacyjna TeleGames

Pacjent ćwiczy i na bieżąco obserwuje, jaki uzyskał wynik, czyli ile zdobył punktów oraz w jakim czasie udało mu się wykonać ćwiczenie, ile czasu już ćwiczy. Po zakończeniu może obejrzeć swój postęp w rehabilitacji. Może też rozpocząć proces gry z innymi pacjentami i starać się zdobyć odpowiednie miejsce w rankingu.



Rys. 5. Ekran gry Grzybki – Platforma Rehabilitacyjna TeleGames

Rehabilitant sprawuje telekontrolę nad pacjentami poprawiającymi stan swojego zdrowia za pomocą gier komputerowych, bez potrzeby umawiania się z nim na spotkania i wymagania pojawienia się pacjenta w ośrodku (p. rys. 6).



Rys. 6. Widok główny programu ćwiczącego pacjenta – Platforma FizjoManager

Platforma zawiera bazę wszystkich pacjentów, umożliwia przypisywanie im gier, ustalanie konkretnych wymaganych póz do ćwiczenia oraz pozwala na monitorowanie postępów pacjenta poprzez wykresy uzyskanych rezultatów czy listę rozgrywek, jakie się odbyły pomiędzy rehabilitowanymi pacjentami.

4. Opis prowadzonych badań

W badaniu wzięli udział pacjenci z Wrocławskiego Centrum Rehabilitacji i Medycyny Sportowej, cierpiący na niedowład kończyn górnych spowodowanych udarem mózgu i jego następstwami. Ćwiczenia prowadzono przez 2 tygodnie. Rozpoznanie chorobowe każdego pacjenta zostało określone wg Międzynarodowej Statystycznej Klasyfikacji Chorób i Problemów Zdrowotnych ICD-10:

- I69.3 – Następstwa zawału mózgu;
- I69.4 – Następstwa udaru nieokreślone czy krwotoczny czy zawałowy.

Pierwszym etapem badania była kwalifikacja pacjentów według określonych kryteriów. Osoby zakwalifikowane do badania musiały wykazać się dostateczną zdolnością wykonywania ruchów, jakie są wymagane, aby skorzystać z opracowanej platformy telerehabilitacyjnej. Zakwalifikowana grupa pacjentów musiała posiadać nie mniej niż 3 pkt według skali Lovetta. Skala ta pozwala, w sposób wystandaryzowany, na określenie siły mięśniowej pacjenta. Skala jest 6 punktowa:

- 0 – brak skurczu mięśnia,
- 1 – ślad skurczu mięśnia,
- 2 – słaby skurcz, umożliwiając ruch w odciążeniu,
- 3 – dostateczny skurcz, umożliwiając ruch z pokonaniem oporu stawianego przez ciężar własny kończyny,
- 4 – dobry skurcz, umożliwiając ruch z pokonaniem oporu stawianego przez ciężar własny kończyny oraz przez badającego,
- 5 – siła mięśniowa prawidłowa.

Przed przystąpieniem do badania, pacjenci musieli wyrazić pisemną zgodę na uczestnictwo, wypełniając formularz świadomej zgody.

Pacjentów podzielono na dwie grupy:

- grupę eksperymentalną, która wykonywała standardowe ćwiczenia z fizjoterapeutami oraz, jako uzupełnienie terapii, ćwiczyła na platformie rehabilitacyjnej TeleGames.

- grupę kontrolną, która wykonywała wyłącznie standardowe ćwiczenia z fizjoterapeutami.

Przydział pacjentów do poszczególnych grup uwarunkowany był takimi czynnikami, jak:

- świadoma zgoda pacjenta na przystąpienie do badania;
- deklaracja pacjenta o chęci czynnego udziału w badaniach: w grupie eksperymentalnej lub w grupie kontrolnej.

Przed rozpoczęciem badania, zmierzono zakresy ruchu obręczy kończyny górnej (p. tabela 1) i stawu łokciowego (p. tabela 2) ręki z niedowładem. Pomiary były robione przy użyciu goniometru, pod okiem fizjoterapeutów wyżej wymienionego ośrodka. Z pacjentami przeprowadzono wywiad, w trakcie którego zebrano między innymi następujące dane:

- wiek,
- datę wystąpienia udaru,
- datę przyjęcia do ośrodka rehabilitacji,
- rozpoznanie ICD-10,
- która ręka jest dominująca (lewo i praworęczność),
- która ręka ma niedowład po udarze mózgu.

Tabela 1. Karta pomiarów zakresu ruchu – obręcz kończyny górnej

Data badania								
Ręka	L	P	L	P	L	P	L	P
Zgięcie [°]								
Wyprost [°]								
Odwiedzenie [°]								
Przywiedzenie [°]								
Zginanie Horyzontalne [°]								
Prostowanie Horyzontalne [°]								
Rotacja zewnętrzna [°]								
Rotacja wewnętrzna [°]								

Tabela .2. Karta pomiarów zakresu ruchu – staw łokciowy

Data badania								
Ręka	L	P	L	P	L	P	L	P
Zgięcie [°]								
Prostowanie [°]								
Odwracanie [°]								
Nawracanie [°]								

Następnie przydzielono poszczególnym pacjentom z grupy eksperymentalnej zestaw ćwiczeń dostępnych na Platformie Zarządczej FizjoManager, w formie indywidualnie dopasowanych do pacjenta czterech dostępnych gier. Dostosowanie gier polegało na uwzględnieniu możliwości zakresu ruchomości, zgodnie z wynikami interaktywnych gier komputerowych. U każdego pacjenta w grupie eksperymentalnej, okres ćwiczeń wynosił 2 tygodnie. Na koniec każdego tygodnia rehabilitacji, zarówno u pacjentów z grupy eksperymentalnej, jak i kontrolnej, przeprowadzane były ponownie badania zakresu ruchu obręczy kończyny górnej oraz stawu łokciowego ćwiczonej ręki. Ostatnim etapem było sporządzenie wyników badań i ich analiza oraz weryfikacja tych wyników względem podstawionych celów i hipotez. Dodatkowo każdy z pacjentów z grupy eksperymentalnej wypełnił anonimową ankietę dotyczącą zadowolenia z prowadzonych badań.

4.1. Wyniki badań – analiza i interpretacja

W badaniu za pomocą systemu telerehabilitacyjnego „FizjoGames” wzięło udział 17 pacjentów, w tym 8 kobiet w wieku $67,2 \pm 14,3$ i 9 mężczyzn w wieku $67,6 \pm 6,7$. Badanie odbyło się we Wrocławskim Centrum Rehabilitacji i Medycyny Sportowej i trwało 2 tygodnie. Każdy zakwalifikowany pacjent cierpiał na niedowład jednej z kończyn górnych, spowodowany udarem mózgu i jego następstwami. 59% pacjentów rehabilitowało przez ten okres prawą rękę, a 41% lewą.

Tabele 3, 4 i 5 przedstawiają dane statystyczne wszystkich pacjentów, jak i pacjentów zakwalifikowanych do poszczególnych grup badawczych: grupy eksperymentalnej i kontrolnej.

Tabela 3. Dane pacjentów, którzy wzięli udział w badaniu

	Średnia	Przedział wieku	Udział %
Wiek	$67,42 \pm 10,55$	45–84	
Czas od udaru	$3,06 \pm 5,44$ miesiąca	1–24	
Płeć (K/M)	8/9		47,06/52,94
Ręka dominująca (L/P)	16/1		94,12/5,88
Ręka po udarze (P/L)	10/7		58,82/41,18
Rozpoznanie ICD-10 (I69.3/I69.4)	13/4		76,47/23,53

Tabela 4. Dane statystyczne pacjentów grupy eksperymentalnej

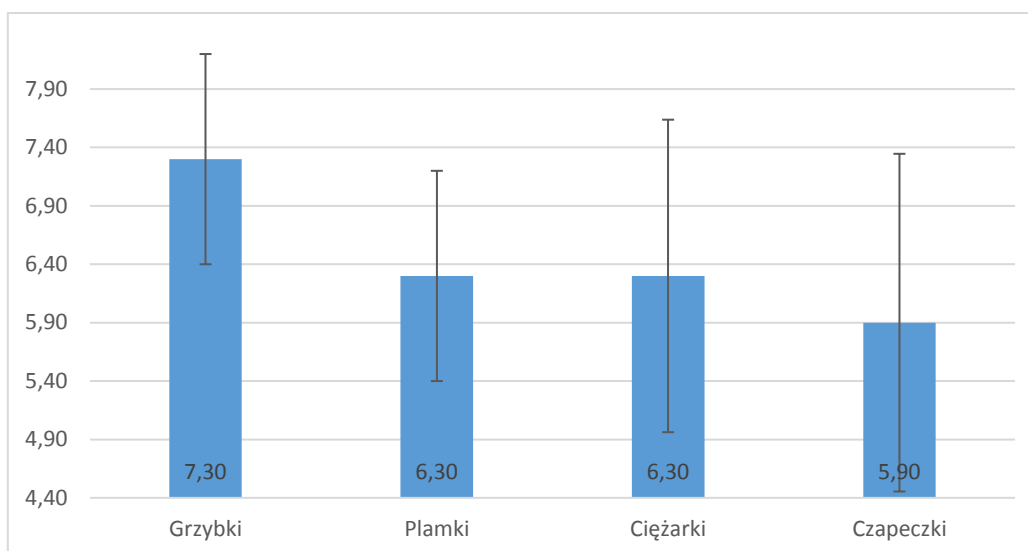
	Średnia	Przedział wieku	Udział %
Wiek	$61,10 \pm 9,57$	51–84	
Czas od udaru	$1,80 \pm 0,63$ miesięcy	1–3	
Płeć (K/M)	3/7		30,00/70,00
Ręka dominująca (L/P)	9/1		90,00/10,00
Ręka po udarze (P/L)	6/4		60,00/40,00
Rozpoznanie ICD-10 (I69.3/I69.4)	8/2		80,00/20,00

Tabela 5. Dane statystyczne pacjentów z grupy kontrolnej

	Średnia	Przedział wieku	Udział %
Wiek	$69,29 \pm 12,23$	45–79	
Czas od udaru	$1,80 \pm 0,63$ miesięcy	1–24	
Płeć (K/M)	5/2		71,43/28,57
Ręka dominująca (L/P)	7/0		100,00/0,00
Ręka po udarze (P/L)	4/3		57,14/42,86
Rozpoznanie ICD-10 (I69.3/I69.4)	5/2		71,43/28,57

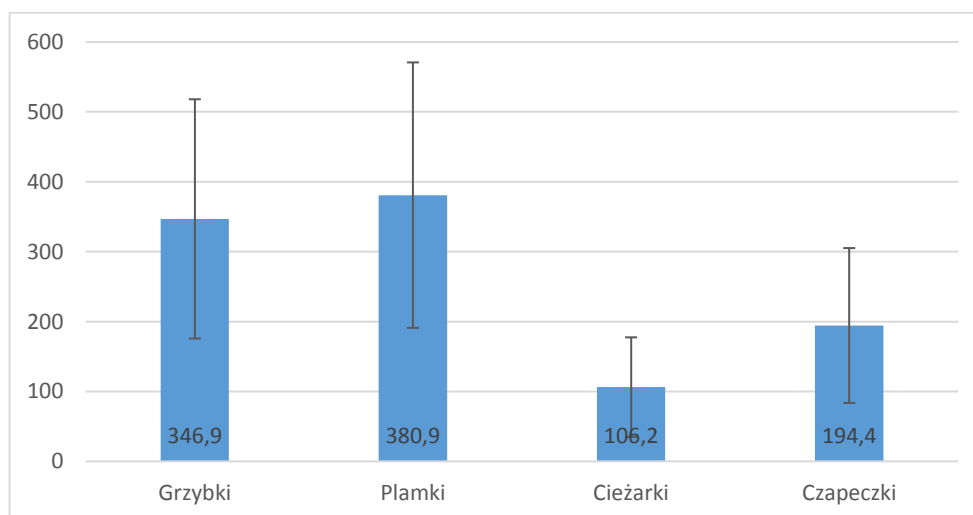
4.1.1 Analiza i interpretacja wyników badań grupy eksperymentalnej

Pacjenci z grupy eksperymentalnej w pierwszym tygodniu ćwiczeń na Platformie Rehabilitacyjnej TeleGames, rozegrali średnio $13,8 \pm 2,6$ rozgrywek. W drugim tygodniu średnia rozegranych gier wynosiła $11,4 \pm 2,4$. Pacjenci z tej grupy rozegrali średnio, w ciągu 2 tygodni badań, $25,2 \pm 4,5$ rozgrywek. Rysunek 7 pokazuje średni rozkład rozegranych rozgrywek względem każdej z dostępnych na platformie gier. Z tego wykresu wynika, że gra Grzybki cieszyła się największą popularnością wśród pacjentów, równą 7,3 rozgrywki w ciągu 2 tygodni. Natomiast w grę Czapeczki pacjenci grali najrzadziej, średnio 5,9 rozgrywek. Wpływ na ten wynik miała kolejność gier ustawiona w programie. Jeżeli pacjent danego dnia nie czuł się na siłach, by dokończyć rozgrywkę, była ona przerywana w trosce o dobre zdrowie pacjenta.

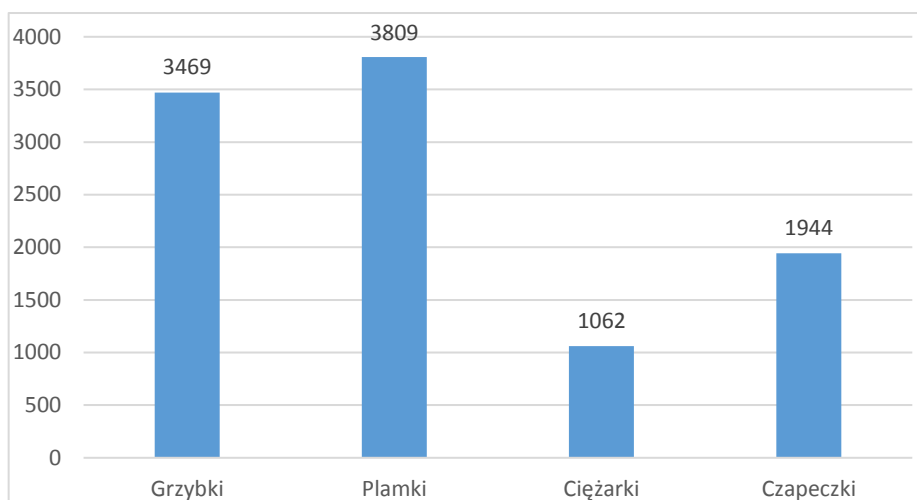


Rys. 7. Średnia liczba rozgrywek pacjenta z grupy eksperymentalnej względem każdej z gier

Duży wpływ na zdobywanie punktów, w każdej z dostępnych gier, miało wykonywanie przez pacjenta prawidłowego ćwiczenia podczas rozgrywki. Na każde ćwiczenie składała się pewna sekwencja ruchów, które pacjent musiał wykonywać podczas grania w każdą z gier. Z wykresów na rysunku 8 i 9, które obrazują rozkład wykonywanych poprawnie ruchów w danej grze wynika, iż najtrudniejsze do prawidłowego wykonywania było ćwiczenie znajdujące się w grze Ciężarki. Wynika to zapewne z faktu, że sekwencja ruchów w tym ćwiczeniu była najbardziej złożona i wymagała dość sporej precyzji ruchu. Niedużo wyższy wynik, bo średnio tylko o 88 poprawnie wykonanych ruchów, miała gra Czapeczki. W tej grze zdecydowanym czynnikiem utrudniającym poprawne wykonywanie ćwiczenia w określonym czasie, było poprowadzeni chorej ręki na wysokość głowy.

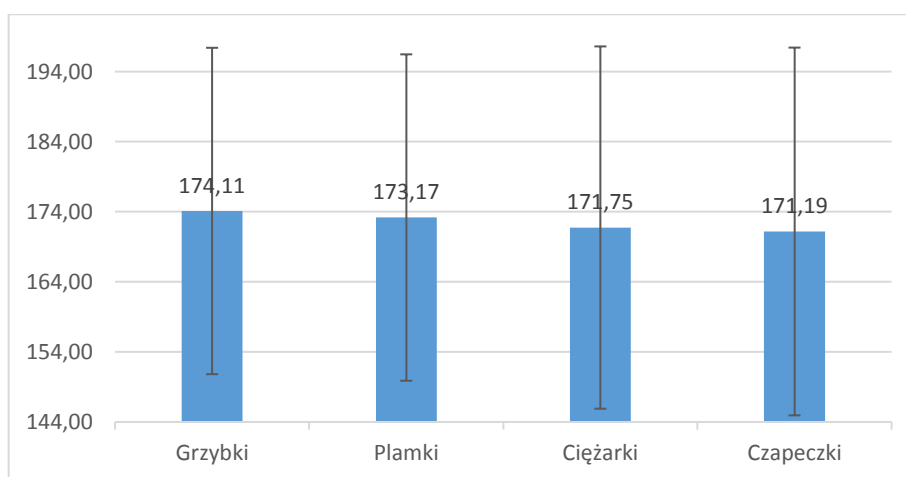


Rys. 8. Średnia poprawnych ruchów pacjentów względem gry



Rys. 9. Liczba poprawnie wykonanych ruchów względem gry

Średni czas poświęcony na rozgrywkę oscylował między 171,19 a 174,19 sekundy w zależności od gry, co pokazuje rys.10. Pacjenci ćwiczący na Platformie Rehabilitacyjnej odbywali 12-minutowy trening (po 3 min na każdą grę). Jednak w każdym momencie treningu mogli oni przerwać ćwiczenia z powodu złego samopoczucia, zmęczenia czy bólu.



Rys. 10. Średni czas rozgrywki pacjenta z grupy eksperymentalnej względem każdej z gier

4.1.2 Analiza porównawcza wyników badań w obu grupach

Podział pacjentów, biorących udział w badaniu, na grupę eksperymentalną i grupę kontrolną, został dokonany w celu porównania efektów rehabilitacji standardowej i rehabilitacji za pomocą interaktywnych gier komputerowych, jako uzupełnienie terapii. Tabele 6 i 7 oraz rysunki 11 i 12 przedstawiają średnie wartości pomiarów obu grup, wykonanych w ciągu całego okresu trwania badania. W obu grupach zanotowano trend rosnący, co więcej jest on bardzo zbliżony. Taki rozkład wartości wskazuje na pozytywne rezultaty odbytej terapii zarówno w grupie eksperymentalnej, jak i kontrolnej, pomimo znacznych różnic w możliwościach ruchowych obu grup, które dochodziły nawet do 24° przy pomiarze odwiedzenia obręczy kończyny górnej (p. tabela 6, rys. 13).

Tabela 4. Zestawienie wartości średnich okresowych pomiarów pacjentów z grupy eksperymentalnej oraz ich średni wzrost po okresie badania

Grupa Eksperymentalna				
Rodzaj pomiaru	Przed badaniem [°]	Po pierwszym tygodniu badań [°]	Po badaniu [°]	Średni wzrost [°]
Obręcz kończyny górnej				
Zgięcie	121,44 ± 22,81	125,00 ± 22,32	131,30 ± 26,71	4,93 ± 1,94
Wyprost	52,67 ± 10,06	57,60 ± 11,32	61,30 ± 12,38	4,32 ± 0,87
Odwiedzenie	113,67 ± 28,48	120,00 ± 30,25	130,90 ± 26,89	8,62 ± 3,23
Przywiedzenie	30,44 ± 5,80	34,30 ± 4,73	36,90 ± 4,41	3,23 ± 0,89
Zginanie horyzontalne	94,89 ± 11,97	98,00 ± 9,19	103,30 ± 8,99	4,21 ± 1,55
Prostowanie horyzontalne	33,89 ± 10,56	36,80 ± 10,61	39,40 ± 11,16	2,76 ± 0,22
Rotacja zewnętrzna	65,89 ± 7,20	71,40 ± 10,52	74,40 ± 7,68	4,26 ± 1,78
Rotacja wewnętrzna	60,89 ± 17,62	67,70 ± 19,17	73,30 ± 19,75	6,21 ± 0,86
Staw łokciowy				
Zgięcie	120,67 ± 21,65	124,00 ± 22,58	126,20 ± 22,40	2,77 ± 0,80
Prostowanie	-4,11 ± 7,40	-3,20 ± 6,42	-3,00 ± 6,02	0,56 ± 0,50
Odwracanie	77,44 ± 12,38	80,80 ± 10,18	83,40 ± 7,31	2,98 ± 0,53
Nawracanie	90,00 ± 0,00	90,00 ± 0,00	90,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00

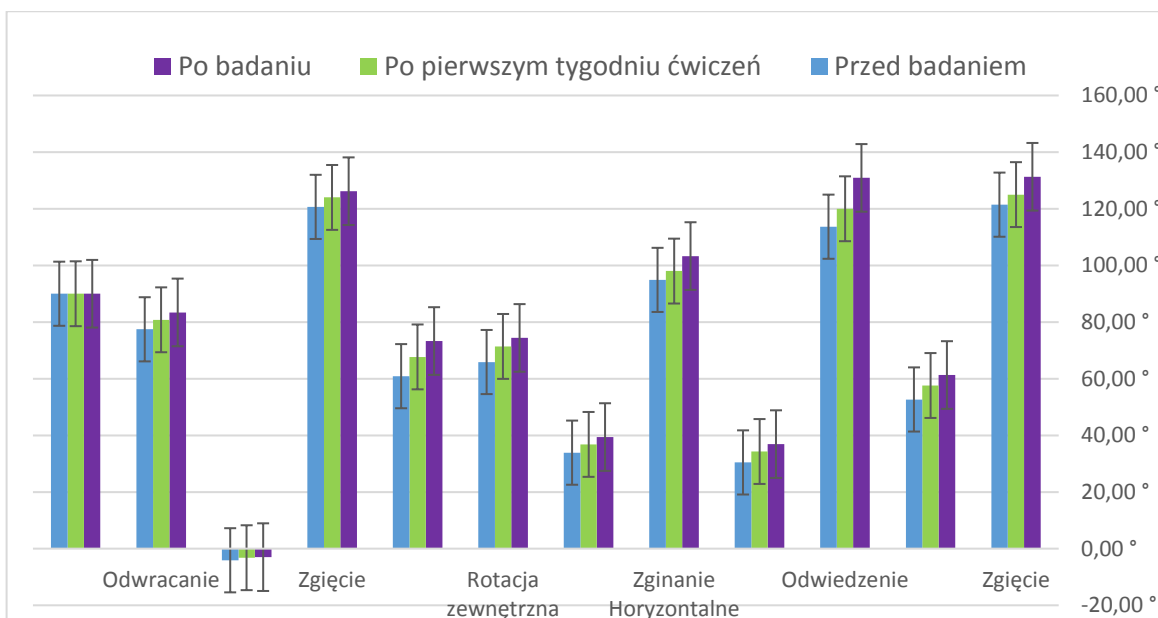
Tabela 5. Zestawienie wartości średnich okresowych pomiarów pacjentów z grupy kontrolnej oraz ich średni wzrost po okresie badania

Grupa Kontrolna				
Rodzaj pomiaru	Przed badaniem [°]	Po pierwszym tygodniu badań [°]	Po badaniu [°]	Średni wzrost [°]
Obręcz kończyny górnej				
Zgięcie	115,43 ± 34,49	119,86 ± 32,12	122,57 ± 32,01	3,57 ± 1,21
Wyprost	42,00 ± 9,32	44,14 ± 9,25	46,57 ± 9,38	2,29 ± 0,20
Odwiedzenie	94,43 ± 28,06	104,14 ± 34,44	106,43 ± 35,84	6,00 ± 5,25
Przywiedzenie	22,71 ± 7,28	25,14 ± 6,64	27,71 ± 6,39	2,50 ± 0,10
Zginanie horyzontalne	95,00 ± 18,54	100,43 ± 14,31	107,29 ± 16,82	6,14 ± 1,01
Prostowanie horyzontalne	26,57 ± 17,55	27,29 ± 17,63	29,57 ± 16,50	1,50 ± 1,11
Rotacja zewnętrzna	62,57 ± 35,45	66,00 ± 37,39	68,29 ± 37,90	2,86 ± 0,81
Rotacja wewnętrzna	49,86 ± 18,18	53,71 ± 17,43	55,71 ± 16,46	2,93 ± 1,31
Staw łokciowy				
Zgięcie	134,57 ± 7,61	136,57 ± 6,09	139,00 ± 5,01	2,21 ± 0,30
Prostowanie	1,43 ± 3,50	1,29 ± 3,15	1,14 ± 2,80	-0,14 ± 0,00
Odwracanie	81,14 ± 14,10	83,29 ± 10,78	85,43 ± 7,91	2,14 ± 0,00
Nawracanie	115,43 ± 34,49	119,86 ± 32,12	122,57 ± 32,01	0,00 ± 0,00

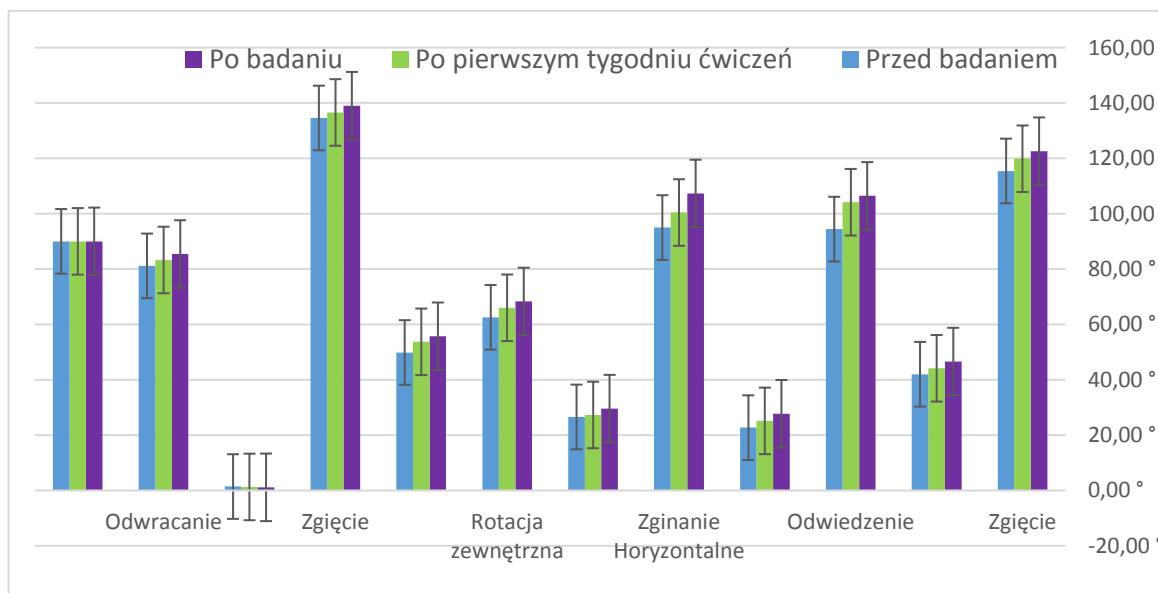
Tabela 6. Średnia różnica okresowych pomiarów pacjentów z obu grup

Średnia różnica pomiarów			
Rodzaj pomiaru	Przed badaniem [°]	Po pierwszym tygodniu badań [°]	Po badaniu [°]
Obręcz kończyny górnej			
Zgięcie	6,02	5,14	8,73
Wyprost	10,67	13,46	14,73
Odwiedzenie	19,24	15,86	24,47
Przywiedzenie	7,73	9,16	9,19
Zginanie horyzontalne	0,11	2,43	3,99
Prostowanie horyzontalne	7,32	9,51	9,83
Rotacja zewnętrzna	3,32	5,40	6,11

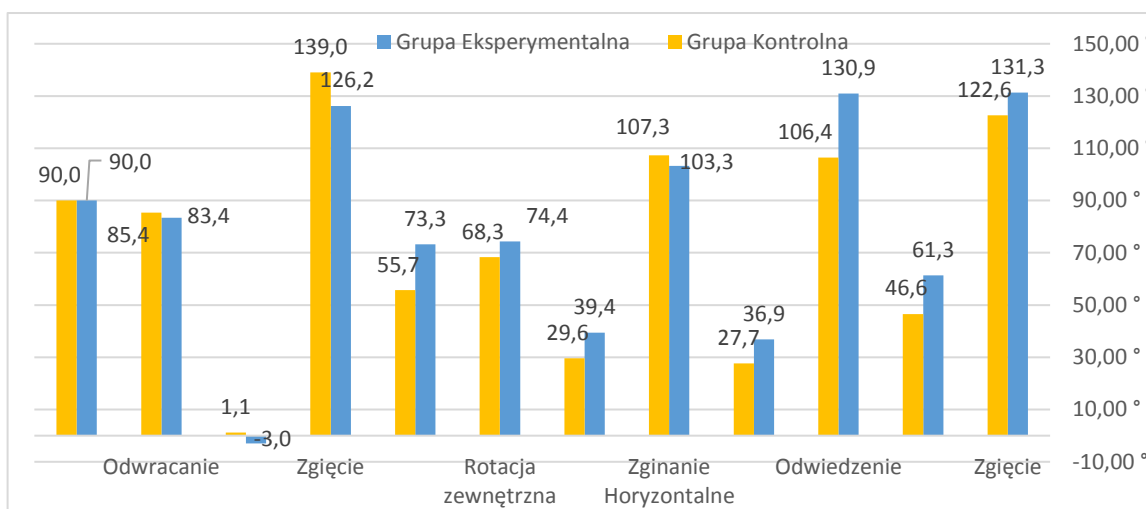
Rotacja wewnętrzna	11,03	13,99	17,59
Staw łokciowy			
Zgięcie	13,90	12,57	12,80
Prostowanie	5,54	4,49	4,14
Odwracanie	3,70	2,49	2,03
Nawracanie	0,00	0,00	0,00



Rys. 11. Zestawienie wartości średnich okresowych pomiarów pacjentów z grupy eksperymentalnej



Rys. 12. Zestawienie wartości średnich okresowych pomiarów pacjentów z grupy kontrolnej



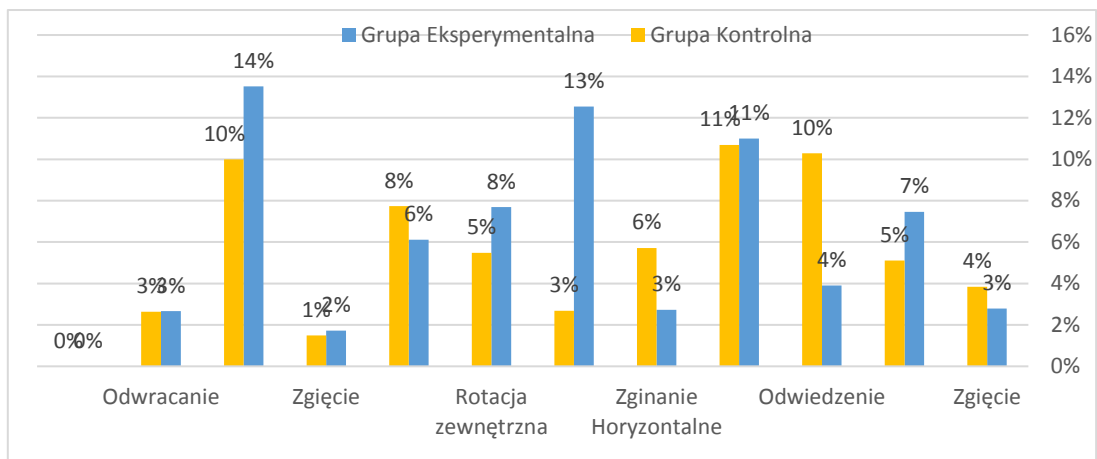
Rys. 13. Porównanie różnic wartości poszczególnych pomiarów końcowych obu grup

Po pierwszym tygodniu ćwiczeń średni wzrost sprawności pacjentów w grupie eksperymentalnej wynosił 7%, natomiast w grupie kontrolnej 5%. Po drugim tygodniu ćwiczeń zanotowano taki sam średni wzrost sprawności w obu grupach, wynoszący 5%. Zatem przez cały okres badania pacjenci z grupy eksperymentalnej średnio podnieśli wyniki swoich pomiarów o 12%, natomiast pacjenci znajdujący się w grupie kontrolnej o 10%. W przypadku grupy eksperymentalnej 42% wyników odnosiło się do wzrostu w pierwszym tygodniu ćwiczeń, 33% w drugim tygodniu, a wzrost pozostałych przebiegał podobnie w obu tygodniach. W grupie kontrolnej 33% wyników pomiarów wykazało większy średni wzrost procentowy w pierwszym tygodniu ćwiczeń, 42% w drugim tygodniu, a wzrost pozostałych przebiegał podobnie w obu tygodniach. Największe wartości wzrostu, w ciągu całego okresu badań w grupie eksperymentalnej uzyskano w przypadku pomiarów takich ruchów, jak:

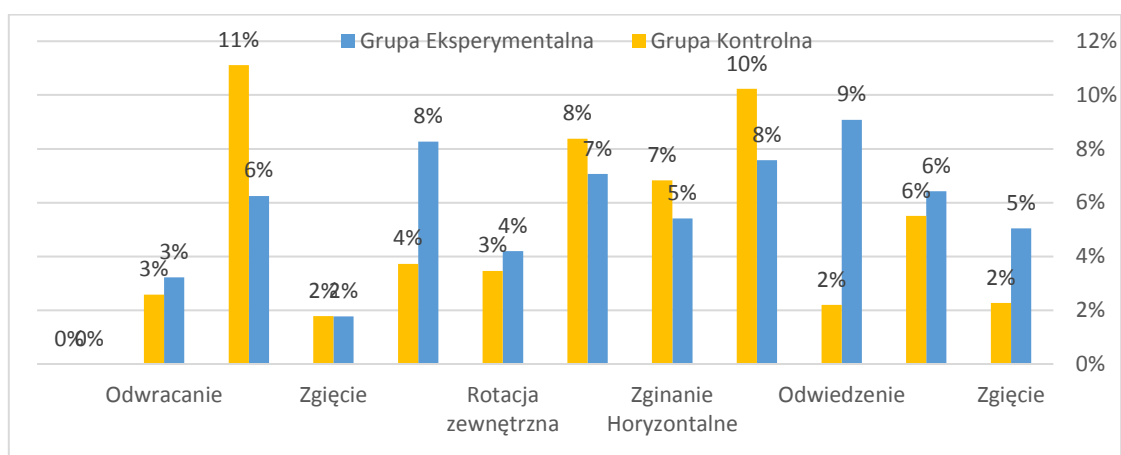
- prostowanie horyzontalne – 20%, gdzie w grupie kontrolnej wzrost wyniósł tylko 11%;
- przywiedzenie i prostowanie – 19%, gdzie w grupie kontrolnej wzrost wyniósł odpowiednio 22% i 20%;
- rotacja wewnętrzna – 15%, gdzie w grupie kontrolnej wzrost wyniósł 12%;
- rotacja zewnętrzna – 12%, gdzie w grupie kontrolnej wzrost wyniósł 9%.

Lepsze postępy grupy eksperymentalnej w rotacji wewnętrznej i zewnętrznej, mogły być uwarunkowane wpływem gry Ciężarki, w której ćwiczenia kształtują właśnie te możliwości ruchowe. Natomiast 9% różnicy na korzyść grupy eksperymentalnej w pomiarze prostowania horyzontalnego, może wynikać z możliwości regeneracyjnych i zdrowotnych pacjentów oraz wpływu interaktywnych gier platformy TeleGames, które również angażują grupy mięśni odpowiedzialne m.in. za tę możliwość ruchową.

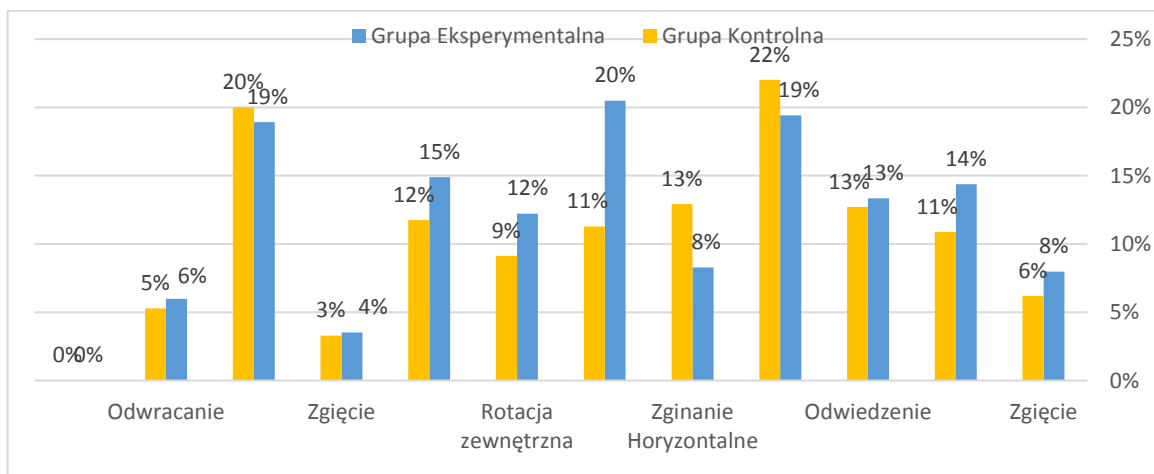
Porównanie różnicy procentowej wartości poszczególnych pomiarów dla obu grup, w zależności od czasu badania prezentują rysunki 14, 15 i 16.



Rys. 14. Porównanie wartości poszczególnych pomiarów przed i po pierwszym tygodniu badań w obu grupach



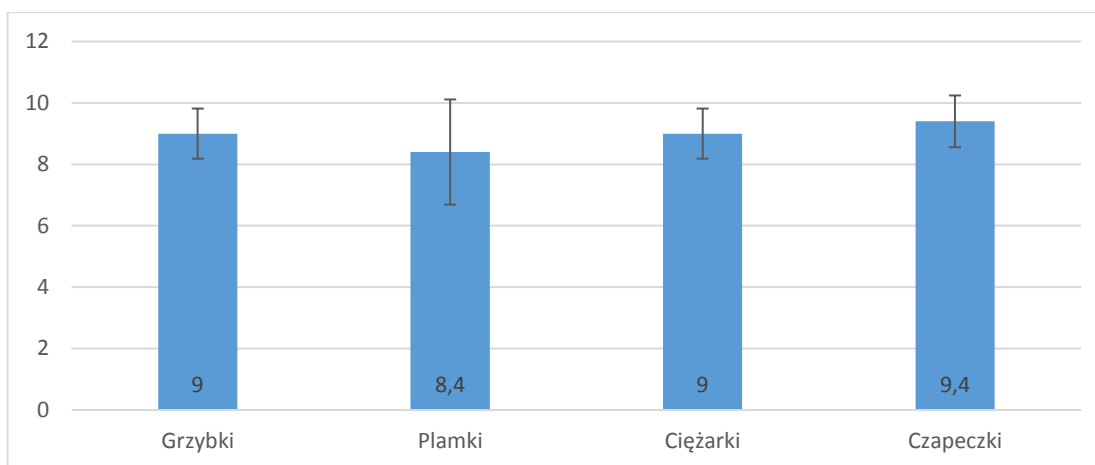
Rys. 15. Porównanie wartości poszczególnych pomiarów po pierwszym tygodniu ćwiczeń i po zakończeniu badań w obu grupach



Rys. 16. Porównanie wartości poszczególnych pomiarów przed i po zakończeniu badań w obu grupach

4.1.3 Wyniki badań ankietowych satysfakcji pacjentów

Po zakończeniu 2-tygodniowego okresu badania, każdy pacjent z grupy eksperymentalnej wypełnił anonimową ankietę dotyczącą wykonanego badania. Na początek pacjenci mieli ocenić dwutygodniowy okres ćwiczeń z platformą TeleGames. W dziesięciostopniowej skali platforma telerehabilitacyjna uzyskała ocenę 9,2. Biorąc pod uwagę wszystkie gry, pacjenci ocenili platformę na 8,9 punktów na 10.



Rys. 17. Średnie oceny pacjentów dla poszczególnych gier

Następnie pacjenci oceniali poszczególne gry. Faworytem okazały się Czapeczki, osiągając wynik 9,4/10 punktów. Przyczyną tak wysokich ocen była forma rozgrywki, polegająca na zakładaniu przez pacjenta czapek na głowę, co wywoływało u ćwiczących pozytywne reakcje. Kolejne miejsce, z wynikiem 9,0 pkt osiągnęły ex aequo Ciężarki oraz Grzybki. Były to ćwiczenia imitujące czynności codzienne, których pacjenci po udarze mózgu nie mogli wykonywać. Ostatnią grą, jednakże z również dobrym wynikiem 8,4 pkt są w tym zestawieniu Plamki. W grze pacjenci mieli za zadanie zmywać plamy pojawiające się ciągle na monitorze. Gra imitowała mycie okien. Była to czynność dnia codziennego, która z punktu widzenia pacjentów nie jest przyjemna.

Następnie w ankiecie pacjenci mieli odpowiedzieć na parę zamkniętych pytań. 90% badanych chętnie wzięłoby ponownie udział w podobnych badaniach. Jednakże tylko 60% chciałoby wykonywać ćwiczenia z użyciem platformy TeleGames, bądź podobnej platformy w domu, po zakończeniu rehabilitacji w ośrodku. Wpływ na to mógł mieć fakt, iż większość osób przebywających w ośrodku nie posiada komputera w domu, bądź nim nie potrafi się posługiwać. Tylko jedna osoba uważała, że czas przeznaczony na jedną sesję treningową, czyli 12 minut, jest trochę za długi. Pozostałe 90% badanych uważało, że jest to czas odpowiedni. Również 90% ankietowanych pacjentów stwierdziło, że ćwiczenia nie sprawiały im żadnego problemu. Jest to dobry znak, gdyż nie chcieliśmy naszą platformą pogorszyć zdrowia pacjentów, a je polepszyć. W ostatnim pytaniu zapytaliśmy pacjentów czy uważają, że rehabilitacja za pomocą gier komputerowych jest dla nich bardziej atrakcyjna niż tradycyjne metody rehabilitacji w ośrodku. Zdania były podzielone i tylko 60% badanych zgodziło się z tą tezą. Wpływ na to może mieć fakt, że taka metoda rehabilitacji nie jest jeszcze powszechnie stosowana. Przez co traktowana nieufnie. Wynika to też z zacofania społecznego, zarówno w kwestii nowinek rehabilitacyjnych, jak i podejścia do nowoczesnych technologii.

5. Omówienie wyników

Gry na platformie TeleGames zostały opracowane na podstawie wywiadu z fizjoterapeutami, pracującymi we Wrocławskim Centrum Rehabilitacji i Medycyny Sportowej. Docelowymi użytkownikami systemu FizjoGames byli pacjenci z niedowładem kończyn górnych, spowodowanym udarem mózgu i jego następstwami. Gry zostały zaprojektowane w taki sposób, by wykonywane w nich ćwiczenia przypominały czynności dnia codziennego. Unikalnym podejściem, którego nie spotkaliśmy podczas analizy podobnych prac, jest platforma zarządcza dla fizjoterapeuty. W analizowanych

wcześniej pracach nie było możliwości sterowania parametrami ćwiczeń. Tego typu zmiany musiały być wprowadzane na urządzeniu pacjenta. W systemie FizjoGames zmiany te wprowadzane są na specjalnie do tego przeznaczonych platformie FizjoManager. Docelowymi użytkownikami tej platformy są lekarze bądź fizjoterapeuci, zajmujący się rehabilitacją pacjentów. FizjoManager zawiera karty poszczególnych pacjentów i pozwala na wygodne dostosowywanie ćwiczeń do możliwości ruchowych pacjenta. Wprowadzone ćwiczenia, wysyłane są na serwer, gdzie przy kolejnym uruchomieniu platformy TeleGames przez pacjenta zostaną pobrane i zastosowane. Gdy pacjent skończy wykonywać ćwiczenia, fizjoterapeuta nie musi się z nim kontaktować i dowiadywać, jak przebiegały ćwiczenia i czy były jakieś problemy, gdyż jest to widoczne w odpowiedniej sekcji aplikacji FizjoManager [10].

Przeprowadzone badania dały pozytywne rezultaty w odniesieniu do założonych celów. Grupa eksperymentalna, rehabilitująca się za pomocą interaktywnych gier komputerowych, wykazała porównywalne, a w pewnych przypadkach nawet lepsze wyniki niż grupa kontrolna. Jest jednak kilka ograniczeń, wpływających na ogólne wyniki. Pierwsze ograniczenie wynika z małej liczebności grupy badawczej. Większa liczba badanych osób, w grupie eksperymentalnej, ćwiczącej z systemem FizjoGames, a także liczniejsza grupa kontrolna, pozwoliłaby jeszcze dokładniej zmierzyć efektywność przedstawionego, nowatorskiego podejścia. Z pacjentów przebywających w ośrodku wybrano tych, którzy spełniali ustalone kryteria. W dodatku proces przypisywania wybranych pacjentów do grup, opierał się głównie na chęci ich uczestnictwa w eksperymentalnej rehabilitacji.

Pacjenci z grupy eksperymentalnej, w anonimowych ankietach, ocenili zadowolenie z wykonywanych ćwiczeń na 8,9/10 punktów. 90% ankietowanych ponownie wzięłoby udział w takim badaniu, natomiast 60% badanych po zakończeniu rehabilitacji w ośrodku, chętnie kontynuowałoby ćwiczenia z taką platformą w domu.

6. Wnioski

1. Uzyskane wyniki zarówno z ilościowego monitorowania parametrów postępów w rehabilitacji z wykorzystaniem gier komputerowych, jak i ocena tej technologii medycznej przez pacjentów w badaniach ankietowych wskazuje, że telerehabilitacja może być rozpatrywana jako integralny element zarządzania ochroną zdrowia, szczególnie mając na względzie rosnące koszty opieki nad pacjentami z udarami mózgu [3] oraz wskazania do szybkiego podjęcia rehabilitacji,
2. Po wypisie ze szpitala, rehabilitacja może być kontynuowana w domu na innowacyjnej platformie FizjoGame, pozwalającej ćwiczyć nie tylko w specjalistycznym ośrodku medycznym.
3. Wnioskiem dla zespołu autorskiego, który przygotował, wdrożył i brał udział w badaniu jest między innymi to, że można poprawić walory użytkowe i zwiększyć atrakcyjność ćwiczeń rehabilitacyjnych poprzez wyświetlanie poprzednich wyników grającego lub listy najlepszych wyników pacjentów podczas wykonywania ćwiczenia. Kolejnym elementem motywującym pacjenta mogłoby być wyświetlenie tempa wykonywanego ćwiczenia. Podczas rozgrywki pacjent miałby możliwość śledzenia swojego aktualnego tempa i porównania go z poprzednią rozgrywką. Kolejnym wnioskiem jest pomysł, który jest rezultatem analizy danych i dotyczy zmiany kolejności uruchamiania się gier.
4. Należy prognozować, na podstawie przeprowadzonych badań i obserwacji, że rozwój technologii informacyjnych, gier komputerowych oraz obszar ich zastosowania będzie się poszerzał, co jest zgodne z wczesnymi wnioskami Flyna i innych [11] oraz innymi pracami. Zasady, jakimi kieruje się Amerykańskie Stowarzyszenie Telemedyczne w zakresie świadczeń telerehabilitacyjnych, zostały opisane w pracy R. Richmanta i innych [12]. Wnioski z naszych badań są zbliżone: usługi telerehabilitacyjne mogą obejmować ocenę, monitorowanie, zapobieganie, interwencję, nadzór, edukację, konsultacje i coaching. Usługi telerehabilitacyjne można wdrożyć we wszystkich populacjach pacjentów i wielu placówkach opieki zdrowotnej, w tym klinikach i domu pacjenta.

LITERATURA

- [1] http://www.strokeeurope.eu/downloads/Burden%20of%20Stroke%20Report%20in%20Europe%20Launched_Media%20Release.pdf (dostępny 09.04.2018).
- [2] Udary mózgu – rosnący problem w starzejącym się społeczeństwie, Wydawnictwo Instytut Ochrony Zdrowia, Warszawa, 2016.
- [3] Instytut Organizacji i Ochrony Zdrowia Uczelni Łazarskiego. Udary mózgu – konsekwencje społeczne i ekonomiczne, Warszawa 2013.
- [4] K. Frączkowski, K. Sikora, T. Pyszczyk: *Właściwości Inteligentnych Mobilnych Czujników Ruchu (IMCR) – zastosowanie w medycynie i sporcie*, Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 18, 2012, s. 255.
- [5] S. Giovanni: *A novel array of flex sensors for a goniometric glove*. *Sensors and Actuators, Physical*, vol. 205, 2014, s. 119–125.
- [6] G. Lee: *Effects of training using video games on the muscle strength, muscle tone, and activities of daily living of chronic stroke patients*, *Journal of physical therapy science*, vol. 25(5), 2013, s. 595.
- [7] R. Lloréns, C. Colomer, E. Noé, M. Ortega, M. Alcañiz: *Functional improvement of hemiparetic upper limb after a virtual reality-based intervention with a tabletop system and tangible objects*, [w:] P.M. Sharkey, L. Pareto, J. Broeren, M. Rydmark (red.): *Proceedings of 10th International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*, Gothenburg, 2014, s. 99–107.
- [8] G.B. Gonçalves, M.A.A. Leite, M. Orsini, J.S. Pereira: *Effects of using the Nintendo Wii Fit Plus Platform in the sensorimotor training of gait disorders in Parkinson's disease*, *Neurology international*, vol. 6 (1), 2014, 5048.
- [9] K. Frączkowski: Patent. Polska, nr 222610. Inteligentny mobilny czujnik ruchu : Int. Cl. G01C 21/16. Zgłosz. nr 400494 z 24.08.2012. Opublikowane: 31.08.2016.
http://pubserv.uprp.pl/PublicationServer/generuj_dokument.php?plik=PL_000000000222610_B1_PDF
- [10] J. Witkowska, G. Ślęzak: *Platforma aktywizacji ruchowej – interaktywne gry w telerehabilitacji*. Praca magisterska. Promotor: Frączkowski Kazimierz. Wydział Informatyki i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2015.
- [11] S. Flynn, P. Phyllis, B. Anneke: *Feasibility of using the Sony PlayStation 2 gaming platform for an individual poststroke: a case report*, *Journal of neurologic physical therapy*, vol. 31(4), 2007, s. 180–189.
- [12] T.T. Richmaond, Ch. Peterson, J. Caon, M. Billings, E.A. Terrell, A.CH.W. Lee, M. Towey, B. Pamanto, A. Saptono, W.R. Cohn, D. Brennan: *American Telemedicine Association's principles for delivering telerehabilitation services*, *International Journal of Telerehabilitation*, vol. 9(2), 2017.

otrzymano / submitted: 01.10.2017
zaakceptowano / accepted: 01.12.2017