

Politechnika Poznańska
Wydział Informatyki
Instytut Informatyki

Praca dyplomowa inżynierska

**SYSTEM ANALIZY SYGNAŁU ELEKTROKARDIOGRAFICZNEGO
ORAZ GRAFOMOTORYCZNEGO**

Natalia Adamkiewicz, 100863
Joanna Galewska, 98585
Magdalena Jaśkiewicz, 100976
Michał Tomczyk, 99835

Promotor
dr inż. Miłosz Kadziński

Poznań, 2014 r.

Spis treści

1	Wstęp	1
2	Podstawy teoretyczne	3
2.1	Charakterystyka badanych przypadków medycznych	3
2.1.1	Uzależnienie od opioidów	3
2.1.2	Wirus HIV	4
2.1.3	Choroba Parkinsona	5
2.2	Specyfika badań, z których pochodzą dane do analizy	6
2.2.1	Elektrokardiografia	6
2.2.2	Tablet	9
2.3	Założenia projektu	11
2.3.1	Wymagania funkcjonalne	11
3	Oprogramowanie	13
3.1	Charakterystyka oprogramowania i opis wykorzystanych technologii	13
3.2	Szczegółowy opis modułów oprogramowania	14
3.2.1	Interfejs graficzny (GUI)	14
3.2.2	Model projektu	19
3.2.3	Analiza statystyczna	21
	Projekt modułu statystycznego	21
	Badane obiekty statystyczne	22
	Wykorzystane testy statystyczne	26
	Szczegóły implementacyjne	27
	Wyświetlanie wyników analizy statystycznej	29
3.2.4	Automatyczne odnajdywanie obiektów badanych	32
	Odnajdywanie charakterystycznych fragmentów sygnału elektrokardiograficznego	33
	Wykrywanie oraz określanie typu narysowanych figur w teście rysunkowym.	37
3.2.5	Wizualizacja sygnałów wejściowych	41
3.2.6	Raporty	44
3.2.7	Import oraz eksport danych w postaci plików XML	45
	Import danych dotyczących pojedynczego pacjenta	45
	Zapis danych dotyczących populacji	46
4	Analiza wyników	49
4.1	Przykład użytkowania programu	49
4.1.1	Aplikacja analizująca sygnał EKG	49
4.1.2	Aplikacja analizująca testy grafomotoryczne	50
4.2	Analiza statystyczna dla sygnałów elektrokardiograficznych	53
4.2.1	Wprowadzenie	53
4.2.2	Różnice w wynikach badania EKG osób uzależnionych leczonych lekiem metadon ze stwierdzoną obecnością wirusa HIV i z niewykrytym wirusem HIV	53
	Cel	53
	Wyniki testów statystycznych	54
4.2.3	Różnice w wynikach badania EKG u kobiet i mężczyzn leczonych lekiem metadon	56
	Cel	56
	Wyniki testów statystycznych	57

4.2.4	Różnice w wynikach badania EKG u osób poniżej 37 roku życia leczonych lekiem metadon w porównaniu z osobami powyżej 37 roku życia	59
	Cel	59
	Wyniki testów statystycznych	60
4.3	Analiza statystyczna dla testu rysunkowego	63
4.3.1	Skuteczność leczenia operacyjnego: palidotomia oraz talamotomia	63
	Cel	63
	Wyniki testów statystycznych	63
4.3.2	Skuteczność leczenia operacyjnego: porównanie z grupą kontrolną	69
	Cel	69
	Wyniki testów statystycznych	69
5	Zakończenie	75
A	Załączniki	77
	Literatura	79

Rozdział 1

Wstęp

Celem pracy jest implementacja oprogramowania do wizualizacji i analizy sygnałów: elektrokardiograficznego i grafomotorycznego. Dane do analizy i wizualizacji pochodzą z archiwalnych wyników badań udostępnionych przez Instytut Psychologii Polskiej Akademii Nauk w Warszawie oraz jednostkę badawczą Domu Sue Ryder w Bydgoszczy. W ramach pracy powstały dwa oddzielne programy. Pierwszy z nich odpowiada za przetwarzanie danych z badania elektrokardiograficznego (EKG). Udostępnione dane zawierają autentyczne wyniki badań osób uzależnionych od opioidów przed i po zastosowaniu leku metadon, w tym nosicieli wirusa HIV. Drugi program analizuje dane z tzw. tabletkowego testu rysunkowego, który był przeprowadzany u ludzi chorych na Parkinsona przed i po leczeniu operacyjnym. Dodatkowym założeniem pracy była implementacja testów statystycznych pozwalających na ocenę istotności różnic poszczególnych parametrów między różnymi grupami pacjentów oraz przeprowadzenie analizy porównawczej. Korzystając z oprogramowania, można obserwować zależności i różnice w wynikach badań przed i po leczeniu lub odnieść wyniki osób chorych do osób zdrowych z grupy kontrolnej. Programy pozwalają na wczytanie danych wejściowych, którymi są wyniki badań przechowywane w plikach XML lub plikach binarnych, grupowanie ich, wyliczenie statystyk oraz porównywanie różnic. Wyniki analizy można obserwować na bieżąco w programie, a także zachować w formie czytelnego raportu.

Wkład poszczególnych autorów w przygotowanie pracy przedstawia się następująco. Natalia Adamkiewicz zaimplementowała moduły wczytywania i zapisywania danych oraz prezentacji wyników w formie raportu. Joanna Galewska przygotowała graficzny interfejs użytkownika. Magdalena Jaśkiewicz zaimplementowała moduł statystyczny w projekcie. Michał Tomczyk stworzył ogólną strukturę aplikacji oraz napisał algorytmy wspomagające wizualizację danych i automatyczne odnajdywanie załamek w EKG oraz figur w teście rysunkowym. Ponadto każdy z autorów równomiernie uczestniczył w procesie tworzenia pracy inżynierskiej, opisując szczegółowo dziedziny za które był odpowiedzialny, oraz w procesie analizy danych.

Dalsza część pracy podzielona jest na następujące rozdziały. Rozdział 2 ma charakter teoretyczny. Przybliżono w nim specyfikę badań, których wyniki poddawane są analizie oraz charakterystykę chorób, z którymi zmagają się zadana grupa pacjentów. Znajduje się w nim opis wykorzystywanych w pracy terminów medycznych oraz przegląd literatury dającej podstawy do późniejszego przeprowadzenia analizy porównawczej. W rozdziale 3 przedstawiono szczegóły implementacyjne tworzonych programów. Rozdział ten stanowi podsumowanie wykorzystanych technologii oraz dokładny opis przyjętego modelu realizacji projektów. Podzielony jest na podrozdziały skupiające się na poszczególnych modułach oprogramowania takich jak: interfejs użytkownika, moduł statystyczny, algorytmy wspomagające wizualizację danych, import i zapis danych oraz tworzenie końcowych raportów. Znajduje się w nim także przykład działania obu aplikacji w charakterystycznych przypadkach. Rozdział 4 zawiera opis wybranych testów, uznanych za kluczowe do przeprowadzenia analizy porównawczej dla zadanych grup pacjentów, ich wyniki oraz interpretację. Rozdział 5 zawiera podsumowanie pracy inżynierskiej – opis zrealizowanych celów, przedstawienie napotkanych trudności, wskazanie możliwych kierunków rozwoju wytworzonego oprogramowania.

Rozdział 2

Podstawy teoretyczne

Na przestrzeni ostatnich lat można zaobserwować duży postęp w rozwoju technologicznym, który miał znaczący wpływ na wiele dziedzin nauki. To w konsekwencji przełożyło się na podniesienie jakości życia przeciętnego człowieka, zaczynając od drobnych uproszczeń życia codziennego, a kończąc na technologiach pozwalających ratować ludzkie życie. Dzięki nowoczesnym wynalazkom, badaniom i odkryciom wielu chorych może zostać wyleczonych lub przynajmniej można ograniczyć stopień, w jakim objawy i skutki choroby wpływają na ich normalne funkcjonowanie. Dlatego też szczególnie istotnym obszarem rozwoju jest medycyna, która w połączeniu z nowoczesnymi technologiami umożliwia coraz wcześniejsze diagnozowanie i skuteczniejsze leczenie chorób, a także bardziej zaawansowane badania nad charakterystyką chorób, wpływem różnych czynników na ich przebieg, czy metodami ich leczenia.

Medycyna jest jedną z dziedzin, które czerpią dużo korzyści z zastosowań informatyki. Dzięki informatyzacji medycyny można szybciej przetwarzać duże ilości danych pochodzące z badań i na ich podstawie łatwiej podejmować kluczowe dla zdrowia pacjenta decyzje o przebiegu leczenia. Głównym przeznaczeniem oprogramowania wytworzonego w ramach niniejszej pracy jest wsparcie lekarzy w analizie danych pochodzących z przeprowadzonych przez nich badań. Oba projekty mają za zadanie pomóc lekarzom w diagnozach i badaniach nad wybranymi chorobami i uzależnieniami oraz umożliwić im odkrycie zależności między stanem zdrowia pacjenta/populacji a różnymi czynnikami zewnętrznymi, takimi jak podane dawki leku, prowadzony tryb życia, itp. Dzięki przeprowadzonym analizom można lepiej dopasować kurację do kondycji pacjenta czy ocenić jej skuteczność. Dodatkowo wytworzone oprogramowanie daje możliwość graficznej interpretacji danych tekstowych, co może być wykorzystane w celach edukacyjnych i w dalszych badaniach nad wymienionymi chorobami. Jednak najważniejszą motywacją, jest pomoc pacjentom, dla których każde usprawnienie procesu leczenia może okazać się ratunkiem dla życia.

2.1 Charakterystyka badanych przypadków medycznych.

W tym rozdziale przedstawiono krótką charakterystykę chorób i uzależnień, do których odniesiono się, prezentując przykładowe wyniki analizy w Rozdziale 4.

2.1.1 Uzależnienie od opioidów

Opioidy to grupa substancji wpływających pobudzająco na występujące przede wszystkim w centralnym układzie nerwowym receptory opioidowe. Receptory te pełnią istotną rolę podczas regulacji odczuwania bólu, funkcji motorycznych, psychofizycznych czy kontroli nastroju.

Opioidy są powszechnie uznawane za najbardziej uzależniające spośród poznanych substancji. Ich regularne przyjmowanie może powodować zarówno uzależnienia psychiczne (mogą wystąpić już po krótkim, kilkudniowym okresie przyjmowania) jak i fizyczne (te pojawiają się zazwyczaj po dłuższym i regularnym czasie przyjmowania substancji). Uzależnienie prowadzi do zmian w mózgu oraz układzie nerwowym osoby uzależnionej, w wyniku których wykształca się tolerancja na substancję to znaczy organizm przyzwyczaja się i, aby wywołać pożądany efekt oraz uniknąć objawów odstawienia, potrzebuje większej dawki. Przykładem bardziej rozpoznawalnych substancji z grupy opioidów mogą być:

- heroina (silnie uzależniający narkotyk),

- morfina i kodeina (silne środki przeciwbólowe),
- metadon i buprenorfina (pochodne morfiny stosowane w terapiach odwykowych),
- loperamid i difenoksyilat (składniki środków przeciwbiegunkowych).

Do skutków oddziaływania opioidów na organizm człowieka zaliczają się: osłabienie reakcji na dotyk, dźwięk czy światło, otępienie, stany euforyczne i depresyjne, zawroty głowy, zaburzenia pamięci, problemy z koncentracją, spowolnienie perystaltyki żołądka i jelit. Dłuższe przyjmowanie substancji oprócz już wymienionych uzależnień i tolerancji może powodować również nerwowość, problemy z zasypianiem i lęki nocne, jaśnienie włosów czy nerwobóle. Przedawkowanie opioidów może wywołać niewydolność ośrodka oddechowego prowadzącą do śmierci.

U osób uzależnionych po odstawieniu opioidów pojawia się wielość bardzo nieprzyjemnych objawów ogólnie określanych jako zespół odstawienia, w tym m. in.: narastające rozdrażnienie, uczucie senności i ziewanie przy jednoczesnej bezsenności, silne bóle mięśni i stawów oraz dreszcze i zlewne poty.

Leczenie zespołu odstawienia odbywa się w wyspecjalizowanych ośrodkach psychiatrycznych. Aby było ono skuteczne należy prowadzić je kompleksowo przez równoległe łączenie farmakoterapii, psychoterapii z właściwymi oddziaływaniami środowiskowymi. Obecnie większość krajów o wysokiej kulturze medycznej koncentruje się na zwiększeniu dostępności leczenia substytucyjnego. Leczenie to nie zakłada totalnej długoterminowej abstynencji, która dla większości pacjentów jest często, mimo najlepszych chęci, zbyt trudna do zrealizowania lub za mało atrakcyjna, przez co grozi nawrotem. Nawroty te są tym bardziej niebezpieczne dla osób, które rozpoczęły terapię odwykową opartą o abstynencję, ponieważ po zaprzestaniu przyjmowania opioidów tolerancja organizmu na nie zmniejsza się. Niestety z reguły w przypadku wystąpienia nawrotu osoby uzależnione przyjmują taką samą dawkę, jaką stosowali przed rozpoczęciem terapii, co znacząco potęguje ryzyko przedawkowania.

Leczenie substytucyjne polega na zamianie bardziej szkodliwych dla zdrowia substancji (takich jak na przykład heroina) na leki o zdecydowanie korzystniejszych cechach farmakologicznych i farmaceutycznych a jednocześnie o podobnym działaniu receptorowym (najczęściej są to metadon lub buprenorfina). Uznaje się, że ta forma leczenia wsparta psychoterapią i pomocą środowiskową w znaczącym stopniu pozwala eliminować lub redukować stosowanie opioidów i innych środków psychoaktywnych, a co za tym idzie:

- ogranicza ryzyko chorób przenoszonych drogą krwionośną
- pozytywnie wpływa na stan zdrowia somatycznego i psychicznego
- przyczynia się do lepszego funkcjonowania
- polepsza jakość życia

2.1.2 Wirus HIV

HIV jest akronimem od angielskiego określenia „human immunodeficiency virus”, co tłumaczy się jako ludzki wirus niedoboru odporności. Wirus ten występuje w dwóch odmianach: HIV-1 (najpopularniejszy, spotykany na całym świecie) i HIV-2 (występujący najczęściej w Afryce). Swoiste przeciwciała umożliwiające wykrycie wirusa pojawiają się w organizmie osoby zakażonej po 3-8 tygodniach od momentu zakażenia. Obecność przeciwciał oznacza pozytywny (dodatni) wynik testu (badany jest nosicielem wirusa HIV). Jeśli wynik testu jest negatywny (ujemny) znaczy to, że w organizmie badanej osoby nie zostały wykryte przeciwciała.

Wirus HIV atakuje jeden z rodzajów białych krwinek – limfocyty CD4. W zależności od postępu zakażenia u nosiciela zaobserwować można stopniowe obniżanie odporności, który w zależności od stopnia osłabienia może objawiać się takimi chorobami jak: gruźlica, zapalenie płuc i opon mózgowych, grzybica jamy ustnej, pochwy, pólpaśiec, choroby zapalne miednicy, biegunka.

Obecnie najczęstszymi przyczynami zakażeń wirusem HIV są po pierwsze niesterylne dożylnie wstrzykiwanie narkotyków (najczęściej opiatów) oraz w drugiej kolejności niebezpieczne kontakty heteroseksualne. Z tego względu bardzo ważnym elementem prewencyjnym jest przeciwdziałanie zakażeniom wśród osób uzależnionych, co najczęściej próbuje się osiągnąć przez leczenie uzależnienia metadonem.

Do tej pory nie znaleziono leku usuwającego wirus HIV z organizmu, jednak dobór odpowiedniej terapii pozwala zahamować jego dalsze namnażanie. Pierwsze próby leczenia wirusa HIV miały

miejsce w roku 1987 poprzez podanie osobom zakażonym wirusem HIV leku o nazwie Zydowudyna (AZT). Jego działanie powodowało wstrzymanie procesu syntezy DNA wirusa HIV, jednak ostatecznie działanie leku okazało się nieskuteczne, ponieważ prowadziło do spowolnienia tylko jednego ze szczepów wirusa, podczas gdy pozostałe rozwijały się ze zdwojoną siłą. Prawdziwym przełomem w leczeniu okazała się metoda HAART (Highly Active Antiretroviral Treatment) – wysoce skuteczna terapia antyretrowirusowa, która opiera się na stosowaniu kombinacji przynajmniej trzech leków antyretrowirusowych, w wyniku czego maleje ryzyko powstania na skutek mutacji rodziny wirusów odpornej na każdy z przyjmowanych leków. Decyzje o momencie rozpoczęcia leczenia podejmuje się w zależności od stadium choroby na podstawie regularnych badań poziomu komórek CD4 wykonywanych średnio co 3-6 miesięcy. Istotnym jest jednak, że, gdy leczenie raz zostanie podjęte, musi być od tej pory kontynuowane przez całe życie.

Ponadto, biorąc pod uwagę spory odsetek narkomanów leczonych metadonem wśród nosicieli wirusa HIV, warto zwrócić uwagę na fakt oddziaływania na siebie metadonu z niektórymi lekami przeciwretrowirusowymi.

2.1.3 Choroba Parkinsona

Choroba Parkinsona jest chorobą ośrodkowego układu nerwowego. Należy ona do grupy chorób neurodegeneracyjnych, ponieważ wraz z postępem choroby następuje zanik dopaminergicznych komórek. Dopamina jest istotnym neuroprzekaźnikiem, którego funkcja zależna jest od miejsca działania. W układzie pozapiramidowym ośrodkowego układu nerwowego pełni ona kluczową rolę w procesach motorycznych człowieka. Spadek ilości dopaminy w układzie pozapiramidowym spowodowany chorobą Parkinsona, skutkuje następującymi charakterystycznymi objawami:

- zaburzeniem ruchowym i postawy,
- sztywnością mięśniową oraz brakiem koordynacji mięśniowej,
- drżeniem spoczynkowym o szacowanej częstotliwości 4-6Hz.

Rozwój tej samoistnie pojawiającej się choroby następuje bardzo powoli. Ujawnia się średnio w wieku od 40 do 60 lat. Obecnie choroba Parkinsona znajduje się zaraz za chorobą Alzheimera na liście najczęściej występujących chorób neurodegeneracyjnych. Szacuje się, że na 100000 osób około 100-200 jest chorych, a w 60% przypadków dotyczy ona mężczyzn. Sposoby leczenia można podzielić na dwie grupy: farmakologiczne oraz operacyjne.

Leczenie farmakologiczne

Do najważniejszych metod leczenia farmakologicznego zaliczana jest lewodopa (l-dopa). Istotą l-dopy jest uzupełnienie brakującej w układzie pozapiramidowym dopaminy. Lewodopa cechuje się dobrą skutecznością w leczeniu większości objawów. Jednak nie radzi sobie ona z problemem występowania braku równowagi u osoby chorej.

Leczenie operacyjne

W przypadku braku zadowalającej skuteczności podczas leczenia farmakologicznego, możliwe jest leczenie operacyjne, którego ideą jest kontrolowane zniszczenie określonych struktur mózgu. Jak przy każdym zabiegu tego typu, wiąże się z tym duże ryzyko. Jednak wraz z rozwojem technologii, pojawieniem się coraz to dokładniejszych narzędzi, ryzyko wystąpienia powikłań znacząco zmalało na przestrzeni lat. Do podstawowych zabiegów operacyjnych należą pallidotomia oraz talamotomia. Obydwa zabiegi polegają na uszkodzeniu części mózgu wykazującej się nadmierną aktywnością podczas choroby:

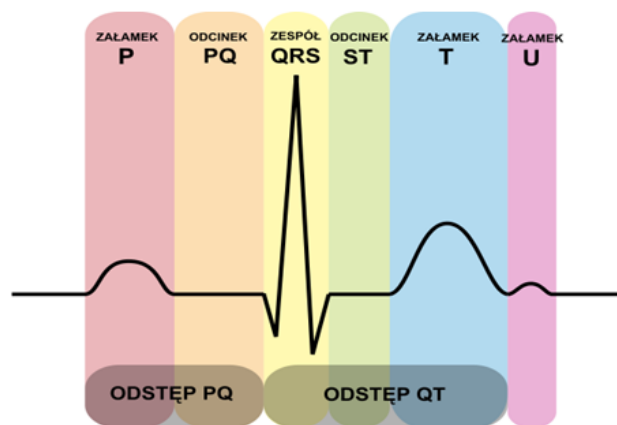
- pallidotomia: zabieg uszkodzenia części gałki bladej,
- talamotomia: zabieg uszkodzenia części wzgórza.

Z obydwu wyżej wymienionych metod pallidotomia charakteryzuje się większą skutecznością. Talamotomia jest zabiegiem stosowanym już od ponad 40 lat. Nie radzi ona sobie z wieloma objawami choroby, dodatkowo częstość występowania powikłań po zabiegu jest znaczna.

2.2 Specyfika badań, z których pochodzą dane do analizy

2.2.1 Elektrokardiografia

Zapis sygnału elektrokardiograficznego (EKG) stanowi podstawę analizy w pierwszej części projektu. Sygnał EKG to elektryczna aktywność mięśnia sercowego zarejestrowana przy pomocy elektrod zamocowanych na powierzchni klatki piersiowej. Otrzymana w wyniku badania krzywa elektrokardiograficzna ukazuje odtworzone napięcia (różnicę potencjałów) pomiędzy dwoma odprowadzeniami. Wielkość zmierzonego napięcia zależy od rozłożenia elektrod względem środka serca i względem siebie. Bez względu na umiejscowienie odprowadzeń, podczas każdego badania otrzymany zostanie charakterystyczny zapis zespołu elektrokardiograficznego, w którym załamki (odchylenie od linii izoelektrycznej), odstępy i odcinki odpowiadają poszczególnym fazom pracy serca. Rysunek 2.1 prezentuje pojedynczy cykl pracy serca na krzywej elektrokardiograficznej.



Rysunek 2.1: Krzywa elektrokardiograficzna z zaznaczonymi załamekami, źródło: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EKG_Komplex_PL.svg

Charakterystyka poszczególnych załameków i odcinków przedstawionych na Rysunku 2.1 jest następująca:

- **Załamek P**
Depolaryzacja węzła zatokowo-przedsionkowego rozprzestrzenia się w obu przedsionkach, co na zapisie EKG objawia się w widocznym wychyleniu krzywej w górę. Załamek P ilustruje skurcz przedsionków i jest dodatni we wszystkich omówionych w kolejnym podpunkcie odprowadzeniach.
- **Odcinek PQ**
Odcinek PQ odpowiada repolaryzacji przedsionków, wyrażając czas przewodzenia depolaryzacji przez węzeł zatokowo-przedsionkowy.
- **Odstęp PQ**
Odstęp PQ wyraża czas przewodzenia depolaryzacji od węzła zatokowo-przedsionkowego do węzła przedsionkowo-komorowego. Odstęp PQ zależy od wieku badanego i częstotliwości pracy serca – u osób młodych czas trwania omawianego odstępu jest znacznie krótszy niż u osób starszych.
- **Zespół QRS**
Zespół QRS jest zapisem depolaryzacji komór, która powoduje skurcz komór. Załamek Q jest pierwszym wychyleniem w dół w zespole QRS, po nim występuje wychylenie w górę – załamek R, załamek Q jest często elementem brakującym w przebiegu EKG.
- **Odcinek ST**
Odcinek ST jest poziomy, płaski i znajduje się na poziomej linii izoelektrycznej. Ilustruje on fazę repolaryzacji mięśnia komór.
- **Załamek T**
Załamek T pojawia się po zespole QRS i odpowiada repolaryzacji komór serca.

- Odstęp QT

Odstęp QT przedstawia czas trwania depolaryzacji i repolaryzacji mięśnia komór, jest mierzony od początku zespołu QRS do końca załamka T. Odstęp QT zależy od aktywności pracy serca, dlatego jest on dodatkowo korygowany. Korekcje odcinka QT w programie wyliczono, korzystając z następujących trzech formuł.

Formuła Bazetta:

$$QT_{cB} = \frac{QT}{\sqrt{RR}}$$

Formuła Fridericia:

$$QT_{cF} = \frac{QT}{\sqrt[3]{RR}}$$

Formuła Framingham:

$$QT_{cR} = QT + 0,154 \times (1 - RR)$$

gdzie:

QT – długość odstępu QT,

RR – długość odstępu RR.

Formuła Bazetta uważana jest za najprostszą formułę korekcji, ale jednocześnie najbardziej krytykowaną, dlatego dla porównania wyników wykorzystano także dwie kolejne formuły.

- Odstęp RR

Odległość między kolejnymi załawkami R w zapisie sygnału elektrokardiograficznego. Równe odstępy RR w całym zapisie EKG wskazują na prawidłowy rytm serca. Znając długość odstępu RR można łatwo wyznaczyć puls badanej osoby, jako odwrotność średniej długości odstępu RR.

$$HR = \frac{1}{RR}$$

gdzie:

RR – średni czas trwania odstępu RR w danym kanale.

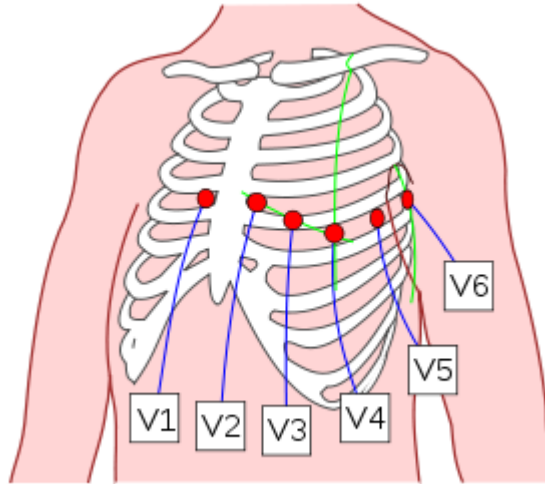
- Punkt J

Punkt J łączy zespół QRS i odcinek ST. W prawidłowym zapisie krzywej elektrokardiograficznej, punkt łączący J nie powinien być przesunięty o więcej niż 1mm w górę lub w dół od linii izoelektrycznej.

Format danych wejściowych

Wykorzystywany zapis EKG w celu przeprowadzenia analizy obciążenia i aktywności serca wykonany został przy pomocy dziewięciu odprowadzeń. Pierwsze trzy nazywane są odprowadzeniami dwubiegunowymi i tworzą trójkąt Einthovena (zakłada się, że jest to trójkąt równoboczny), który powstaje w wyniku umiejscowienia na ciele badanego czterech elektrod – na prawej ręce, lewej ręce, lewej goleni oraz dodatkowej elektrody na prawej goleni, stanowiącej punkt odniesienia. W ten sposób otrzymujemy następujące odprowadzenia:

- odprowadzenie I – napięcie zmierzone pomiędzy lewą (biegun dodatni) a prawą ręką (biegun ujemny),
- odprowadzenie II – napięcie zmierzone pomiędzy prawą ręką (biegun ujemny) a lewą stopą (biegun dodatni),
- odprowadzenie III – napięcie pomiędzy lewą ręką (biegun ujemny) a lewą stopą (biegun dodatni).



Rysunek 2.2: Rozmieszczenie elektrod Wilsona, źródło: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/66/Precordial_Leads_2.svg

Do zapisu kolejnych sześciu odprowadzeń wykorzystuje się sześć elektrod jednobiegunowych przedsercowych Wilsona. Ich umiejscowienie na klatce piersiowej pacjenta zostało przedstawione na Rysunku 2.2.

Plik wejściowy to zapis elektrokardiograficzny w postaci pliku XML. Oprócz opisanych powyżej odprowadzeń ujętych w znacznikach `<ekgWave>` dostarczane są informacje na temat pacjenta – jego imię, nazwisko, płeć, wiek, ciśnienie krwi, waga oraz wzrost. Znacznik `<ekgSignal>` określa liczbę pobranych próbek, częstotliwość z jaką zostało wykonane badanie, liczbę i zdefiniowane nazwy odprowadzeń, datę wykonania badania. Poniżej został przedstawiony szkielet pojedynczego zapisu EKG, dostarczonego na potrzeby implementacji programu.

Listing 2.1: Szkielet pliku XML zawierającego sygnał elektrokardiograficzny.

```

1  <card name="" >
2  <cardMemo>
3  </cardMemo>
4  <patient surname="" firstName="" thirdName="" ID="" birthDate="" age="" sex="" weight=""
5  bloodPressure="" height="" pacemaker="" nameFormat="" field1="" field2="" field3=""
6  field4="" field5="" field6="" >
7  <patientMemo>
8  </patientMemo>
9  <examination name="" date="" type="ECG" subType="" >
10 <examinationMemo>
11 ...
12 </examinationMemo>
13 <ekgSignal timeOffset="" numberSamples="" frequency="" recordTimeFilters=""
14 numberLeads="" leads="" zeroOffset="" sensitivity="" dataType="" compression=""
15 encryption="" deltaCompressDataSize="" deltaZipCompressDataSize="" >
16 <ekgSignalComment>
17 ...
18 </ekgSignalComment>
19 <ekgWave lead="" >
20 ...
21 </ekgWave>
22 <ekgWave lead="" >
23 ...
24 </ekgWave>
25 </ekgSignal>
26 </patient>
27 </card>
28 </exportHeader>

```

2.2.2 Tablet

Do oceny czynności motorycznych osoby z chorobą Parkinsona wykorzystuje się test rysunkowy, którego przebieg jest rejestrowany przez urządzenie pomiarowe - tablet. Na powierzchni tabletu podłączonego do komputera umieszcza się specjalnie zaprojektowany test rysunkowy. Następnie osoba badana stara się za pomocą elektronicznego rysika odrysować wzorzec (rys. 2.4). Pomiar opiera się na zjawisku indukcji pola magnetycznego. Dzięki skutecznemu zasięgowi oddziaływania magnetycznego wynoszącego dla większości urządzeń pomiarowych około 10 milimetrów, można przeprowadzać badanie niezależnie od grubości (do 1 centymetra) naniesionego testu. Pomiar dokonywany jest ze stałą, wysoką częstotliwością. Dla otrzymanych przez zespół plików wejściowych wynosi ona 100Hz, jednak niektóre modele urządzeń pomiarowych są w stanie dokonywać pomiaru nawet do 200 razy na sekundę.

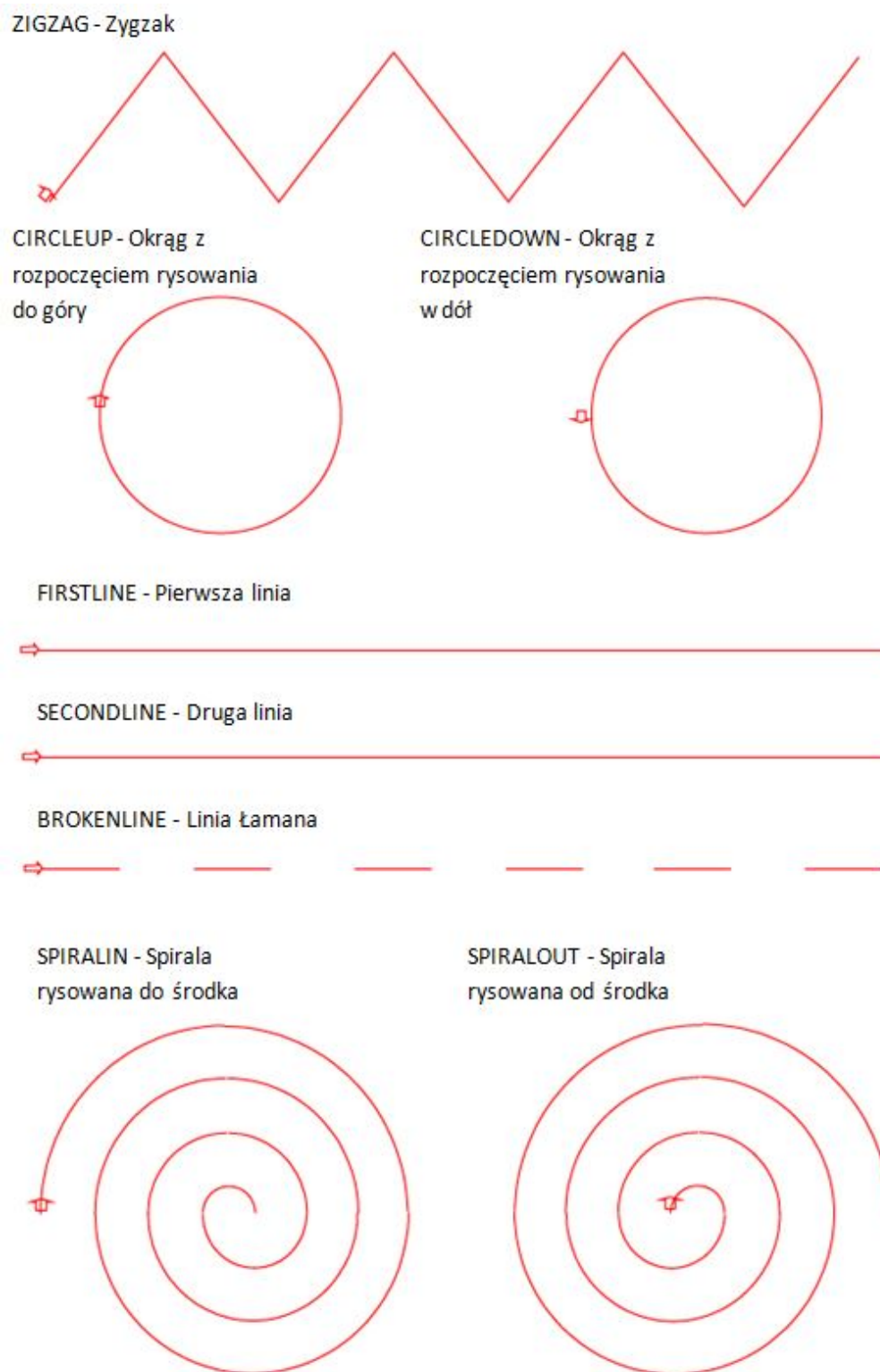
W skład pojedynczej próbki pomiarowej wchodzi następujące elementy:

- czas pobrania próbki,
- współrzędna X położenia końcówki rysika,
- współrzędna Y położenia końcówki rysika,
- nacisk rysika na powierzchnię tabletu,
- szerokość kątowa położenia rysika,
- wysokość kątowa położenia rysika.

W skład testu rysunkowego wchodzi osiem figur, dla których został określony kierunek przebiegu rysowania. Test został zaprojektowany w taki sposób, by dla osób chorych stanowił wysoki poziom trudności. Wymaga on od osoby badanej zaangażowania wielu mięśni wchodzących w skład kończyny. Na przykład: zmiany kierunku rysowania w figurze o kształcie zygzaka wymuszają u badanego zmianę stopnia rozwarcia w stawie łokciowym. Linia przerywana natomiast wymusza liczne oderwania piórka na małej przestrzeni. Podczas przeprowadzania testu badana osoba musi zatem walczyć z podstawowymi objawami choroby. Na Rysunku 2.4 zostały przedstawione wraz z figurami ich nazwy identyfikacyjne użyte w programie, oraz kierunek rysowania figury.



Rysunek 2.3: Tablet - test rysunkowy



Rysunek 2.4: Arkusz testu rysunkowego.

Format danych wejściowych

Przebieg testu rysunkowego zapisywany jest w pliku binarnym o określonej strukturze. Odczyt danych polega na wczytywaniu kolejnych bajtów informacji i odpowiednim interpretowaniu ich w oparciu o znajomość struktury pliku. Plik wejściowy składa się z nagłówka i danych właściwych (punkt 12 tabeli 2.1) . Tabele 2.1 oraz 2.2 przedstawiają strukturę pliku.

Tabela 2.1: Struktura nagłówka pliku z przebiegiem testu rysunkowego.

Lp.	Element	Rozmiar
1	Długość nazwy pliku	4 Bajty
2	Nazwa pliku	1 Bajt na znak
3	Długość daty	4 Bajty
4	Data	1 Bajt na znak
5	Długość notatek	4 Bajty
6	Notatki	1 Bajt na znak
7	Nieistotne dane	4 Bajty
8	Nieistotne dane	4 Bajty
9	Nieistotne dane	4 Bajty
10	Nieistotne dane	4 Bajty
11	Ilość pakietów danych	4 Bajty
12	Pakiety danych	24 Bajty na pakiet

Tabela 2.2: Pojedynczy pakiet danych w pliku z przebiegiem testu rysunkowego.

Lp.	Element	Rozmiar
1	Moment pomiaru	4 Bajty
2	Położenie X	4 Bajty
3	Położenie Y	4 Bajty
4	Nacisk	4 Bajty
5	Szerokość kątowna	4 Bajty
6	Wysokość kątowna	4 Bajty

2.3 Założenia projektu

2.3.1 Wymagania funkcjonalne

Wymagania funkcjonalne dla projektu EKG

Zasadniczą rolą pierwszej z dwóch części implementowanego systemu jest wizualizacja oraz analiza sygnału elektrokardiograficznego (EKG). System ma umożliwić ocenę elektrokardiogramu oraz jego porównywanie dla różnych grup pacjentów. Aplikacja musi być przystosowana do wczytywania danych z plików XML oraz wstępnej analizy sygnału pochodzącego z różnych odprowadzeń w postaci ciągu liczb. System powinien rozpoznawać załamki, odcinki i odstępy, czyli charakterystyki sygnału EKG. Aplikacja powinna prezentować wczytany sygnał EKG w sposób umożliwiający jego ściskanie, rozszerzanie, zaznaczanie i analizowanie wybranego fragmentu sygnału na żądanie.

Wymagania funkcjonalne dla testu rysunkowego

Druga część systemu powinna zagwarantować przetwarzanie i analizę sygnału pochodzącego z testu rysunkowego, obejmującą wyliczenie parametrów dynamiki ruchu kończyny górnej, takich jak: czas wykonania zadania, czas reakcji na bodziec, całkowita droga kreślenia w zadaniach rysunkowych, prędkość chwilowa i przyspieszenie chwilowe, chwilowa siła nacisku i wiele innych. Wyznaczane ma być również widmo częstotliwościowe w oparciu o szybką transformatę Fouriera (FFT). Podobnie jak w przypadku pierwszej części aplikacja musi być przystosowana do wczytywania odpowiedniego

typu plików – w tym przypadku są to pliki binarne o rozszerzeniu .mtb.

Wymagania wspólne dla obu projektów

1. Użytkownik musi mieć możliwość tworzenia i edytowania populacji. Istotne jest, aby sposób tworzenia populacji był przejrzysty i intuicyjny, tak by dodawanie nowych, usuwanie, przesuwanie na liście osobników było z punktu widzenia użytkownika jak najprostsze.
2. System powinien zapewniać możliwość zapisania utworzonych populacji. Często dochodzi do sytuacji, w której daną populację, problem czy przypadek analizujemy kilka razy. W takim przypadku zamiast odtwarzać od nowa rozpoczętą już analizę od stworzenia populacji, system powinien umożliwić wczytanie populacji wcześniej już przygotowanych.
3. System powinien umożliwiać stworzenie projektu pozwalającego uzyskać informacje statystyczne dotyczące sygnału jednego osobnika, projektu dającego możliwość porównania dwóch sygnałów, projektu umożliwiającego analizę statystyczną jednej lub dwóch niezależnych populacji osobników oraz projektu służącego do porównywania pod kątem danych statystycznych dwóch zdefiniowanych populacji osobników posiadających wyniki przed i po leczeniu.
4. System powinien zapewnić możliwość edytowania i wprowadzania dodatkowych danych dotyczących użytkowników.
5. System powinien umożliwiać generowanie raportu (wyników z analizy statystycznej, istotność różnic między populacjami) do dowolnego formatu, np. HTML.
6. System powinien być zdolny do obliczenia prostych wartości statystycznych, jak wartość średnia, minimum czy maksimum, a także do sprawdzenia rozkładu normalnego (test Kołmogorowa-Smirnowa lub test Lillieforsa), przeprowadzenia testów parametrycznych i nieparametrycznych (w zależności od uzyskanych wyników: test t-Studenta lub test Wilcoxon).
7. System powinien umożliwiać korekcję automatycznie obliczonych charakterystyk.

Rozdział 3

Oprogramowanie

3.1 Charakterystyka oprogramowania i opis wykorzystanych technologii

Efektom realizacji pracy są dwie niezależne aplikacje – aplikacja do analizy sygnału EKG oraz program badający sygnał grafomotoryczny zarejestrowany z wykorzystaniem tabletu. Choć charakterystyka przetwarzanych sygnałów różni się znacząco, ogólna koncepcja obydwu aplikacji jest bardzo podobna. Pozwala to na wprowadzenie dla obu programów jednej koncepcji implementacyjnej oraz wykorzystanie wspólnych modułów.

Działanie aplikacji bazuje na wczytaniem z pliku bądź nowo utworzonym projekcie umożliwiającym analizę statystyczną danych wejściowych. Użytkownicy mogą wybrać dowolny spośród czterech typów projektów:

- projekt, pozwalający uzyskać informacje statystyczne dotyczące sygnału jednego osobnika,
- projekt, dający możliwość porównania dwóch sygnałów (np. porównanie dwóch osobników lub porównanie sygnałów jednego osobnika przed i po zażyciu leku),
- projekt, umożliwiający analizę statystyczną jednej lub dwóch niezależnych populacji osobników,
- projekt, służący do porównywania pod kątem danych statystycznych dwóch zdefiniowanych populacji osobników posiadających wyniki przed i po leczeniu – w projekcie tym porównywane są różnice przed i po leczeniu w pojedynczej populacji oraz różnice pomiędzy obiema badanymi populacjami.

Przy tworzeniu nowego projektu dane pojedynczych osobników są importowane do programu bezpośrednio przez użytkownika aplikacji z plików zewnętrznych. W przypadku otwierania zapisanego projektu wszystkie informacje – zarówno dane personalne osobników, ich badane sygnały, czy przynależność do poszczególnych populacji – są wczytywane z pliku w formacie XML. Analogicznie przy zapisie projektu wszystkie informacje są rejestrowane w wybranej przez użytkownika lokalizacji w formacie XML. Wykorzystanie tej samej konwencji zapisu projektu w obu aplikacjach pozwoliło na utworzenie modułów importu-eksportu danych dla obu aplikacji stosunkowo niewielkim nakładem pracy.

Podobnie wygląda sytuacja w kontekście modułów statystycznych, które dzięki odpowiedniemu projektowi struktury programów – paralelnemu w obu aplikacjach – korzystają z jednakowych metod przetwarzania i zapisu informacji oraz testów i funkcji statystycznych udostępnionych użytkownikom.

Zastosowanie tak znaczących uproszczeń implementacyjnych było możliwe, dzięki wykorzystaniu tych samych narzędzi do tworzenia obu aplikacji. Programy napisane zostały w języku programistycznym JAVA, natomiast do ich implementacji wykorzystane zostało zintegrowane środowisko programistyczne (IDE) Eclipse. Za zastosowaniem właśnie tych narzędzi przemówiły przede wszystkim:

- obiektowość i wieloplatformowość języka JAVA,
- duża pula standardowych narzędzi oraz znacząca liczba bibliotek wspierających język JAVA,

- duża liczba wtyczek ułatwiających pisanie oprogramowania dostępnych dla IDE Eclipse,
- ich popularność, a w konsekwencji duża liczba użytkowników i łatwość uzyskania ewentualnego wsparcia,
- brak kosztów licencyjnych.

Aby usprawnić jednoczesne współtworzenie oprogramowania przez czteroosobowy zespół programistyczny, wykorzystany został system kontroli wersji Git, za którego główne zalety uznane zostały popularność, szybkość, prostota oraz stosunkowo niski koszt użytkowania.

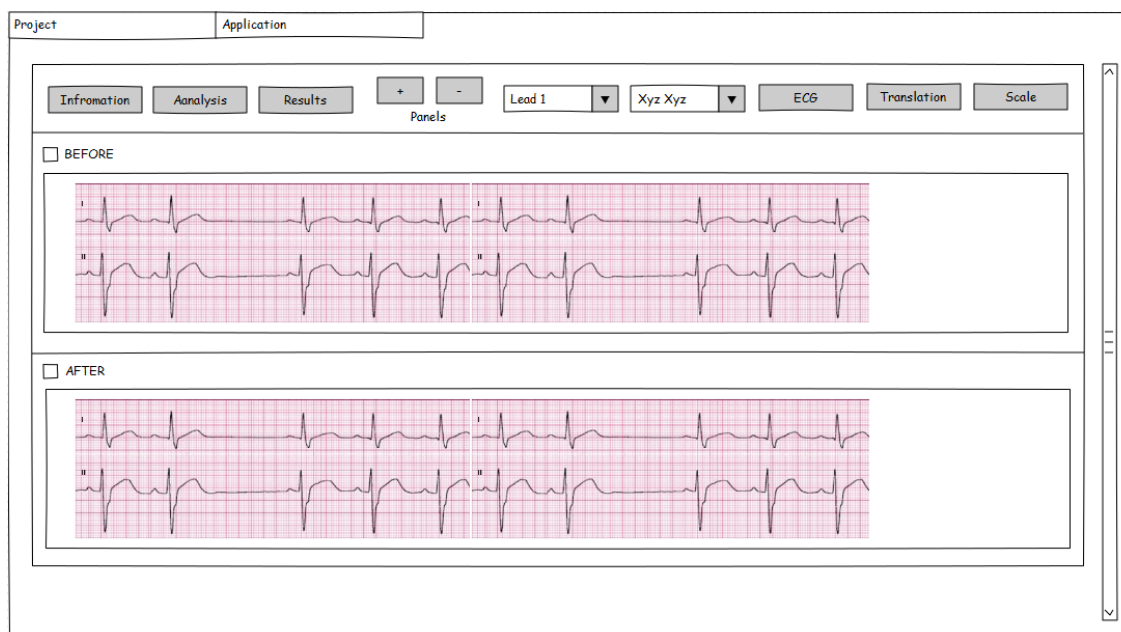
3.2 Szczegółowy opis modułów oprogramowania

3.2.1 Interfejs graficzny (GUI)

Do implementacji graficznego interfejsu użytkownika wykorzystana została jedna z najpopularniejszych bibliotek graficznych w języku programowania Java – Swing. Interfejs został zaprojektowany z wykorzystaniem wzorca architektonicznego Model-View-Controller (MVC). MVC zakłada podział aplikacji na trzy części:

- Model (model) – model definiuje w jaki sposób przechowywane są dane; dane te są ukryte przed pozostałymi częściami aplikacji.
- View (widok) – widok implementuje logikę prezentacyjną, czyli sposób prezentacji przetwarzanych danych użytkownikowi końcowemu.
- Controller (sterownik) – sterownik odpowiedzialny jest za logikę sterującą całą aplikacją.

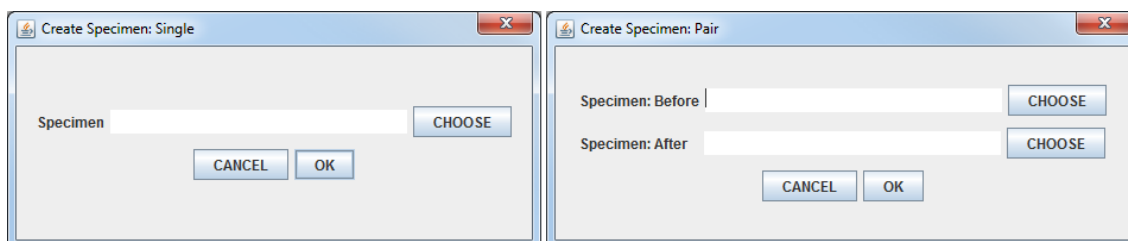
Zastosowanie wzorca MVC umożliwia przenośność aplikacji, co w przypadku realizowanej pracy jest bardzo ważnym aspektem - zaimplementowane klasy modelu wspólne dla obu części projektu mogą być przenoszone bez nanoszenia jakichkolwiek zmian.



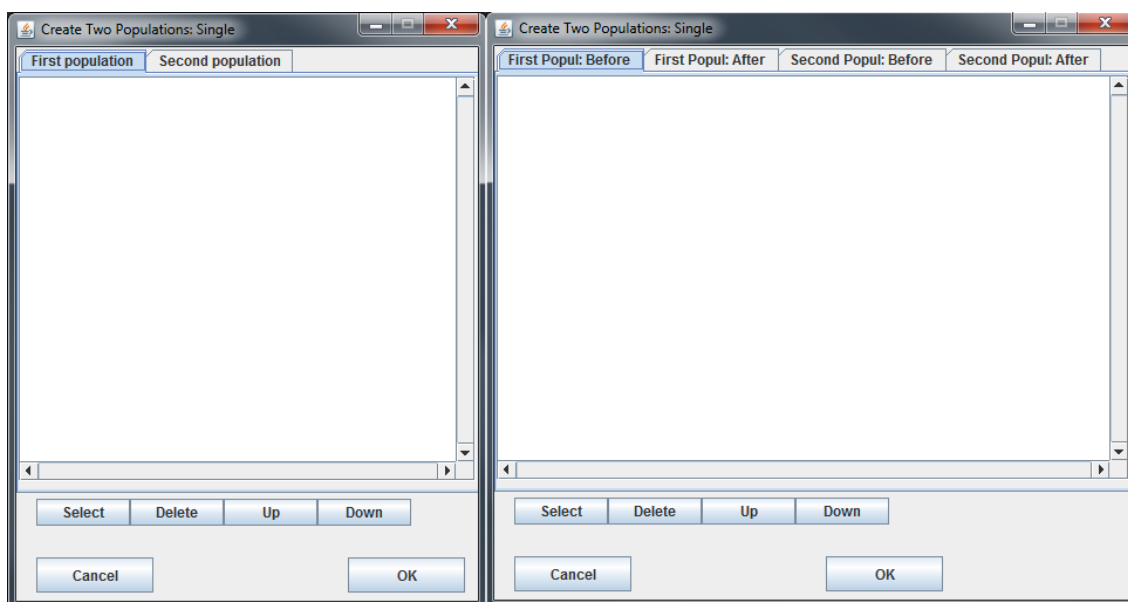
Rysunek 3.1: Projekt interfejsu użytkownika w aplikacji analizującej sygnał EKG.

Początkową koncepcję interfejsu użytkownika przedstawiono na Rysunku 3.1 – projekt przygotowano w programie Pencil. Przy projektowaniu wyglądu aplikacji skupiono się przede wszystkim na jak najprostszej obsłudze oraz na jak najbardziej przejrzystej formie prezentacji wczytanych danych, a także końcowych wyników analizy. Przykład prezentuje interfejs użytkownika w przypadku wyboru projektu analizującego zapis sygnału elektrokardiograficznego dla populacji, uwzględniający badania osobników zarówno przed rozpoczęciem leczenia, jak i po.

Jak wspomniano w Rozdziale 1, praca z aplikacją rozpoczyna się od stworzenia nowego projektu. Po uruchomieniu programu i poprawnym zalogowaniu, zostaje wyświetlona aplikacja z aktywnym menu, za pomocą którego użytkownik może utworzyć nowy projekt lub zaimportować projekt już istniejący. W przypadku wyboru nowego projektu, kolejnym krokiem jest podjęcie decyzji co do rodzaju przeprowadzanej analizy. Na tym etapie wyróżniamy dwa kreatory – dla aplikacji analizującej pojedyncze osobniki (Rysunek 3.2) i aplikacji analizującej populacje (Rysunek 3.3). W przypadku pierwszego kreatora należy podać ścieżkę do jednego lub dwóch plików – w zależności od tego, czy celem badania jest wyliczenie statystyk dla pojedynczej osoby w pojedynczym badaniu czy porównanie różnic dla pojedynczej osoby przed i po leczeniu. W przypadku analizy populacji, należy wcześniej takie populacje w kreatorze utworzyć. Odbywa się to poprzez podawanie kolejnych ścieżek do plików z zapisem sygnałów EKG pojedynczych osobników. Okno kreatora podzielone jest na dwie części, oddziela i zaznacza wyraźną granicę pomiędzy tworzonymi populacjami. W przypadku projektu, w którym istotne jest wskazanie odpowiedników w populacji komplementarnej, o powiązaniu decyduje położenie wczytanych plików – osobnik populacji pierwszej leżący w tej samej linii co osobnik populacji drugiej, jest z nim powiązany. Osobniki na liście mogą być przemieszczani w górę i dół za pomocą strzałek, a także mogą zostać z niej usunięci.



Rysunek 3.2: Okna do wczytywania plików do projektów analizujących pojedynczych osobników.



Rysunek 3.3: Okna do wczytywania plików do projektów analizujących populacje.

Po stworzeniu projektu użytkownikowi prezentowane jest główne okno aplikacji. Rysunek 3.4 pokazuje końcowy wygląd tego okna w programie analizującym sygnał EKG po zaimplementowaniu GUI. Porównując projekt z zaimplementowaną aplikacją, możemy zauważyć, że większość interfejsu pozostała spójna z pierwotnym pomysłem. W oknie aplikacji wyróżnione zostały trzy sekcje: menu, ustawienia projektu, a także sekcja mająca na celu wizualizację wczytanych sygnałów EKG. Panel sterowania całym projektem umożliwia użytkownikowi wprowadzenie informacji o projekcie, przeprowadzenie obliczeń oraz podgląd wyliczonych wyników analizy statystycznej. Wprowadzenie zmian we wczytanych osobnikach lub populacjach (wczytanie nowych ścieżek, usunięcie osobników lub dodanie nowych) możliwe jest z sekcji *Project info*. Aby przeprowadzić analizę statystyczną na-

leży wybrać opcję *Count statistics*, a następnie zaznaczyć statystyki do obliczenia. Wyniki analizy pojawiają się w nowym oknie, w którym możliwe jest zapisanie ich w formie raportu. W przypadku zamknięcia okna z wynikami, możliwy jest powrót do nich bez konieczności ponownego liczenia - zapewnia to opcja *Display results*. W trzeciej sekcji, odpowiedzialnej za wizualizację, w zależności od rodzaju projektu, znajduje się jeden lub dwa identycznie wyglądające panele (pierwszy dla osobnika/populacji przed leczeniem, drugi dla osobnika/populacji po leczeniu). Główną częścią panelu jest zapis EKG dla konkretnego osobnika, pochodzący z odprowadzenia wybranego za pomocą panelu ustawień, znajdującego się nad wykresem.

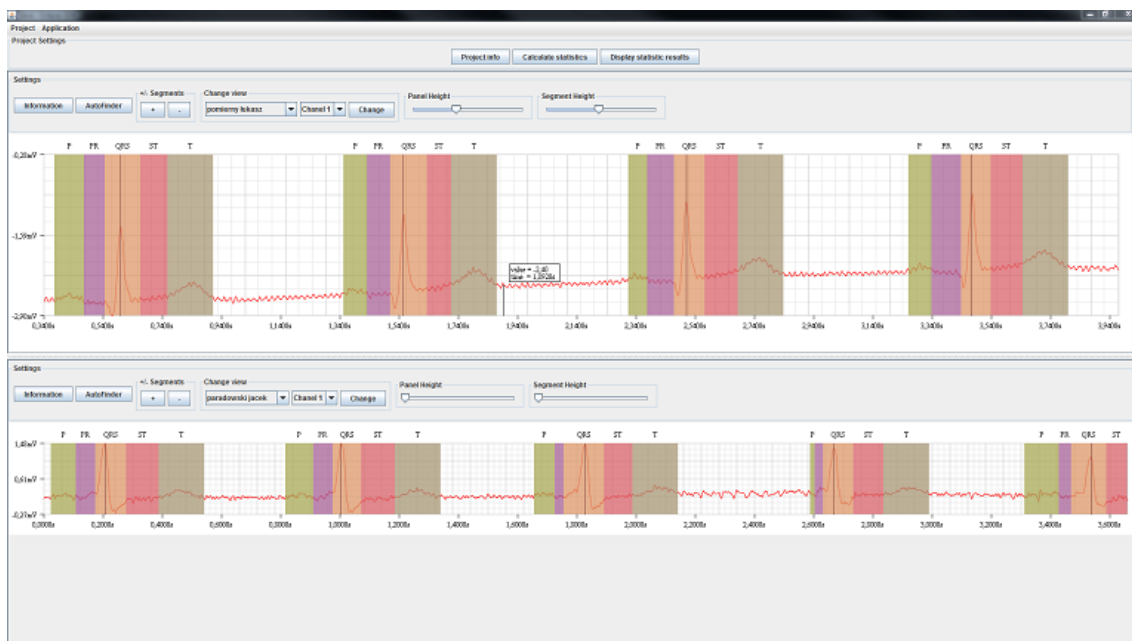


Rysunek 3.4: Zrzut ekranu prezentujący interfejs użytkownika w aplikacji analizującej sygnał EKG.

Panel ustawień dla wykresów krzywej elektrokardiograficznej różni się w porównaniu z pierwotnym pomysłem, gdzie sterowanie było wspólne dla badanych populacji. Obecnie każda populacja ma swój panel ustawień. Umożliwia on użytkownikowi:

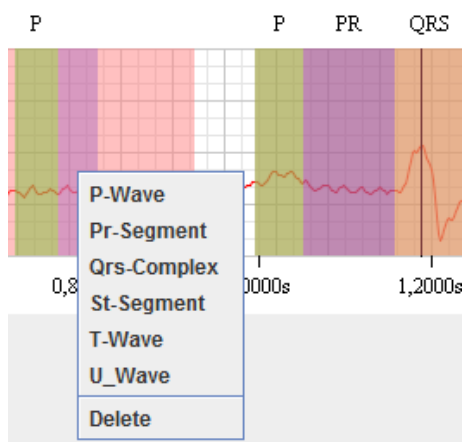
- zmianę liczby segmentów, w których będzie prezentowany zapis EKG (domyślną i minimalną liczbą segmentów jest 1),
- definiowanie wysokości zarówno segmentów, jak i panelu, na którym wykres jest wyświetlany,
- wyświetlanie informacji o aktualnie analizowanym osobniku danej populacji,
- możliwość zmiany wartości parametrów związanych z automatycznie wyznaczanymi charakterystykami EKG.

Jeżeli użytkownik podjął decyzję o pozostawieniu pojedynczego segmentu, wykres może być swobodnie przesuwany w obie strony w obrębie tego segmentu. Przykłady manipulacji wykresem przedstawiono na Rysunku 3.5.



Rysunek 3.5: Przykłady manipulacji rozmiarem panelów wyświetlających przebieg badania EKG.

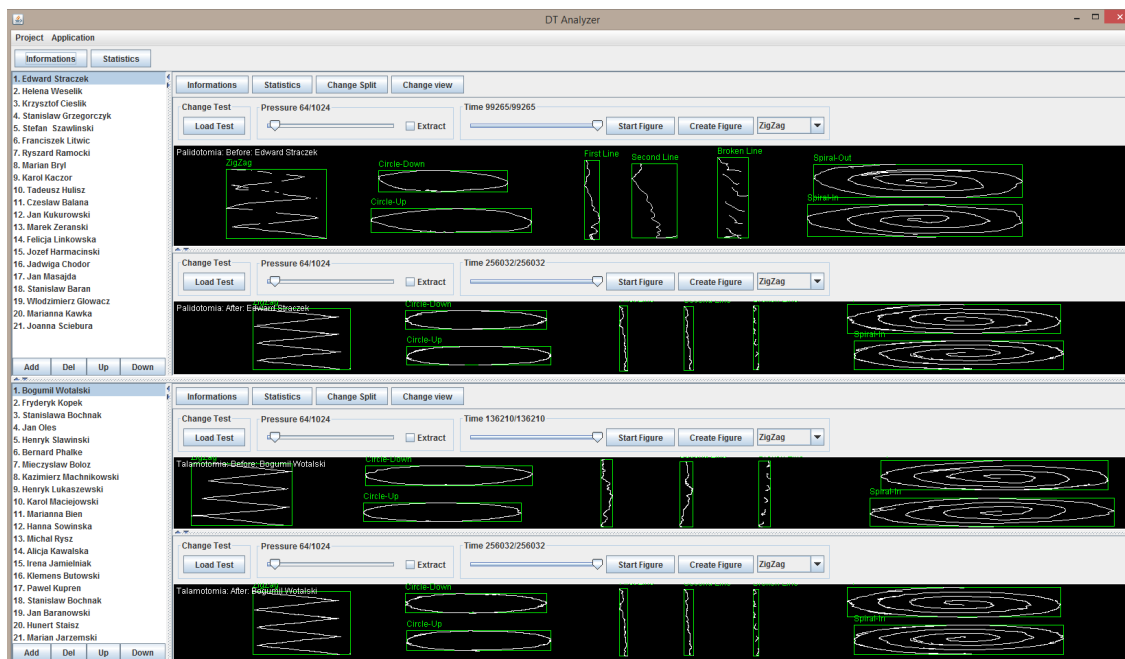
Część funkcjonalności dostępna jest po kliknięciu prawym przyciskiem myszy na wykresie. Użytkownik może w ten sposób samodzielnie zdefiniować nieznanne odcinki, załamki czy odstępy, zaznaczając odpowiednie fragmenty. Wyodrębnienie tej części z głównego panelu ustawień, pozwala użytkownikowi na bardziej intuicyjną analizę. Podręczne menu zaprezentowano na Rysunku 3.6.



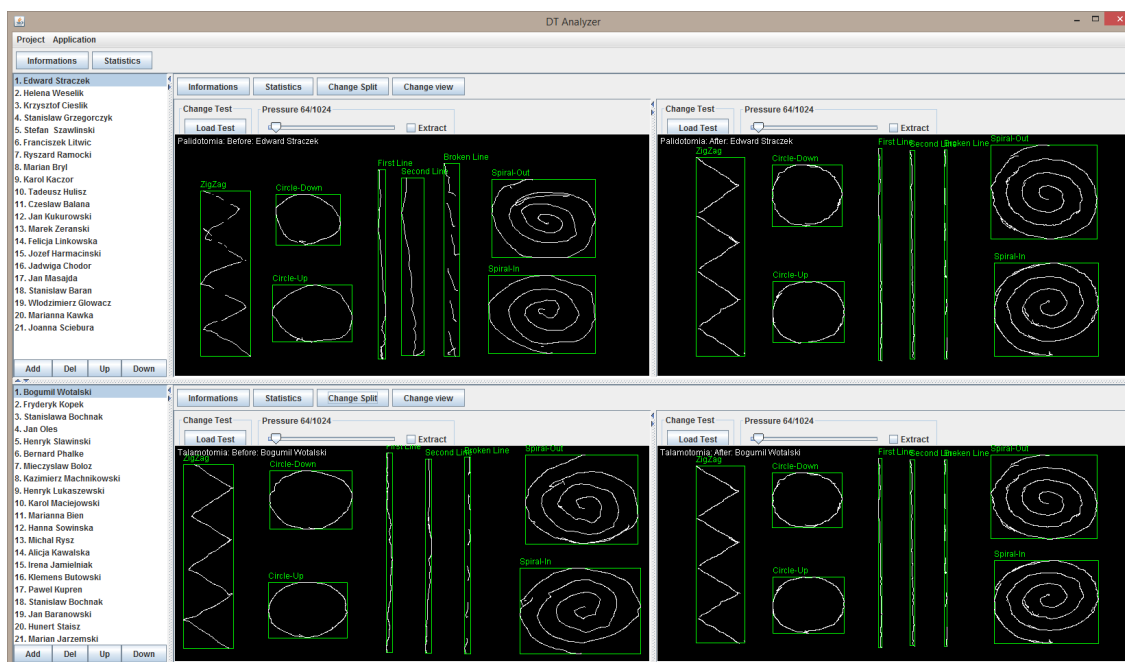
Rysunek 3.6: Podręczne menu w aplikacji analizującej sygnał EKG.

Ogólna koncepcja GUI w programie analizującym dane z testu rysunkowego jest podobna, jednak specyfika obu badań wpływa na nieznaczne różnice w wyglądzie aplikacji. W pierwszym kroku użytkownik także musi wybrać typ projektu i zaimportować odpowiednie pliki z danymi. Główne okno aplikacji zbudowane jest podobnie jak w aplikacji dla sygnału EKG. Z panelu ustawień projektu, umieszczonego nad panelem wizualizacji, podobnie jak w programie dla EKG, można zobaczyć informacje o projekcie oraz wykonać analizę statystyczną. Okno z wynikami statystycznymi, jest zbudowane w ten sam sposób w obu aplikacjach. Jego wygląd różni się drobnymi szczegółami wynikającymi z różnej struktury wyników, co opisano dokładniej w rozdziale 3.2.3. Panel wizualizacji również przypomina ten z EKG – składa się z arkusza testu rysunkowego oraz panelu ustawień dla danego arkusza. Wprowadzono tutaj jednak pewne udogodnienia, takie jak np. zmiana podziału ekranu w projekcie analizującym populację. W programie dla EKG, w razie potrzeby wyświetlenia więcej niż jednego sygnału, wygodniej było dzielić ekran w poziomie, natomiast w teście rysunkowym wizualizacja wygląda czytelniej przy podziale pionowym. Zachowano jednak możliwość poziomego dzielenia ekranu. Obie opcje widoczne są na Rysunkach 3.7 i 3.8.

Zrezygnowano natomiast z opcji dzielenia panelu na segmenty, gdyż wizualizacja całego badania mięśni się na ekranie.

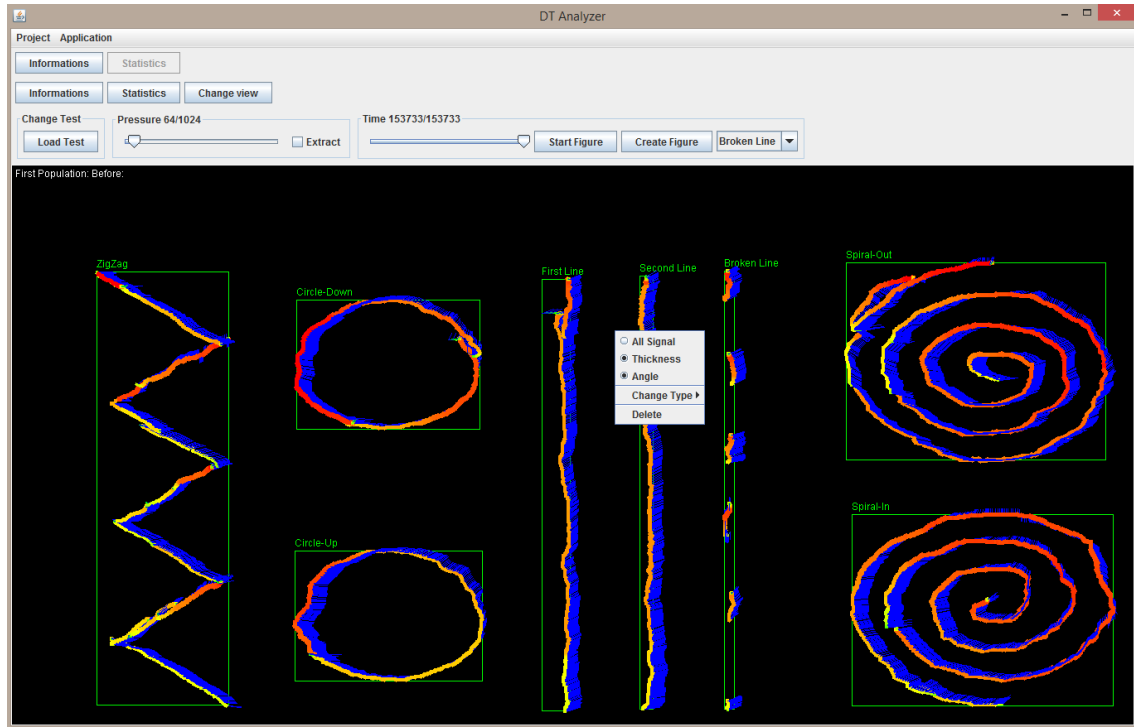


Rysunek 3.7: Poziomy podział paneli wizualizacji.



Rysunek 3.8: Pionowy podział paneli wizualizacji.

W aplikacji dla testu rysunkowego użytkownik również ma do dyspozycji podręczne menu, w którym może zaznaczyć jakie cechy chce wizualizować, czy zmienić typ figury. Na Rysunku 3.9 zaprezentowano podręczne menu z zaznaczonymi opcjami wizualizacji i efektami tego zaznaczenia (widok dla projektu analizującego badanie pojedynczego pacjenta).



Rysunek 3.9: Podręczne menu w aplikacji analizującej dane z testu rysunkowego.

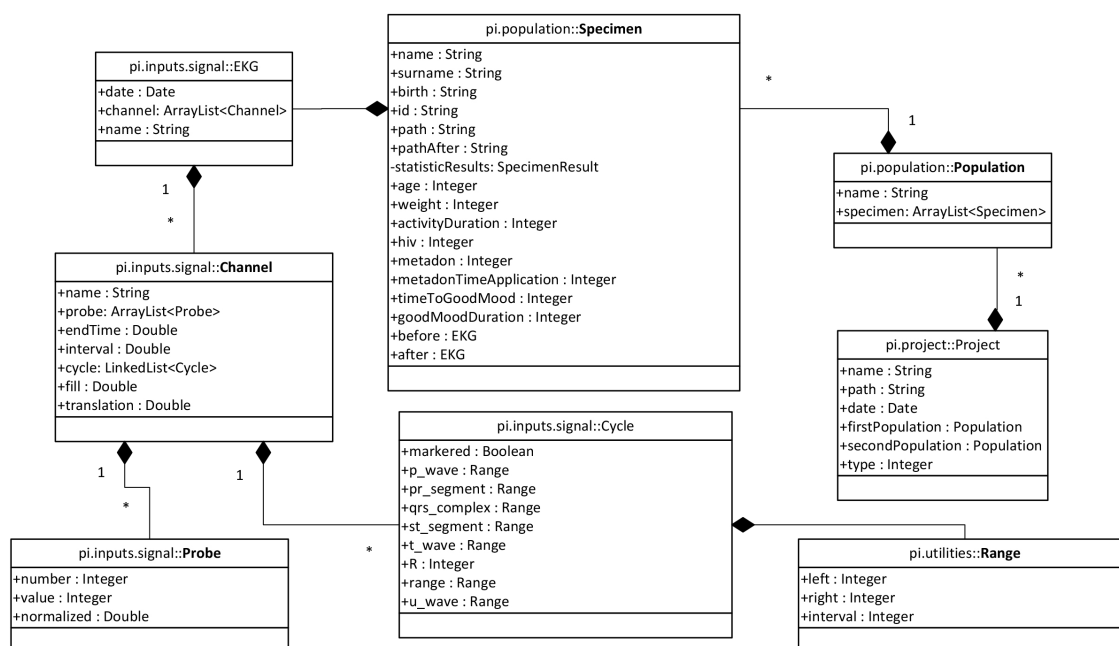
3.2.2 Model projektu

Tworzone aplikacje bazują na podobnej koncepcji implementacyjnej i korzystają z podobnych modułów. Było to podstawowym założeniem podczas projektowania aplikacji. Struktura obu programów jest podobna, różnią ją tylko obiekty przechowujące dane wejściowe. Różnice te wynikają z różnego formatu i zawartości danych. W aplikacji analizującej sygnał elektrokardiograficzny dane wejściowe przechowywane są w plikach XML i zawierają ciąg próbek opisanych numerem porządkowym i wartością próbki, natomiast dane zbierane przez tablet zapisywane są w pliku binarnym i zawierają czas, położenie rysika, nacisk, kąty odchylenia rysika od powierzchni tabletu.

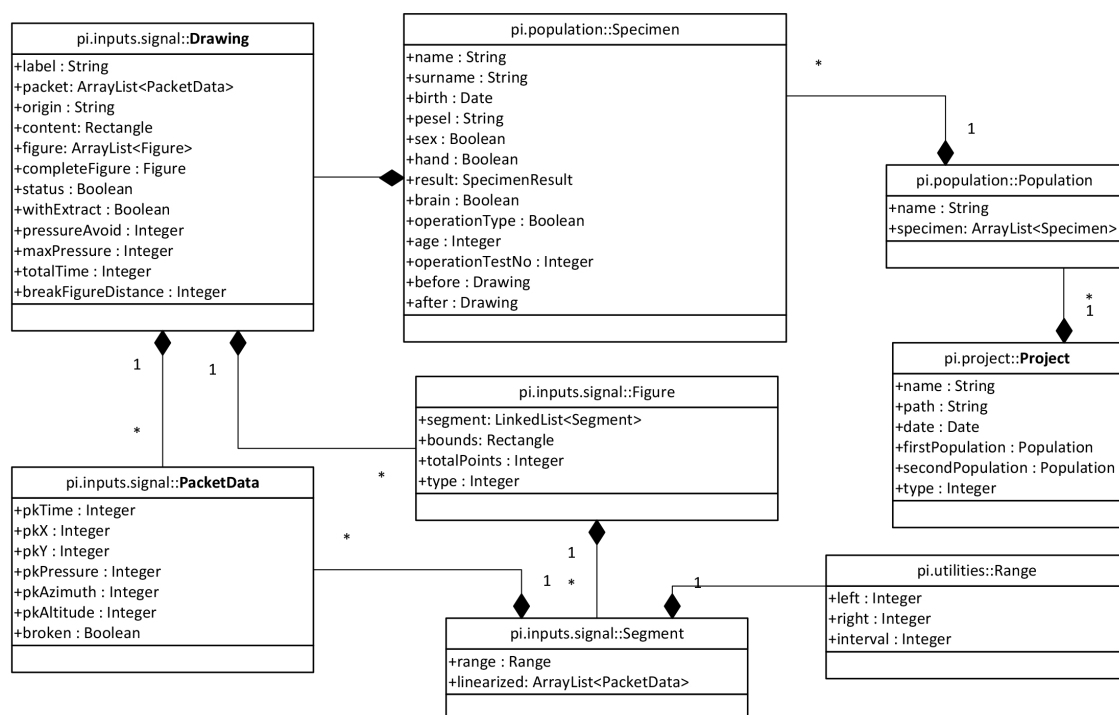
Podstawą obu projektów są klasy *Project* w których znajdują się informacje o tworzonym projekcie takie jak nazwa, typ, data utworzenia i badane populacje. Populacje są odniesieniem do obiektów klasy *Population*, która przechowuje nazwę populacji oraz listę osób wchodzących w jej skład reprezentowanej przez listę obiektów klasy *Specimen*. Klasa *Specimen* reprezentuje pojedynczego osobnika i przechowuje informacje o jego danych osobowych oraz wynikach przeprowadzonego badania.

Dane wejściowe trafiają w zależności od aplikacji do klasy *EKG* lub *Drawing*. Klasy te mają podobną strukturę – znajduje się w nich data badania i tablica przechowująca dane z poszczególnych kanałów (w przypadku EKG) lub figur (w przypadku testu rysunkowego). Kanały i figury reprezentowane są przez klasy *Channel* i *Figure*. Te z kolei zawierają odniesienie do tablicy cykli lub segmentów. Obiekty klasy *Cycle* zawierają zakresy, które określają poszczególne załamki i odstępy na krzywej elektrokardiograficznej, a obiekty klasy *Segment* analogiczne dane dla fragmentów figur w teście rysunkowym. Dodatkowo w projektach znajdują się klasy przechowujące surowe dane. W programie analizującym EKG jest to klasa *SignalProbe*, będąca reprezentacją pojedynczej próbki i zawierająca jej numer oraz wartość. W programie przeznaczonym dla badania grafomotorycznego występuje klasa *PackageData* zawierająca wymienione wcześniej dane zbierane przez tablet.

Wymienione powyżej klasy są fundamentem aplikacji. Rysunki 3.10 i 3.11 przedstawiają schematy UML opisanych powyżej struktur.



Rysunek 3.10: Schemat UML prezentujący strukturę programu analizującego sygnał elektrokardiograficzny



Rysunek 3.11: Schemat UML prezentujący strukturę programu analizującego wyniki testu rysunkowego

Oba programy zawierają także moduł statystyczny odpowiedzialny za przeprowadzenie analizy danych. Moduł statystyczny podzielony jest na części odpowiadające za:

- logikę przeprowadzania analizy, w której znajduje się kontroler obliczeń i struktury przechowujące wyniki,
- funkcje statystyczne,
- testy statystyczne,
- interfejs użytkownika,
- generowanie raportu końcowego.

Moduły te zostaną szczegółowo opisane w podrozdziale 3.2.3.

W programach zaimplementowany został także szereg innych klas odpowiadających za kontrolowanie ich pracy, interfejs użytkownika, algorytmy, import danych, itd. Wszystkie istotne szczegóły implementacji tych struktur opisane są we właściwych podrozdziałach.

3.2.3 Analiza statystyczna

Projekt modułu statystycznego

Podczas projektowania modułu statystycznego ustalono, że jego kluczową cechą powinna być uniwersalność i łatwość w implementacji w obu projektach. Ponadto ważnym celem była optymalizacja obliczeń, tj. zminimalizowanie liczby operacji przetwarzania danych i łatwość w propagacji wyników podstawowych obliczeń do testów statystycznych. W tym celu moduł statystyczny został zaprojektowany w oparciu o model drzewa. Drzewo modułu statystycznego jest czteropoziomowe.

Poziom 1

Na najniższym poziomie zbierane są podstawowe cechy obiektów statystycznych, takie jak np. długość załamka w pojedynczym cyklu badania EKG, nacisk rysika na powierzchnię tabletu czy prędkość rysowania figury w teście rysunkowym. Obiekty statystyczne oraz ich cechy są szczegółowo opisane w podrozdziale „Badane obiekty statystyczne”.

Poziom 2

Na poziomie 2 statystyki z poziomu 1 są podsumowywane dla każdego kanału w badaniu EKG lub dla każdej figury w teście rysunkowym. Na tym poziomie wyliczane są średnie, minimalne i maksymalne wartości, amplituda, wariancja i odchylenie standardowe. Dodatkowo w projekcie analizującym wyniki badania elektrokardiograficznego na poziomie 2 poza podstawowymi statystykami, wyliczany jest także puls oraz korekcje odstępu QT w odniesieniu do częstości rytmu serca wg wzorów podanych w rozdziale 2.

Podsumowując, na tym poziomie drzewa otrzymujemy komplet danych z pojedynczego badania dla wyszczególnionego osobnika. W zależności od wybranego wariantu pracy programu można liczyć wyniki osobnika tylko przed podaniem leku lub przed i po kuracji. Jeśli wybrano wariant porównujący wyniki przed i po leczeniu, to na tym etapie użytkownik programu jest w stanie dokonać prostej analizy porównawczej wyników danej osoby, tj. określić, czy cechy poszczególnych obiektów statystycznych zmieniły się po leczeniu i, jeśli tak, to w jakim stopniu.

Z kilku wybranych osobników z kompletem wyników powstaje populacja, która poddawana jest testom statystycznym na następnym poziomie drzewa.

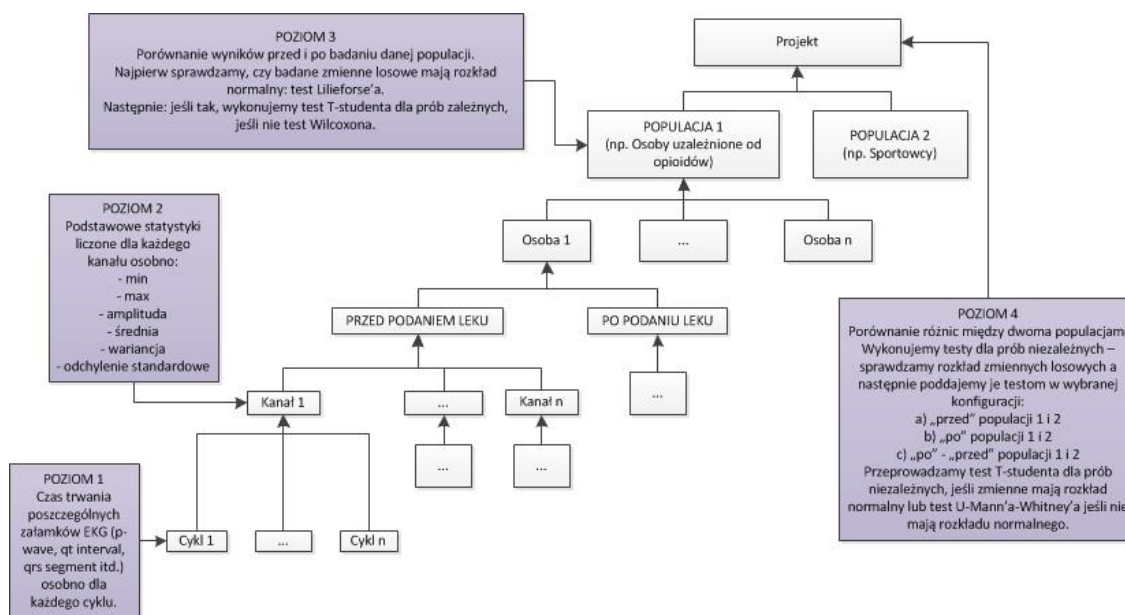
Poziom 3

Na poziomie 3 z zebranych wcześniej danych tworzone są zmienne losowe i przeprowadzane są testy statystyczne porównujące różnice w badaniu przed i po podaniu leku lub przeprowadzeniu operacji dla wybranej populacji. W pierwszej kolejności badany jest rozkład danych. Następnie w zależności, czy analizowane dane mają rozkład normalny, przeprowadzane są testy parametryczne lub nieparametryczne badające różnice pomiędzy zmiennymi losowymi. Testy przeprowadzane na tym poziomie są zależne – dotyczą tych samych członków populacji. Dokładny opis wykorzystanych testów statystycznych znajduje się w podrozdziale „Testy statystyczne”.

Poziom 4

Ostatni poziom drzewa to porównanie różnic między dwoma populacjami. Zmienne losowe tworzone są podobnie jak na poziomie niższym – z wyników osobników danej populacji, a następnie poddawane są one testom statystycznym. Ponownie najpierw badany jest rozkład danych, a następnie, w zależności od wyniku testu badającego rozkład, przeprowadzane są testy parametryczne lub nieparametryczne. Różnicą w porównaniu z poziomem 3 jest wykorzystanie testów niezależnych – porównywane są bowiem dwie różne populacje. Opis wykorzystanych testów niezależnych także znajduje się w podrozdziale „Testy statystyczne”.

Drzewo modułu statystycznego zostało zobrazowane na Rysunku 3.12.



Rysunek 3.12: Drzewo modułu statystycznego.

Badane obiekty statystyczne

EKG

W projekcie analizującym dane z badania elektrokardiografem obiektami statystycznymi są poszczególne załamki i odcinki wykresu pracy serca opisane w rozdziale 2. Niestety nie w każdym cyklu udaje się automatycznie odnaleźć wszystkie interesujące nas obiekty – zależy to od ustawień algorytmu wyszukującego dane. W przypadku wyników badania bardzo różnych od przyjętych za normalne, można spróbować zmienić parametry algorytmu, a jeśli to także zawiedzie program umożliwia ręczne zaznaczenie obiektów na wykresie i opisanie ich.

Z punktu widzenia statystyki interesująca jest długość trwania poszczególnych załamków i odcinków – to ona jest poddawana późniejszym obliczeniom. Dodatkowo badana jest także amplituda wartości oraz wyznaczany jest punkt J danego cyklu. Dane wykorzystywane do obliczeń są jawne. Sygnał elektrokardiograficzny reprezentowany jest w postaci ciągu próbek. Każda próbka ma swój numer i wartość, dodatkowo badanie ma ustaloną częstotliwość próbkowania. Do każdego odnalezionego (lub ręcznie zaznaczonego) odcinka przypisywany jest reprezentujący go zakres próbek.

Aby obliczyć czas trwania danego obiektu statystycznego wylicza się liczbę próbek wchodzących w skład danego obiektu (znajdujących się między próbką o numerze równym lewej krawędzi zakresu, a próbką o numerze równym prawej krawędzi zakresu), a następnie wynik mnoży się przez czas trwania próbki. W celu wyliczenia amplitudy wartości w danym odcinku porównuje się wartości próbek wchodzących w jego skład.

Test rysunkowy

W przeciwieństwie do sygnału elektrokardiograficznego, w teście rysunkowym informacje podlegające statystyce nie są dane jawnie. W sygnale EKG interesującymi obiektami z perspektywy statystyki są odcinki, załamki, itd. Są to obiekty, które z definicji określają interesującą użytkow-

nika informację: czas trwania lub amplitudę wartości. Natomiast w przypadku testu rysunkowego, gdzie takimi obiektami są rysowane przez osobę badaną figury, cechy ważne dla obliczeń statystycznych nie są predefiniowane. Pozwala to na wyszukanie w obiektach (figurach) informacji, które mogą mieć istotny wpływ na rezultat przeprowadzonych testów statystycznych. W implementacji projektu wzięto pod uwagę następujące cechy figur:

- podstawowe informacje o figurze,
- nacisk rysika na powierzchnię tabletu,
- prędkość podczas rysowania figury,
- przyspieszenie podczas rysowania figury,
- drżenie: odchylenie od wzorca,
- drżenie: zmiany kierunku rysowania,
- kąt rysowania: szerokość i wysokość kątowna rysika względem powierzchni tabletu.

Podstawowe informacje o figurze

Podstawowe informacje o figurze odzwierciedlają jedynie ogólną charakterystykę figury. Do podstawowych informacji należą:

- Długość narysowanej krzywej liczona w jednostce zależnej od rozdzielczości urządzenia pomiarowego, jako suma odległości między kolejnymi punktami tworzącymi figurę. Można założyć, że im krótsza jest krzywa tym lepiej, ponieważ wzrost długości pojawia się wraz z pojawieniem się drgania, odchyleniem od wzorca. Jednak należy uważać ze zbyt pochopnie wyciągniętym wnioskiem, ponieważ krótsza krzywa może wynikać także z odchylenia, które powoduje krótszy dystans do końca wzorca. Ta sama uwaga dotyczy także pozostałych podpunktów.
- Całkowity czas rysowania figury.
- Przy pomocy wartości uzyskanych w poprzednich punktach obliczana jest średnia prędkość rysowania figury.

Nacisk rysika na powierzchnię tabletu

Nacisk rysika na powierzchnię jest zbiorem wartości nacisków dla każdego punktu tworzącego figurę. Dla takiego zbioru obliczana jest podstawowa statystyka dotycząca zebranych wartości. Zbiór funkcji zawartych w statystyce zawiera Tabela 3.1. Dodatkowo można ustalić próg nacisku, poniżej którego wartości nacisku są ignorowane. Służy to odrzuceniu wartości, które nie zostały uznane przez osobę przeprowadzającą badanie za statystycznie istotne.

Tabela 3.1: Zbiór funkcji statystycznych.

Lp	Funkcja
1	Minimum
2	Maksimum
3	Amplituda
4	Średnia
5	Mediana
6	Wariancja
7	Odchylenie standardowe
8	Częstotliwość drżenia

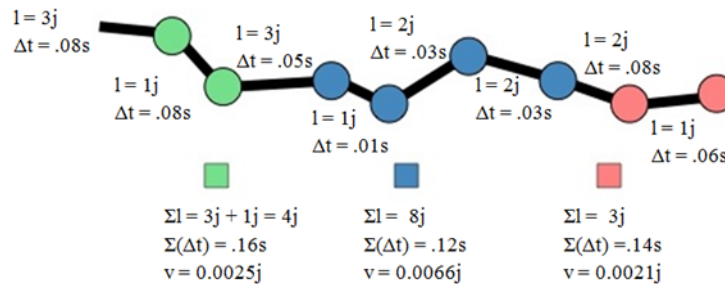
Częstotliwość drżenia jest to częstotliwość odpowiadająca maksymalnej uzyskanej wartości poprzez zastosowanie na zbiorze (ciągu) szybkiej transformaty Fouriera. Dzięki temu można próbować odnaleźć regularność pojawiającą się w zmianach wartości kolejnych próbek.

Pozostałe cechy danej figury definiowane są także jako zbiór otrzymanych wartości, dla których przeprowadzana jest statystyka zgodna ze zbiorem funkcji znajdujących się w Tabeli 3.1.

Prędkość podczas rysowania figury

Analizując zbiór danych wejściowych, uznano, że nie można obliczyć prędkości chwilowej jako różnicy w położeniu dwóch kolejnych punktów tworzących figurę względem czasu. Okazało się, że częstotliwość próbkowania przez urządzenie pomiarowe jest zbyt duża w stosunku do rozdzielczości tego urządzenia. Skutkuje to brakiem zmiany położenia w dwóch kolejnych próbkach, co traktowane jest jako zerowa prędkość chwilowa. Dla każdej figury średnio 2/3 wszystkich wartości chwilowych w każdym punkcie wynosiło zero.

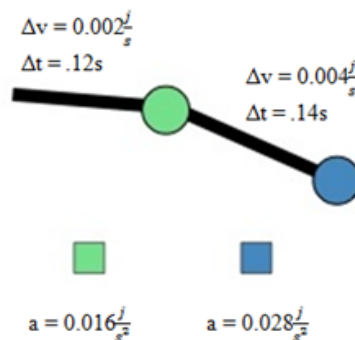
By rozwiązać problem, sztucznie zmniejszono częstotliwość próbkowania. Została zwiększona liczba punktów uwzględnionych przy obliczaniu pojedynczej prędkości chwilowej, tak by czas pomiaru między ostatnim a pierwszym punktem przekroczył ustaloną wartość progową: 0.1s. Prędkość chwilowa obliczana jest wtedy jako stosunek sumy odległości między kolejnymi punktami do różnicy w czasie między ostatnim a pierwszym (Rysunek 3.13).



Rysunek 3.13: Schemat wyznaczania prędkości chwilowej

Przyspieszenie podczas rysowania figury

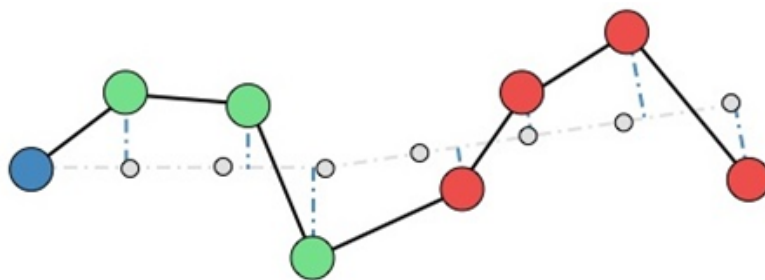
Do wyznaczenia zbioru wartości przyspieszeń chwilowych wykorzystano zbiór prędkości chwilowych oraz informację o momencie dla każdej obliczonej prędkości chwilowej. Moment ten określony jest jako czas pomiaru ostatniego z punktów uwzględnionego przy obliczeniu danej prędkości chwilowej. Przyspieszenie chwilowe liczone jest jako przyrost między kolejnymi prędkościami chwilowymi względem czasu (Rysunek 3.14).



Rysunek 3.14: Schemat wyznaczania przyspieszenia chwilowego

Drżenie: odchylenie od wzorca

Dla danej figury konstruowana jest figura pomocnicza służąca za wzorzec. Położenie kolejnych punktów definiujących figurę pomocniczą wyznaczone jest poprzez uśrednienie przebiegu rysowania figury wejściowej. Dla kolejnych małych grup punktów obliczana jest prosta o kierunku równym średniej zmianie przebiegu, przechodząca przez ostatni obliczony punkt grupy poprzedniej. Punkty figury wzorcowej zostają równomiernie rozłożone na danym odcinku prostej (Rysunek 3.15). Po między kolejnymi grupami punktów (kolor niebieski i czerwony) następuje uśrednienie. Na szaro został zaznaczony fragment figury wzorcowej. Niebieska linia przerywana stanowi odległości od odpowiednich stycznych.



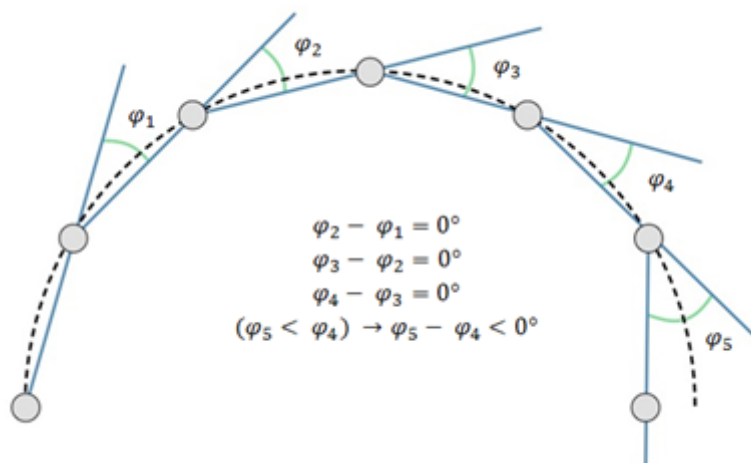
Rysunek 3.15: Schemat wyznaczania odchylenia od wzorca

Odchylenie od wzorca definiowane jest jako odległość danego punktu figury wejściowej od odpowiedniej stycznej figury pomocniczej. Wraz z odległością zapamiętywany jest znak określający stronę stycznej, po której znajduje się punkt. Do wyznaczenia odległości ze znakiem, zastosowany został wzór na odległość punktu od prostej z pominięciem wartości bezwzględnej.

Dzięki przeprowadzonej statystyce na uzyskanym wektorze danych, możliwa jest ocena drżenia kończyny osoby badanej. Gdy ręka chorego drży podczas rysowania, jej przebieg jest w przybliżeniu sinusoidalny. Najbardziej istotnymi statystykami będą tutaj: amplituda oraz częstotliwość drżenia odczytana z wyniku szybkiej transformaty Fouriera.

Drżenie: odchylenie od normy mierzone w kątach

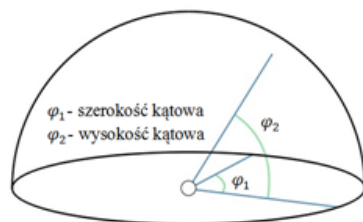
Figury wzorcowe w teście rysunkowym cechuje ciekawa właściwość. Analizując zmianę kierunku rysowania, można zauważyć, że jest ona w przybliżeniu zawsze stała. Innymi słowy: gdyby istniała ciągła funkcja kierunku rysowania względem czasu $f(t)$, jej druga pochodna $f''(t)$ wynosiłaby zero na całej dziedzinie. W przypadku testu rysunkowego dane wejściowe są natury dyskretnej. Idea drugiej pochodnej została przybliżona poprzez pozbycie się zależności od dziedziny – czasu. Dla czterech kolejnych próbek sygnału można obliczyć zmianę kierunku między kolejnymi trójkami próbek. Im różnica zmian jest bliższa zero, tym bardziej można mówić o stałości zmiany kierunku. Kąt φ algorytm zapamiętuje ze znakiem. Gdy zmiana kierunku postępuje wraz z ruchem wskazówek zegara znakiem jest minus. Z tego powodu ostatnia z różnic na Rysunku 3.16 jest ujemna. Na korzystność stopnia drżenia wpływa średnia wartość $\Delta\varphi$ zbliżona do zera, oraz przede wszystkim małe odchylenie standardowe.



Rysunek 3.16: Schemat wyznaczania odchylenia od normy

Kąt rysowania: szerokość i wysokość kąta rysika względem powierzchni tabletu

Inną cechą pozwalającą zanalizować drzenie jest kąt rysowania. Badając ułożenie rysika względem powierzchni tabletu w czasie, można wyznaczyć właściwości dotyczące problemów motorycznych w posługiwaniu się dłonią u osoby badanej.



Rysunek 3.17: Wysokość i szerokość kąta

Wykorzystane testy statystyczne

W programie wykorzystanych jest 5 rodzajów testów statystycznych, które zostały opisane poniżej.

Test Lillieforsa

Test Lillieforsa to test badający rozkład normalny zmiennych losowych. Oparty jest on na teście Kolmogorova-Smirnov'a, jednak w przeciwieństwie do niego nie wymaga znajomości średniej i wariancji populacji z której pochodzi próba. Potrzebne dane zyskuje dzięki estymacji tych statystyk. Charakterystyka ta zdecydowała o jego wykorzystaniu w projekcie. Hipoteza zerowa testu zakłada, że rozkład badanej cechy jest rozkładem normalnym.

Test t-Studenta dla prób zależnych

Test t-Studenta służy do porównania różnic między dwoma grupami. Jest to test parametryczny, czyli spełnione w nim muszą być dodatkowe założenia takie jak: równoliczność grup i normalność rozkładu zmiennej losowej. Ideą testu dla grup zależnych jest porównanie tej samej grupy. Wyniki obu prób są zależne, ponieważ dotyczą tej samej osoby. W przypadku naszych badań test zależny wykonywany jest, aby porównać różnice przed i po leczeniu u tych samych pacjentów. Test ten określa, czy różnice są istotne statystycznie – czy nie są przypadkowe. Hipoteza zerowa testu t-Studenta zakłada, że średnie arytmetyczne badanych prób są równe, natomiast hipoteza alternatywna zakłada, że się one różnią. Jeżeli wyliczona wartość p będzie mniejsza od zadanego poziomu istotności (np. 0.05) to można odrzucić hipotezę zerową na rzecz alternatywnej.

Test t-Studenta dla prób niezależnych

Podobnie jak powyżej, jest to test parametryczny. Istotną różnicą jest, że tym razem testowane grupy są od siebie niezależne – są to różni pacjenci. Tutaj także muszą być spełnione warunki równoliczności grup, normalności rozkładu zmiennej losowej oraz, dodatkowo, homogeniczności wariancji. To ostatnie założenie jest ważne, ponieważ w teście dla prób zależnych badaniu podlega tylko jedna grupa, więc nie występują różne wariancje. W teście dla prób niezależnych wariancja w jednej grupie może być zdecydowanie różna od wariancji w grupie drugiej. Hipotezy w teście są takie same, jak w przypadku testu t-Studenta dla grup zależnych. Test t-Studenta dla grup niezależnych wykorzystywany jest w projekcie do porównania różnic między dwoma populacjami, np. ludźmi uzależnionymi a sportowcami.

Test Wilcoxona

Test Wilcoxona jest nieparametrycznym odpowiednikiem testu t-Studenta dla prób zależnych. Testy nieparametryczne wykorzystuje się do weryfikacji nieparametrycznych hipotez. Nie wymagają one z góry założonego rozkładu zmiennej losowej. W programie wykorzystywane są w zastępstwie testu t-Studenta, gdy rozkład badanej zmiennej losowej nie jest normalny. Test Wilcoxona, w przeciwieństwie do testu t-Studenta, w hipotezie zerowej zakłada równość median cech badanych populacji.

Test Manna-Whitney'a

Test Manna-Whitney'a jest nieparametrycznym testem porównującym różnice w dwóch próbach niezależnych. Jest nieparametrycznym odpowiednikiem testu t-Studenta dla prób niezależnych i, podobnie jak test Wilcoxon, wykorzystywany jest w programie zawsze wtedy, gdy założenia testu t-Studenta nie są spełnione. Można z niego skorzystać, gdy zmienna losowa nie ma rozkładu normalnego, próby nie są równoliczne lub gdy nie jest spełniony warunek homogeniczności wariancji. Test Manna-Whitney'a porównuje rangowane wyniki zmiennej zależnej.

Szczegóły implementacyjne

Algorytm przechodzący po drzewie.

Algorytm, według którego przeprowadzane są obliczenia statystyczne, został przygotowany tak, aby zoptymalizować przetwarzanie danych, wykorzystując przy tym strukturę drzewa, w oparciu o którą zbudowany jest moduł statystyczny. Postępując zgodnie z algorytmem, obiekty przechowujące wyniki są tworzone w kolejności od „korzenia” – przechowujących wynik całego przetwarzania, do tych zlokalizowanych w liściach drzewa – przechowujących wyniki przetwarzania danych na najniższym poziomie drzewa. Na każdym poziomie przeprowadzane są obliczenia, a następnie wyniki propagowane są „w górę”, czyli od najbardziej podstawowych do końcowych. Poniżej znajdują się kolejne kroki algorytmu.

1. Stwórz obiekt klasy `ProjectResult`, zawierający podsumowanie wyników obliczeń statystycznych dla danego projektu.
2. Wczytaj populacje.
3. Przeprowadź obliczenia dla pierwszej populacji.
 - a) Stwórz obiekt klasy `PopulationResult`, przechowujący wyniki obliczeń statystycznych dla pierwszej populacji.
 - b) Stwórz obiekt klasy `SpecimenResult`, w którym znajdować się będą wyniki pojedynczego osobnika.
 - c) Dla każdego osobnika w populacji pobierz wyniki badań przed zastosowaniem leczenia.
 - d) Przeprowadź analizę statystyczną dla danych przed leczeniem.
 - i. Stwórz obiekt przechowujący wyniki obliczeń dla kanałów/figur.
 - ii. Stwórz obiekt klasy `StatisticResult` przechowujący wyniki dla każdej z badanych statystyk (minimum, maksimum, średnia, itd.)
 - iii. Dla każdego cyklu w danym kanale/figury w teście rysunkowym wylicz wybrane statystyki.
 - iv. Zwróć obiekt `StatisticResult`.
 - e) Jeśli istnieją, to dla każdego osobnika w populacji pobierz wyniki badań po leczeniu.
 - f) Jeśli powyższy krok zakończył się sukcesem, przeprowadź analizę statystyczną dla danych po leczeniu – postępuj zgodnie z krokami i.- iv w punkcie d).
 - g) Zwróć obiekt `SpecimenResult` i zapisz go w obiekcie `PopulationResult`.
 - h) Zwróć obiekt `PopulationResult`.
4. Jeśli istnieje, przeprowadź obliczenia dla drugiej populacji – postępuj zgodnie z krokami a)-h) w punkcie 3.
5. Wykonaj testy statystyczne porównujące wyniki obu populacji, które są dostępne w obiektach `PopulationResult`.
6. Podsumuj wyniki testów, zwróć obiekt `ProjectResult` i wygeneruj raport końcowy.

Struktury przechowujące wyniki.

W opisie algorytmu znalazły się nazwy klas przechowujących wyniki. Poniżej znajduje się dokładny opis poszczególnych struktur. Klasy wykorzystywane w obu programach:

- *ProjectResult*
Klasa `ProjectResult` przechowuje wyniki obu badanych populacji. Posiada dodatkowo funkcje odpowiadające za wykonanie testów statystycznych i końcowe podsumowanie wyników.

- *PopulationResult*
Klasa *PopulationResult* przechowuje wyniki analizy statystycznej dla danej populacji. Znajdują się w niej odpowiednie obiekty klasy *SpecimenResult*.
- *SpecimenResult*
Klasa *SpecimenResult* przechowuje wyniki wyliczonych statystyk dla pojedynczego osobnika. Dane znajdują się w obiektach *HashMap* przechowujących nazwę osobnika oraz odpowiadający mu obiekt *EcgResult* lub *DrawingResult* (w zależności od programu) opisany poniżej.
- *StatisticResult*
W klasie znajdują się nazwy statystyk i odpowiadające im wyniki. Wynikiem jest wartość statystyki przechowywana w zmiennej typu *double*. Dane te umieszczone są w obiekcie *HashMap*.

Struktury charakterystyczne dla programu analizującego sygnał EKG:

- *EcgResult*
Ta klasa przechowuje wyniki badania danego osobnika. Dane są przechowywane w obiekcie *HashMap* zawierającym nazwę badania (badanie przed leczeniem lub po leczeniu) i odpowiadający jej obiekt *ChannelResult*.
- *ChannelResult*
W tej klasie znajdują się wyniki statystyk zebranych z wszystkich kanałów danego osobnika. Dane są przechowywane w obiekcie *HashMap* zawierającym nazwę kanału i odpowiadający mu obiekt *AttributeResult*.
- *AttributeResult*
Klasa *AttributeResult* zawiera wyliczone statystyki dla dwóch, badanych w programie analizującym EKG, atrybutów – czasu trwania załamka oraz amplitudy wartości na krzywej elektrokardiograficznej. Dane znajdują się w obiekcie *HashMap* zawierającym nazwę atrybutu i odpowiadający mu obiekt *WavesResult*.
- *WavesResult*
Klasa *WavesResult* przechowuje obiekty klasy *StatisticResult* dla danego obiektu statystycznego w badaniu EKG (załamka, odcinka, odstępu). Podobnie jak poprzednie klasy posiada ona obiekt *HashMap* zbudowany z nazwy załamka i odpowiadającego mu obiektu *StatisticResult*.
- *AmplitudeResult*
Jest to pomocnicza klasa, przechowująca amplitudy wartości poszczególnych załamek w pojedynczym cyklu. Dane te znajdują się w obiekcie *HashMap*, zawierającym nazwę załamka i jego amplitudę przechowywaną w zmiennej typu *double*.
- *DurationResult*
To także klasa o charakterze pomocniczym. Przechowywane są w niej czasy trwania poszczególnych załamek w cyklu. Zbudowana jest identycznie jak klasa *AmplitudeResult*.

Klasy zaimplementowane w programie analizującym wyniki testu rysunkowego:

- *DrawingResult*
Jest to odpowiednik klasy *EcgResult* w programie analizującym EKG. Przechowuje wyniki danego testu rysunkowego osobnika. Fizycznie dane przechowywane są w mapie zawierającej nazwę testu oraz obiekt *FigureResult*.
- *FigureResult*
Klasa *FigureResult* zawiera w sobie obiekty *AttributeResult* oraz nazwę figury, której te obiekty dotyczą, podobnie jak w przypadku poprzednich klas przechowywane w formie mapy.
- *AttributeResult*
W programie analizującym dane pochodzące z tabletu również występuje klasa *AttributeResult*, jednak tutaj znajduje się ona na innym poziomie drzewa niż w programie analizującym badanie EKG, dlatego znalazła się w podpunkcie opisującym klasy charakterystyczne dla danego programu. W obecnym programie w klasie *AttributeResult* przechowywane są obiekty *StatisticResult* dla każdego badanego obiektu statystycznego. Jest to odpowiednik klasy *WavesResult* z programu analizującego EKG.

Funkcje liczące statystyki

Ze względu na specyfikę dostarczonych danych z badań lekarskich oraz mając na uwadze optymalizację przetwarzania danych i skrócenie czasu trwania obliczeń zdecydowano się na własną implementację funkcji liczących statystyki takich jak minimum, maksimum czy średnia, zamiast wykorzystania funkcji z zewnętrznych bibliotek. Cechą charakterystyczną zaimplementowanych funkcji jest iteracyjne obliczanie wyniku. Program przechodząc po kolejnych cyklach danego kanału czy fragmentach figur dokonuje częściowego obliczenia wyniku dla każdej z funkcji statystycznych, a następnie po przejściu przez wszystkie dane wywołuje funkcje wyliczające wynik końcowy. Pomaga to przyspieszyć obliczenia. Zamiast wielokrotnie iterować po dużym zbiorze danych, algorytm przechodzi przez niego jeden raz, w każdym kolejnym kroku natomiast iteruje po każdej z funkcji.

Funkcje liczące testy statystyczne

W celu przeprowadzenia testów statystycznych skorzystano z funkcji zaimplementowanych w bibliotece zewnętrznej Apache Commons Math. Wykorzystane funkcje to:

- *pairedTTest* – odpowiadająca za zależny test t-Studenta,
- *tTest* – implementacja niezależnego testu t-Studenta,
- *wilcoxonSignedRankTest* – realizująca test Wilcoxona,
- *mannWhitneyUTest* – odpowiednio, implementacja testu Manna-Whitney'a.

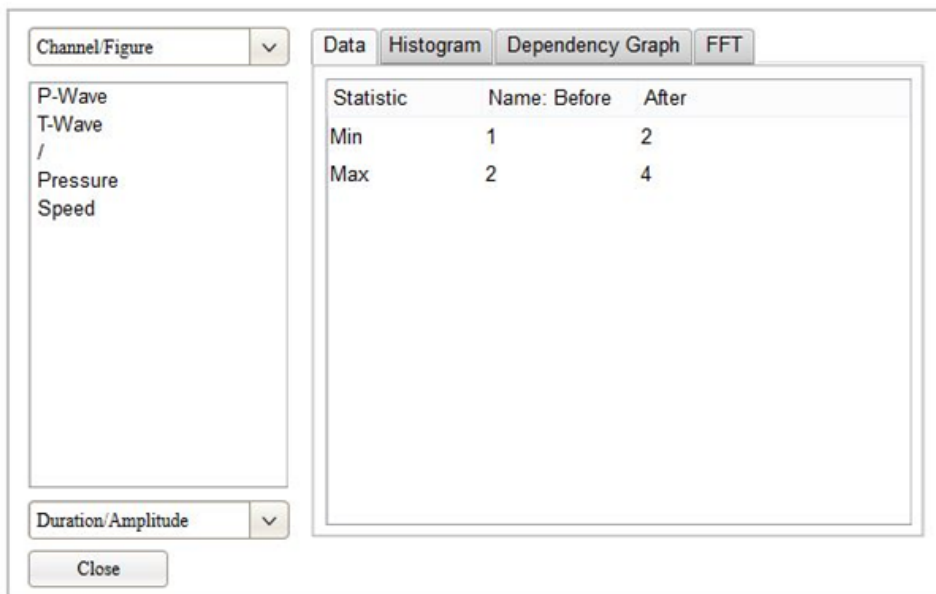
Ich dokładny opis znajduje się w dokumentacji biblioteki Apache Commons Math. Biblioteka ta nie oferuje implementacji testu Lillieforsa badającego rozkład danych. Nie znaleziono satysfakcjonującej implementacji tego testu w bibliotekach dostępnych bez licencji, dlatego zdecydowano się na własną implementację tego testu (tabele testu zostały zaczerpnięte z pracy H. Abdi'ego i P. Molina – Lilliefors/Van Soest's test of normality).

Wyświetlanie wyników analizy statystycznej

Podczas projektowania okna służącego do wyświetlania wyników uzyskanych z analizy statystycznej kierowano się kilkoma ważnymi wymaganiami. Po pierwsze taki interfejs powinien być łatwy w obsłudze dla użytkownika. Użytkownik powinien móc bez problemu, przy niewielkiej interakcji z programem odczytać szukane przez niego wyniki. Dodatkowo całość powinna zostać zaprogramowana w taki sposób, by była odporna na modyfikację w obrębie funkcji statystycznych. Innymi słowy: w przypadku dodania nowych atrybutów w analizie statystycznej, obliczanych cech obiektów badanych oraz funkcji, całość zostaje odwzorowana w oknie wyników bez dodatkowego przeprogramowania. Skorzystano tutaj z faktu, że wyniki trzymane są w strukturze drzewiastej, której kolejne węzły stanowią mapy (struktury danych). Automatyzm polega tutaj na prostym odwzorowaniu struktury drzewa (wyniki analizy) na zawartość komponentów interfejsu użytkownika. Zostały zaprojektowane dwa okna dla wyników analizy: dla pojedynczego osobnika oraz dla całego projektu.

W oknie wyników dla pojedynczego osobnika (Rysunek 3.18) zostaje odwzorowane drzewo wyników analizy, którego korzeniem jest wynik pojedynczego osobnika (*SpecimenResult*). Dalej następuje kolejno hierarchiczne wyciąganie wyników w głąb drzewa.

1. Poziom wyników dla kanału sygnału elektrokardiograficznego/figury w teście rysunkowym. Odwzorowane w rozwijanej liście. Zawiera klucze wszystkich wartości typu *ChannelResult/FigureResult*.
2. Poziom wyników atrybutów obiektów badanych takich nacisk podczas rysowania danej figury (zawiera klucze wszystkich wartości typu *AttributeResult* w teście rysunkowym) lub poziomy przechowujący dane dla każdego załamka w badaniu EKG (zawiera klucz wartości typu *WavesResult*). Odwzorowane w liście.
3. W projekcie związanym z EKG istnieje dodatkowy poziom drzewa. Każdy załamek ma dwa atrybuty – czas trwania oraz amplitudę. Klucze wszystkich wartości typu *AttributeResult* w badaniu EKG są odwzorowane w najniższej położonej rozwijanej liście.

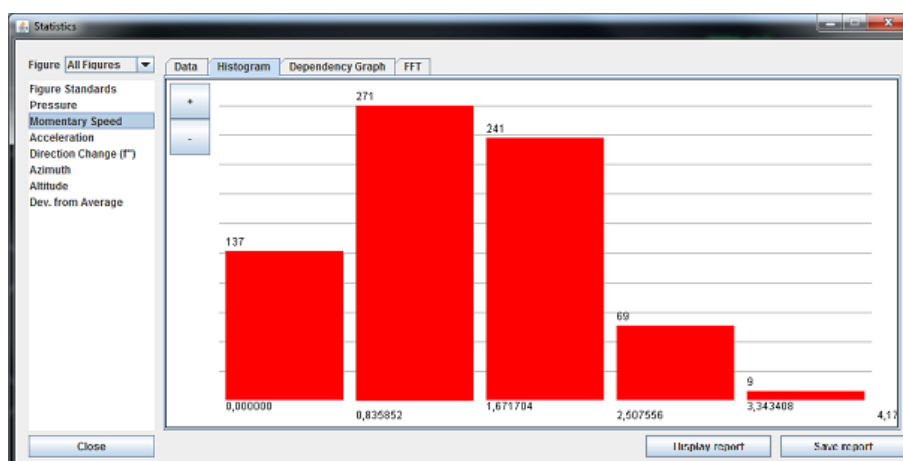


Rysunek 3.18: Okno wyświetlające wyniki analizy statystycznej dla pojedynczego osobnika

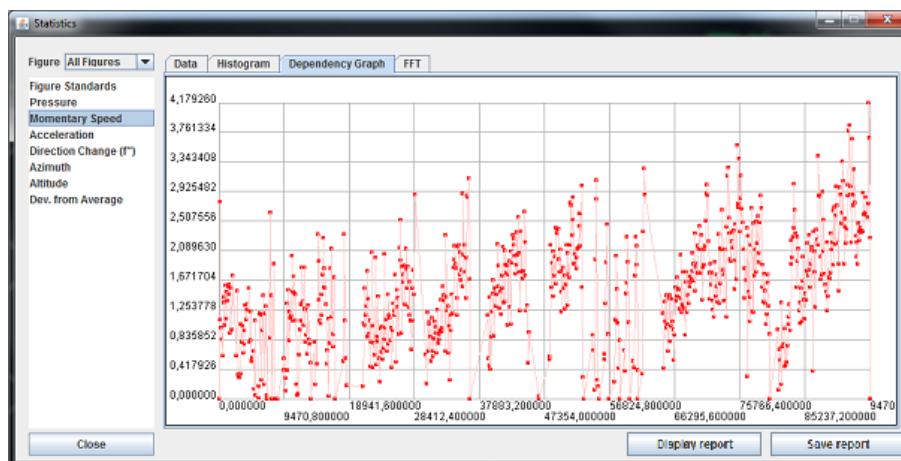
4. Poziom wyników statystycznych wskazanych atrybutów. Wynikami są tutaj to funkcje takie jak minimum, maksimum itp. Odzworowane w pierwszej kolumnie tabeli. Zawierają klucze wszystkich wartości typu *StatisticResult*.
5. Tablet: Wartości wyciągnięte ze *StatisticResult* trafiają do odpowiedniej kolumny tabeli. Pierwsza z nich dotyczy badania przed (np. operacją), druga po.

W pozostałych zakładkach można odnaleźć wykresy obrazujące rozkład danych (na wykresie naniesione są dane zarówno przed oraz po (badaniu):

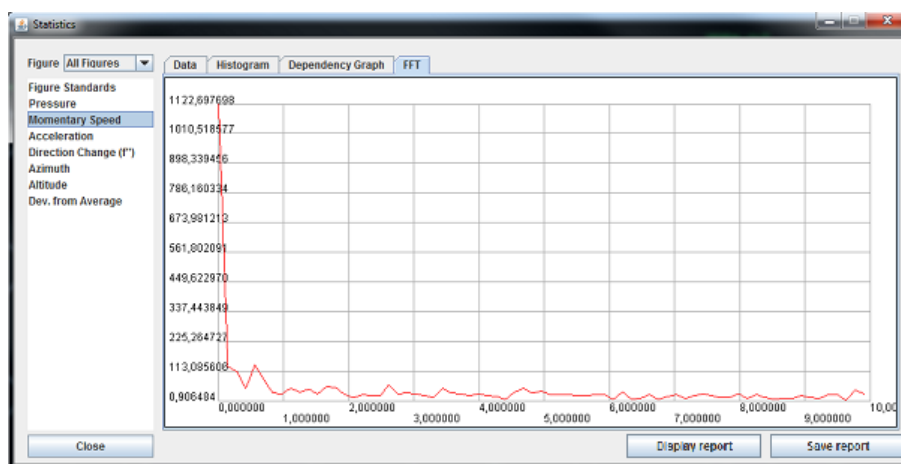
- *Histogram* – histogram wartości wziętych do obliczenia statystyki (Rysunek 3.19),
- *Dependency Graph* – wykres zależności wartości od czasu (Rysunek 3.20),
- *FFT* – wykres uzyskany z podania wartości dyskretnej transformacie Fouriera (Rysunek 3.21).



Rysunek 3.19: Histogram



Rysunek 3.20: Wykres zależności wartości od czasu

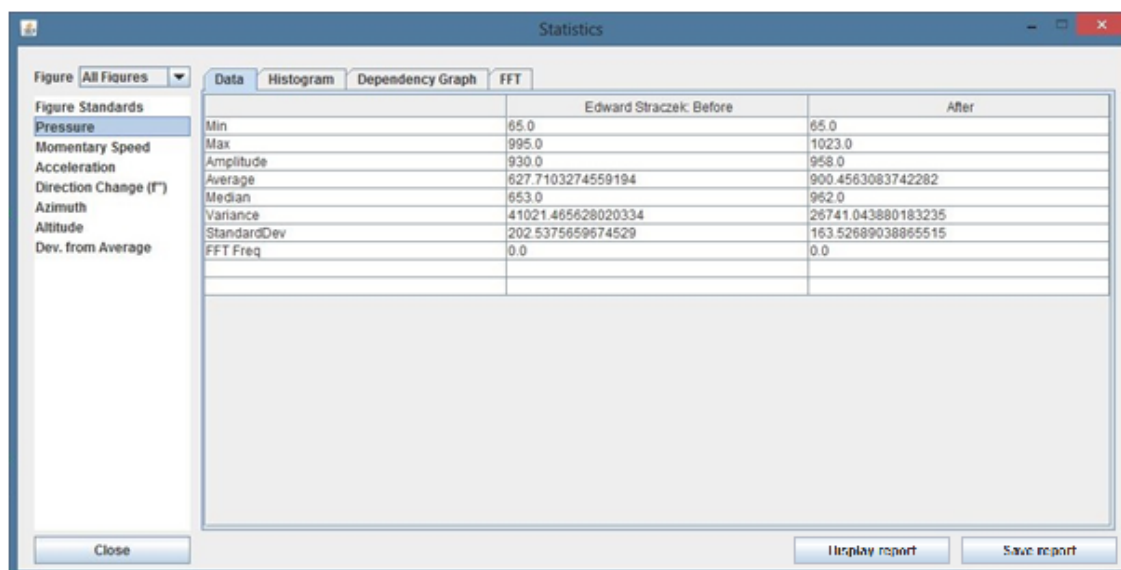


Rysunek 3.21: Wykres FFT

W przypadku okna statystycznego wyświetlającego wyniki dla całej populacji, różnice są następujące (okno to jest dostępne tylko dla typów projektu: 3 i 4):

- W komórkach tabeli zawarte są graniczne p-wartości testów (wraz z informacją jaki test został przeprowadzony). Dla poziomu istotności większego od p-wartości granicznej można odrzucić hipotezę zerową o równości obydwu zbiorów danych.
- Usunięto zakładki *Dependency Graph* oraz *FFT* ze względu na brak zastosowania w tym wypadku.
- Wraz z dokonaniem interakcji z komórką tabeli, zostają przedstawione w odpowiednim miejscu następujące dane: rodzaj przeprowadzonego testu, uzyskana p-wartość graniczna oraz średnia oraz odchylenie standardowe uzyskanych wartości pierwszej i drugiej populacji.
- Tabela zawiera następujące kolumny (w przypadku ostatniego typu projektu): porównanie populacji pierwszej przed i po leczeniu, porównanie populacji drugiej przed i po leczeniu, porównanie obydwu typów populacji przed podaniem leku, porównanie obydwu typów populacji po podaniu leku oraz porównanie zmian jakie zaszły w obydwóch populacjach (różnica wyników przed i po leczeniu). W przypadku trzeciego typu projektu istnieje tylko jedna kolumna: porównanie obydwu typów populacji przed leczeniem.

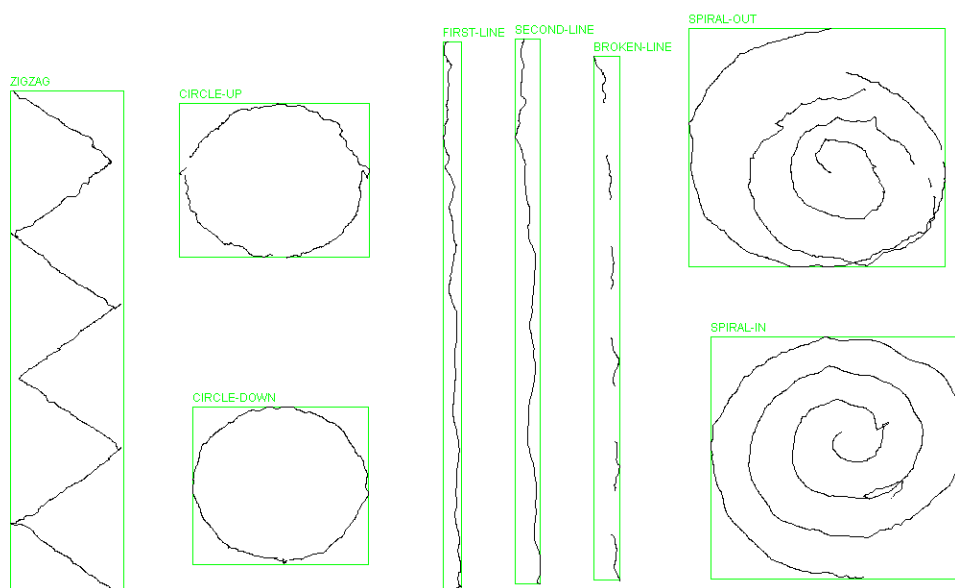
Na Rysunku 3.22 znajduje się gotowe okno statystyczne z wynikami dla pojedynczego osobnika (dla projektu związanego z testem rysunkowym).



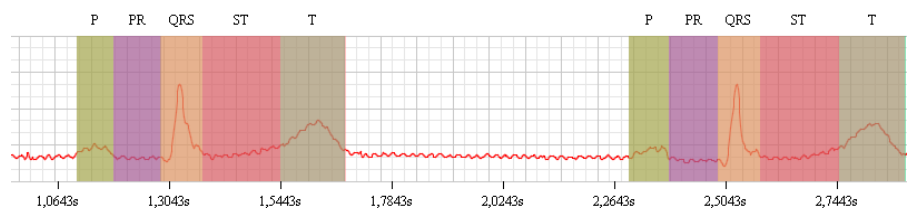
Rysunek 3.22: Projekt okna wyświetlającego wyniki analizy statystycznej dla pojedynczego osobnika

3.2.4 Automatyczne odnajdywanie obiektów badanych

Istotnym elementem z punktu widzenia jakości użytkownika aplikacji, jest dostarczenie użytkownikowi narzędzi wyznaczających w sposób automatyczny charakterystycznych elementów sygnału wejściowego. Pozbawienie użytkownika takiej możliwości skutkowałooby ogromnym zwiększeniem nakładu pracy, jaki należało by włożyć na etapie przygotowywania danych pod analizę statystyczną. W przypadku skrajnym, gdy celem jest zbadanie różnych zależności charakterystyki pracy serca dla dużych populacji, liczba elementów niezbędnych do ręcznego zaznaczenia przez użytkownika takich jak np. załamki, mogłyby nawet osiągnąć rząd kilku tysięcy. Kluczowym więc wymogiem funkcjonalnym obydwu opracowanych aplikacji stało się przygotowanie dedykowanych temu celowi algorytmów. Przykładowe efekty końcowe działania tych algorytmów przedstawiono na Rysunkach 3.23 i 3.24.



Rysunek 3.23: Wykrywanie oraz określenie typu narysowanych figur

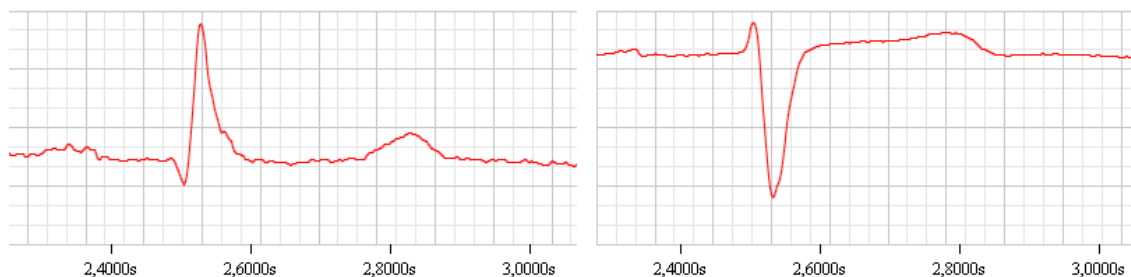


Rysunek 3.24: Odnajdywanie charakterystycznych fragmentów sygnału elektrokardiograficznego

Odnajdywanie charakterystycznych fragmentów sygnału elektrokardiograficznego

Stworzenie algorytmu spełniającego zadany wymóg okazało się zadaniem trudnym za względu na kilka cech problemu:

- Rzeczywisty sygnał elektrokardiograficzny potrafi znacząco się różnić od sygnału idealnego (wzorcowego).
- Dla każdego kanału, badany sygnał posiada odrębną specyfikację. Z przykładowego zestawienia (Rysunek 3.25) pomiarów z różnych kanałów można zauważyć zupełnie inną charakterystykę kompleksu QRS, lub istotną różnicę w poziomie wzniesienia załamka T.



Rysunek 3.25: Przykłady odrębnej specyfiki sygnałów z różnych kanałów

- W sygnale wejściowym często zawarty jest szum zniekształcający sygnał mierzony, wynikający ze specyfikacji sprzętowej urządzenia pomiarowego (Rysunek 3.26).



Rysunek 3.26: Przykład sygnału zawierającego szum

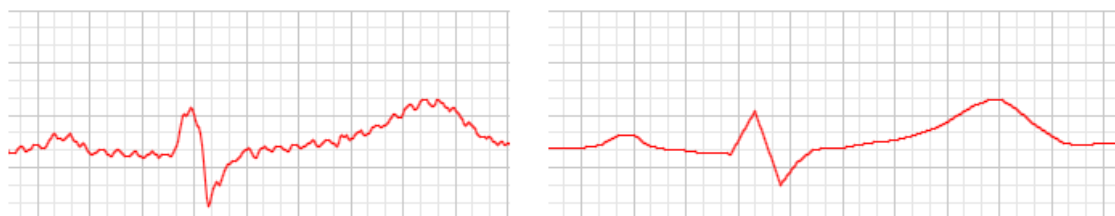
Ze względu na przedstawione trudności oraz w oparciu o obserwację wielu otrzymanych sygnałów elektrokardiograficznych podjęto decyzję, że stworzenie idealnego algorytmu działającego skutecznie bez żadnej ingerencji ze strony człowieka, niezależnie od zadanego sygnału wejściowego jest zadaniem zbyt trudnym, być może niemożliwym. Uznano, że rozsądnym rozwiązaniem będzie stworzenie algorytmu opierającego się na szeregu konfigurowalnych parametrów. Domyślnie dla każdego kanału pomiaru elektrokardiograficznego został przygotowany szablon parametrów,

dla których algorytm działa z bardzo dobrą skutecznością. W przypadku niesatysfakcjonującego wyniku, domyślając się przyczyny problemu, użytkownik może poprzez zmianę odpowiedniego parametru, uzyskać znacznie lepszy rezultat.

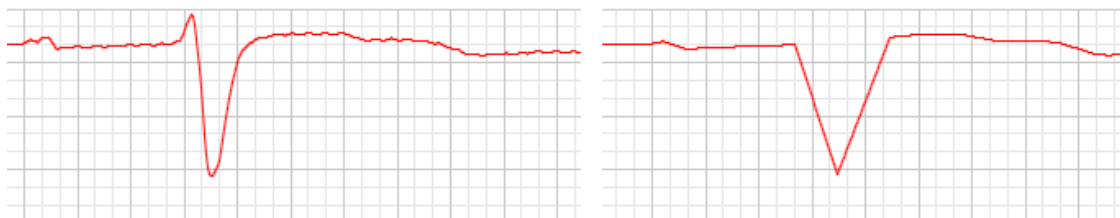
Pierwszym etapem działania algorytmu jest usunięcie ewentualnego szumu z danego sygnału (Rysunki 3.28 i 3.29). Idea polega na wygładzeniu sygnału poprzez zastąpienie go sygnałem przechodzącym przez ekstrema lokalne przebiegu funkcji, znalezione w kolejnych małych odstępach czasowych. Zostaje przygotowany wygładzony sygnał bazujący na maksimach lokalnych (w niektórych przypadkach także na minimach lokalnych). Jest to jeden z konfigurowalnych parametrów algorytmu. Sygnał bazujący na minimach potrzebny jest w przypadku danego wejścia ze specyficznych kanałów, w których malejąca część kompleksu QRS szczególnie dominuje (Rysunek 3.27). Gdyby dla takiego wejścia, zastosować wygładzanie bazujące na maksimach, ten fragment kompleksu QRS mógłby zostać zatracony. Algorytm pobiera wymagane informacje o sygnale w trakcie analizy z pomocniczych wygładzonych sygnałów.



Rysunek 3.27: Malejący fragment kompleksu QRS



Rysunek 3.28: Wygładzanie sygnału bazujące na maksimach (przed i po).

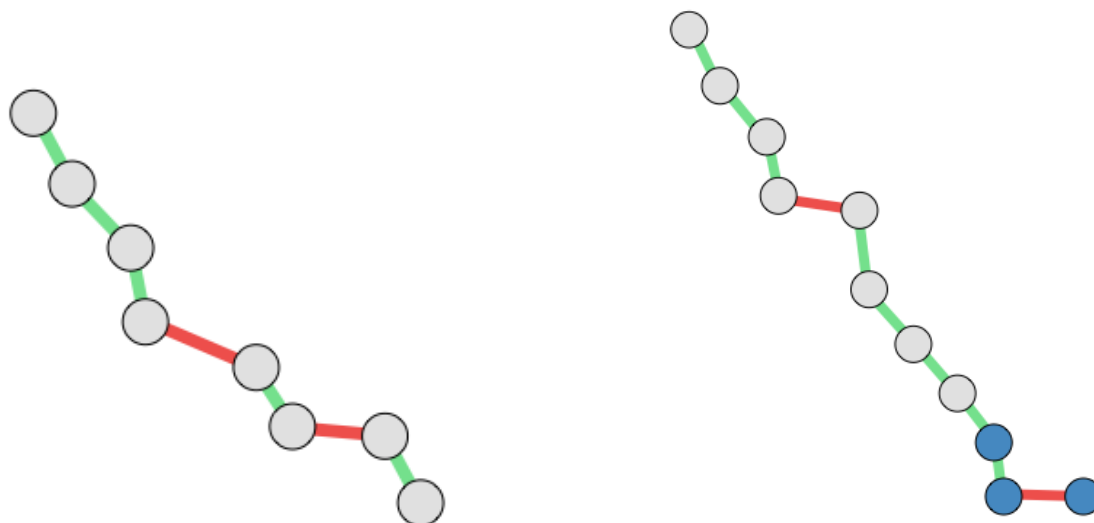


Rysunek 3.29: Wygładzanie sygnału bazujące na minimach (przed i po).

Dalsze postępowanie przebiega w sposób analityczny, badając zmienność sygnału w czasie. Z tego powodu, dla sygnału wygładzonego obliczana jest jego pochodna. Do oceny zmienności została stworzona specjalna funkcja o trzech zasadniczych, konfigurowalnych parametrach:

- Granicza wartość wartości pochodnej w punkcie: wartość poniżej lub powyżej (jeden z parametrów funkcji) której wartość pochodnej w punkcie uznawana jest za negatywną, niepasującą do zadanej charakterystyki funkcji.
- Minimalny czas testowania: czas w jakim wymagane jest, by funkcja wykazywała się zadaną charakterystyką.
- Maksymalna liczba dopuszczalnych punktów negatywnych podczas minimalnego czasu testowania, powyżej której uznaje się, że fragment funkcji nie pasuje do zadanej charakterystyki.

Funkcja ta działa w sposób następujący:



(a) Test na to, czy funkcja na przestrzeni ośmiu próbek maleje z pewną dopuszczalną, maksymalną wartością pochodnej. Akceptowalna liczba błędów wynosi jeden. Test wykazał, że dla dwóch próbek (następniki linii czerwonych) zmiana wartości następuje zbyt wolno, dlatego wskazany przedział nie wykazuje zadanej charakterystyki.

(b) Sytuacja podobna jak w rys. 3.30a, jednak liczba błędów jest do zaakceptowania. Funkcja kontynuuje działanie do momentu napotkania pierwszego błędu (niebieskie punkty). Wszystkie punkty tworzą fragment wykazujący się zadaną charakterystyką.

Rysunek 3.30: Schemat weryfikacji charakterystyki fragmentu sygnału

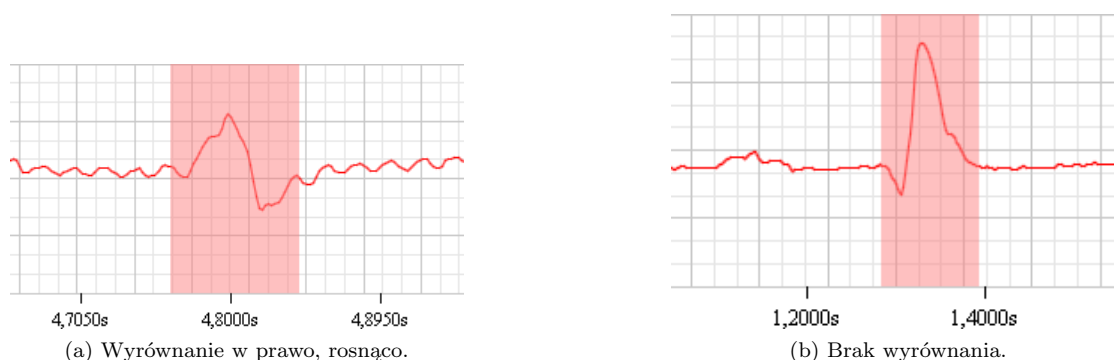
1. Rozpoczęcie analizy przebiegu sygnału w zadanym kierunku, począwszy od określonego punktu początkowego.
2. Analiza kolejnych wartości pochodnej w punkcie. Jeżeli wśród kolejnych próbek, których liczba jest adekwatna do zadanego minimalnego czasu testowania, pojawi się więcej negatywnych niż jest to dopuszczane, badany fragment nie pasuje do zadanej charakterystyki.
3. Jeżeli dla minimalnego czasu testowania, fragment sygnału odpowiada zadanej charakterystyce, funkcja kontynuuje ocenę kolejnych próbek do momentu pojawienia się pierwszej próbki o niewłaściwej wartości pochodnej. Wszystkie próbki między początkową a końcową stanowią fragment sygnału wykazujący się zadaną charakterystyką.

Algorytm stara się rozpoznać wszystkie cykle pracy serca. Robi to w sposób stopniowy, rozpoczynając od odszukania wszystkich fragmentów sygnału, które wykazywałyby się podobieństwem do malejącej części kompleksu QRS. Jest to punkt zaczepu, od którego rozpoczyna się próba identyfikacji cyklu pracy serca. Podczas obserwacji wielu rzeczywistych wykresów elektrokardiograficznych stwierdzono, że jest to jedyny charakterystyczny fragment znacząco odporny na trzy problemy wykazane na wstępie tego podrozdziału, z tego powodu jest stosunkowo łatwo wykrywalny. Cechuje go bardzo szybko malejąca wartość funkcji w krótkim czasie. Każdy z odnalezionych fragmentów jest rozszerzany z lewej strony (Rysunek 3.31a) o fragment malejący (patrząc od strony przebiegu analizy), a następnie o fragment rosnący (Rysunek 3.31b). Następnie rozszerzany jest w prawo o fragment rosnący (Rysunek 3.31c).



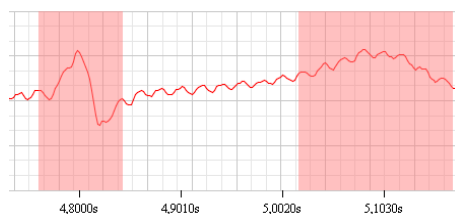
Rysunek 3.31: Przebieg algorytmu rozpoznającego cykle pracy serca.

Wszystkie opisane wcześniej fragmenty, jak i te które zostaną podane dalej, wyszukiwane są przy użyciu wyżej opisanej funkcji analitycznej i dla każdego z nich można z osobna skonfigurować w aplikacji przedstawione parametry, by móc poprawić jakość działania algorytmu. Jak zostało uprzednio opisane – domyślne parametry dla każdego z kanałów są różne, dobrane tak, by działać jak najlepiej. Przykładowo pomiar z niektórych kanałów cechuje brak pewnych charakterystycznych fragmentów. Wtedy parametry wyszukiwania takiego fragmentu dobrane są tak, by miał on znikomą długość. Takie opcjonalne pojawienie się fragmentu ma miejsce przykładowo podczas rozszerzenia malejącej części kompleksu QRS w prawo. Pojawia się ono (rozszerzenie) tylko w niektórych kanałach (Rysunek 3.32a i 3.32b).



Rysunek 3.32: Opcjonalne rozszerzenie kompleksu QRS

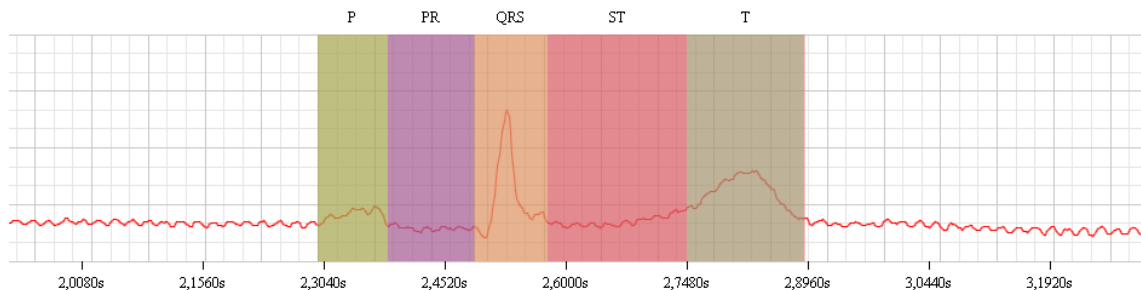
Tak uzyskane fragmenty stanowią kompleksy QRS w cyklach pracy serca. Następnie algorytm stara się zidentyfikować załamek T należący do każdego z tych cykli. W tym celu w pewnym obszarze na prawo od kompleksu QRS szukane jest maksimum wartości sygnału, które stanowić będzie wierzchołek załamka T. Krańce obszaru przeszukiwania zależne są od wstępnie oszacowanego pulsu pomiaru, oraz dwóch konfigurowalnych zmiennych, które w proporcji do uzyskanego pulsu, określają obydwie krańce obszaru (przedziału). Następnie zaczynając od miejsca, dla którego sygnał przyjmuje maksimum obszaru, szukany jest malejący fragment w lewo (patrząc z perspektywy kierunku analizy), oraz malejący fragment w prawo. Suma obydwu fragmentów stanowi załamek T (Rysunek 3.33).



Rysunek 3.33: Wyznaczony załamek T

Wyszukiwanie załamka P przebiega podobnie jak w przypadku załamka T. Wyznaczany jest pewien obszar na lewo od uzyskanego kompleksu QRS, w którym algorytm odnajduje maksimum oraz w tym wypadku także minimum lokalne. W przypadku załamka P znaleziony fragment nie jest jednak rozszerzany wokół odnalezionego maksimum na zasadzie spadku wartości funkcji, lecz jest rozszerzany do momentu osiągnięcia wartości progowej określonej jako procent wysokości między minimum a maksimum lokalnym. Jest to także wartość konfigurowalna. Przykładowo dla wartości równej 50% algorytm rozszerza fragment wokół maksimum do momentu natrafienia z każdej strony na wartość funkcji znajdującą się w połowie między minimum a maksimum. Alternatywnym warunkiem zakończenia rozszerzania jest moment osiągnięcia wartości granicznych obszaru badanego. Inny sposób działania algorytmu dla załamka P wynika ze znacznie mniejszej wartości amplitudy tego załamka. Z tego powodu jest on podczas etapu wygładzania sygnału, silnie spłaszczony i badanie monotoniczności funkcji w tym wypadku okazywało się często zawodne. Natomiast postępowanie podczas interpretowania załamka P jest bardziej deterministyczne, co pozwala łatwo, poprzez zmianę parametrów osiągnąć pożądany skutek. Zmiana ta dotyczy nie tylko wartości progowej, ale także obszaru badanego, np. rozszerzenia go bardziej w prawą stronę, gdy dla danego sygnału algorytm uciął część załamka.

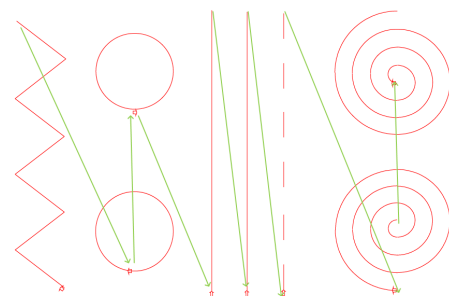
Ostatnim etapem jest wyznaczenie segmentów PR i ST, jako obszarów pomiędzy odnalezionymi załawkami a kompleksem QRS. Przykładowy zinterpretowany cykl pracy serca przedstawia Rysunek 3.34



Rysunek 3.34: Wyznaczony cykl pracy serca

Wykrywanie oraz określanie typu narysowanych figur w teście rysunkowym.

Pierwszym etapem pracy algorytmu jest fragmentacja ciągłego sygnału wejściowego na zbiór figur, które następnie zostaną poddane interpretacji. Etap ten opiera się na spostrzeżeniu odnośnie szablonu testu rysunkowego, że początek kolejnych rysowanych figur, znajduje się w istotnie dużej odległości od końca figury poprzedniej (Rysunek 3.35). Algorytm sprawdza odległość między kolejnymi, sąsiednimi próbkami w sygnale wejściowym i porównuje ją z pewną wartością graniczną. W przypadku uzyskania odległości większej od wartości granicznej, można stwierdzić, że nastąpiło przerwanie i kontynuacja testu w miejscu znacząco odległym, co jest interpretowane jako rozpoczęcie rysowania nowej figury. Wartość graniczna została uzyskana metodą prób i błędów, testując wiele źródeł o różnych charakterystykach. Nie mogła być ona zbyt duża, ponieważ algorytm mógłby pominąć moment rozpoczęcia rysowania nowej figury, ani zbyt mała, ponieważ algorytm mógłby postępować zbyt pochopnie i np. pofragmentować prostą linię przerywaną na wiele krótkich odcinków. Wartość graniczna została wyznaczona jako 15% szerokości obszaru testu rysunkowego.



Rysunek 3.35: Kolejność rysowania figur

Następnie algorytm rozpoczyna interpretację uzyskanych figur. Opracowano cztery funkcje określające typ figury. Każda z nich szacuje podobieństwo otrzymanej na wejściu figury do wzorca i jeżeli podobieństwo będzie większe od wartości progowej testu, dla figury wejściowej zostaje określony jej typ. Podobieństwem jest tutaj procentowa liczba punktów figury pasująca do wzorca. Dodatkowo każdy z testów uwzględnia sytuacje, gdy wejściowy test rysunkowy jest obrócony o kąt

90°, 180°, 270°, oraz odwrócony symetrycznie o oś X, Y, co może się zdarzyć w przypadku źle nałożonego wzorca na urządzenie pomiarowe.

Kolejność testowania ma znaczenie. Testy są ułożone malejąco według ich wartości progowej podobieństwa. Taka kolejność zmniejsza ryzyko popełnienia błędu. Im bardziej dokładny okazał się test (czyli dla figury odpowiedniej uzyskiwał bardzo wysoki współczynnik podobieństwa, dla figur pozostałych skrajnie niski), tym przydzielona mu została większa wartość progowa. Niższa wartość progowa testu sprawia, że staje się on mniej restrykcyjny, tym samym może częściej popełniać błędy. Z tego powodu, gdyby odwrócić kolejność przeprowadzania testów, ryzyko popełnienia błędów znacząco by wzrosło. Kolejność testowania przedstawia Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Kolejność i opis testów na podobieństwo do figury.

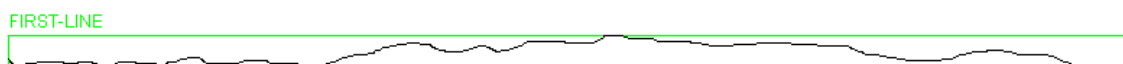
Test	Opis	Wartość progowa
Linia prosta	Bada, czy figura to pierwsza bądź druga linia prosta.	75%
Okrąg	Sprawdza, czy figura to okrąg i kierunek rysowania.	60%
Linia przerywana	Bada, czy figura to linia przerywana.	50%
Spirala	Sprawdza, czy figura to spirala i kierunek rysowania.	45%

W przypadku braku dopasowania figury do żadnej z powyżej wymienionych, jest ona interpretowana jako figura typu ZIGZAG. W początkowej fazie projektu istniał osobny test na ten typ figury, jednak ze względu na poziom skomplikowania geometrycznego, a co za tym idzie możliwym większym odchyleniem od wzorca dla zadanej figury, test ten był bardzo zawodny. Obecna wersja algorytmu z przedstawionym schematem postępowania działa bardzo dobrze, co zostało poparte dużą liczbą zanalizowanych testów rysunkowych. Poniżej opisano sposób postępowania każdego z algorytmów.

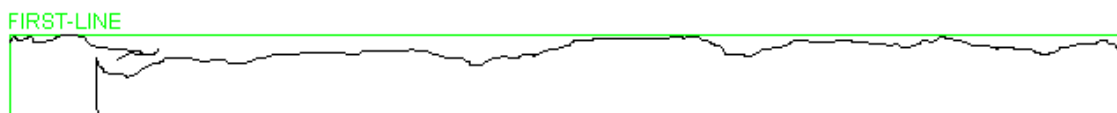
Test na linię prostą

1. Algorytm weryfikuje, czy jeden z wymiarów obszaru tworzącego figurę zajmuje istotną część odpowiedniego wymiaru obszaru testu rysunkowego. Jest to wstępny warunek, który sprawdza czy zadana figura ma szansę być linią prostą, która według szablonu, w sytuacji idealnej, powinna rozpościerać się prawie na całej szerokości obszaru rysowania.
2. Wyznaczany jest środek geometryczny zbioru punktów tworzących figurę (niebieski punkt), oraz prosta przechodząca przez środek ciężkości o kierunku równym średniemu kierunkowi postępu rysowania (niebieska linia przerywana).
3. Wszystkie punkty tworzące figurę, znajdujące się w dopuszczalnej odległości od wyznaczonej prostej zostają zaakceptowane (zielone punkty). Stosunek liczby punktów zaakceptowanych do całkowitej liczby punktów wyznacza współczynnik podobieństwa ze wzorcem.
4. Jeżeli współczynnik podobieństwa okaże się większy od wartości progowej, algorytm decyduje o typie figury. Jest on przydzielany na podstawie numeru pozytywnie przeprowadzonego testu na linię prostą:
 - Pierwszy pozytywnie przeprowadzony test: FIRST.LINE.
 - Drugi pozytywnie przeprowadzony test: SECOND.LINE.
 - W pozostałych przypadkach wynik testu uznawany jest za negatywny.

Przykłady rzeczywistych prostych oraz wyliczonych dla nich współczynników podobieństwa przedstawiają Rysunki 3.36 oraz 3.37.



Rysunek 3.36: Obliczony współczynnik podobieństwa: 96%

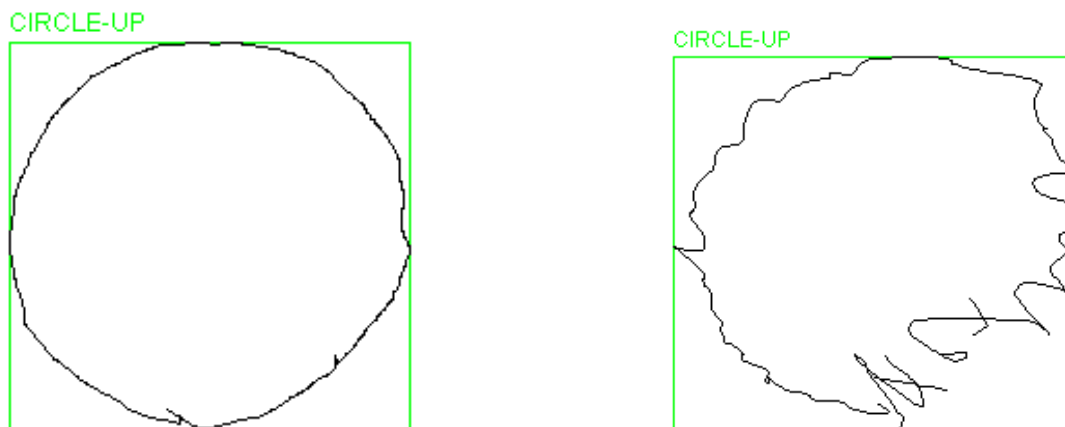


Rysunek 3.37: Obliczony współczynnik podobieństwa: 79%

Test na okrąg

1. Algorytm weryfikuje, czy wymiary obszaru tworzącego figurę są w przybliżeniu równe. Dopuszczalne odchylenie (zniekształcenie) jest zapamiętane w postaci ilorazu wymiarów i uwzględnione jako korekcja w dalszych punktach algorytmu.
2. Wyznaczany jest środek geometryczny zbioru punktów (niebieski punkt), oraz średnia odległość punktów od środka geometrycznego, która stanowić będzie promień hipotetycznego okręgu (niebieska linia).
3. Analogicznie jak w punkcie numer 3 testu na linię prostą, liczony jest współczynnik podobieństwa.
4. O tym, czy jest to okrąg o początku rysowania w kierunku prawym (CIRCLE_UP), czy lewym (CIRCLE_DOWN), decyduje funkcja, która bada przebieg postępu rysowania względem czasu. Metoda ta polega na podzieleniu obszaru rysowania oraz czasu rysowania na cztery ćwiartki. Każda ćwiartka obszaru rysowania zawiera informacje o liczbie zawartych w niej punktów w każdej ćwiartce przedziału czasowego. Następnie badając, jak względem kolejnych ćwiartek czasowych, zmienia się ćwiartka obszaru z największą liczbą punktów, algorytm podejmuje decyzję o kierunku rysowania okręgu.

Przykłady rzeczywistych okręgów oraz wyliczonych dla nich współczynników podobieństwa przedstawiają Rysunki 3.38a oraz 3.38b.



(a) Okrąg z rozpoczęciem rysowania w dół. Obliczony współczynnik podobieństwa: 100%

(b) Okrąg z rozpoczęciem rysowania w górę. Obliczony współczynnik podobieństwa: 83%

Rysunek 3.38: Okręgi

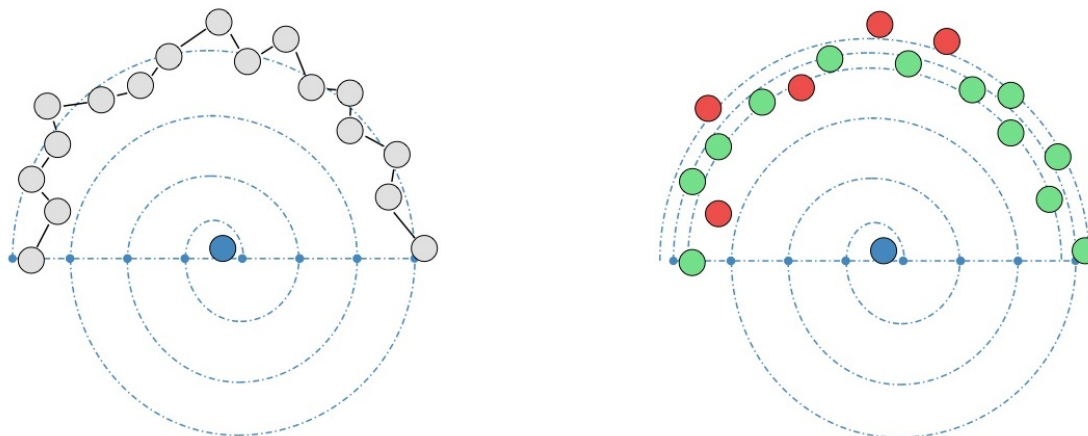
Test na linię przerywaną

1. Algorytm weryfikuje, czy jeden z wymiarów obszaru tworzącego figurę zajmuje istotną część odpowiedniego wymiaru obszaru testu rysunkowego (podobnie jak w teście na linię prostą). Dodatkowo sprawdzane jest, czy liczba oderwań piórka od tabletu jest większa lub równa 5 co odpowiada charakterystyce zadanej linii przerywanej.
2. Algorytm dzieli obszar figury na 11 przedziałów względem większego z wymiarów.

3. Dla każdego z punktów weryfikowane jest, w którym z uzyskanych obszarów się znajduje. W przypadku pierwszego obszaru, lub co drugiego następnego, punkt uznaje się za zaakceptowany. Stosunek liczby punktów zaakceptowanych do całkowitej liczby punktów wyznacza współczynnik podobieństwa ze wzorcem.

Test na spiralę

W przypadku tego testu, należy zauważyć, że przedstawiona figura składa się z wielu półokręgów.

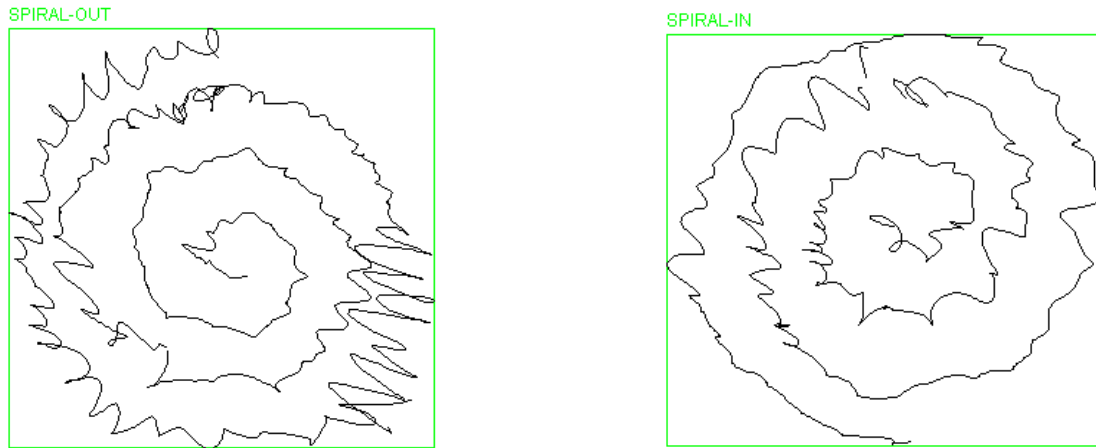


Rysunek 3.39: Przebieg testu na spirale.

1. Algorytm weryfikuje, czy wymiary obszaru tworzącego figurę są w przybliżeniu równe.
2. Algorytm oblicza geometryczny środek zbioru punktów tworzących spiralę (niebieski punkt).
3. Zbiór punktów jest dzielony względem czasu na przedziały (podzbiory), których proporcje wielkości są adekwatne do proporcji długości łuków każdej z połówek okręgu figury. W zależności od tego, czy jest to spirala rysowana do środka (SPIRAL_IN), czy na zewnątrz (SPIRAL_OUT), kolejność rysowania łuków jest odwrotna. Z tego powodu w obliczeniach uwzględnione są jednocześnie obydwie sytuacje.
4. Dla każdego z wyznaczonych podzbiorów punktów algorytm działa analogicznie jak w przypadku testu na okrąg, przy odpowiednim oszacowaniu promienia dla danego przedziału. Rysunki 3.39a oraz 3.39b przedstawiają działanie algorytmu dla pojedynczego łuku.
5. Dla większego z uzyskanych rezultatów, w przypadku gdy zostanie przekroczona wartość progowa, podejmowana zostaje decyzja odnośnie typu figury.

Wartość progowa dla tego testu jest najmniejsza ze wszystkich, ponieważ jest on najbardziej podatny na odchylenia od wzorca. Dodatkowo jest on uzależniony od charakterystyki czasowej rysowania figury, która ma wpływ na podział oryginalnego zbioru punktów na podzbiory tworzące łuki półokręgów. Przykłady rzeczywistych spiral oraz wyliczonych dla nich współczynników podobieństwa (zarówno na spirale rysowaną do środka jak i na zewnątrz) przedstawiają Rysunki 3.40a oraz 3.40b.

Wszystkie uprzednio przedstawione algorytmy działają z bardzo dobrą skutecznością w przypadku testów rysunkowych, w których badana osoba podczas przeprowadzania badania postępowała według szablonu wzorcowego. Najczęściej spotykane odstępstwa to rysowanie dwóch takich samych okręgów lub spiral przez osobę badaną, lub rozpoczęcie rysowania figury w istotnie niewłaściwym miejscu (często figura rysowana jest od końca). Ten ostatni problem przyczynia się do wadliwego działania algorytmu na etapie fragmentacji figur. Jest to jednak problem występujący bardzo rzadko, zarazem próba naprawienia go jest bardzo trudna. Z logicznego punktu widzenia nie jest ona wcale potrzebna, ponieważ niezgodny z szablonem test rysunkowy, nie powinien być brany pod uwagę przy analizie statystycznej.



(a) Spirala rysowana od wewnątrz. Obliczone współczynniki prawdopodobieństwa: spirala rysowana do środka – 21%; spirala rysowana od środka – 68%

(b) Spirala rysowana do środka. Obliczone współczynniki prawdopodobieństwa: spirala rysowana do środka – 78%; spirala rysowana od środka – 23%

Rysunek 3.40: Spirale

3.2.5 Wizualizacja sygnałów wejściowych

Ważnym wymogiem funkcjonalnym było stworzenie dla aplikacji paneli, których zadaniem byłaby wizualizacja wejściowych sygnałów. Pozwoliłoby to osobie przeprowadzającej badanie na rzeczywisty wgląd w przebieg testu rysunkowego/charakterystykę pracy serca. Dzięki temu analityk mógłby dokonać podstawowej oceny osoby badanej. Łatwiej jest bowiem określić pewne cechy poprzez obserwację rzeczywistych obiektów, niż odczytując to z liczb charakteryzujących je. Panele takie dodatkowo służyłyby jako narzędzie do manipulacji/modyfikacji sygnałem wejściowym np. do zaznaczania odcinka w sygnale elektrokardiograficznym, bądź zaznaczania figury w teście rysunkowym.

Sygnal elektrokardiograficzny

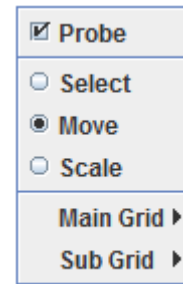
Panel do wizualizacji sygnału elektrokardiograficznego jest wykresem uzyskanego napięcia względem czasu dokonania pomiaru próbki. Najtrudniejszym elementem w implementacji okazało się prawidłowe rzutowanie uzyskanej próbki na powierzchnię przeznaczoną do rysowania. Z jednej strony istotne jest tutaj prawidłowe określenie pozycji horyzontalnej. Zależna jest ona między innymi od rozdzielczości (czas trwania sygnału przypadający na liczbę pikseli), częstotliwości sygnału, także od jego przesunięcia w czasie. Z drugiej strony należy odpowiednio odłożyć punkt wertykalnie, gdzie zerowa wysokość przypada na minimalną wartość sygnału, a maksymalna wysokość obszaru rysowania na maksymalną wartość sygnału. Całość została wzbogacona o odpowiednie oznaczone osie, wraz z liniami siatki na wykresie. Uzyskany efekt przedstawia Rysunek 3.41.



Rysunek 3.41: Wizualizacja EKG

Zostały zaimplementowane narzędzia pozwalające na pracę z sygnałem wejściowym. Dostępne są one z poziomu okna kontekstowego (rys. 3.42):

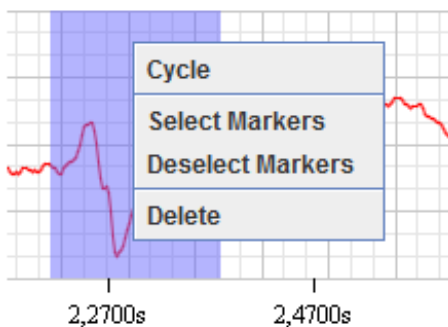
- Próbnik (Probe) - wyświetla podstawowe informacje o wskazanej przez kursor myszy próbce (rys. 3.41).
- Zaznaczenie (Select) - pozwala zaznaczyć fragment sygnału.
- Translacja (Move) - przesunięcie sygnału przy użyciu myszy. Jeżeli kursor myszy znajduje się w obszarze wykresu, jest to przesunięcie „w czasie” (następuje przesunięcie sygnału przy nieziennej osi czasu). Jeżeli kursor znajduje się na osi horyzontalnej, jest to przesunięcie „poza czasem” (następuje przesunięcie sygnału wraz z osią czasu).
- Skalowanie (Scale) - zwężanie lub rozciąganie sygnału przy użyciu myszy. Możliwe „w czasie”, bądź „poza czasem”, podobnie jak w przypadku translacji.



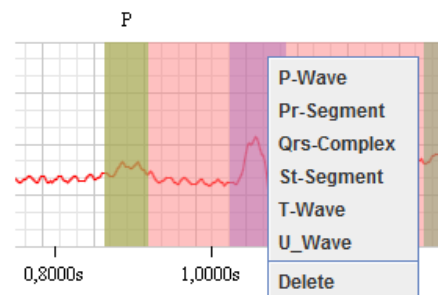
Rysunek 3.42: Przykład okna kontekstowego

W przypadku narzędzia służącego do zaznaczenia części sygnału dostępne są dwa pomocnicze okna kontekstowe:

- Okno dostępne dla zaznaczonego fragmentu sygnału (Rysunek 3.43a) – pozwala ono na utworzenie cyklu pracy serca (Cycle). Jeżeli zaznaczenie obejmuje przynajmniej jeden cykl, możliwe jest oznaczenie tych cykli pomocniczymi dla statystyki markerami (Select/Deselect Markers).
- Okno dostępne dla zaznaczenia w obrębie cyklu (Rysunek 3.43b) – pozwala na utworzenie charakterystycznych elementów cyklu pracy serca (np. P-Wave). Jest ono dostępne także w przypadku braku zaznaczenia, o ile kursor myszy znajduje się w obrębie cyklu. Możliwa jest wtedy zmiana wybranego elementu cyklu na inny, bądź usunięcie go (także usunięcie cyklu – Delete).



(a) Okno kontekstowe dla zaznaczonego fragmentu sygnału



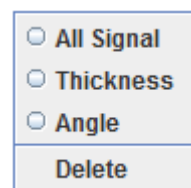
(b) Okno kontekstowe dostępne dla zaznaczenia w obrębie cyklu

Rysunek 3.43: Przykłady okienek kontekstowych

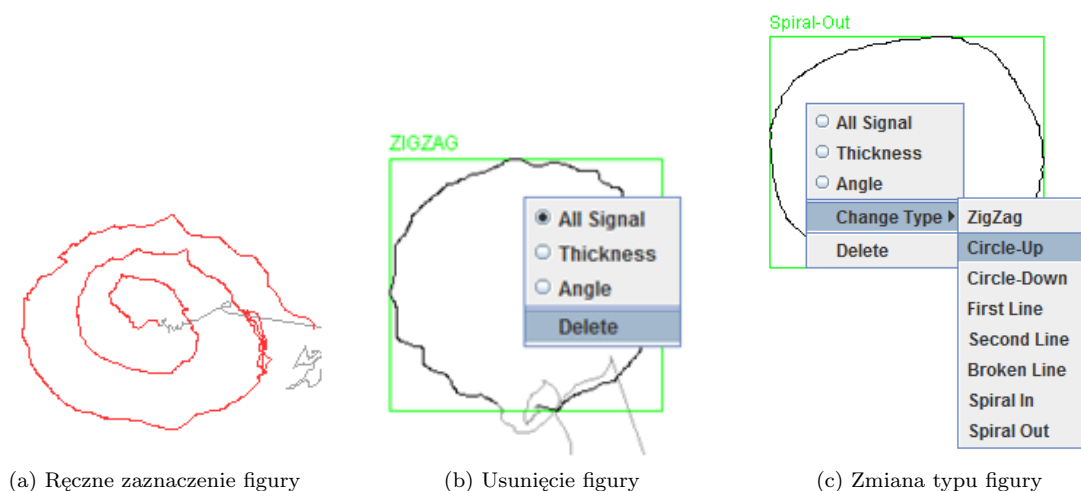
Test rysunkowy

Próbki w teście rysunkowym zawierają nie tylko informację o położeniu w czasie, ale także dodatkowe cechy podlegające wizualizacji: nacisk rysika na powierzchnię tabletu oraz informacje o szerokości i wysokości kątowej rysika względem tabletu. Pierwszym ważnym założeniem było umożliwienie wyłączenia/włączenia wizualizacji wybranych cech sygnału, ponieważ wizualizacja wszystkich elementów jednocześnie znacząco zmniejsza czytelności testu. Przygotowane zostało okno kontekstowe dające użytkownikowi zadaną możliwość (Rysunek 3.44).

Kolejne próbki rzutowane są na panel, bazując na ich właściwościach: współczynnikach X i Y oraz czasie dokonania pomiaru próbki. Program daje możliwość manipulowania granicznym czasem wyświetlania, dzięki czemu możliwy jest wgląd w przebieg rysowania testu w czasie. Na panelu domyślnie wyrysowane są tylko próbki przydzielone do rozpoznanych figur, jednak użytkownik może mieć wgląd w cały sygnał. Opcja ta wykorzystana jest przy ręcznym zaznaczeniu figury. Użytkownik mając wgląd w cały sygnał, zaznacza koniec i początek rysowanej figury (jako czas dokonania pomiaru pierwszej i ostatniej próbki). Następnie określając typ figury, dokonuje zapamiętania jej w programie. Próbki uwzględnione w zaznaczony przez użytkownika fragment sygnału rysowane są innym, wyróżniającym się kolorem (Rysunek 3.45a). Początkowa koncepcja utworzenia nowej figury polegała na zaznaczeniu fragmentu przestrzeni na panelu w obrębie którego próbki stanowiąc będą figurę. Takie zaznaczenie jednak musiało być nieregularne, stworzone z linii łamanych. Jest to jednak znacznie trudniejsze w implementacji oraz mniej efektywne w użytkowaniu, w przeciwieństwie do zaznaczenia przedziału w czasie. Okno kontekstowe panelu pozwala także na usunięcie figury (ze względu np. na błędnie określony typ). Cursor myszy w takim wypadku musi znajdować się o obszarze tworzącym wybraną figurę (Rysunek 3.45b). W podobny sposób można zmienić natychmiastowo typ wybranej figury (Rysunek 3.45c).



Rysunek 3.44: Okno kontekstowe tabletu



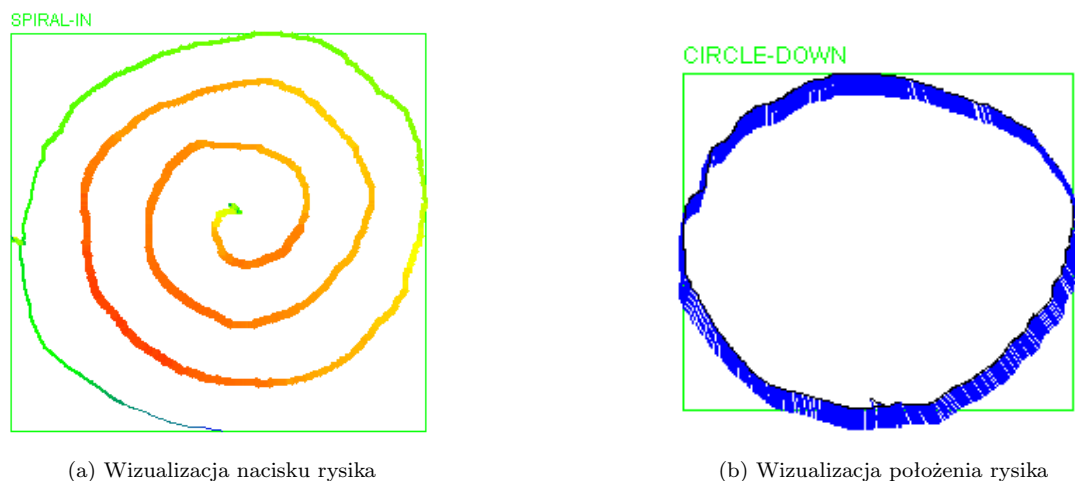
Rysunek 3.45: Przykłady manipulacji figurami

Dzięki wizualizacji nacisku na powierzchnię tabletu, możliwa jest podstawowa analiza sprawności osoby badanej. Można ocenić siłę nacisku oraz zauważyć, w których charakterystycznych fragmentach figur jest ona największa. Nacisk kolejnych próbek wizualizowany jest z wykorzystaniem (Rysunek 3.46a):

- grubości rysowanej linii - najgrubsza określa maksimum nacisku,
- koloru rysowanej linii - gradient od koloru niebieskiego (minimum) do czerwonego (maksimum), przechodzący przez kolor żółty.

Wizualizacja położenia rysika polega na wyprowadzeniu z każdego punktu wektora o odpowiednim kierunku oraz odpowiedniej długości (Rysunek 3.46b):

- kierunek - szerokość kąta położenia rysika.
- długość - wysokość kąta położenia rysika. Im większa wysokość, tym mniejsza długość wektora. W przypadku rysowania prostopadłe do powierzchni, wektor będzie miał zerową długość.



Rysunek 3.46: Przykłady wizualizacji

3.2.6 Raporty

Głównym celem aplikacji jest przeprowadzenie analizy statystycznej sygnałów i testów dowodzących określone tezy. Rezultaty badań przeprowadzonych za pomocą aplikacji mogą okazać się niezwykle ważne w kontekście przeciwdziałania oraz leczenia chorób. Dlatego też istotne jest, aby wyniki uzyskane z przeprowadzonej analizy statystycznej były zaprezentowane w sposób czytelny, jednoznaczny oraz umożliwiający wykorzystanie zawartych informacji do dalszych badań.

Biorąc pod uwagę powyższe aspekty, podczas tworzenia aplikacji duży nacisk położony był zarówno na przejrzystość interfejsu graficznego programu, jak i na możliwość generowania raportów, które:

- będą dostępne dla użytkownika nie tylko bezpośrednio z aplikacji,
- pozwolą na dostęp do wyników niezależnie od wykorzystywanej platformy,
- dostarczą zestawienie danych w wersji przeznaczonej do wydruku,
- zaprezentują zbiorcze wyniki analizy statystycznej dla całego projektu,
- wysuną wstępne wnioski z przeprowadzonej analizy.

Aplikacja oferuje użytkownikom możliwość wygenerowania raportów w dwóch popularnych i rozpoznawalnych przez wszystkie powszechne platformy formatach – pdf oraz html.

Przy budowie mechanizmu generującego raporty statystyczne wykorzystane zostało otwarte narzędzie JasperReports w wersji 5.5 przeznaczone do dynamicznego tworzenia dokumentów wbudowanych w aplikacje języka Java. Głównym atutem tego narzędzia jest możliwość wygenerowania raportów w obu przyjętych formatach w prosty sposób przy zastosowaniu jednego szablonu.

Szablon raportu został zaprojektowany w programie iReports, który jest otwartym, rozbudowanym i specjalnie do tego celu przeznaczonym narzędziem. Ze względu na fakt przechowywania wszystkich informacji, które mają zostać ujęte w raporcie, w obiektach klas Javy, dane do raportu pobierane są przez odpowiednio przygotowane do tego ziarna JavaBean. Szablon raportu zapisany jest w pliku z rozszerzeniem jrxml, którego struktura opiera się na języku XML. Wygląd szablonu zaprezentowano na Rysunku 3.47.

Do zarządzania raportami z poziomu kodu programu została zdefiniowana klasa *ReportManager*, która oparta jest o dostarczone przez bibliotekę JasperReports Library klasy takie jak:

JasperReport, *JasperPrint*, *JasperDesign* oraz *JRBeanCollectionDataSource*. Aby aplikacja mogła wyświetlić użytkownikowi raport statystyczny, w pierwszej kolejności musi utworzyć instancję źródła danych (obiekt klasy *JRBeanCollectionDataSource*). Następnie należy wczytać i skompilować plik szablonu projektu, by możliwe było utworzenie gotowego do użycia, wypełnionego danymi z aplikacji obiektu raportu (instancja klasy *JasperPrint*). Ostatnim krokiem jest wyświetlenie lub zapisanie raportu w wybranym przez użytkownika formacie, co jest możliwe dzięki statycznym metodom dostarczonym przez klasę *JasperExportManager*.



Name:	Jagielska	HIV:	-1
Surname:	Katarzyna	Metadon:	-1
Birth:	27.5.2010	Metadon application time:	-1
Weight:	-1	Time to good mood:	-1
		Good mood duration:	-1

Statistic name	P Wave	PR Segment	QRS Complex	ST Segment	T Wave	U Wave	PR Interval	QT Interval	ST Interval	J Point
Before										
V2										
Average	0.0544444	0.0953333	0.1097777	0.1175555	0.152	null	0.1517777	0.3833333	0.2715555	2444.888
Max	0.064	0.1	0.1180000	0.1420000	0.152	null	0.158	0.4140000	0.296	4541.0
Min	0.046	0.092	0.098	0.106	0.152	null	0.1440000	0.364	0.26	467.0
Amplitude	0.0180000	0.0080000	0.0200000	0.0360000	0.0	null	0.0139999	0.0500000	0.0359999	4074.0
Variance	3.5777777	6.0000000	6.6444444	1.6777777	0.0	null	2.3444444	2.2500000	1.6777777	1960152.
SD	0.0059814	0.0024494	0.0081513	0.0129529	0.0	null	0.0048419	0.0150000	0.0129529	1400.054
II										
Average	0.0648888	0.0813333	0.0984444	0.1786666	0.1315555	null	0.1482222	0.4126666	0.3122222	2441.666
Max	0.0720000	0.09	0.1040000	0.2040000	0.154	null	0.158	0.428	0.33	4537.0
Min	0.058	0.07	0.094	0.162	0.112	null	0.136	0.396	0.298	461.0
Amplitude	0.0140000	0.0080000	0.0180000	0.0400000	0.0	null	0.0130000	0.0340000	0.0350000	4070.0
Variance	3.5777777	6.0000000	6.6444444	1.6777777	0.0	null	2.3444444	2.2500000	1.6777777	1960152.
SD	0.0059814	0.0024494	0.0081513	0.0129529	0.0	null	0.0048419	0.0150000	0.0129529	1400.054

Rysunek 3.47: Fragment wygenerowanego raportu

3.2.7 Import oraz eksport danych w postaci plików XML

Import danych dotyczących pojedynczego pacjenta

W przypadku tworzenia nowego projektu, w pierwszej kolejności należy zaimportować do programu dane badanego/-ych osobnika/-ów. Dane te muszą być dostarczone w plikach zgodnych z określonym dla każdej aplikacji standardem narzuconym przez wymagania funkcjonalne programów.

Aplikacja badająca sygnał EKG importuje dane z plików w formacie XML, których rozmiar nie przekracza 5kB. Pliki zawierają informacje personalne osobnika oraz kolejne wartości próbek składających się na sygnały uzyskane w wyniku jego badania EKG.

Aplikacja do wczytania pliku korzysta z otwartego pakietu bibliotek dom4j zgodnego z obiektowym modelem dokumentu DOM. Oferowane przez nią klasy – *Document*, *Node* i *SAXReader* – umożliwiły zaimportowanie całego dokumentu XML do programu jako obiektu javowego. Takie rozwiązanie zapewnia swobodny dostęp do węzłów dokumentu XML (obiekty klasy *Node*) oraz możliwość modyfikacji i zapisu. Zastosowanie narzędzia wykorzystującego model DOM było możliwe dzięki niewielkim rozmiarom plików wejściowych, które swobodnie można załadować do pamięci.

Metody umożliwiające import pliku wejściowego do aplikacji zawarte są w klasie *Importer*, wykorzystującej wyżej opisane narzędzia z biblioteki dom4j. Konstruktor tej klasy przyjmuje jako argument ścieżkę do importowanego pliku, który automatycznie ładuje plik do pamięci. Do

przetworzenia go służy metoda *importSpecimen*, które zwraca w pełni wypełniony danymi z pliku obiekt klasy *Specimen*.

Zapis danych dotyczących populacji

Opracowane aplikacje oferują możliwość zapisu projektu do pliku oraz odtworzenia zapisanego uprzednio projektu z pliku. Do przechowywania informacji o projekcie wykorzystywany jest plik w formacie XML, którego struktura zagłębia się analogicznie do kolejnych poziomów zagnieżdżenia drzewiastego schematu implementacyjnego aplikacji.

Strukturę pliku XML przechowującego projekt w przypadku aplikacji badającej sygnał EKG przedstawiono jako Listing 3.1.

Listing 3.1: Szkielet pliku XML przechowującego projekt w aplikacji analizującej sygnał EKG.

```

1 <PROJECT name="" path="" date="" type="" >
2   <POPUL id="" specimens="" >
3     <SPECIMEN name="" surname="" birth_date="" age="" weight = ""
4       activity_duration="" hiv="" metadon="" metadon_time_application=""
5       time_to_good_mood="" good_mood_duration="" inputs_number="" >
6       <INPUT id="" channels="" >
7         <CHANNEL name="" frequency="" samples="" translations="" >
8           <RAW_DATA></RAW_DATA>
9           <CYCLES number="" >
10            <CYCLE range="" p_wave="" pr_segment=""
11              qrs_segment="" t_wave="" u_wave=""
12              marked="" >
13              </CYCLE>
14            </CYCLES>
15          </CHANNEL>
16        </INPUT>
17      </SPECIMEN>
18    </POPUL>
19 </PROJECT>

```

Struktura pliku XML przechowującego projekt w przypadku programu do analizy sygnału grafomotorycznego jest analogiczna (Listing 3.2).

Listing 3.2: Szkielet pliku XML przechowującego projekt w aplikacji analizującej sygnał grafomotoryczny.

```

1 <PROJECT name="" path="" date="" type="" >
2   <POPUL id="" specimens="" >
3     <SPECIMEN name="" surname="" birth_date="" sex="" hand="" brain=""
4       inputs_number="" >
5       <INPUT id="" figures="" pressure_avoid="" content="" >
6         <RAW_DATA></RAW_DATA>
7         <FIGURE type="" segments="" bounds="" >
8           <SEGMENT range="" ></SEGMENT>
9         </FIGURE>
10        </INPUT>
11      </SPECIMEN>
12    </POPUL>
13 </PROJECT>

```

Pliki zapisu projektów przechowują wszystkie dane związane nie tylko z populacjami, lecz także z każdym osobnikiem przynależącym do danej populacji, oraz wszystkie wyniki analizy statystycznej. Ten aspekt znacząco wpływa na rozmiar pliku wynikowego – w zależności od rozmiaru populacji i długości sygnałów osobników przynależących do nich plik może okazać się tak duży, że przechowanie go w całości jako obiektu w pamięci programu będzie kłopotliwe. Aby wyeliminować ewentualne błędy wynikające z tego faktu, do importu danych z pliku XML do programu wykorzystano popularne narzędzie oparte na parserze strumieniowym sterowanym zdarzeniami – interfejs programistyczny Simple API for XML (SAX). Dzięki strumieniowemu parserowi sterowanemu zdarzeniami, SAX nie wczytuje do pamięci całego pliku jako obiektu Javy, ale przechodzi kolejno

przez cały dokument XML i w przypadku napotkania określonego elementu wywołuje odpowiednie zdarzenie. SAX umożliwia implementację metod do obsługi zdarzeń napotkania elementów dokumentu XML. W kodzie programu realizuje się to poprzez implementację klasy dziedziczącej z klasy *DefaultHandler*, w której przesłania się te metody własną implementacją.

Zapis pliku XML z danymi projektu w kodzie źródłowym realizowany jest za pomocą klasy *XMLOutputFactory* i interfejsu *XMLStreamWriter* oferowanych przez standardowe pakiety języka Java. Plik kodowany jest za pomocą standardu UTF-8.

Rozdział 4

Analiza wyników

4.1 Przykład użytkowania programu

4.1.1 Aplikacja analizująca sygnał EKG

Przed rozpoczęciem analizy należy odpowiedzieć na kilka podstawowych pytań:

- w jakim celu analizujemy dane?
- co przez dane analizę chcemy osiągnąć?

W przykładzie poddane analizie zostaną dwie grupy – osoby uzależnione z HIV+ lub HIV- przed i po rozpoczęciu leczenia. Celem analizy będzie więc ocena:

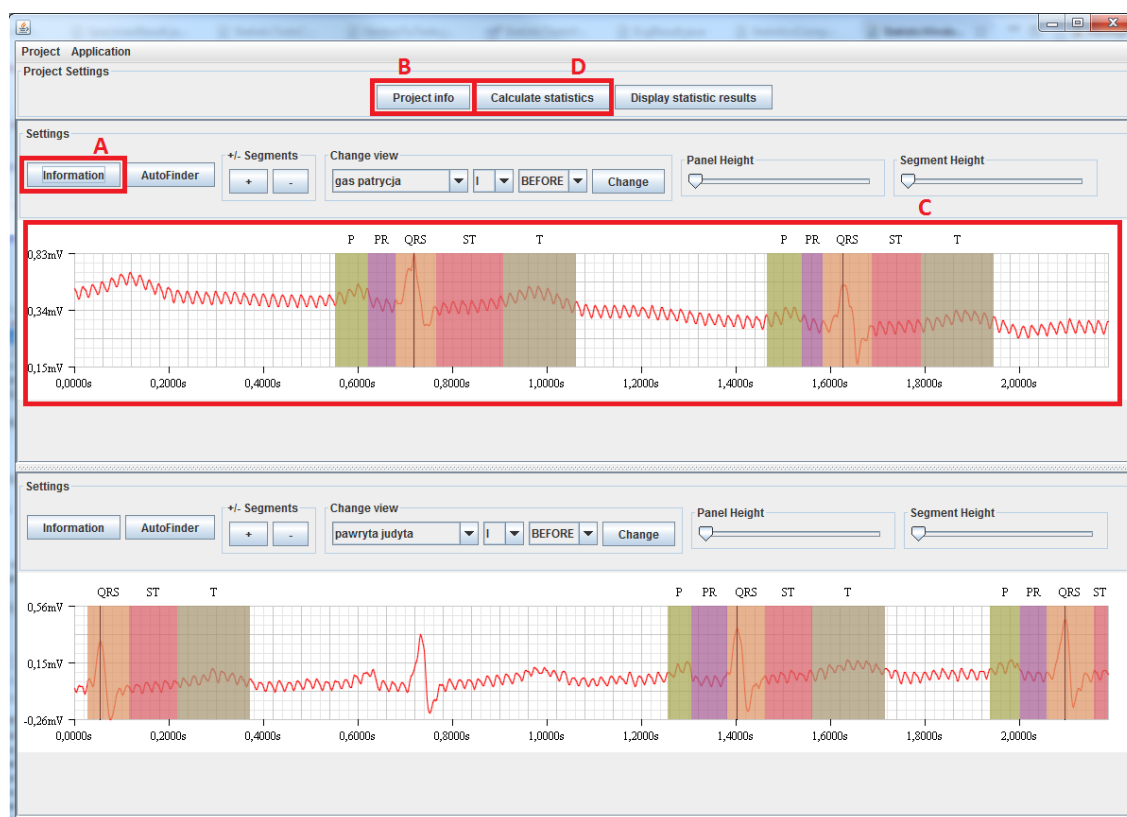
- skuteczności leczenia metadonem wraz ze wskazaniem charakterystyk, które uległy poprawie u osób z HIV+,
- skuteczności leczenia metadonem wraz ze wskazaniem charakterystyk, które uległy poprawie u osób z HIV-,
- skuteczności leczenia w przypadku osób z wykrytym wirusem HIV, jak i osób u których nie stwierdzono obecności tego wirusa.

Po określeniu problemu i celu badania należy przygotować badane populacje – populacja pierwsza składać się będzie z osób uzależnionych z wirusem HIV+, a druga z osób uzależnionych z HIV-. Dla każdego osobnika wczytane zostaną dwa sygnały – sygnał zarejestrowany przed rozpoczęciem leczenia metadonem oraz sygnał zarejestrowany po podaniu leku (wczytanie oraz utworzenie populacji odbywa się za pomocą kreatora populacji).

Po określeniu celu analizy i przygotowaniu populacji użytkownik rozpoczyna pracę z zaimplementowaną aplikacją. Pierwszym krokiem jest utworzenie nowego projektu (funkcja ta dostępna jest z menu programu). Na tym etapie należy podać jakiego typu będzie to projekt – z dialogu wybieramy projekt czwarty, ponieważ do zbadania mamy dwie populacje przed i po leczeniu.

Po załadowaniu populacji zostaje wyświetlony widok główny aplikacji przedstawiony na Rysunku 4.1. Poszczególne części okna umożliwiają użytkownikowi wykonanie następujących czynności:

- uzupełnienie danych niesprecyzowanych w pliku wejściowym osobnika (fragment a),
- uzupełnienie informacji dotyczących projektu - nazwanie projektu i/lub populacji (fragment b),
- ocena wyszukanych w sygnałach wejściowych przez program odcinków, załamek, odstępów, a także skorygowanie błędnych wskazań programy zwłaszcza w przypadku sygnałów elektrokardiograficznych, gdzie problematyczne okazało się wyróżnienie charakterystyk (fragment c),
- dokonanie pomiarów statystycznych zarówno dla pojedynczego osobnika, jak i na poziomie całego projektu, czyli dokonanie analizy dla obu wczytanych populacji (fragment d),
- wygenerowanie raportu z uzyskanymi z pomiarów statystycznych wyników (opcja dostępna w oknie wyników obliczeń statystycznych),
- zapisanie analizowanego projektu (opcja dostępna w menu *Project*).



Rysunek 4.1: Istotne elementy w programie EKG

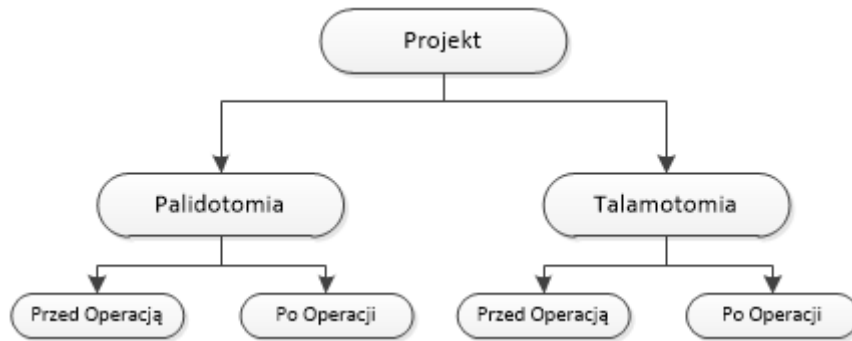
4.1.2 Aplikacja analizująca testy grafomotoryczne

Pierwszym krokiem, który należy wykonać zanim jeszcze uruchomi się program, jest ustalenie problemu. Niech problemem w tym przykładzie jest próba określenia skuteczności zabiegu palidotomii, talamotomii oraz wykrycie różnic między nimi. Palidotomia oraz talamotomia są to zabiegi operacyjne o odmiennej charakterystyce. Ze względu na miejsce ich przeprowadzenia w mózgu człowieka, spodziewać się można odmiennych rezultatów leczenia. Dodatkowo talamotomia jest zabiegiem znacznie starszym, coraz rzadziej stosowanym. Z tego powodu można się spodziewać mniejszej skuteczności działania niż w przypadku palidotomii. Porównanie jakości obydwu typów operacji jest niezbędnym, podstawowym rodzajem testu jaki można wykonać z punktu widzenia analizy danych oraz uzyskanych wyników. Obrazuje on następujące właściwości:

- skuteczność leczenia palidotomią wraz z wskazaniem elementów, które uległy poprawie,
- skuteczność leczenia talamotomią wraz z wskazaniem elementów, które uległy poprawie,
- porównanie skuteczności leczenia obydwu zabiegów.

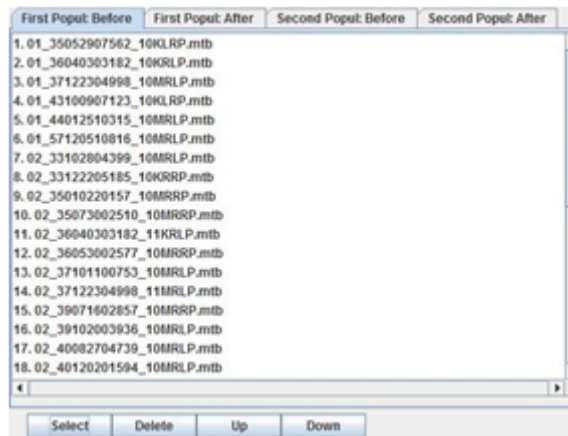
Kolejnym etapem dla osoby przeprowadzających analizę jest przygotowanie odpowiednich populacji. Osoby zawarte w obydwu populacjach powinny charakteryzować się podobnym rozkładem parametrów. Błędne byłoby umieszczenie w populacji palidotomii osób przeprowadzających test lewą ręką a w populacji talamotomii prawą. Wykryte różnice w leczeniu nie miałyby wtedy żadnej wartości. Możliwe jest mieszanie osobników o różnych parametrach w jednej populacji, jednak należy wtedy postępować analogicznie w przypadku drugiej.

Zgodnie z drzewkowym modelem projektu, uzyskuje się więc następującą hierarchię przedstawioną na Rysunku 4.2.

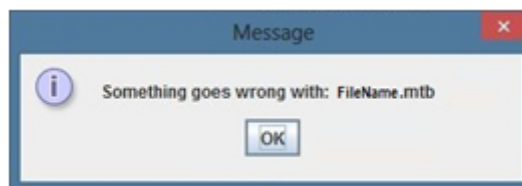


Rysunek 4.2: Drzewkowy model projektu

Dopiero w tym momencie użytkownik może zacząć korzystać z programu. Zaczyna on od wybrania opcji utworzenia nowego projektu, pamiętając o zaznaczeniu ostatniego typu projektu, pozwalającego na wykrycie różnic między dwoma populacjami. Kolejnym krokiem jest wybranie testów rysunkowych dla odpowiadających im populacji (Rysunek 4.3). Wybrane testy trafiają na numerowaną listę. Możliwe jest przemieszczanie testów w obrębie listy, tak by sparowane zostały (numery na liście muszą być zgodne) ze sobą dwa testy należące do jednego osobnika, stanowiące jego testy przed i po badaniu. Podczas wczytywania dostarczonych plików zawierające przeprowadzone testy grafomotoryczne okazało się, że niektóre z plików są uszkodzone. Program odpowiednio informuje wtedy użytkownika (Rysunek 4.4).



Rysunek 4.3: Importowanie osobników



Rysunek 4.4: Komunikat o błędzie podczas próby wczytania osobnika

Po utworzeniu populacji użytkownik powinien wykonać trzy następujące czynności (Rysunek 4.5).

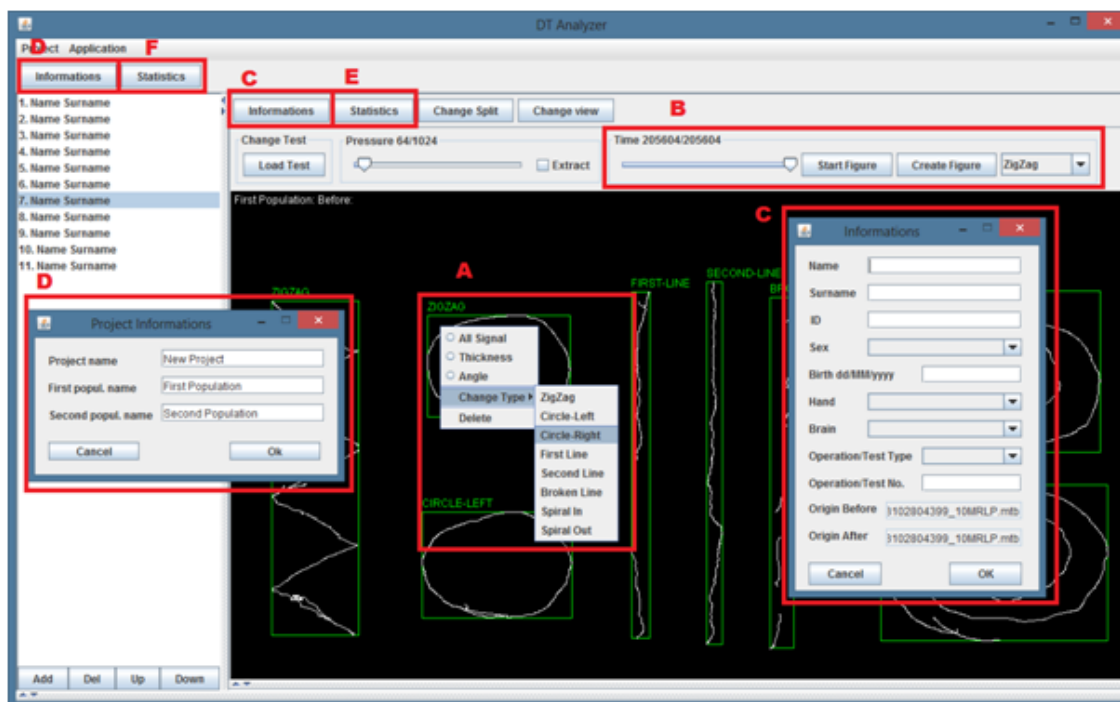
- Sprawdzić, czy program dobrze rozpoznał wszystkie figury w testach rysunkowych. W razie potrzeby powinno się poprawić błędne wskazania programu. Można dokonać tego stosunkowo szybko poprzez menu kontekstowe panelu wizualizującego test (fragment a). Często jednak osoby rysują figury w niewłaściwym kierunku/kolejności. Prowadzi to do agregacji kilku figur w jedną. Wtedy należy usunąć taką figurę i ręcznie zaznaczyć nowe posługując się paskiem narzędzi znajdującym się nad panelem wizualizującym (fragment b).

- Wypełnić dane osobowe każdego osobnika (fragment c).
- Nazwać utworzone populacje (fragment d) np. „Palidotomia” i „Talamotomia”.

Finalnie użytkownik może dokonać pomiarów statystycznych. Dostępne są dwa poziomy obliczanej statystyki:

- na poziomie osobnika – dla każdego osobnika możliwe jest obliczenie jego indywidualnej statystyki (fragment e),
- na poziomie projektu – obliczenie całkowitej statystyki dla obydwu populacji, oraz różnic między nimi.

Analiza uzyskanych wyników dla takiego projektu znajduje się w rozdziale dotyczącym uzyskanych wyników dla testu grafomotorycznego.



Rysunek 4.5: Istotne elementy w programie

4.2 Analiza statystyczna dla sygnałów elektrokardiograficznych

4.2.1 Wprowadzenie

Dane do testów statystycznych pobierane są ze wszystkich 9 odprowadzeń w badaniu EKG, dla każdego załamka czy odcinka. W związku z faktem, że dane pochodzą od osób z różnymi defektami zdrowotnymi, ich zapis EKG jest daleki od wzorcowego. W rezultacie, algorytm wyszukujący załamki nie zawsze był w stanie zidentyfikować poprawnie wszystkie elementy krzywej elektrokardiograficznej. Jest to powodem, dla którego pominięto szczegółowe porównania każdego załamka w każdym odprowadzeniu, a skupiono się na globalnej analizie całego zapisu EKG. Jeśli dla danego załamka nie stwierdzono konieczności pobierania danych o nim z konkretnego odprowadzenia, uwypuklającego cechy charakterystyczne tego załamka, to w ogólności do testów pobierane są dane z odprowadzenia, w którym zebrano najwięcej danych. W przeciwnej sytuacji dane do tabeli wyników pobierane są z tego wyróżnionego odprowadzenia. W opisie każdego testu zostanie zaznaczone, z którego odprowadzenia zostały pobrane dane.

Podczas interpretacji wyników, otrzymane czasy trwania poszczególnych odcinków oraz amplitudy porównywane są z wartościami referencyjnymi z prawidłowego zapisu elektrokardiograficznego zdrowego człowieka. Wartości te przedstawiają się następująco:

Tabela 4.1: Wartości referencyjne czasów trwania elementów krzywej elektrokardiograficznej.

Badany obiekt	Prawidłowy czas trwania
Załamek P	< 0,12s
Odcinek PQ	0,04-0,10s
Odstęp PQ	0,12-0,20s
Zespół QRS	0,06-0,11s
Odcinek ST	ok. 0,08s
Załamek T	0,12-0,16s
Odstęp QT	<= 0,4s
Odstęp RR	Powinien być stały w całym zapisie EKG
Puls	70-75 uderzeń/min.

Tabela 4.2: Wartości referencyjne amplitud wybranych elementów krzywej elektrokardiograficznej.

Badany obiekt	Prawidłowa amplituda
Załamek P	< 3mm
Zespół QRS (odprowadzenie I)	< 15mm
Zespół QRS (odprowadzenie II i III)	< 19mm
Załamek T (odprowadzenia kończynowe)	< 6mm
Załamek T (odprowadzenia przedsercowe)	< 10mm

4.2.2 Różnice w wynikach badania EKG osób uzależnionych leczonych lekiem metadon ze stwierdzoną obecnością wirusa HIV i z niewykrytym wirusem HIV

Cel

Osoby uzależnione od opioidów często są bardziej narażone na zarażenie się wirusem HIV. Wirus ten znacząco pogarsza odporność i kondycję organizmu. Porównanie reakcji na leczenie lekiem metadon u osób z wykrytym wirusem HIV w zestawieniu z osobami, u których nie stwierdzono obecności wirusa jest istotnym testem obrazującym skuteczność terapii.

Z otrzymanych danych wejściowych przygotowano dwie próby, składające się z 15 osób. Pierwsza zawiera osoby z dodatnim wynikiem testu na obecność wirusa HIV przed i po podaniu leku metadon. Druga natomiast osoby z ujemnym wynikiem testu na obecność wirusa HIV, również

przed i po podaniu leku metadon. Poniższe tabele zawierają wyniki dla poszczególnych załamków w zapisie EKG wymienionych osób. Mimo widocznych zmian dla wielu par cech, nie uzyskiwały one akceptacji w postaci granicznej p-wartości pochodzącej z przeprowadzonych testów statystycznych (wartość $p < 0.05$).

Wyniki testów statystycznych

Tabela 4.3: Średnie czasy trwania poszczególnych odcinków krzywej elektrokardiograficznej oraz wyniki testów statystycznych dla populacji, u której wykryto wirusa HIV przed (HIV+ PRE) i po (HIV+ POST) podaniu leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Dane pochodzą z odprowadzenia V4.

	HIV+ PRE		HIV+ POST		P-wartość testu
	Średnia ± O.S.		Średnia ± O.S.		
Załamek P					
Średni czas trwania	0,077	± 0,017	0,076	± 0,017	0.7873782
Maksymalny czas trwania	0,103	± 0,024	0,096	± 0,024	0.1849098
Odchylenie standardowe	0,016	± 0,008	0,016	± 0,010	0.7615356
Odstęp PQ					
Średni czas trwania	0,147	± 0,014	0,178	± 0,086	0.3894043
Maksymalny czas trwania	0,174	± 0,021	0,209	± 0,122	0.9779663
Odchylenie standardowe	0,024	± 0,022	0,038	± 0,068	0.6787720
Odcinek PQ					
Średni czas trwania	0,073	± 0,020	0,110	± 0,101	0.1688232
Maksymalny czas trwania	0,089	± 0,022	0,132	± 0,122	0.3591309
Odchylenie standardowe	0,011	± 0,006	0,021	± 0,031	0.4542847
Zespół QRS					
Średni czas trwania	0,088	± 0,014	0,085	± 0,009	0.3325959
Maksymalny czas trwania	0,107	± 0,033	0,100	± 0,012	0.5994873
Odchylenie standardowe	0,012	± 0,011	0,010	± 0,004	0.7615356
Odcinek ST					
Średni czas trwania	0,139	± 0,033	0,152	± 0,080	0.2077637
Maksymalny czas trwania	0,164	± 0,037	0,170	± 0,098	0.0729980
Odchylenie standardowe	0,016	± 0,013	0,020	± 0,028	0.9779663
Odstęp ST					
Średni czas trwania	0,294	± 0,031	0,308	± 0,092	0.8039550
Maksymalny czas trwania	0,327	± 0,031	0,342	± 0,095	0.6787720
Odchylenie standardowe	0,038	± 0,044	0,041	± 0,047	0.9779663
Załamek T					
Średni czas trwania	0,162	± 0,014	0,168	± 0,021	0.1236373
Maksymalny czas trwania	0,170	± 0,020	0,177	± 0,026	0.1304516
Odchylenie standardowe	0,005	± 0,006	0,005	± 0,005	0.9779663
Odstęp QT					
Średni czas trwania	0,381	± 0,027	0,391	± 0,099	0.8469238
Maksymalny czas trwania	0,416	± 0,025	0,427	± 0,089	0.3027954
Odchylenie standardowe	0,045	± 0,057	0,047	± 0,058	0.7615356
Odstęp RR					
Średni czas trwania	0,932	± 0,148	0,921	± 0,174	0.7754716
Maksymalny czas trwania	0,982	± 0,172	0,986	± 0,179	0.9053122
Odchylenie standardowe					

Analizując powyższe wyniki stwierdzono, że wewnątrz populacji, porównując wyniki przed i po podaniu leku, nie można odrzucić hipotezy o równości badanej cechy. Oznacza to, że zmiany jakie zachodzą w zapisie EKG po podaniu leku u osób które są zarażone wirusem HIV nie są na tyle gwałtowne, żeby zaobserwować różnicę w stosunku do zapisu przed podaniem leku.

Średnie czasy trwania porównano także z wartościami referencyjnymi. W znaczącej większości przypadków wyliczone czasy mieściły się w granicach wartości wzorcowych. Różnice zostały zaznaczone kolorem czerwonym. Różnic było mało, co świadczy o tym, że zapisy EKG osób poddanych badaniu mieściły się w ogólnie przyjętych normach dla osób nieposiadających wad serca.

Tabela 4.4: Średnie czasy trwania poszczególnych odcinków krzywej elektrokardiograficznej oraz wyniki testów statystycznych dla populacji, u której nie wykryto wirusa HIV przed (HIV- PRE) i po (HIV- POST) podaniu leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Dane pochodzą z odprowadzenia V4.

	HIV- PRE Średnia ± O.S.	HIV- POST Średnia ± O.S.	P-wartość testu
Załamek P			
Średni czas trwania	0,072 ± 0,014	0,071 ± 0,016	0.7615356
Maksymalny czas trwania	0,090 ± 0,019	0,089 ± 0,026	0.8469238
Odchylenie standardowe	0,011 ± 0,005	0,011 ± 0,008	0.9340820
Odcinek PQ			
Średni czas trwania	0,060 ± 0,021	0,062 ± 0,020	0.6909098
Maksymalny czas trwania	0,077 ± 0,021	0,078 ± 0,026	0.6670530
Odchylenie standardowe	0,010 ± 0,006	0,012 ± 0,011	0.3027954
Odstęp PQ			
Średni czas trwania	0,125 ± 0,032	0,132 ± 0,028	0.3605503
Maksymalny czas trwania	0,152 ± 0,021	0,153 ± 0,036	0.8815537
Odchylenie standardowe	0,026 ± 0,019	0,021 ± 0,017	0.4542847
Zespół QRS			
Średni czas trwania	0,100 ± 0,017	0,099 ± 0,014	0.4660103
Maksymalny czas trwania	0,116 ± 0,025	0,113 ± 0,022	0.5724190
Odchylenie standardowe	0,009 ± 0,004	0,009 ± 0,005	0.2077637
Odcinek ST			
Średni czas trwania	0,112 ± 0,030	0,101 ± 0,027	0.2046214
Maksymalny czas trwania	0,130 ± 0,035	0,127 ± 0,043	0.7197266
Odchylenie standardowe	0,012 ± 0,005	0,016 ± 0,021	0.9340820
Odstęp ST			
Średni czas trwania	0,269 ± 0,036	0,263 ± 0,036	0.5576934
Maksymalny czas trwania	0,294 ± 0,040	0,293 ± 0,047	0.9373138
Odchylenie standardowe	0,035 ± 0,032	0,025 ± 0,029	0.4887085
Załamek T			
Średni czas trwania	0,162 ± 0,010	0,162 ± 0,011	0.8968966
Maksymalny czas trwania	0,177 ± 0,029	0,174 ± 0,021	0.5614014
Odchylenie standardowe	0,009 ± 0,011	0,007 ± 0,006	0.4542847
Odstęp QT			
Średni czas trwania	0,368 ± 0,034	0,362 ± 0,038	0.5855879
Maksymalny czas trwania	0,396 ± 0,038	0,392 ± 0,046	0.5521287
Odchylenie standardowe	0,046 ± 0,046	0,028 ± 0,036	0.2293091
Odstęp RR			
Średni czas trwania	0,843 ± 0,100	0,843 ± 0,167	0.9967468
Maksymalny czas trwania	0,893 ± 0,116	0,887 ± 0,189	0.8711999
Odchylenie standardowe	0,034 ± 0,021	0,036 ± 0,039	0.4212036

Wyniki dla próby, u której nie wykryto wirusa HIV są podobne do wyników osób zarażonych. Nie uzyskano wyników, które pozwalają na odrzucenie hipotezy o równości cechy, ale zarówno przed jak i po podaniu leku, średnie czasy trwania mieszczą się (w większości przypadków) w granicach wartości referencyjnych, co świadczy o braku gwałtownych i negatywnych efektów stosowania leku. Różnice zaznaczono na czerwono w Tabeli 4.4.

Tabela 4.5: Średnie czasy trwania poszczególnych odcinków krzywej elektrokardiograficznej oraz wyniki testów statystycznych dla populacji, u której wykryto wirusa HIV (HIV+ POST) i dla populacji, u której tego nie stwierdzono (HIV- POST) po podaniu leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Dane pochodzą z odprowadzenia V4, za wyjątkiem danych dot. odcinka RR, które pobrano z odprowadzenia V3.

	HIV+ POST Średnia ± O.S.	HIV- POST Średnia ± O.S.	P-wartość testu
Załamek P			
Średni czas trwania	0,076 ± 0,017	0,071 ± 0,016	0.6631852
Maksymalny czas trwania	0,096 ± 0,024	0,089 ± 0,026	0.2454850
Odchylenie standardowe	0,016 ± 0,010	0,011 ± 0,008	0.0779312
Odcinek PQ			
Średni czas trwania	0,110 ± 0,101	0,062 ± 0,020	0.0929842
Maksymalny czas trwania	0,132 ± 0,122	0,078 ± 0,026	0.0929842
Odchylenie standardowe	0,021 ± 0,031	0,012 ± 0,011	0.5202825
Odstęp PQ			
Średni czas trwania	0,178 ± 0,086	0,132 ± 0,028	0.0591264
Maksymalny czas trwania	0,209 ± 0,122	0,153 ± 0,036	0.0591264
Odchylenie standardowe	0,038 ± 0,068	0,021 ± 0,017	0.9834538
Zespół QRS			
Średni czas trwania	0,085 ± 0,009	0,099 ± 0,014	0.0070347
Maksymalny czas trwania	0,100 ± 0,012	0,113 ± 0,022	0.0575196
Odchylenie standardowe	0,010 ± 0,004	0,009 ± 0,005	0.1646761
Odstęp ST			
Średni czas trwania	0,308 ± 0,092	0,263 ± 0,036	0.0237868
Maksymalny czas trwania	0,342 ± 0,095	0,293 ± 0,047	0.0537644
Odchylenie standardowe	0,041 ± 0,047	0,025 ± 0,029	0.6935503
Odcinek ST			
Średni czas trwania	0,152 ± 0,080	0,101 ± 0,027	0.0074655
Maksymalny czas trwania	0,170 ± 0,098	0,127 ± 0,043	0.0421106
Odchylenie standardowe	0,020 ± 0,028	0,016 ± 0,021	0.7874623
Załamek T			
Średni czas trwania	0,168 ± 0,021	0,162 ± 0,011	0.3938418
Maksymalny czas trwania	0,177 ± 0,026	0,174 ± 0,021	0.8132164
Odchylenie standardowe	0,005 ± 0,005	0,007 ± 0,006	0.5755109
Odstęp QT			
Średni czas trwania	0,391 ± 0,099	0,362 ± 0,038	0.3289931
Maksymalny czas trwania	0,427 ± 0,089	0,392 ± 0,046	0.2211020
Odchylenie standardowe	0,047 ± 0,058	0,028 ± 0,036	0.7557356
Odstęp RR (z V3)			
Średni czas trwania	0,886 ± 0,203	0,948 ± 0,470	0.7244156
Maksymalny czas trwania	0,956 ± 0,212	1,017 ± 0,510	0.6935503
Odchylenie standardowe	0,060 ± 0,052	0,066 ± 0,079	0.5202825

Przeprowadzono także testy porównujące obie próby (HIV+ oraz HIV-) zarówno przed, jak i po leczeniu. W testach porównujących wyniki EKG obu prób przed badaniem nie zaobserwowano wielu przypadków, w których można odrzucić hipotezę o równości cech (z tego powodu nie zostały one przytoczone). Gdy porównano ze sobą obie próby po podaniu leku, zaobserwowano wzrost przypadków dla których można odrzucić hipotezę o równości badanych cech. Różnice zaobserwowano dla odcinka i odstępu ST oraz dla zespołu QRS. Może to oznaczać, że osoby, u których zdiagnozowano wirusa HIV mogą inaczej reagować na podanie leku niż osoby, u których obecności wirusa nie stwierdzono. Stosunkowo mała liczba cech, które pozwalają na odrzucenie hipotezy zerowej może wynikać z faktu, że próba liczy zaledwie 15 osób. Prawdopodobnie, przy większej liczności próby, wyniki mogłyby być bardziej zróżnicowane.

4.2.3 Różnice w wynikach badania EKG u kobiet i mężczyzn leczonych lekiem metadon

Cel

Organizmy kobiety i mężczyźni różnią się znacznie pod względem parametrów fizjologicznych. W związku z tym istotne jest, aby dopasować sposób leczenia i dawki leku mając na uwadze płeć pacjenta. Porównanie reakcji na leczenie lekiem metadon u kobiet i u mężczyzn jest zatem istotnym testem obrazującym, czy lek ten może być stosowany u obu płci i czy jego stosowanie nie powoduje gwałtownych zmian w pracy serca u którejsz z wymienionych grup.

Z otrzymanych danych wejściowych przygotowano dwie próby po 15 osób każda. Pierwsza próba to kobiety przed i po podaniu leku metadon, druga to mężczyźni, również posiadający komplet badań. Poniższe tabele zawierają wyniki dla poszczególnych załamek w zapisie EKG wymienionych osób w różnych konfiguracjach. Zebrane wyniki zostały zinterpretowane w dalszej części tekstu.

Wyniki testów statystycznych

Tabela 4.6: Poniższa tabela przedstawia średnie czasy trwania poszczególnych odcinków krzywej elektrokardiograficznej oraz wyniki testów statystycznych dla populacji kobiet przed i po podaniu leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Odprowadzenia, z których pochodzą dane są zaznaczone przy odpowiednich załamek.

	Kobiety PRE Średnia ± O.S.	Kobiety POST Średnia ± O.S.	P-wartość testu
Załamek P (V2)			
Średni czas trwania	0,073 ± 0,015	0,075 ± 0,023	0.6241751
Maksymalny czas trwania	0,103 ± 0,024	0,096 ± 0,024	0.1509517
Odchylenie standardowe	0,013 ± 0,008	0,019 ± 0,012	0.1876221
Odcinek PQ (V6)			
Średni czas trwania	0,069 ± 0,016	0,070 ± 0,027	0.1688232
Maksymalny czas trwania	0,097 ± 0,032	0,106 ± 0,049	0.4837292
Odchylenie standardowe	0,02 ± 0,013	0,02 ± 0,017	0.9340820
Odstęp PQ (V6)			
Średni czas trwania	0,140 ± 0,022	0,145 ± 0,042	0.4481251
Maksymalny czas trwania	0,165 ± 0,026	0,179 ± 0,054	0.2773966
Odchylenie standardowe	0,022 ± 0,021	0,024 ± 0,022	0.6787720
Zespół QRS (V6)			
Średni czas trwania	0,082 ± 0,011	0,079 ± 0,011	0.2524542
Maksymalny czas trwania	0,096 ± 0,014	0,091 ± 0,009	0.0879870
Odchylenie standardowe	0,008 ± 0,004	0,008 ± 0,002	0.3234000
Odstęp ST (V6)			
Średni czas trwania	0,305 ± 0,031	0,3085 ± 0,043	0.9492665
Maksymalny czas trwania	0,330 ± 0,026	0,333 ± 0,051	0.6787720
Odchylenie standardowe	0,032 ± 0,041	0,038 ± 0,041	1.0220337
Odcinek ST (V1)			
Średni czas trwania	0,088 ± 0,058	0,098 ± 0,093	0.8039551
Maksymalny czas trwania	0,151 ± 0,073	0,137 ± 0,106	0.8903809
Odchylenie standardowe	0,038 ± 0,023	0,024 ± 0,023	0.0180664
Załamek T (V2)			
Średni czas trwania	0,153 ± 0,002	0,153 ± 0,001	0.8469238
Maksymalny czas trwania	0,159 ± 0,012	0,156 ± 0,007	0.0479126
Odchylenie standardowe	0,002 ± 0,003	0,001 ± 0,003	0.0832520
Odstęp QT (V6)			
Średni czas trwania	0,387 ± 0,033	0,384 ± 0,048	0.8463517
Maksymalny czas trwania	0,411 ± 0,028	0,416 ± 0,054	0.6151750
Odchylenie standardowe	0,038 ± 0,052	0,045 ± 0,053	0.8903809
Odstęp RR (V1)			
Średni czas trwania	0,845 ± 0,104	0,897 ± 0,180	0.1179493
Maksymalny czas trwania	0,934 ± 0,118	0,959 ± 0,208	0.4911688
Odchylenie standardowe	0,065 ± 0,040	0,050 ± 0,043	0.1688232

Porównując czasy trwania poszczególnych elementów krzywej elektrokardiograficznej z wartościami referencyjnymi, nie stwierdzono dużych odchyżeń od normy. Średnie czasy trwania w większości mieszczą się w normach czasowych prawidłowej pracy serca zarówno przed, jak i po podaniu leku. Wyjątki wyróżniono w tabelach kolorem czerwonym. Oznacza to, że badane osoby nie posiadają wad serca.

Analizując wyniki testów statystycznych, stwierdzono, że wewnątrz tej samej populacji kobiet, porównując wyniki przed i po podaniu leku, w przypadku większości cech nie można odrzucić hipotezy o równości cech. Oznacza to, że zmiany jakie zachodzą w zapisie EKG po podaniu leku zarówno u kobiet, nie są aż tak gwałtowne, żeby zaobserwować różnicę w stosunku do zapisu przed podaniem leku. Może to oznaczać, że reakcja grupy na podanie leku jest dobra, bo nie zaburza pracy serca.

Tabela 4.7: Poniższa tabela przedstawia średnie czasy trwania poszczególnych odcinków krzywej elektrokardiograficznej oraz wyniki testów statystycznych dla populacji mężczyzn przed i po podaniu leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Odprowadzenia, z których pochodzą dane są zaznaczone przy odpowiednich załawkach.

	Mężczyźni PRE		Mężczyźni POST		P-wartość testu
	Średnia ± O.S.		Średnia ± O.S.		
Załamek P (V6)					
Średni czas trwania	0,084	± 0,020	0,076	± 0,023	0.1957027
Maksymalny czas trwania	0,120	± 0,028	0,098	± 0,027	0.0231889
Odchylenie standardowe	0,020	± 0,011	0,015	± 0,007	0.1688232
Odcinek PQ (V6)					
Średni czas trwania	0,077	± 0,038	0,067	± 0,020	0.6386719
Maksymalny czas trwania	0,103	± 0,065	0,078	± 0,019	0.1876221
Odchylenie standardowe	0,019	± 0,025	0,008	± 0,003	0.0180664
Odstęp PQ (V6)					
Średni czas trwania	0,159	± 0,050	0,138	± 0,035	0.1876221
Maksymalny czas trwania	0,196	± 0,059	0,165	± 0,033	0.1205444
Odchylenie standardowe	0,033	± 0,023	0,025	± 0,017	0.4887085
Zespół QRS (V6)					
Średni czas trwania	0,083	± 0,009	0,081	± 0,013	0.4542847
Maksymalny czas trwania	0,094	± 0,014	0,094	± 0,018	0.3591309
Odchylenie standardowe	0,009	± 0,003	0,009	± 0,002	0.4346681
Odstęp ST (II)					
Średni czas trwania	0,345	± 0,235	0,280	± 0,158	0.0553589
Maksymalny czas trwania	0,452	± 0,362	0,315	± 0,152	0.0006104
Odchylenie standardowe	0,102	± 0,154	0,040	± 0,037	0.3027954
Odcinek ST (V6)					
Średni czas trwania	0,153	± 0,044	0,140	± 0,043	0.0150757
Maksymalny czas trwania	0,176	± 0,066	0,154	± 0,040	0.0124512
Odchylenie standardowe	0,016	± 0,019	0,013	± 0,013	0.5994873
Załamek T (V1)					
Średni czas trwania	0,123	± 0,002	0,123	± 0,003	0.2768555
Maksymalny czas trwania	0,123	± 0,014	0,125	± 0,009	0.0067139
Odchylenie standardowe	0,002	± 0,005	0,001	± 0,003	0.0479126
Odstęp QT (II)					
Średni czas trwania	0,432	± 0,230	0,369	± 0,159	0.1353760
Maksymalny czas trwania	0,550	± 0,357	0,409	± 0,148	0.0011597
Odchylenie standardowe	0,116	± 0,162	0,050	± 0,049	0.3302612
Odstęp RR (V6)					
Średni czas trwania	0,940	± 0,147	0,884	± 0,138	0.2293091
Maksymalny czas trwania	0,983	± 0,166	0,924	± 0,162	0.1069946
Odchylenie standardowe					

Podobnie jak w przypadku populacji kobiet, w populacji mężczyzn także nie zanotowano dużych odchyżeń od wartości referencyjnych długości załawków, co świadczy o prawidłowej pracy serca w trakcie leczenia. Występujące różnice zaznaczono na czerwono. Można jednak zaobserwować, że średnie czasy trwania poszczególnych elementów są krótsze po podaniu leku niż przed. U kobiet nie zaobserwowano takiej prawidłowości. Może to świadczyć o tym, że metadon inaczej działa na mężczyzn. Dodatkowo w populacji mężczyzn otrzymano więcej wyników, które pozwalają odrzucić hipotezę o równości cechy. Prawdopodobnie przy większej próbie te różnice mogłyby się bardziej uwidatnić.

Tabela 4.8: Poniższa tabela przedstawia średnie czasy trwania poszczególnych odcinków krzywej elektrokardiograficznej oraz wyniki testów statystycznych dla populacji kobiet i mężczyzn po podaniu leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Odprowadzenia, z których pochodzą dane są zaznaczone przy odpowiednich załawkach.

	Kobiety POST Średnia ± O.S.	Mężczyźni POST Średnia ± O.S.	P-wartość testu
Załamek P (V6)			
Średni czas trwania	0,073 ± 0,015	0,084 ± 0,020	0.1076134
Maksymalny czas trwania	0,095 ± 0,022	0,120 ± 0,028	0.0146443
Odchylenie standardowe	0,013 ± 0,008	0,020 ± 0,110	0.0237868
Odcinek PQ (V1)			
Średni czas trwania	0,080 ± 0,020	0,093 ± 0,026	0.1651299
Maksymalny czas trwania	0,127 ± 0,021	0,123 ± 0,024	0.6667100
Odchylenie standardowe	0,033 ± 0,010	0,019 ± 0,012	0.0030201
Odstęp PQ (V1)			
Średni czas trwania	0,131 ± 0,030	0,163 ± 0,045	0.0345769
Maksymalny czas trwania	0,175 ± 0,029	0,198 ± 0,037	0.0769869
Odchylenie standardowe	0,039 ± 0,015	0,033 ± 0,021	0.4937301
Zespół QRS (V1)			
Średni czas trwania	0,086 ± 0,014	0,087 ± 0,015	0.8989005
Maksymalny czas trwania	0,103 ± 0,019	0,105 ± 0,014	0.7710128
Odchylenie standardowe	0,011 ± 0,006	0,015 ± 0,005	0.0294359
Odstęp ST (V6)			
Średni czas trwania	0,305 ± 0,031	0,297 ± 0,044	0.3951581
Maksymalny czas trwania	0,330 ± 0,026	0,335 ± 0,065	0.7557356
Odchylenie standardowe	0,032 ± 0,041	0,055 ± 0,045	0.0591264
Odcinek ST (V1)			
Średni czas trwania	0,088 ± 0,058	0,132 ± 0,059	0.0213333
Maksymalny czas trwania	0,151 ± 0,073	0,182 ± 0,065	0.3837326
Odchylenie standardowe	0,038 ± 0,023	0,037 ± 0,023	0.9155320
Załamek T (V2)			
Średni czas trwania	0,153 ± 0,002	0,162 ± 0,011	0.0005334
Maksymalny czas trwania	0,159 ± 0,012	0,178 ± 0,020	0.0051139
Odchylenie standardowe	0,002 ± 0,003	0,009 ± 0,006	0.0065914
Odstęp QT (V1)			
Średni czas trwania	0,288 ± 0,061	0,325 ± 0,060	0.0982794
Maksymalny czas trwania	0,363 ± 0,072	0,401 ± 0,061	0.2058423
Odchylenie standardowe	0,065 ± 0,038	0,091 ± 0,043	0.1013417
Odstęp RR (V6)			
Średni czas trwania	0,830 ± 0,143	0,940 ± 0,147	0.1776464
Maksymalny czas trwania	0,877 ± 0,151	0,983 ± 0,166	0.2290290
Odchylenie standardowe			

Przeprowadzono także testy porównujące obie próby. Wyniki testów pozwalają odrzucić hipotezę o równości cech kobiet i mężczyzn. Wynika to oczywiście z faktu, że organizmy kobiet i mężczyzn znacząco się różnią pod względem parametrów pracy serca. Satysfakcjonujący jest fakt, że hipotezę da się odrzucić w populacji która przyjęła lek, ponieważ na tej podstawie można stwierdzić, że stosowanie metadonu nie ma negatywnych efektów ani u kobiet, ani u mężczyzn.

4.2.4 Różnice w wynikach badania EKG u osób poniżej 37 roku życia leczonych lekiem metadon w porównaniu z osobami powyżej 37 roku życia

Cel

Ryzyko chorób serca wzrasta wraz z wiekiem. Na tej podstawie można przypuszczać, że wyniki badania elektrokardiograficznego będą się różnić w zależności od wieku pacjenta i prawdopodobnie będą gorsze u osób starszych. Dysponując wynikami badań osób uzależnionych od opioidów w różnym wieku, można przetestować tę zależność oraz dodatkowo sprawdzić jaki efekt ma stosowanie metadonu w różnych grupach wiekowych – czy nie niesie za sobą niepożądanych skutków ubocznych.

Z otrzymanych danych wejściowych przygotowano dwie próby, każda składająca się z 15 osób. Pierwsza próba to osoby poniżej 37 roku życia przed i po podaniu leku metadon, natomiast druga to odpowiednio osoby po 37 roku życia z kompletem badań. Tabele 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 oraz

4.13 zawierają wyniki dla poszczególnych załamków w zapisie EKG wymienionych osób w różnych konfiguracjach. Wyniki zostały zinterpretowane poniżej.

Wyniki testów statystycznych

Tabela 4.9: Średnie czasy trwania odcinka RR oraz wyniki testów statystycznych dla populacji poniżej 37 roku życia przed i po podaniu leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Dane pochodzą z różnych odprowadzeń wyszczególnionych w tabeli.

	< 37 lat PRE Średnia ± O.S.		< 37 lat POST Średnia ± O.S.		P-wartość testu
Odstęp RR, odprowadzenie V2					
Średni czas trwania	0,857	± 0,165	0,851	± 0,177	0.8786535
Maksymalny czas trwania	0,944	± 0,178	0,933	± 0,203	0.7668898
Odchylenie standardowe	0,070	± 0,038	0,065	± 0,056	0.7615356
Odstęp RR, odprowadzenie V3					
Średni czas trwania	0,846	± 0,200	0,836	± 0,195	0.9340820
Maksymalny czas trwania	0,921	± 0,217	0,907	± 0,227	0.7197266
Odchylenie standardowe	0,063	± 0,034	0,061	± 0,055	0.6787720
Odstęp RR, odprowadzenie I					
Średni czas trwania	0,906	± 0,150	0,931	± 0,179	0.8039551
Maksymalny czas trwania	0,970	± 0,169	1,016	± 0,203	0.5614014
Odchylenie standardowe	0,050	± 0,025	0,074	± 0,067	0.4887085
Odstęp RR, odprowadzenie V6					
Średni czas trwania	0,889	± 0,162	0,863	± 0,173	0.5614014
Maksymalny czas trwania	0,959	± 0,177	0,928	± 0,206	0.3302612
Odchylenie standardowe	0,049	± 0,023	0,055	± 0,058	0.8903809

Tabela 4.10: Średnie czasy trwania odcinka RR oraz wyniki testów statystycznych dla populacji powyżej 37 roku życia przed i po podaniu leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Dane pochodzą z różnych odprowadzeń wyszczególnionych w tabeli.

	> 37 lat PRE Średnia ± O.S.		> 37 lat POST Średnia ± O.S.		P-wartość testu
Odstęp RR, odprowadzenie V2					
Średni czas trwania	0,785	± 0,163	0,845	± 0,192	0.2335106
Maksymalny czas trwania	0,838	± 0,192	0,899	± 0,202	0.1927684
Odchylenie standardowe					
Odstęp RR, odprowadzenie V3					
Średni czas trwania	0,767	± 0,161	0,960	± 0,487	0.0150757
Maksymalny czas trwania	0,814	± 0,179	1,036	± 0,517	0.0067139
Odchylenie standardowe	0,814	± 0,179	1,036	± 0,517	0.0067139
Odstęp RR, odprowadzenie V5					
Średni czas trwania	0,843	± 0,127	0,934	± 0,171	0.0014522
Maksymalny czas trwania	0,882	± 0,145	0,980	± 0,182	0.0002678
Odchylenie standardowe	0,029	± 0,026	0,033	± 0,027	0.3894043
Odstęp RR, odprowadzenie V6					
Średni czas trwania	0,837	± 0,119	0,931	± 0,171	0.0050455
Maksymalny czas trwania	0,865	± 0,122	0,976	± 0,176	0.0029395
Odchylenie standardowe					

Analizując wyniki, zauważono ciekawą zależność między wiekiem osoby badanej a podaniem leku metadon dotyczącą odcinka RR. Jak wspomniano w rozdziale 2, dzięki odcinkowi RR można określić poprawność rytmu serca – rytm jest poprawny, jeśli odcinek ten jest stały w całym badaniu. Dodatkowo na jego podstawie można obliczyć puls badanej osoby. Jest więc to istotny odcinek w analizie zapisu EKG. W zebranych wynikach zauważono, że u ludzi młodych, poniżej 37 roku życia, nie można odrzucić hipotezy o równości odcinka RR przed i po leczeniu. Natomiast u osób starszych, po 37 roku życia, hipotezę tę można odrzucić w zdecydowanej większości przypadków. Zjawisko to pojawia się na różnych odprowadzeniach, więc nie jest to przypadkowa różnica. Na tej podstawie można wnioskować, że osoby starsze gwałtowniej reagują na lek metadon, ponieważ zmiany w odcinku RR oznaczają także zmiany w pulsie i rytmie serca. Czas trwania odcinka RR

w populacji osób po 37 roku życia jest wyraźnie dłuższy po podaniu leku niż przed podaniem. Oznacza to spowolnienie rytmu serca i zmniejszenie pulsu z ok. 75 uderzeń na minutę (przy czasie trwania odcinka RR ok. 0.8s) do ok. 65 uderzeń na minutę (przy czasie trwania odcinka RR powyżej 0.9s). Wartości referencyjne pulsu dla dorosłej osoby to 70-75 uderzeń na minutę, a zatem stosowanie leku u osób starszych jest bardziej niebezpieczne niż u osób młodszych. Dla porównania, w populacji osób młodszych długość odcinka RR waha się w granicach 0.8s na większości odprowadzeń, zarówno przed jak i po zastosowaniu metadonu, stąd ich puls powinien zawierać się w granicach wartości referencyjnych.

Tabela 4.11: Średnie czasy trwania poszczególnych odcinków krzywej elektrokardiograficznej oraz wyniki testów statystycznych dla populacji poniżej 37 roku życia i dla populacji powyżej 37 roku życia przed podaniem leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Dane pochodzą z odprowadzenia V3.

	< 37 lat PRE Średnia ± O.S.	> 37 lat PRE Średnia ± O.S.	P-wartość testu
Załamek P			
Średni czas trwania	0,067 ± 0,015	0,056 ± 0,016	0.0647474
Maksymalny czas trwania	0,092 ± 0,019	0,083 ± 0,023	0.2540169
Odchylenie standardowe	0,014 ± 0,006	0,017 ± 0,007	0.2371561
Odcinek PQ			
Średni czas trwania	0,071 ± 0,025	0,063 ± 0,016	0.3391613
Maksymalny czas trwania	0,089 ± 0,028	0,090 ± 0,024	0.9254976
Odchylenie standardowe	0,010 ± 0,005	0,018 ± 0,011	0.0326696
Odstęp PQ			
Średni czas trwania	0,137 ± 0,030	0,110 ± 0,030	0.0246642
Maksymalny czas trwania	0,162 ± 0,027	0,145 ± 0,029	0.1332952
Odchylenie standardowe	0,020 ± 0,013	0,038 ± 0,013	0.0006479
Zespół QRS			
Średni czas trwania	0,094 ± 0,019	0,093 ± 0,020	0.8382825
Maksymalny czas trwania	0,115 ± 0,017	0,129 ± 0,031	0.1408936
Odchylenie standardowe	0,012 ± 0,005	0,020 ± 0,013	0.0326696
Odstęp ST			
Średni czas trwania	0,249 ± 0,041	0,242 ± 0,041	0.6041263
Maksymalny czas trwania	0,294 ± 0,031	0,286 ± 0,033	0.5235675
Odchylenie standardowe	0,051 ± 0,039	0,046 ± 0,036	0.8195457
Odcinek ST			
Średni czas trwania	0,101 ± 0,026	0,088 ± 0,034	0.2632896
Maksymalny czas trwania	0,128 ± 0,028	0,119 ± 0,034	0.5338294
Odchylenie standardowe	0,019 ± 0,011	0,018 ± 0,011	0.7874623
Załamek T			
Średni czas trwania	0,162 ± 0,011	0,164 ± 0,012	0.4679208
Maksymalny czas trwania	0,180 ± 0,016	0,185 ± 0,022	0.5469312
Odchylenie standardowe	0,009 ± 0,006	0,011 ± 0,007	0.3951581
Odstęp QT			
Średni czas trwania	0,340 ± 0,061	0,331 ± 0,052	0.6935503
Maksymalny czas trwania	0,393 ± 0,032	0,393 ± 0,041	0.9924014
Odchylenie standardowe	0,065 ± 0,053	0,064 ± 0,050	0.9834538
Odstęp RR			
Średni czas trwania	0,846 ± 0,200	0,767 ± 0,161	0.2901965
Maksymalny czas trwania	0,921 ± 0,217	0,814 ± 0,179	0.1102867
Odchylenie standardowe			

Porównując wyniki testów dla wszystkich elementów krzywej elektrokardiograficznej dla prób poniżej i powyżej 37 roku życia przed podaniem leku, nie udaje się odrzucić hipotezy o równości cech. Średnie czasy trwania załamek mieszczą się w większości przypadków w przedziałach wartości referencyjnych. Wynika z tego, że przed podaniem metadonu osoby młodsze i starsze cechują się zapisem EKG zbliżonym do zapisu osoby zdrowej. Powyższe wyniki w zestawieniu z wynikami dotyczącymi odcinka RR uwydatniają fakt, że niebezpieczeństwo dla zdrowia wynikające ze stosowania metadonu wzrasta wraz z wiekiem.

Analiza czasów trwania poszczególnych załamek u osób poniżej i powyżej 37 roku życia wykazała ciekawe zależności między wiekiem badanej osoby a jej reakcją na metadon. W związku z tym postanowiono dla analizowanych prób przeprowadzić także testy statystyczne porównujące amplitudy wybranych załamek w zapisie EKG przed i po podaniu leku. Analizie poddano załamki dla których określono wartości referencyjne, tj. załamek P, zespół QRS oraz załamek T w odprowadzeniach kończynowych i przedsercowych.

Tabela 4.12: Średnie amplitudy załamków T, P i zespołu QRS oraz wyniki testów statystycznych dla populacji poniżej 37 roku życia przed i po podaniu leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Odprowadzenia, z których pochodzą dane są zaznaczone przy odpowiednich załamkach.

	< 37 lat PRE Średnia ± O.S.		< 37 lat POST Średnia ± O.S.		P-wartość testu
Załamek P (V3)					
Średnia amplituda	158,934	± 070,653	161,677	± 078,327	0.8469238
Maksymalna amplituda	202,267	± 097,766	249,600	± 204,905	0.6386719
Odchylenie standardowe	21,833	± 019,020	47,153	± 061,935	0.2768555
Zespół QRS (II)					
Średnia amplituda	1122,665	± 243,722	1167,178	± 390,314	0.4887188
Maksymalna amplituda	1192,067	± 248,929	1272,067	± 411,636	0.2234804
Odchylenie standardowe					
Załamek T (I)					
Średnia amplituda	267,909	± 092,994	225,640	± 068,353	0.0013240
Maksymalna amplituda	371,733	± 214,781	311,467	± 158,481	0.3302612
Odchylenie standardowe	47,104	± 059,897	37,648	± 038,957	0.9340820
Załamek T (V3)					
Średnia amplituda	468,445	± 228,811	502,699	± 304,902	0.3302612
Maksymalna amplituda	649,867	± 235,503	984,667	± 1503,14	0.2077637
Odchylenie standardowe	87,414	± 066,172	229,815	± 541,204	0.8903809

Podsumowując uzyskane wyniki, można zauważyć, że u osób młodszych średnie amplitudy mieszczą się w granicach wartości referencyjnych i mają one podobne wartości zarówno przed, jak i po podaniu leku. W przypadku większości badanych załamków nie udaje się odrzucić hipotezy o równości amplitud, z czego wynika, że w obu konfiguracjach zapis EKG badanych osób mieści się w przyjętych normach.

Tabela 4.13: Średnie amplitudy załamków T, P i zespołu QRS oraz wyniki testów statystycznych dla populacji powyżej 37 roku życia przed i po podaniu leku metadon. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Odprowadzenia, z których pochodzą dane są zaznaczone przy odpowiednich załamkach.

	> 37 lat PRE Średnia ± O.S.		> 37 lat POST Średnia ± O.S.		P-wartość testu
Załamek P (V3)					
Średnia amplituda	194,573	± 176,863	263,729	± 300,027	0.0729980
Maksymalna amplituda	335,333	± 422,054	503,400	± 639,143	0.1688232
Odchylenie standardowe	71,472	± 139,878	146,632	± 265,260	0.5244751
Zespół QRS (I)					
Średnia amplituda	642,390	± 230,561	728,812	± 301,439	0.0026245
Maksymalna amplituda	756,467	± 290,126	905,267	± 410,215	0.0067139
Odchylenie standardowe	98,585	± 100,792	100,158	± 112,212	0.9340820
Załamek T (I)					
Średnia amplituda	239,838	± 076,125	281,228	± 116,507	0.4542847
Maksymalna amplituda	330,333	± 124,864	413,467	± 326,637	0.4542847
Odchylenie standardowe	41,324	± 037,587	57,945	± 102,492	0.9779663
Załamek T (V3)					
Średnia amplituda	561,240	± 303,860	488,201	± 221,665	0.9340820
Maksymalna amplituda	897,200	± 731,533	666,867	± 411,480	0.4542847
Odchylenie standardowe	158,550	± 217,211	115,395	± 136,439	0.4542847

W próbie osób powyżej 37 roku życia hipotezę zerową udało się odrzucić dla zespołu QRS. Dla załamka P wartość p testu także była bardzo mała, więc prawdopodobnie przy bardziej licznej próbie odrzucenie tej hipotezy także byłoby możliwe. Analizując maksymalne wartości amplitud, można zauważyć, że zdarzały się przypadki wykraczające poza granice wartości referencyjnych. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na fakt, że różnice w średnich wartościach amplitud były wyraźniejsze niż w próbie osób poniżej 37 roku życia. Przeważnie większe amplitudy pojawiały się po podaniu metadonu. Wszystkie wymienione powyżej czynniki dodatkowo podkreślają wnioski uzyskane podczas analizowania czasów trwania wybranych załamków, a mianowicie, że u osób starszych podanie metadonu powoduje wyraźniejsze zmiany rytmu serca niż u osób młodszych, a co za tym idzie, stanowi realne zagrożenie dla zdrowia.

4.3 Analiza statystyczna dla testu rysunkowego

4.3.1 Skuteczność leczenia operacyjnego: palidotomia oraz talamotomia

Cel

Z otrzymanych danych wejściowych przygotowano dwie próby, każda licząca 20 osób. Pierwsza zawiera osoby przed i po leczeniu palidotomią. Druga dotyczy natomiast talamotomii. Osoby poddawane leczeniu talamotomią na ogół mają, według otrzymanych testów rysunkowych, większą dysfunkcję motoryczną dłoni. Tabele 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 oraz 4.19 zawierają wyniki dla całego testu rysunkowego oraz poszczególnych figur (w tym wypadku przedstawiono tylko najistotniejsze zmiany). Mimo widocznych zmian dla wielu par cech, nie uzyskały one akceptacji w postaci niskiej granicznej p-wartości pochodzącej z przeprowadzonych testów statystycznych.

Wyniki testów statystycznych

Tabela 4.14: Wyniki dla populacji przed leczeniu palidotomią (Palidotomia Pre) oraz po leczeniu (Palidotomia Post) dla całego testu rysunkowego. Wyniki przedstawione są w postaci średniej oraz odchylenia standardowego (O.S.). Dla parametrów zależnych od dystansu (np. długość krzywej) nie wyznaczono jednostki zgodnej z układem SI, ze względu na brak informacji o rozdzielczości urządzeń pomiarowych (tabletu).

Cecha	Palidotomia Pre Średnia ± O.S.	Palidotomia Post Średnia ± O.S.	P-wartość testu
Długość krzywej (j)	99446.27 ± 15058.12	92573.07 ± 9455.14	0.06
Czas rysowania (s)	172.97 ± 70.84	145.18 ± 65.99	0.16
Prędkość rysowania*			
Średnia prędkość ($\frac{j}{s}$)	669.02 ± 273.55	773.30 ± 315.89	0.67
Maksymalna prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	4626.97 ± 2434.16	4263.25 ± 1690.02	0.81
Średnia prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	1062.76 ± 484.46	1132.89 ± 396.61	0.62
Odchylenie standardowe prędkości chwilowej ($\frac{j}{s}$)	611.49 ± 307.85	644.71 ± 249.62	0.57
Przyspieszenie rysowania			
Maksymalne przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	32962.00 ± 20380.00	30309.00 ± 14147.00	0.95
Średnie przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	-239.00 ± 628.00	-194.00 ± 294.00	0.47
Odchylenie standardowe przyspieszenia chwilowego ($\frac{j}{s^2}$)	7603.00 ± 4929.00	8109.00 ± 3941.00	0.31
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	824.90 ± 150.57	888.80 ± 141.25	0.04
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	580.89 ± 194.70	654.05 ± 171.47	0.04
Odchylenie standardowe nacisku ($\frac{N}{A}$)	138.24 ± 37.31	142.42 ± 29.99	0.38
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	0.52 ± 0.20	0.53 ± 0.08	0.26
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	8.87 ± 4.83	6.61 ± 1.56	0.01
Częstotliwość zmian (Hz)	2.42 ± 2.69	1.26 ± 2.19	0.01
Liczba oderwań piórka od tabletu	23.10 ± 9.67	22.10 ± 10.09	0.84

* Średnia prędkości nie jest tutaj równa długości rysowanej krzywej podzielonej przez czas trwania testu (wartości wzięte z tabeli). Dla każdego osobnika dana jest długość krzywej, czas trwania testu, oraz obliczona na ich podstawie średnia prędkość rysowania. Uśrednione wartości tych cech w obrębie populacji stanowią dopiero dane zawarte w tabeli. Niezgodność tych wartości w tabeli wynika więc z równania, które jest prawdziwe tylko w szczególnych przypadkach:

$$\frac{\frac{a}{b} + \frac{c}{d}}{2} = \frac{a + c}{b + d}$$

Tabela 4.15: Wyniki dla populacji przed leczeniu palidotomią (Palidotomia Pre) oraz po leczeniu (Palidotomia Post) dla poszczególnych figur (najistotniejsze zmiany).

Cecha	Palidotomia Pre Średnia ± O.S.	Palidotomia Post Średnia ± O.S.	P-wartość testu
ZigZag			
Długość krzywej (f)	16530.07 ± 4959.59	14763.45 ± 1369.19	<0.01
Czas rysowania (s)	24.89 ± 14.78	19.83 ± 10.62	0.08
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	718.85 ± 194.12	836.25 ± 151.56	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	570.87 ± 202.12	646.42 ± 174.27	0.04
Circle-Up			
Długość krzywej (f)	10084.25 ± 1399.73	9189.57 ± 599.93	0.02
Czas rysowania (s)	14.07 ± 75.97	11.25 ± 51.24	0.06
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	733.20 ± 189.50	803.40 ± 187.36	0.03
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	564.21 ± 191.74	655.44 ± 186.98	<0.01
Liczba oderwań piórka od tabletu	1.20 ± 1.56	0.60 ± 0.08	0.09
Circle-Down			
Nacisk			
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	598.91 ± 208.04	675.17 ± 169.42	0.07
First Line			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	643.50 ± 232.66	715.85 ± 174.37	0.05
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	547.97 ± 240.16	618.75 ± 177.40	0.07
Second Line			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	648.05 ± 220.42	731.50 ± 176.42	0.05
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	566.49 ± 230.05	633.08 ± 176.27	0.08
Broken Line			
Długość krzywej (f)	6291.47 ± 1652.20	5589.15 ± 995.81	0.04
Spiral-In			
Nacisk			
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	595.73 ± 227.54	681.36 ± 200.83	0.06
Spiral-Out			

Analiza danych pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Po zabiegu palidotomii długość rysowanej krzywej zmalała. Przyczynia się do tego dokładniejsze odwzorowywanie szablonu przez osobę rysującą oraz zmniejszony stopień drżenia dłoni.
- Czas rysowania uległ skróceniu również, lecz z $p=0.16$. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że jest to stosunkowo mała wartości w obliczu innych uzyskanych, można przypuszczać, że dla znacznie większej populacji będzie można odrzucić hipotezę o równości czasów trwania testów dla dwóch populacji. Dla populacji po leczeniu, czas ten może faktycznie znacząco zmaleć.
- Istotną zmianą, jaka zaszła po operacji jest nacisk rysika na powierzchnię tabletu. Widać wyraźną zmianę w obrębie maksymalnej oraz średniej wartości nacisku.
- Wyniki sugerują także poprawę odchylenia od normy. Znacząco zmieniło się odchylenie standardowe. Sugeruje to wygładzenie rysowanej krzywej spowodowane zmniejszonym rozrzutem wartości odległości od uśrednionego testu rysunkowego. Dodatkowo spadła także średnia częstotliwość zmian odchylenia w populacji. Świadczy to o skutecznym zniwelowaniu drżenia u osób, których dotyczył problem charakterystycznego drżenia dłoni o częstotliwości 4-6Hz.

Uzyskane wyniki dla poszczególnych figur przede wszystkim potwierdzają zaobserwowane wcześniej właściwości palidotomii:

- skutecznie poprawia nacisk rysika na powierzchnię tabletu,
- wśród niektórych figur pojawia się poprawa podstawowych cech takich jak czas rysowania oraz długość narysowanej krzywej.

Ciekawym jest fakt spadku poprawy wraz z rysowaniem kolejnych figur. Ciężko to tłumaczyć uszeregowaniem figur względem ich poziomu skomplikowania, ponieważ stosunkowo najłatwiejsze z figur (linie proste) znajdują się w środkowej części przeprowadzonego testu. Sugeruje to spadek skupienia oraz jakości wraz z postępem rysowania. Być może warto by było spróbować wykonać dodatkowe testy rysunkowe – tym razem rysowane w odwrotnej kolejności.

Tabela 4.16: Wyniki dla populacji przed i po leczeniu talamotomią dla całego testu rysunkowego.

Cecha	Talamotomia Pre Średnia ± O.S.	Talamotomia Post Średnia ± O.S.	P-wartość testu
Długość krzywej (j)	109627.25 ± 39878.20	94705.07 ± 12173.04	0.20
Czas rysowania (s)	124.95 ± 38.57	118.72 ± 41.32	0.10
Prędkość rysowania			
Średnia prędkość ($\frac{j}{s}$)	970.63 ± 470.18	867.32 ± 239.04	0.62
Maksymalna prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	6106.77 ± 4339.47	4521.43 ± 1276.26	0.45
Średnia prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	1542.16 ± 915.93	1273.61 ± 309.87	0.52
Odchylenie standardowe prędkości chwilowej ($\frac{j}{s}$)	996.30 ± 892.99	720.42 ± 158.74	0.49
Przyspieszenie rysowania			
Maksymalne przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	41711.00 ± 25179.00	29333.00 ± 9334.00	0.03
Średnie przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	-4117.00 ± 11845.00	-408.00 ± 486.00	0.04
Odchylenie standardowe przyspieszenia chwilowego ($\frac{j}{s^2}$)	25389.00 ± 39574.00	9281.00 ± 4338.00	0.09
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	946.10 ± 114.65	900.85 ± 112.17	0.02
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	619.01 ± 168.33	642.70 ± 160.62	0.52
Odchylenie standardowe nacisku ($\frac{N}{A}$)	162.87 ± 35.07	160.12 ± 30.64	0.54
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	2.50 ± 5.15	0.42 ± 0.24	< 0.01
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	22.54 ± 28.19	7.76 ± 3.70	< 0.01
Częstotliwość zmian (Hz)	3.27 ± 2.17	2.35 ± 2.64	0.27
Liczba oderwań piórka od tabletu	36.00 ± 37.31	20.05 ± 7.06	0.04

- Leczenie talamotomią przyniosło poprawę wielu podstawowych cech, jednak nie można ich uogólnić do reguły ze względu na niekorzystne wyniki p-wartości.
- Silnej zmianie na korzyść uległo przyspieszenie chwilowe. Świadczy to o dużej stabilizacji dynamiki rysowania. Pośrednio może to sugerować o zniwelowaniu gwałtownych drgań dłoni, które mają główny wpływ na pomiar przyspieszenia.
- W przeciwieństwie do zabiegu palidotomii, nie wykryto znaczących zmian cechy nacisku rysika na powierzchnię tabletu. Znacząco jednak zmalała maksymalna wartość nacisku. Można to tłumaczyć niwelacją drżenia, gwałtownych ruchów dłonią, która może momentami mocniej naciskać (poprzez piórko) na urządzenie pomiarowe.
- Wcześniejsze przypuszczenie o zniwelowaniu drgań dłoni odczytane pośrednio z wyników przyspieszenia chwilowego zostaje potwierdzone przez mocną redukcję wartości odchylenia od normy. Poprawa częstotliwości zmian jest mała, jednak rozrzut podczas rysowania także jest wyznacznikiem problemów motorycznych związanych z drżeniem dłoni.
- Znacząco zmalała liczba oderwań piórka od powierzchni tabletu.

Tabela 4.17: Wyniki dla populacji przed leczeniu oraz po leczeniu dla poszczególnych figur (najistotniejsze zmiany).

Cecha	Talamotomia Pre Średnia ± O.S.	Talamotomia Post Średnia ± O.S.	P-wartość testu
ZigZag			
Liczba oderwań piórka od tabletu	9.10 ± 13.10	4.45 ± 3.68	0.02
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	808.35 ± 7175.23	741.35 ± 181.98	<0.01
Circle-Up			
Długość krzywej (j)	10579.73 ± 3479.93	9120.56 ± 764.79	0.04
Liczba oderwań piórka od tabletu	2.00 ± 3.86	0.50 ± 0.59	0.03
Circle-Down			
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	1.19 ± 1.17	0.36 ± 0.37	<0.01
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	19.53 ± 23.48	6.67 ± 2.78	<0.01
First Line			
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	3.15 ± 8.26	0.45 ± 0.23	0.09
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	20.55 ± 27.58	7.10 ± 5.22	<0.01
Second Line			
Broken Line			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	806.55 ± 174.94	727.40 ± 194.36	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	555.61 ± 145.14	527.10 ± 173.48	0.07
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	4.41 ± 16.53	0.01 ± 1.04	0.09
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	24.13 ± 39.48	8.44 ± 3.76	0.01
Spiral-In			
Długość krzywej (j)	32946.52 ± 10690.93	27620.08 ± 1634.66	0.01
Liczba oderwań piórka od tabletu	7.80 ± 20.84	1.40 ± 1.52	0.03
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	908.95 ± 121.72	868.35 ± 125.02	0.07
Przyspieszenie rysowania			
Odchylenie standardowe przyspieszenia chwilowego ($\frac{L}{s^2}$)	0.02 ± 0.02	0.006 ± 0.001	<0.01
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	2.54 ± 5.27	0.43 ± 0.31	0.09
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	21.64 ± 25.16	8.14 ± 3.93	<0.01
Spiral-Out			
Długość krzywej (j)	33824.84 ± 10689.53	28194.66 ± 2353.03	0.03
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	912.70 ± 121.48	881.35 ± 128.61	0.07
Przyspieszenie rysowania			
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	0.01 ± 0.02	0.006 ± 0.002	0.02
Odchylenie od normy			
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	23.09 ± 27.14	8.36 ± 4.69	<0.01

Leczenie talamotomią istotnie poprawiło niektóre parametry rysowania charakteryzujące poziom drżenia dłoni osoby badanej:

- odchylenie standardowe przyspieszenia chwilowego rysowania,
- średnia i odchylenie standardowe odchylenia od normy,
- zmalała liczba oderwań piórka od tabletu wśród najbardziej skomplikowanych figur.

Poprawa największej ilości parametrów została zaobserwowana wśród figur o wysokim poziomie skomplikowania: spirale, okręgi, linia przerywana.

Tabela 4.18: Wyniki dla populacji stanowiących zmiany uzyskane podczas leczenia operacyjnego palidotomią oraz talamotomią dla całego testu rysunkowego.

Cecha	Zmiany w palidotomii Średnia \pm O.S.	Zmiany w talamotomii Średnia \pm O.S.	P-wartość testu
Długość krzywej (j)	-6873.20 \pm 15361.79	-14921.89 \pm 43888.13	0.78
Czas rysowania (s)	-27.79 \pm 84.24	-6.22 \pm 46.32	0.78
Prędkość rysowania			
Średnia prędkość ($\frac{j}{s}$)	103.98 \pm 344.55	-103.31 \pm 425.97	0.51
Maksymalna prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	363.71 \pm 2844.89	1585.33 \pm 4681.99	0.85
Średnia prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	70.12 \pm 416.15	268.55 \pm 899.49	0.44
Odchylenie standardowe prędkości chwilowej ($\frac{j}{s}$)	33.21 \pm 271.87	-27.58 \pm 940.26	0.38
Przyspieszenie rysowania			
Maksymalne przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	2652.00 \pm 25024.00	12378.00 \pm 28406.00	0.14
Średnie przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	-44.00 \pm 436.00	-3709.00 \pm 11932.00	0.07
Odchylenie standardowe przyspieszenia chwilowego ($\frac{j}{s^2}$)	506.00 \pm 4494.00	16108.00 \pm 40997.00	0.09
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	63.90 \pm 116.84	-45.25 \pm 113.68	0.02
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	73.16 \pm 151.80	23.68 \pm 159.80	0.08
Odchylenie standardowe nacisku ($\frac{N}{A}$)	4.18 \pm 32.25	-2.74 \pm 36.90	0.19
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	< 0.01 \pm 0.23	-2.08 \pm 5.14	< 0.01
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	-2.25 \pm 4.57	-14.78 \pm 28.52	0.04
Częstotliwość zmian (Hz)	-1.16 \pm 2.71	-0.92 \pm 3.50	0.54
Liczba oderwań piórka od tabletu	-1.00 \pm 12.75	-15.95 \pm 38.75	0.21

- Zabieg palidotomii poprawia u pacjenta siłę nacisku znacznie lepiej niż talamotomia.
- Zabieg talamotomii dobrze radzi sobie z redukcją drgań dłoni. Sugeruje to redukcja przyspieszenia oraz odchylenia od normy. Trudno jednak jest to odnieść do wyników drugiego typu operacji, ponieważ osoby stanowiące populację leczoną talamotomią mają większe problemy motoryczne dłoni (pośród dostarczonych testów rysunkowych), co daje pole do uzyskania większej poprawy.

Tabela 4.19: Wyniki dla populacji stanowiących zmiany uzyskane podczas leczenia operacyjnego palidotomią oraz talamotomią dla poszczególnych figur (najistotniejsze zmiany).

Cecha	Zmiany w palidotomii Średnia ± O.S.	Zmiany w talamotomii Średnia ± O.S.	P-wartość testu
ZigZag			
Liczba oderwań piórka od tabletu	0.40 ± 5.85	-4.65 ± 12.70	0.06
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	117.40 ± 155.09	-67.00 ± 176.19	<0.01
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	0.06 ± 0.72	-2.28 ± 5.08	<0.01
Circle-Up			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	70.20 ± 120.07	1.60 ± 172.02	0.02
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	91.22 ± 120.87	26.79 ± 176.57	<0.07
Odchylenie od normy			
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	-1.14 ± 3.95	-10.41 ± 16.60	0.02
Circle-Down			
Przyspieszenie rysowania			
Odchylenie standardowe przyspieszenia chwilowego ($\frac{j}{s^2}$)	0.001 ± 0.007	-0.023 ± 0.074	0.06
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	-0.09 ± 0.70	-0.83 ± 1.21	<0.01
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	-2.49 ± 6.26	-12.86 ± 23.79	<0.01
First Line			
Nacisk			
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	70.78 ± 160.06	30.17 ± 183.89	0.08
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	0.23 ± 0.67	-2.69 ± 8.24	0.03
Second Line			
Nacisk			
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	66.58 ± 162.05	-2.90 ± 181.01	0.08
Odchylenie od normy			
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	-0.57 ± 6.08	-20.32 ± 48.60	<0.01
Broken Line			
Nacisk			
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	32.60 ± 136.82	-28.50 ± 171.95	0.02
Spiral-In			
Liczba oderwań piórka od tabletu	0.75 ± 3.85	-6.40 ± 21.27	0.01
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	55.80 ± 143.96	-40.60 ± 133.40	0.03
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	85.63 ± 185.62	36.03 ± 146.68	0.09
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	85.63 ± 185.62	36.03 ± 146.68	0.07
Spiral-Out			
Odchylenie od normy			
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	-0.92 ± 2.89	-14.70 ± 27.87	0.08

Wyniki te dobrze obrazują, który zabieg poprawia lepiej pewne cechy testy rysunkowego (mierzone dla poszczególnych figur). Ponownie pojawiają się wcześniej zauważone prawidłowości:

- Nacisk szczególnie wzrasta po zabiegu palidotomii, średni jak i maksymalny. Po talamotomii wzrost średniej jest zdecydowanie słabszy, dodatkowo znacząco maleje maksymalny nacisk. Ciekawy jest natomiast fakt spadku zmiany nacisku wraz z kolejnymi rysowanymi figurami. Utwierdza to w przekonaniu, że skuteczność rysowania figury zależy, nie tylko od jej poziomu skomplikowania, ale także od jej kolejności w przeprowadzonym teście rysunkowym.
- Talamotomia znacznie bardziej redukuje poziom drżenia. Ciężko tutaj jednak zauważyć pewną prawidłowość względem figur.

4.3.2 Skuteczność leczenia operacyjnego: porównanie z grupą kontrolną

Cel

By móc ocenić jakość leczenia, należy nie tylko stwierdzić poprawę pewnych cech, lecz trzeba także zbadać w jakim stopniu ich wartości zbliżyły się do akceptowanych. W tym celu dla każdego typu operacji skonfrontowano populację pacjentów po operacji z grupą kontrolną (zdrowi ludzie). Taki test pozwala uzyskać następujące wyniki:

- wyznaczenie, w jakim stopniu pacjenci po palidotomii zbliżyli się do zdrowej populacji,
- wyznaczenie, w jakim stopniu pacjenci po talamotomii zbliżyli się do zdrowej populacji,
- porównanie, który z zabiegów bardziej przybliży do osiągnięcia zdrowia.

W Tabelach 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 i 4.24 przedstawiono wyniki analizy. Dodatkowo pod każdą z nich znajduje się komentarz odnośnie wyników.

Wyniki testów statystycznych

Tabela 4.20: Wyniki dla populacji po leczeniu palidotomią porównanych z grupą kontrolną (dla całego testu rysunkowego).

Cecha	Palidotomia Post Średnia ± O.S.	Grupa kontrolna Średnia ± O.S.	P-wartość testu
Długość krzywej (j)	93384.85 ± 14922.69	86171.85 ± 25.93	0.02
Czas rysowania (s)	156.07 ± 117.02	115.38 ± 49.94	0.25
Prędkość rysowania			
Średnia prędkość ($\frac{j}{s}$)	771.91 ± 303.36	849.46 ± 259.41	0.46
Maksymalna prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	4535.41 ± 2427.23	4769.62 ± 1822.73	0.32
Średnia prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	1113.32 ± 401.75	1266.07 ± 335.45	0.27
Odchylenie standardowe prędkości chwilowej ($\frac{j}{s}$)	657.41 ± 303.29	681.50 ± 215.04	0.60
Przyspieszenie rysowania			
Maksymalne przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	30796.00 ± 14454.00	32580.00 ± 17853.00	0.78
Średnie przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	157.00 ± 213.00	237.00 ± 449.00	0.89
Odchylenie standardowe przyspieszenia chwilowego ($\frac{j}{s^2}$)	7397.00 ± 2948.00	8286.00 ± 4112.00	0.60
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	912.28 ± 147.35	1016.14 ± 21.13	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	686.00 ± 840.141	840.52 ± 141.36	<0.01
Odchylenie standardowe nacisku ($\frac{N}{A}$)	150.76 ± 36.27	157.14 ± 31.20	0.60
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	0.56 ± 0.10	0.54 ± 0.09	0.53
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	6.79 ± 2.03	6.20 ± 0.90	0.63
Częstotliwość zmian (Hz)	0.94 ± 1.96	1.37 ± 2.18	0.30
Liczba oderwań piórka od tabletu	25.23 ± 11.93	20.47 ± 7.32	0.27

Tabela 4.21: Wyniki dla populacji po leczeniu palidotomią porównanych z grupą kontrolną dla poszczególnych figur (najistotniejsze zmiany).

Cecha	Palidotomia Post Średnia ± O.S.	Grupa Kontrolna Średnia ± O.S.	P-wartość testu
ZigZag			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	838.71 ± 153.04	987.23 ± 78.85	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	631.85 ± 172.48	813.17 ± 143.84	<0.01
Circle-Up			
Długość krzywej (j)	9696.42 ± 1731.44	9004.80 ± 392.49	0.01
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	859.80 ± 186.99	976.28 ± 93.47	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	697.92 ± 175.23	854.67 ± 128.88	<0.01
Circle-Down			
Długość krzywej (j)	9462.43 ± 979.18	9060.34 ± 641.47	0.09
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	869.33 ± 174.51	986.38 ± 82.88	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	723.98 ± 171.07	887.02 ± 124.05	<0.01
First Line			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	749.57 ± 172.96	924.85 ± 144.43	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	639.99 ± 168.31	812.47 ± 155.54	<0.01
Second Line			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	777.23 ± 190.96	903.61 ± 170.10	0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	670.14 ± 180.37	795.13 ± 211.03	0.08
Broken Line			
Czas rysowania (s)	14.25 ± 9.34	9.45 ± 3.64	0.08
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	756.42 ± 169.69	912.14 ± 137.67	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	562.07 ± 177.30	739.18 ± 162.92	<0.01
Liczba oderwań piórka od tabletu	6.90 ± 2.56	5.52 ± 1.05	<0.01
Spiral-In			
Czas rysowania (s)	37.52 ± 22.59	25.88 ± 10.61	<0.06
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	865.95 ± 188.48	984.80 ± 96.01	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	722.99 ± 188.52	877.76 ± 154.02	<0.01
Spiral-Out			
Czas rysowania (s)	34.61 ± 18.34	23.10 ± 9.77	0.02
Długość krzywej (j)	28958.40 ± 1835.39	27887.77 ± 1127.78	0.03
Prędkość rysowania			
Średnia prędkość ($\frac{j}{s}$)	1076.14 ± 536.01	1463.32 ± 711.88	0.05
Średnia prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	1161.53 ± 510.26	1529.39 ± 656.99	0.04
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	869.38 ± 181.18	989.76 ± 98.20	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	745.76 ± 187.62	918.46 ± 150.22	<0.01

Mimo wyraźnej poprawy niektórych cech po leczeniu palidotomią, trudno stwierdzić faktyczne zbliżenie ich wartości do optymalnych, wyznaczonych przez populację zdrowych ludzi.

- Wiele podstawowych cech, takich jak długość rysowanej krzywej, czas rysowania, średnia prędkość nie zbliżyło się dostatecznie do wartości optymalnych. Jedynie czas rysowania nie sugeruje odrzucenia hipotezy zerowej o równości czasów trwania. Jednak dzieje się tak ze względu na większy rozrzut wartości przy palidotomii (odchylenie standardowe), które „nakładają” się na wartości zdrowej populacji. Uzyskana średnia czasu rysowania jest jednak wciąż niezadowolająco większa.
- Mimo zadowolającego wzrostu siły nacisku przy leczeniu palidotomią, wciąż są one istotnie niższe niż dla zadanej grupy kontrolnej.
- Wśród bardziej złożonych cech, takich jak średnia prędkość chwilowa, nastąpiła teoretycznie większa poprawa. Testy wykazały, że trudno odróżnić charakterystyki cech obydwu populacji. Jednak z takim osądem należy być ostrożnym. Są to cechy zawierające dużą rozpiętość wartości, co dla małych prób może być jedną z przyczyn braku rozróżnienia statystycznego między nimi.

Z Tabeli 4.21 można odczytać, w jakim stopniu poszczególne parametry (tutaj nacisk) zbliżyły się do wartości grupy kontrolnej dla poszczególnych figur. Istotna jest pewna korelacja między wartościami średnich nacisków. Gdy średni nacisk wzrasta/maleje dla kolejnych rysowanych figur grupy kontrolnej, podobną sytuację można zaobserwować wśród osób po zabiegu palidotomii. Dodatkowo widać, że czas rysowania nie został odpowiednio zredukowany, w przypadku skomplikowanych figur.

Tabela 4.22: Wyniki dla populacji po leczeniu talamotomią porównanych z grupą kontrolną dla całego testu rysunkowego.

Cecha	Talamotomia Post Średnia ± O.S.	Grupa Kontrolna Średnia ± O.S.	P-wartość testu
Długość krzywej (j)	95407.42 ± 12352.05	86865.98 ± 3057.29	<0.01
Czas rysowania (s)	122.08 ± 47.43	99.43 ± 35.76	0.05
Prędkość rysowania			
Średnia prędkość ($\frac{j}{s}$)	886.72 ± 316.97	973.21 ± 315.93	0.20
Maksymalna prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	4837.41 ± 1612.54	5193.58 ± 1866.14	0.78
Średnia prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	1285.73 ± 387.23	1439.81 ± 364.49	0.12
Odchylenie standardowe prędkości chwilowej ($\frac{j}{s}$)	753.71 ± 245.42	809.00 ± 254.25	0.51
Przyspieszenie rysowania			
Maksymalne przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	31416.00 ± 10627.00	40358.00 ± 22964.00	0.19
Średnie przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	416.00 ± 447.00	309.00 ± 270.00	0.39
Odchylenie standardowe przyspieszenia chwilowego ($\frac{j}{s^2}$)	9699.00 ± 4404.00	8596.00 ± 2687.00	0.58
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	923.66 ± 107.25	1004.61 ± 56.61	0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	683.98 ± 170.43	873.51 ± 142.09	< 0.01
Odchylenie standardowe nacisku ($\frac{N}{A}$)	159.99 ± 33.27	153.14 ± 21.28	0.63
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	0.47 ± 0.21	0.61 ± 0.25	0.12
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	7.85 ± 4.05	7.51 ± 4.06	0.97
Częstotliwość zmian (Hz)	2.55 ± 2.71	3.24 ± 3.25	0.93
Liczba oderwań piórka od tabletu	21.85 ± 8.80	21.76 ± 9.75	0.78

Tabela 4.23: Wyniki dla populacji po leczeniu talamotomią porównanych z grupą kontrolną dla poszczególnych figur (najistotniejsze zmiany).

Cecha	Talamotomia Post Średnia ± O.S.	Grupa Kontrolna Średnia ± O.S.	P-wartość testu
ZigZag			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	802.52 ± 181.53	984.33 ± 92.59	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	630.23 ± 216.29	832.22 ± 160.70	<0.01
Circle-Up			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	843.95 ± 150.90	977.28 ± 143.22	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	674.95 ± 185.57	865.48 ± 171.01	<0.01
Circle-Down			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	877.09 ± 970.76	970.76 ± 144.31	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	741.48 ± 161.87	880.55 ± 162.95	<0.01
First Line			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	781.80 ± 172.69	944.76 ± 129.79	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	657.88 ± 851.64	851.64 ± 170.95	<0.01
Prędkość rysowania			
Średnia prędkość chwilowa ($\frac{L}{S}$)	1706.03 ± 667.13	2224.30 ± 951.59	0.01
Second Line			
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	745.80 ± 187.80	941.14 ± 152.38	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	643.15 ± 197.08	871.34 ± 173.67	<0.01
Prędkość rysowania			
Średnia prędkość chwilowa ($\frac{L}{S}$)	2022.67 ± 756.08	2511.73 ± 939.06	0.06
Broken Line			
Czas rysowania (s)	14.25 ± 9.34	9.45 ± 3.64	0.08
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	783.66 ± 171.60	968.33 ± 95.99	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	578.67 ± 170.41	797.35 ± 129.87	<0.01
Spiral-In			
Czas rysowania (s)	26.39 ± 9.53	21.90 ± 9.89	0.05
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	894.47 ± 125.34	1000.33 ± 57.48	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	730.97 ± 168.16	928.29 ± 127.80	<0.01
Spiral-Out			
Czas rysowania (s)	25.67 ± 9.47	20.08 ± 8.45	0.04
Prędkość rysowania			
Średnia prędkość ($\frac{L}{S}$)	1243.78 ± 434.23	1584.47 ± 546.78	<0.01
Średnia prędkość chwilowa ($\frac{L}{S}$)	742.70 ± 172.32	949.53 ± 110.36	<0.01
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	869.38 ± 181.18	989.76 ± 98.20	<0.01
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	745.76 ± 187.62	918.46 ± 150.22	<0.01

Przedstawione w Tabeli 4.22 p-wartości cech są niższe niż dla tych uzyskanych przy leczeniu palidotomią. Może to sugerować mniejsze zbliżenie do zdrowia dla osobników leczonych talamotomią. O wszystkich ważniejszych cechach można powiedzieć, że są istotnie różne (oraz gorsze) od tych dla grupy kontrolnej. Jedynie liczba oderwań piórka od powierzchni tabletu oraz częstotliwość zmian odchylenia od normy (wraz z odchyleniem standardowym) zostały zadowalająco zredukowane. Praktycznie nie widać przy tych cechach różnicy między osobami po leczeniu a zdrowymi.

W przypadku analizy dla poszczególnych figur (Tabela 4.23), podobnie jak w przypadku zabiegu palidotomii, można zaobserwować korelację średniej siły nacisku grupy kontrolnej z grupą pacjentów po talamotomii.

Tabela 4.24: Wyniki dla populacji stanowiących zmiany uzyskane podczas leczenia operacyjnego palidotomią oraz talamotomią. Pozwalają one na określenie który typ operacji najlepiej poprawia pewne cechy.

Cecha	Zmiany w palidotomii Średnia \pm O.S.	Zmiany w talamotomii Średnia \pm O.S.	P-wartość testu
Długość krzywej (j)	-7212.99 \pm 15510.55	-8541.43 \pm 13145.12	0.41
Czas rysowania (s)	-40.69 \pm 14.05	-22.65 \pm 53.30	0.83
Prędkość rysowania			
Średnia prędkość ($\frac{j}{s}$)	77.55 \pm 467.83	86.48 \pm 377.37	0.83
Maksymalna prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	234.20 \pm 3024.81	356.17 \pm 2725.85	0.58
Średnia prędkość chwilowa ($\frac{j}{s}$)	152.86 \pm 605.93	154.07 \pm 450.42	0.89
Odchylenie standardowe prędkości chwilowej ($\frac{j}{s}$)	24.08 \pm 425.26	55.29 \pm 342.25	0.95
Przyspieszenie rysowania			
Maksymalne przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	1784.00 \pm 21102.00	8942.00 \pm 26619.00	0.38
Średnie przyspieszenie chwilowe ($\frac{j}{s^2}$)	-80.00 \pm 512.00	107.00 \pm 402.00	0.58
Odchylenie standardowe przyspieszenia chwilowego ($\frac{j}{s^2}$)	890.00 \pm 5530.00	-1103.00 \pm 5213.00	0.42
Nacisk			
Maksymalny nacisk ($\frac{N}{A}$)	103.85 \pm 144.85	80.95 \pm 123.37	0.78
Średni nacisk ($\frac{N}{A}$)	154.52 \pm 156.46	189.52 \pm 185.94	0.28
Odchylenie standardowe nacisku ($\frac{N}{A}$)	6.38 \pm 53.99	-5.85 \pm 34.73	0.38
Odchylenie od normy			
Średnie odchylenie od normy (j)	-20.04 \pm 37.61	1.36 \pm 61.98	0.03
Odchylenie standardowe odchylenia od normy (j)	-0.02 \pm 0.11	0.14 \pm 0.39	0.10
Częstotliwość zmian (Hz)	0.42 \pm 3.00	0.68 \pm 3.65	0.97
Liczba oderwań piórka od tabletu	-4.76 \pm 13.51	-0.09 \pm 12.94	0.21

Porównanie zmian między próbami zobrazowane w Tabeli 4.24 nie przyniosło znaczących rezultatów. Oznacza to, że obydwie zabiegi zbliżyły się do populacji zdrowych osobników na podobną odległość (należy pamiętać, że oczywiście nie określa to stopnia poprawy po leczeniu). Mimo różnej skuteczności obydwu typów zabiegów, ciężko jest każdemu z nich spowodować na tyle dużą poprawę, by można ocenić osobnika zdrowym.

W przypadku wyników dla populacji stanowiących zmiany uzyskane podczas leczenia operacyjnego palidotomią oraz talamotomią (dla poszczególnych figur), również nie uzyskano istotnych różnic, które mogłyby się znaleźć w osobnej tabeli.

Rozdział 5

Zakończenie

Efektom pracy są dwa niezależne programy do analizy i wizualizacji sygnałów: elektrokardiograficznego i grafomotorycznego. Autorom udało się osiągnąć przyjęte cele dotyczące wymaganych funkcjonalności programów. Aplikacje pozwalają na import danych i tworzenie z nich gotowych populacji. Dzięki specjalnie przygotowanym algorytmom możliwa jest wizualizacja sygnałów i automatyczne odnajdywanie interesujących fragmentów. Użytkownik ma także możliwość manipulacji wyszukаныmi fragmentami – może zaznaczać nieznanne automatycznie elementy czy poprawiać drobne pomyłki algorytmu, wynikające z niestandardowego przebiegu testu – np. zmienić typ błędnie rozpoznanej figury, poprawić zaznaczenie wybranego załamka, itp. Programy umożliwiają także analizę statystyczną wprowadzonych danych zarówno dla pojedynczego osobnika, jak i dla całej populacji. Wyniki testów przedstawiane są na bieżąco w programie oraz zachowywane w formie raportu w formacie html lub pdf. Aplikacje, zgodnie z założeniem, mogą być użytkowane przez lekarzy w celu przeprowadzania analizy wyników badań ich pacjentów, a dzięki przeprowadzonym obliczeniom mogą wskazać pewne zależności w badanych populacjach.

Działanie programu zostało przetestowane przez autorów. Przeprowadzono z sukcesem zakładaną analizę wyników badań EKG osób uzależnionych od opioidów oraz wyników testu rysunkowego pacjentów z chorobą Parkinsona. Wyniki zebrano i zinterpretowano w pracy. Otrzymane rezultaty okazały się zbliżone do przewidywanych, dzięki czemu można stwierdzić, że moduły statystyczne w programach zostały przygotowane poprawnie.

Największą trudnością okazała się realizacja przyjętej koncepcji implementacyjnej, zakładającej identyczną budowę obu aplikacji. Poza naturalnymi różnicami w reprezentacji danych w programie czy ich importowaniu, wynikających z innego formatu danych, napotkano także inne. Proces wyliczania statystyk działa w oparciu o ten sam algorytm zagłębiania się w drzewo, przechowujące wyniki statystyczne, jednak same struktury wyników nieznacznie się różnią. Na najniższym poziomie są to statystyki typu minimum i maksimum, następnie kierując się w górę są to atrybuty takie jak nacisk podczas rysowania figury czy czas trwania załamka. Dalej znajdują się poszczególne załamki czy figury. W tym miejscu przetwarzanie dla testu rysunkowego kończy się wynikiem całego testu, podczas gdy w programie dla badań EKG znajduje się jeszcze dodatkowa struktura odpowiadająca za poszczególne kanały. Wpływa to m. in. na sposób liczenia statystyk czy prezentację wyników w oknie statystycznym. Zrezygnowano tutaj z utrzymywania jednakowego schematu, skupiając się na zwiększeniu użyteczności aplikacji i bardziej intuicyjnemu podejściu do prezentacji wyników. Kolejnym elementem różniącym się w obu aplikacjach jest interfejs użytkownika, co także spowodowane jest próbą zwiększenia komfortu użytkownika podczas przeglądania danych. Mimo to starano się, aby obiekty, które mogą działać i wyglądać podobnie w programach, spełniały to założenie.

W trakcie powstawania niniejszej pracy autorzy mieli okazję rozwinąć swoje umiejętności w zakresie pracy w grupie, czy planowania zadań. Zaznajomiono się także z procesem wytwarzania oprogramowania w oparciu o techniki Scrum od strony praktycznej. Dodatkowo, pisząc aplikacje w języku Java, autorzy mieli możliwość poznać nowe, ciekawe technologie i biblioteki wspierające ten język, takie jak: Jasper, do tworzenia czytelnych raportów, czy SAX do współpracy z dokumentami XML, które są obecnie bardzo często wykorzystywane do przechowywania danych.

Dodatek A

Załączniki

Do pracy dołączono płytę CD-ROM zawierającą kody źródłowe obydwu programów. Dodatkowo znajdują się na niej wszystkie projekty, dla których przeprowadzone zostały testy statystyczne. Ponadto, wraz z projektem, zamieszczono wygenerowany raport prezentujący uzyskane wyniki. Struktura płyty jest następująca:

1. EKG

- projekt Eclipse,
- projekty programu: HIV+ vs. HIV-, kobiety vs. mężczyźni, osoby powyżej 37 roku życia vs. osoby poniżej 37 roku życia,
- raporty.

2. Test rysunkowy

- projekt Eclipse,
- projekty programu: palidotomia vs. talamotomia, ludzie po zabiegu palidotomii lub talamotomii vs. grupa kontrolna,
- raporty.

Literatura

- [ACZ11] A. Aczel, *Statystyka w zarządzaniu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2011
- [DUB08] D. Dubin, *Interpretacja EKG*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2008
- [KOZ01] W. Kozubski i P. Liberski, *Neurologia, podręcznik dla studentów medycyny*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2001
- [BAR99] R. Baranowski i wsp., *Wpływ formuły korekcji na wyniki analizy QT w 24-godzinnym EG metodą Holtera*, *Folia Cardiol*, 1999
- [OLZ08] M. Olzak, *Wczesna ocena wpływu uszkodzeń struktur podkorowych mózgowia na funkcje wykonawcze i ruchowe u osób z chorobą Parkinsona*, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, 2008
- [ABD07] H. Abdi i P. Molin, *Lilliefors/Van Soest's test of normality*, <https://www.utdallas.edu/~herve/Abdi-Lillie2007-pretty.pdf>, 2007
- [GOD94] C. Godwod-Sikorska, *Ocena wdrażania terapii metadonem w zapobieganiu HIV/AIDS wśród narkomanów opiatowych*, http://ain.ipin.edu.pl/archiwum/1994/1/AiN_1-1994-03.pdf, 1994
- [BIE11] M. Bieniowski, *Terapia substytucyjna a zakażenie HIV*, <http://www.bezpiecznie.org.pl/index-216.html>, 2011
- [HAB14] B. Habrat *Uzależnienie opioidowe*, <http://psychiatria.mp.pl/uzaleznienia/show.html?id=91662>, 2014
- [GLA12] J. Glass, *Surgery for Parkinson's Disease*, <http://www.webmd.com/parkinsons-disease/guide/parkinsons-surgical-treatments>, 2012
- [WIK01] <http://en.wikipedia.org/wiki/Thalamotomy>
- [WIK02] <http://en.wikipedia.org/wiki/Pallidotomy>
- [WIK03] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrokardiografia>
- [WIK04] http://pl.wikipedia.org/wiki/Załamek_P
- [WIK05] http://pl.wikipedia.org/wiki/Zespól_QRS
- [WIK06] http://pl.wikipedia.org/wiki/Załamek_T
- [WIK07] http://pl.wikipedia.org/wiki/Odcinek_PQ
- [WIK08] http://pl.wikipedia.org/wiki/Odcinek_ST
- [WIK09] http://pl.wikipedia.org/wiki/Odstęp_PQ
- [WIK10] http://pl.wikipedia.org/wiki/Odstęp_RR



© 2014 Natalia Adamkiewicz, Joanna Galewska, Magdalena Jaśkiewicz, Michał Tomczyk

Instytut Informatyki, Wydział Informatyki
Politechnika Poznańska

Skład przy użyciu systemu L^AT_EX.

Bib_TE_X:

```
@mastersthesis{ key,  
  author = "Natalia Adamkiewicz \and Joanna Galewska \and Magdalena Jaśkiewicz \and Michał  
Tomczyk",  
  title = "{System analizy sygnału elektrokardiograficznego oraz grafomotorycznego}",  
  school = "Poznan University of Technology",  
  address = "Pozna{\n}, Poland",  
  year = "2014",  
}
```