

Podstawowe parametry ruchu piórka w teście rysunkowym i ich zastosowanie w diagnostyce motoryki kończyn górnych

Maciej Komosinski

maciej.komosinski@cs.put.poznan.pl

Raport badawczy RB-04/08
Instytut Informatyki Politechniki Poznańskiej

Streszczenie

W artykule przedstawiono sposoby wyznaczania pięciu podstawowych parametrów ruchu piórka, odzwierciedlających natężenie drgań w ruchu ręki. Ruch ręki rejestrowany jest za pomocą tabletu podłączonego do komputera. Dane wykorzystane do eksperymentów pochodzą z badań pacjentów cierpiących na chorobę Parkinsona, którzy zostali poddani zabiegom palidotomii i talamotomii. W opisanych eksperymentach rozważa się cały zapis ruchu piórka (tzn. cały test rysunkowy), bez podziału na poszczególne elementy rysunku lub etapy rysowania. Pomimo tego, że algorytmy wyznaczające podstawowe parametry ruchu są stosunkowo proste, uśrednione wartości tych parametrów pozwalają odróżnić pacjentów przed i po zabiegu, a także określić rodzaj przeprowadzonej operacji.

1 Dane i eksperymenty

Niniejszy artykuł kontynuuje prace, których celem jest zaproponowanie obiektywnych i skutecznych miar natężenia drżenia ręki [1, 3]. Aplikację na urządzenia mobilne realizującą ten cel przedstawia druga część raportu [2].

Do opisanych tu badań wykorzystano zarejestrowane wcześniej dane, przed i po operacji, pochodzące od pacjentów poddanych zabiegom palidotomii i talamotomii (w niektórych przypadkach u jednego pacjenta rejestrowano ruch obu kończyn). Badania prowadzono na 37 zapisach (24 dla zabiegu palidotomii i 13 dla talamotomii). Nazwy plików prezentuje poniższa tabela.

Przed palidotomią	Po palidotomii	Przed talamotomią	Po talamotomii
01_____3182_10KRLP.mtb	02_____3182_11KRLP.mtb	02_____3557_10MRLT.mtb	03_____3557_11MRLT.mtb
02_____0753_10MRLP.mtb	04_____0753_11MRLP.mtb	02_____2116_10MRLT.mtb	04_____2116_11MRLT.mtb
01_____4998_10MRLP.mtb	02_____4998_11MRLP.mtb	01_____1554_10MLLT.mtb	03_____1554_11MLLT.mtb
02_____4739_10MRLP.mtb	03_____4739_11MRLP.mtb	01_____7196_10MRLT.mtb	02_____7196_11MRLT.mtb
01_____1594_10MLLP.mtb	03_____1594_11MLLP.mtb	02_____1735_10MRLT.mtb	03_____1735_11MRLT.mtb
02_____1594_10MRLP.mtb	04_____1594_11MRLP.mtb	01_____6770_10MLLT.mtb	03_____6770_11MLLT.mtb
01_____6154_10MLLP.mtb	03_____6154_11MLLP.mtb	02_____6770_10MRLT.mtb	04_____6770_11MRLT.mtb
02_____6154_10MRLP.mtb	04_____6154_11MRLP.mtb	01_____8353_10MRLT.mtb	02_____8353_11MRLT.mtb
01_____1897_10MLLP.mtb	03_____1897_11MLLP.mtb	01_____4914_10MLLT.mtb	03_____4914_11MLLT.mtb
02_____1897_10MRLP.mtb	04_____1897_11MRLP.mtb	02_____4914_10MRLT.mtb	04_____4914_11MRLT.mtb
01_____0097_10MLLP.mtb	03_____0097_11MLLP.mtb	01_____2531_10MLRT.mtb	03_____2531_11MLRT.mtb
02_____0097_10MRLP.mtb	04_____0097_11MRLP.mtb	01_____1715_10MLRT.mtb	02_____1715_11MLRT.mtb
01_____0816_10MRLP.mtb	02_____0816_11MRLP.mtb	02_____1792_10MRRT.mtb	04_____1792_11MRRT.mtb
01_____5185_10KLRP.mtb	03_____5185_11KLRP.mtb		
02_____5185_10KRRP.mtb	04_____5185_11KRRP.mtb		
03_____0157_11MLRP.mtb	04_____0157_11MRRP.mtb		
01_____7562_10KLRP.mtb	03_____7562_11KLRP.mtb		
01_____2577_10MLRP.mtb	03_____2577_11MLRP.mtb		
02_____2577_10MRRP.mtb	04_____2577_11MRRP.mtb		
01_____2857_10MLRP.mtb	03_____2857_11MLRP.mtb		
02_____2857_10MRRP.mtb	04_____2857_11MRRP.mtb		
01_____7123_10KLRP.mtb	02_____7123_11KLRP.mtb		
01_____3936_10MLLP.mtb	03_____3936_11MLLP.mtb		
02_____3936_10MRLP.mtb	04_____3936_11MRLP.mtb		

Grupy kontrolne osób zdrowych:

Dla palidotomii

```
41_____0_ORCH.htd
18_____0_ORCH.htd
50_____0_ORCH.htd
10_____1_ORCH.htd
50_____1_OLCH.htd
50_____1_ORCH.htd
20_____0_OLCH.htd
20_____0_ORCH.htd
10_____0_OLCH.htd
10_____0_ORCH.htd
99_____9_OLCH.htd
99_____9_ORCH.htd
35_____0_ORCH.htd
17_____0_OLCH.htd
17_____0_ORCH.htd
22_____0_ORCH.htd
21_____0_OLCH.htd
39_____0_OLCH.htd
39_____0_ORCH.htd
16_____0_OLCH.htd
16_____0_ORCH.htd
23_____0_OLCH.htd
12_____1_OLCH.htd
12_____1_ORCH.htd
```

Dla talamotomii

```
19_____1_ORCH.htd
22_____0_ORCH.htd
18_____0_OLCH.htd
38_____0_ORCH.htd
31_____0_ORCH.htd
42_____1_ORCH.htd
42_____1_ORCH.htd
28_____0_ORCH.htd
44_____0_OLCH.htd
44_____0_OLCH.htd
36_____0_OLCH.htd
24_____0_OLCH.htd
37_____0_ORCH.htd
```

Zaproponowano pięć metod służących do ilościowej oceny drgań ręki (drgań piórka rejestrowanych przez tablet). Metody te można określić jako *niskopoziomowe*, bowiem są nieskomplikowane i mierzą bardzo podstawowe cechy zarejestrowanego sygnału. Również sposób agregacji poszczególnych cech jest prosty, a ostatecznie otrzymujemy jedną liczbę charakteryzującą pojedynczy zapis z tabletu. Można postawić hipotezę, że tak podstawowe cechy ruchu, prosto mierzone i agregowane, wywodzą się z bazowych, nieświadomych ruchów mięśni, zatem są „niskopoziomowe” również w sensie ich pochodzenia.

Przeprowadzone eksperymenty dotyczą analizy pełnych zapisów z tabletu (tzn. całych plików danych) – a zatem nie uwzględniającą specyfiki rysowanych figur ani innych dodatkowych informacji związanych z charakterem eksperymentu. W tym sensie wykorzystanie zaproponowanych metod wyznaczania parametrów ruchu ma charakter *bezkontekstowy* i *globalny*.

We wszystkich metodach uwzględniamy tylko te punkty (próbki) zarejestrowane w plikach danych, w których piórko dotyka tabletu (a zatem nie uwzględniamy momentów, kiedy pacjent trzymał piórko nad tabletem). Bazowa częstotliwość próbkowania tabletu podczas akwizycji danych wynosiła 200Hz (pobieraliśmy 200 próbek na sekundę).

W niniejszym artykule zawarto szereg wykresów. Dla większości wykresów, na osi pionowej pokazano wartości statystyki z w teście Wilcoxona (*signed-rank test*) dla par¹ przed-po zabiegu. Na osi poziomej znajdują się wartości pierwszego parametru danej metody (jest to częstotliwość z jaką dokonujemy wyznaczania parametrów ruchu, lub dystans jaki pokonało piórko). Poszczególne linie na wykresie odpowiadają zwykle drugiemu parametrowi metody. Dodatkowe linie poziome są liniami pomocniczymi (np. zero i poziomy statystycznej istotności).

Należy zwrócić uwagę, że ten sam termin „parametr” występuje w odniesieniu do parametru ruchu piórka (wtedy oznacza pewną cechę, właściwość ruchu), jak również w odniesieniu do parametru metody, która wyznacza parametr ruchu piórka.

2 Metoda wyznaczania zmienności kierunku ruchu, p_{dir}

Podczas wyznaczania $p_{dir}(f, angle_threshold)$ zliczamy, ile razy zmiana kierunku ruchu przekroczyła określony próg. Metoda ma dwa parametry: częstotliwość f z jaką badamy zmiany kierunku (czyli: co którą próbkę zapisu pozycji piórka sprawdzamy) oraz

¹<http://faculty.vassar.edu/lowry/ch12a.html>

próg (kąt zmiany), *angle_threshold*. Ideaą tej metody jest zliczenie „zbyt dużych” (czyli przekraczających próg kąta) drgań w rysowanym konturze. Liczbę takich zbyt dużych drgnień obliczamy niezależnie dla szerokiego spektrum częstotliwości (oś pozioma na wykresach). Częstotliwość f wyznaczania zmian kierunku ruchu obowiązuje dla całego zapisu ruchu piórka jaki rozpatrujemy (tzn. dla całego rysunku).

Bazowa częstotliwość próbkowania, $F = 200$ Hz.

Odstęp czasu Δt wykorzystywany do obliczania zmian kierunku dla częstotliwości f , $\Delta t = \frac{F}{f}$.

Kierunek ruchu $dir(p_A, p_B)$ wyznacza kąt ruchu piórka między punktami A i B .

Zmiana kierunku dla punktu zarejestrowanego w chwili t ,

$$dir_change^*(t) = |dir(p_t, p_{t+\Delta t}) - dir(p_{t+\Delta t}, p_{t+2\Delta t})|$$

Wykrywanie zmian kierunku przekraczających *angle_threshold*,

$$dir_change(t, angle_threshold) = \begin{cases} 1 & \text{if } dir_change^*(t) > angle_threshold, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Średni współczynnik zmian kierunku dla całego testu rysunkowego składającego się z n punktów,

$$p_{dir}^* = \frac{\sum_{t=1}^{n-2\Delta t} dir_change^*(t)}{n - 2\Delta t}$$

i analogicznie, średni współczynnik zmian kierunku przekraczających *angle_threshold*,

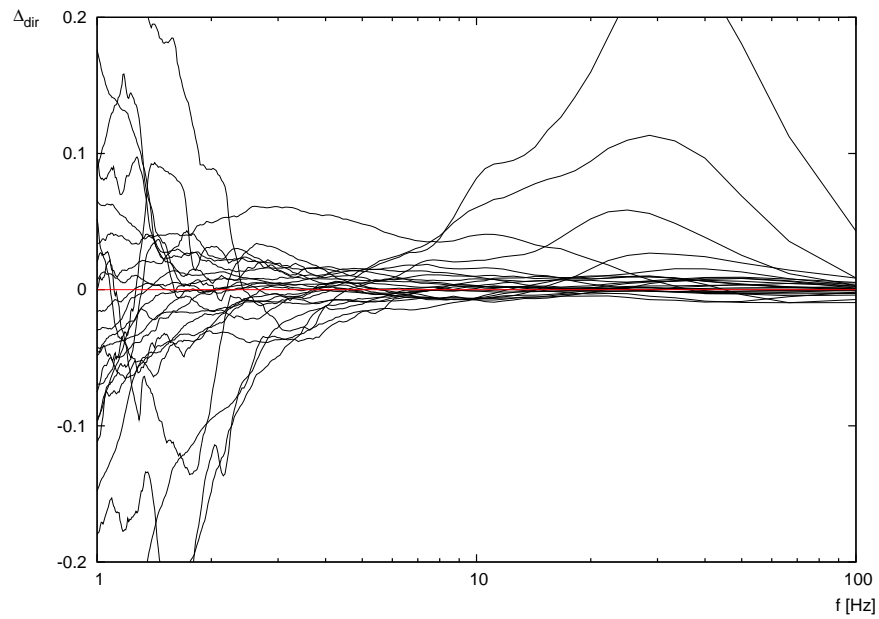
$$p_{dir}(angle_threshold) = \frac{\sum_{t=1}^{n-2\Delta t} dir_change(t, angle_threshold)}{n - 2\Delta t}$$

Na rysunkach 1 i 2 pokazano różnice Δ_{dir} w wartościach parametru ruchu dla poszczególnych pacjentów przed i po zabiegu (dla *angle_threshold* = 90°).

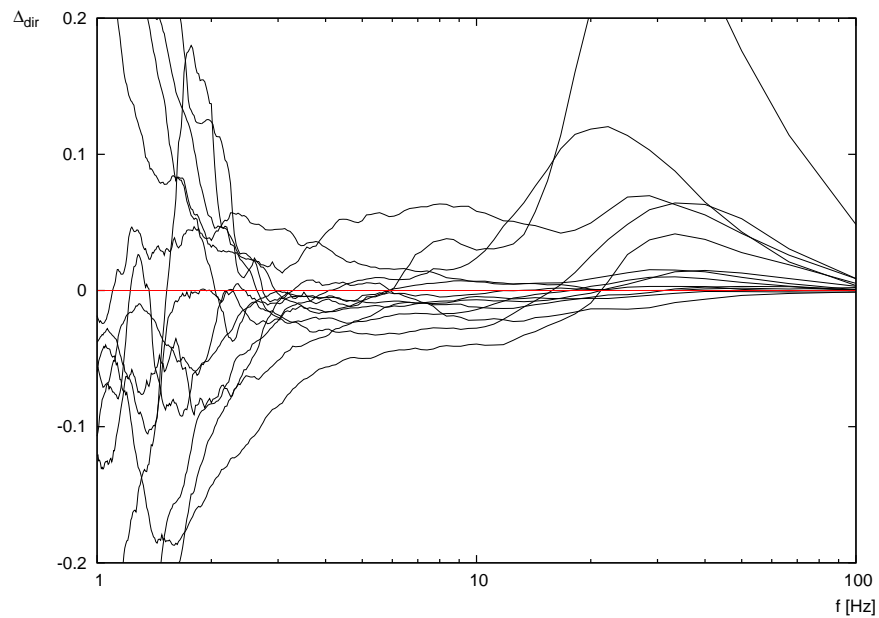
$$\Delta_{dir} = p_{dir}^{before}(90^\circ) - p_{dir}^{after}(90^\circ)$$

Jeśli różnice są dodatnie, oznacza to, że przed zabiegiem wykryto u pacjenta więcej drgań (dla danej częstotliwości f) niż po zabiegu. Na podstawie tej informacji obliczane są wartości statystyki w teście Wilcozona (Rys. 3 i 4). Można zauważyć, że (szczególnie po palidotomii) u większości pacjentów wystąpiło zmniejszenie drgań manifestujących się przy częstotliwościach f wyższych od ok. 10Hz, co odzwierciedlają też wykresy statystycznej istotności.

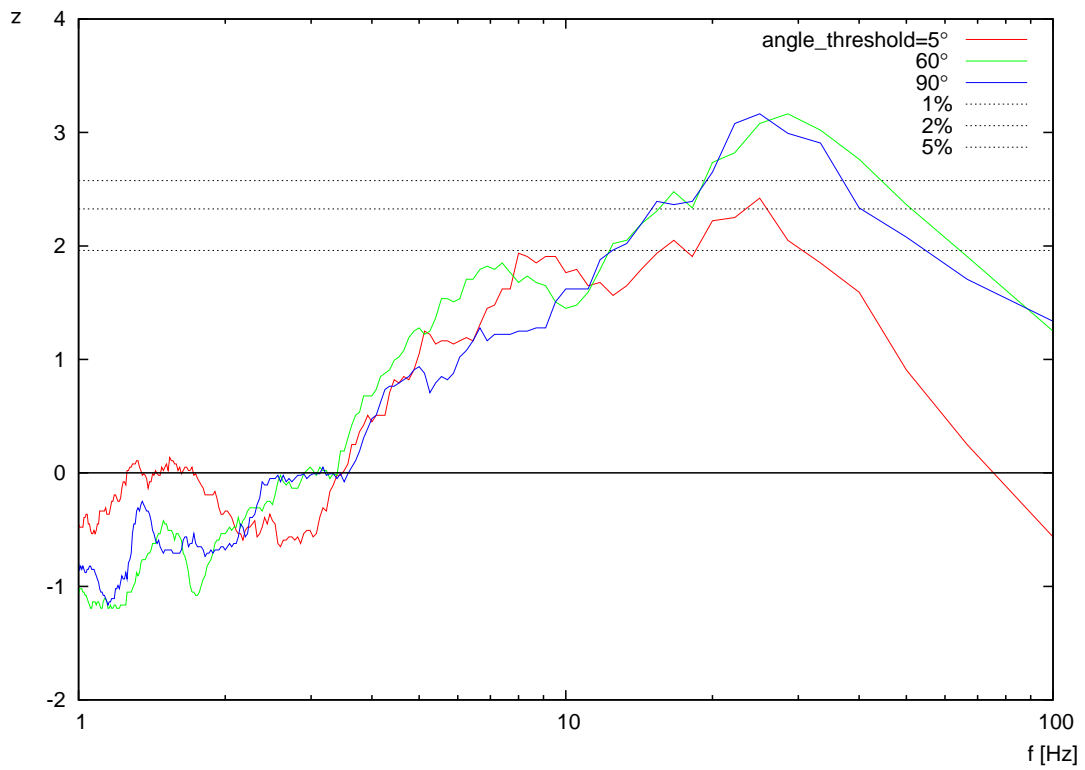
Warto zwrócić uwagę, że częstotliwość f pokazana na osi poziomej odpowiada częstotliwości z jaką wyznaczamy określony parametr ruchu, co nie jest równoznaczne z częstotliwością drgań piórka, choć obie te wartości są ze sobą powiązane. Wykrywając zmiany kierunku ruchu z częstotliwością f rejestrujemy zarówno drgania piórka o tej częstotliwości, jak i potencjalne drgania harmoniczne (o częstotliwościach niższych i wyższych, będących krotnościami f). Jeśli drgania piórka są okresowe i za pojedyncze „drgnięcie” uznamy pełen cykl ruchu dłoni „tam i z powrotem”, to częstotliwość takich drgań będzie równa połowie częstotliwości f , dla której obserwujemy maksimum p_{dir} . Jeśli stwierdzimy, że jeden pełny cykl drgnięcia piórka składa się z kilku mniejszych ruchów wykrywanych metodą p_{dir} , to częstotliwość takiego drżenia piórka będzie kilka razy niższa od częstotliwości f , dla której obserwujemy maksimum p_{dir} .



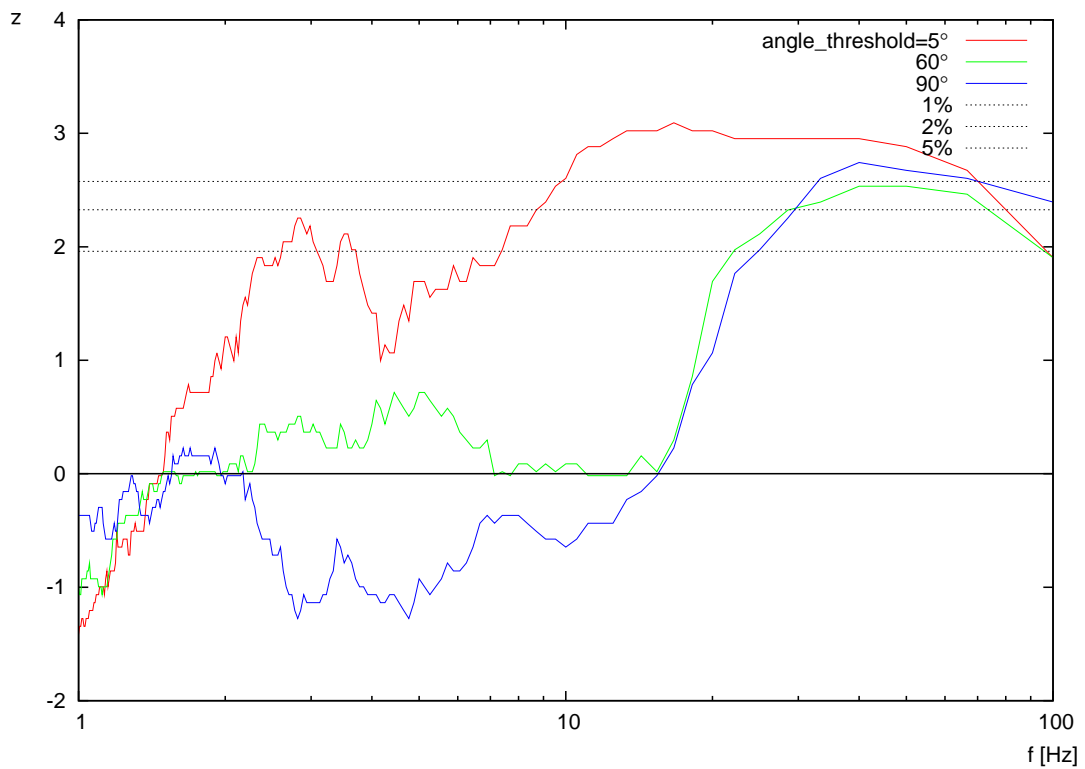
Rysunek 1: Różnice Δ_{dir} wartości parametru ruchu p_{dir} dla progu kąta 90° . Linie odpowiadają poszczególnym pacjentom poddanym zabiegowi palidotomii.



Rysunek 2: Różnice Δ_{dir} wartości parametru ruchu p_{dir} dla progu kąta 90° . Linie odpowiadają poszczególnym pacjentom poddanym zabiegowi talamotomii.



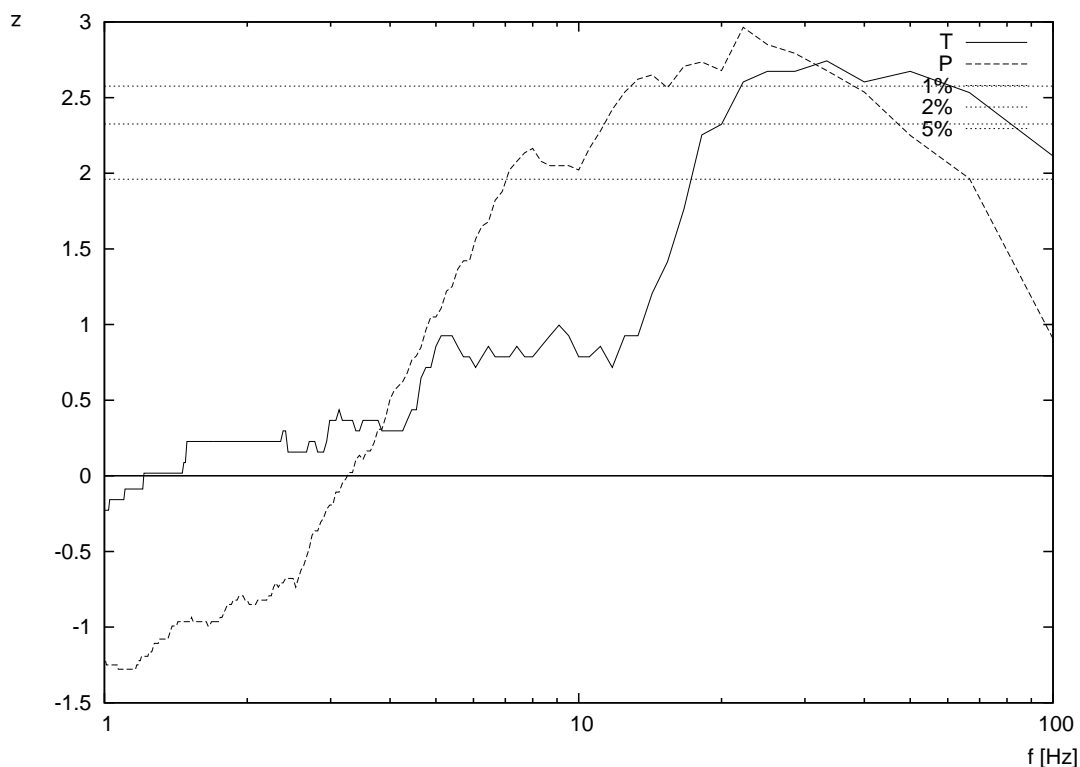
Rysunek 3: Statystyczna istotność różnic w wartości p_{dir} , zabieg palidotomii.



Rysunek 4: Statystyczna istotność różnic w wartości p_{dir} , zabieg talamotomii.

Porównując wykresy dla palidotomii i talamotomii (Rys. 3 i 4), widać różny charakter tych zabiegów i skierowanych na nie pacjentów. Porównując drgania przekraczające 5° zmianę kierunku (a zatem niemal wszystkie drgania, również te bardzo niewielkie) widać, że zabieg talamotomii spowodował tu dużo istotniejsze zmniejszenie liczby drgań (szczególnie o wyższych częstotliwościach, por. Rys. 10), niż zabieg palidotomii, zatem ruch piórka po zabiegu stał się szybszy i płynniejszy. Jeśli chodzi o silniejsze drgania (wyższy próg kąta), dla wysokich częstotliwości próbkowania oba zabiegi przyniosły bardzo znaczącą poprawę.

Rysunek 5 pokazuje wartości statystyki w teście Wilcoxona dla uśrednionych wartości zmian kąta (bez progowania). I tutaj widać, że oba zabiegi powodują eliminację drżenia o wyższych częstotliwościach.



Rysunek 5: Statystyczna istotność różnic w wartości p_{dir}^* , zabiegi palidotomii i talamotomii.

3 Metoda wyznaczania zmienności prędkości ruchu, p_{vel}

W metodzie tej postępujemy analogicznie do metody wyznaczania p_{dir} , z tym, że liczymy długości kolejnych odcinków jakie pokonało piórko (przy stałej częstotliwości próbkowania tabletu, długości odpowiadają prędkościom) i dla dwóch kolejnych odcinków wyznaczamy stosunek krótszego do dłuższego (mniejszej do większej prędkości). Jest to zatem miara przyspieszenia chwilowego. Podobnie jak poprzednio, zliczamy takie sytuacje, w których ten stosunek jest mniejszy od zadanego progu (zatem prędkość zmieniła się o więcej, niż uznajemy za dopuszczalne; stosunek 0.5 odpowiada dwukrotnej różnicy długości). Tak jak poprzednia metoda, i ta ma dwa parametry: $p_{vel}(f, velocity_ratio_threshold)$.

Odległość między dwoma punktami A i B wynosi $dist(p_A, p_B)$. Odległość ta jest miarą prędkości przy założeniu stałej częstotliwości próbkowania. Oznaczmy $vel(t) = dist(p_t, p_{t+\Delta t})$.

Zmiana prędkości dla punktu zarejestrowanego w chwili t ,

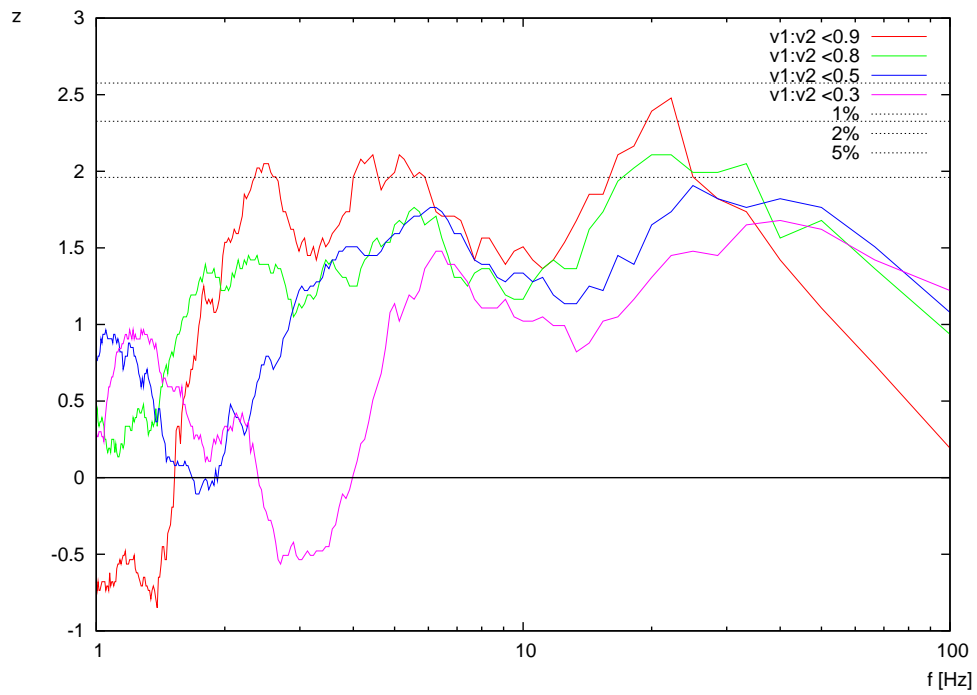
$$vel_change^*(t) = \frac{\min(vel(t), vel(t + \Delta t))}{\max(vel(t), vel(t + \Delta t))}$$

Wykrywanie zmian prędkości przekraczających $velocity_ratio_threshold$,

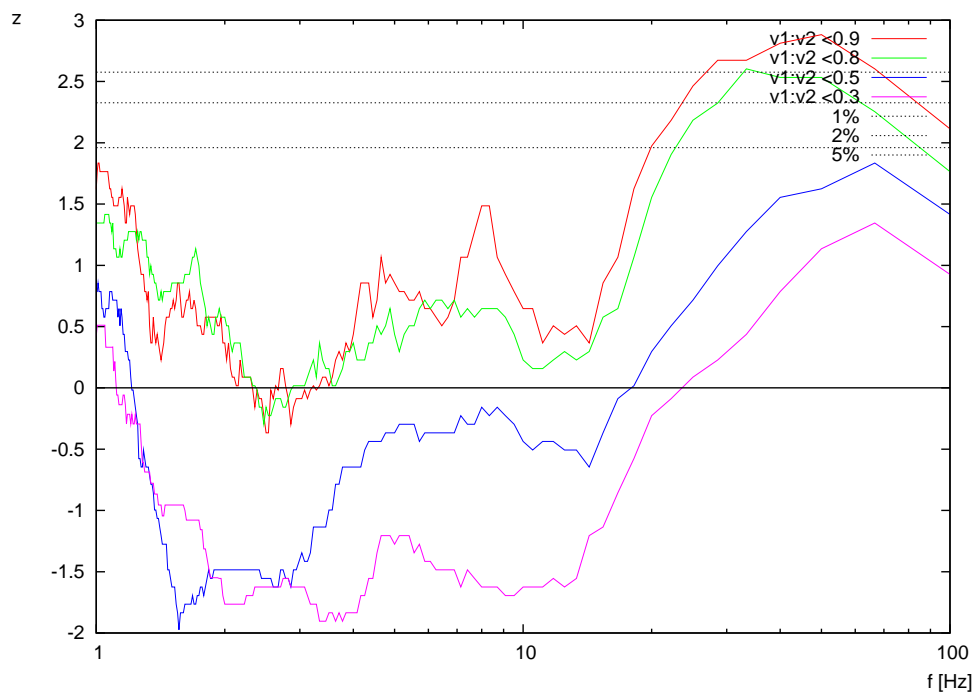
$$vel_change(t, velocity_ratio_threshold) = \begin{cases} 1 & \text{if } vel_change^*(t) < velocity_ratio_threshold, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Rysunki 6 i 7 pokazują, że zarówno zabieg palidotomii jak i talamotomii spowodował ograniczenie zmian prędkości (a więc ustabilizował prędkość) ruchu piórka. W przypadku talamotomii, dla wyższych częstotliwości próbkowania, różnica w prowadzeniu piórka przed i po zabiegu jest radykalna.

Można również zauważyć, że zabieg talamotomii zdecydowanie wyeliminował zmiany prędkości wyłącznie o wyższych częstotliwościach, podczas gdy palidotomia ograniczyła (choć słabiej niż talamotomia) zarówno częste zmiany prędkości (tzn. te o dużej częstotliwości), jak i te rzadsze (powolniejsze). Zatem dla palidotomii prędkość ustabilizowała się w szerszym zakresie częstotliwości próbkowania, choć nie tak radykalnie, jak po talamotomii dla wysokich częstotliwości.



Rysunek 6: Statystyczna istotność różnic w wartości p_{vel} , zabieg palidotomii.



Rysunek 7: Statystyczna istotność różnic w wartości p_{vel} , zabieg talamotomii.

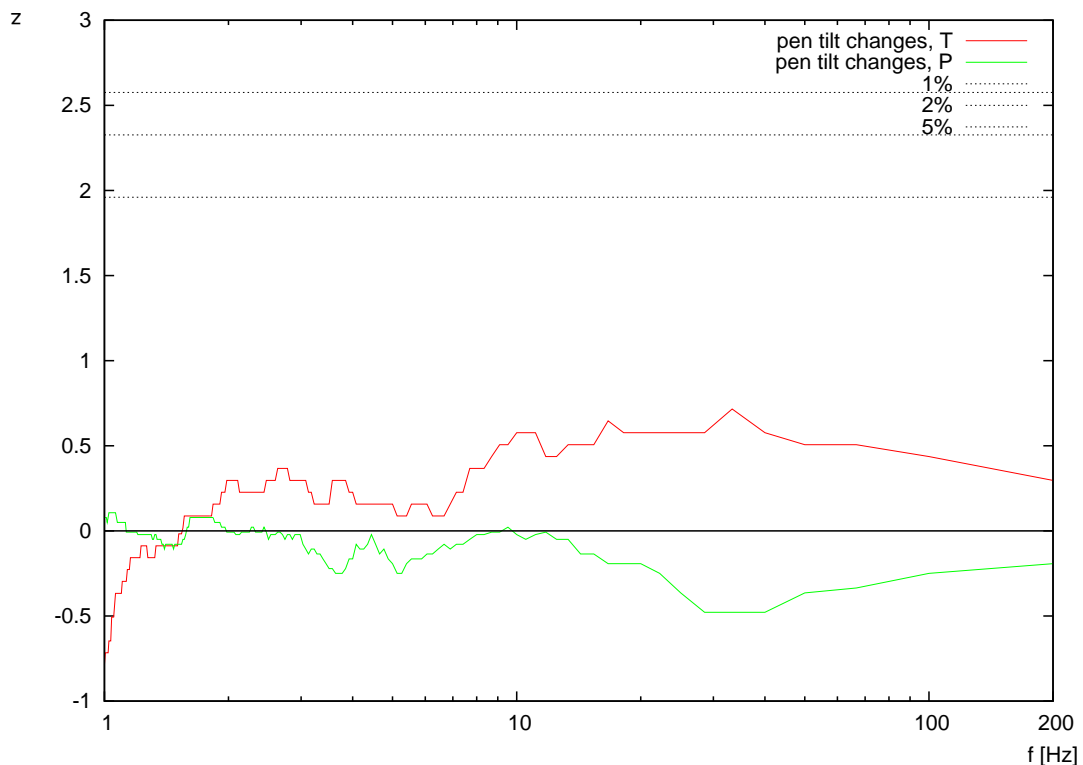
4 Metoda wyznaczania zmienności nachylenia piórka, p_{tilt}

Metoda ta mierzy wahania w nachyleniu piórka względem płaszczyzny tabletu. Choć wydawała się dobra jako metoda dyskryminacji pacjentów przed i po zabiegu na niewielkim zbiorze danych, przy zastosowaniu do całości danych okazała się słabym dyskryminatorem (Rys. 8).

Wartość p_{tilt} jest tu zwykłą średnią z różnic poszczególnych wartości nachylenia – metoda nie ma innych parametrów oprócz częstotliwości próbkowania, f . Zastosowanie progowania (jak to miało miejsce w metodach p_{dir} i p_{vel}) po to, by odciąć „normalne” zmiany i skupić się na zmianach nachylenia przekraczających normę, mogłoby nieco polepszyć siłę dyskryminacji tej metody.

Ponieważ dla niższych częstotliwości f następuje „przeskakiwanie” kolejnych próbek, liczymy wtedy różnicę w nachyleniu piórka w dwóch momentach odległych w czasie, nie zwracając uwagi na wartości nachylenia pomiędzy nimi – następuje utrata informacji. Dlatego też najbardziej miarodajna jest wartość dla $f = 200$ Hz – jak widać, nie ma tu istotnych różnic pomiędzy grupami pacjentów przed i po zabiegu.

Wstępne eksperymenty nie ujawniły też różnic dla azymutu nachylenia piórka (czyli kierunku pochylenia względem „północy”).



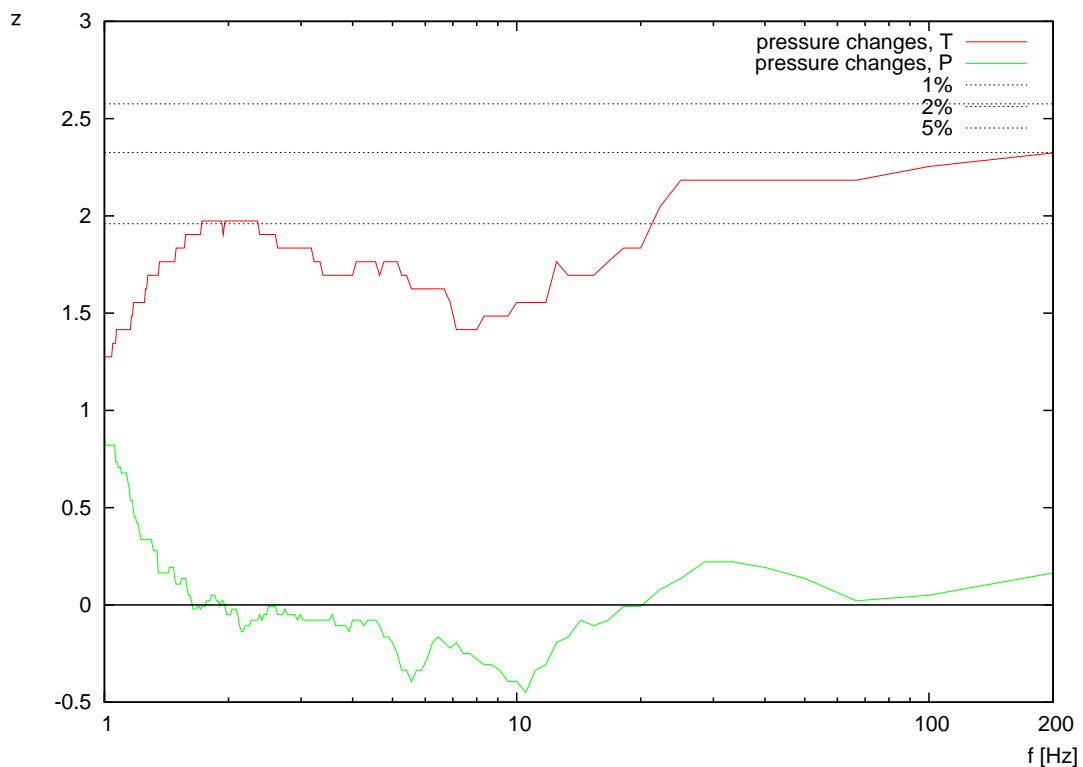
Rysunek 8: Znikoma statystyczna istotność różnic w wartości p_{tilt} , zabiegi palidotomii i talamotomii.

5 Metoda wyznaczania zmienności nacisku piórka, $p_{pressure}$

Metoda ta mierzy wahania w sile nacisku piórka na płaszczyznę tabletu (Rys. 9). Analogicznie jak dla p_{tilt} , uważamy że zmiany w $p_{pressure}$ mogą być bardziej niezależne od

kształtu rysowanych figur niż drgania w rysowanym konturze. Wartość $p_{pressure}$ była tu zwykłą średnią z różnic poszczególnych wartości nachylenia. Uwaga o tym, że najbardziej miarodajne są wartości dla $f = 200$ Hz obowiązuje również dla tej metody. Widzimy, że po zabiegu talamotomii nastąpiło istotne ograniczenie drgań pionowych piórka.

Szczególnie dla tej metody widać, że na podstawie wartości statystyki z możliwe jest rozróżnienie, jaki rodzaj zabiegu wykonano. Poprzednio opisane metody i pokazane dla nich wykresy ujawniają efekty zabiegu zależne od częstotliwości próbkowania.



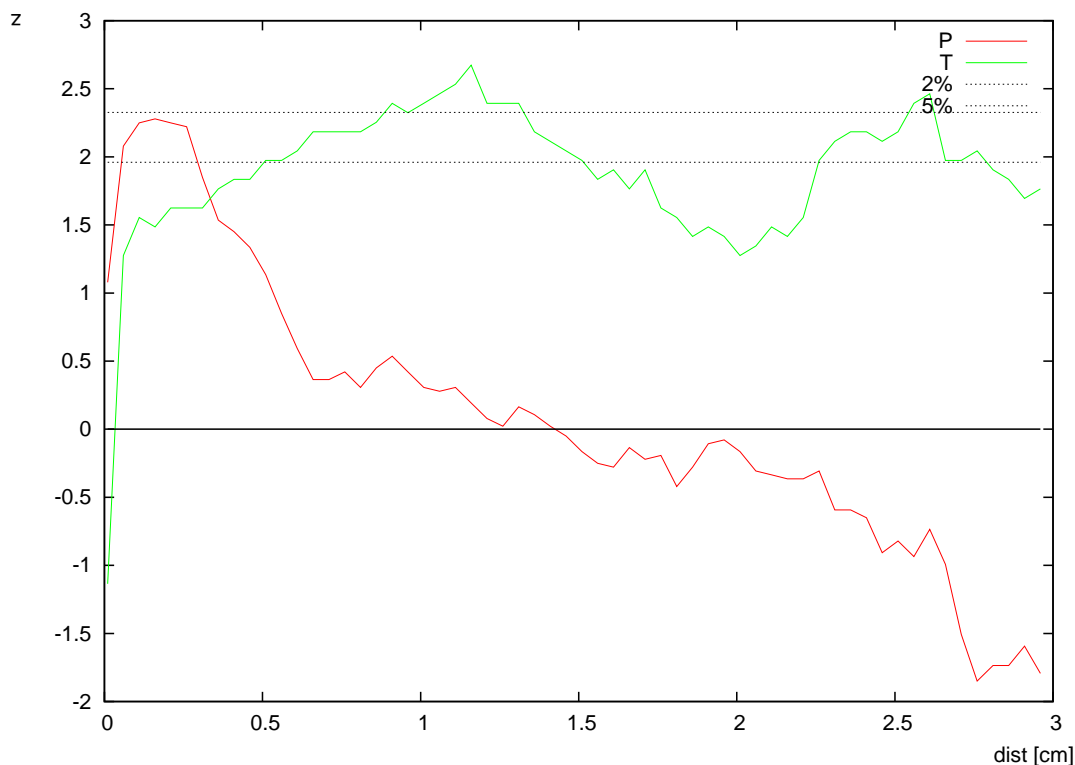
Rysunek 9: Statystyczna istotność różnic w wartości $p_{pressure}$, zabiegi palidotomii i talamotomii.

6 Metoda wyznaczania gładkości krzywej ruchu, p_{smooth}

Aby wyznaczyć $p_{smooth}(dist)$, przybliżamy kolejne punkty (pozycje piórka) wielomianem stopnia drugiego po to, by oszacować odległość faktycznych punktów od wygładzonej krzywej regresji. Jeśli zarejestrowane ruchy piórka mają łagodny charakter, punkty będą położone blisko gładkiej krzywej. Jeśli ruchy były gwałtowne i kanciaste, ich odległości od wygładzonej krzywej wzrosną.

Do wyznaczenia krzywej regresji wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów (tzn. metodę minimum sumy kwadratów błędów). Jako miarę odległości punktów od krzywej przyjęto współczynnik determinacji R^2 . Ścisłej mówiąc, aby zachować konwencję „im więcej drgań, tym większa wartość oceny rysunku”, obliczamy średnią z $(1 - R^2)$.

Jedynym parametrem tej metody, $dist$, określa odległość jaką musiało pokonać piórko, by ocenić fragment narysowanej krzywej (Rys. 10). Przy małych odległościach dokonujemy regresji dla wielu krótkich fragmentów rysunku; przy dużych – dla długich fragmentów składających się z większej liczby punktów.



Rysunek 10: Statystyczna istotność różnic w wartości $p_{smooth}(dist)$, zabiegi palidotomii i talamotomii. Na osi poziomej parametr metody $dist$.

Sprawdzono dwie odmiany działania progu odległości: (A) próg dotyczył sumarycznej odległości jaką pokonało piórko, i (B) próg dotyczył odległości pomiędzy parą punktów. W podejściu (A) fragmenty aproksymowane krzywą to fragmenty rysunku dla których piórko pokonało odległość większą niż $dist$. W podejściu (B) fragmenty aproksymowane krzywą to fragmenty rysunku dla których końcowy punkt fragmentu oddalił się o więcej niż $dist$ od początkowego punktu fragmentu. Zamieszczone wykresy dotyczą podejścia (B), które dało nieznacznie lepsze wyniki od podejścia (A).

Jak widać, zabieg talamotomii spowodował wygładzenie ruchu piórka – zarówno dla krótkich (małych) wygięć rysowanego konturu (poniżej 1cm) jak i dłuższych (powyżej 2cm). Z kolei zabieg palidotomii wyeliminował jedynie niewielkie drgnięcia – rysowana przez pacjentów po zabiegu linia była pozbawiona niewielkich oscylacji (poniżej pół cm), natomiast większe (łagodniejsze) oscylacje pozostały, a nawet się nasiliły.

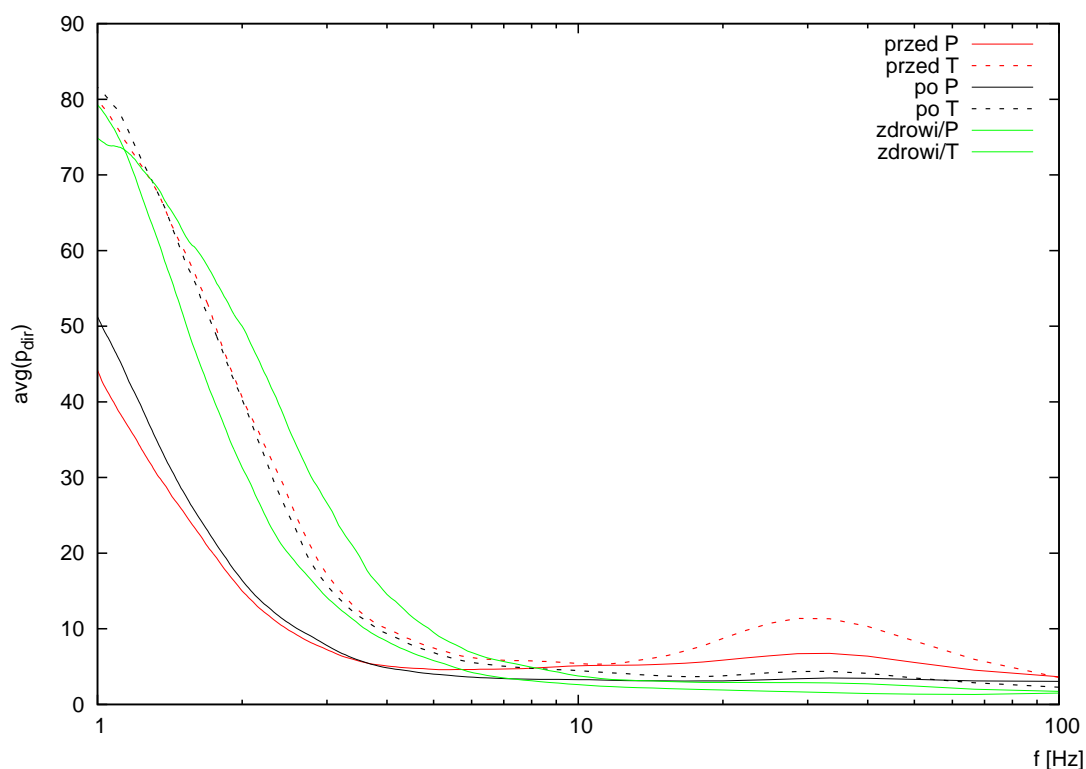
7 Porównania średnich oraz rezultaty dla grupy kontrolnej

W poprzednich rozdziałach badano różnice w wartościach parametru ruchu piórka dla osób przed i po zabiegu. W tym rozdziale pokazujemy uśrednione wyniki dla poszczególnych grup pacjentów (przed i po zabiegu, a także dla odpowiednich grup kontrolnych). Ponieważ porównujemy tu grupy pacjentów z grupami osób zdrowych, nie możemy użyć testów dla par obserwacji, a jedynie dla średnich w próbie. Następuje zatem duża utrata informacji, a testy statystyczne operujące na średnich, w obliczu dużego zróżnicowania poszczególnych pacjentów, nie są w stanie wykazać istotnych różnic.

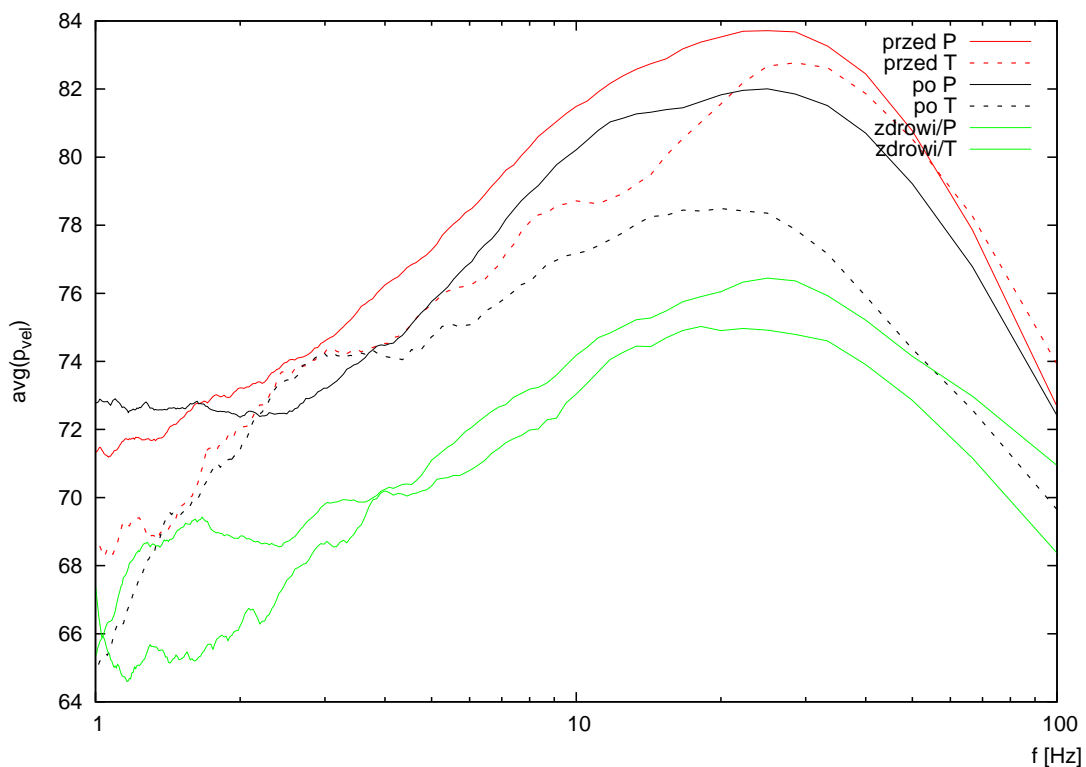
7.1 Metody p_{dir} , p_{vel} i p_{smooth}

Uśrednione wartości parametrów ruchu pokazane na rysunkach od 11 do 13 są wysoce niedoskonałą metodą wizualizacji wyników. Rezultaty uzyskane dla poszczególnych pacjentów są bardzo zróżnicowane (por. Rys. 1 i 2), dlatego też sens ma przede wszystkim porównywanie wyników parami (tzn. każdy pacjent przed i po zabiegu). Silne zróżnicowanie rezultatów pomiędzy poszczególnymi pacjentami ilustruje Rys. 14, na którym naniesiono odchylenia standardowe dla jednej z grup – jak widać, są one bardzo duże. Z tego powodu, porównywanie średnich wyznaczonych dla całych grup pacjentów (grupa przed zabiegiem, grupa po zabiegu, grupa kontrolna) nie jest celowe.

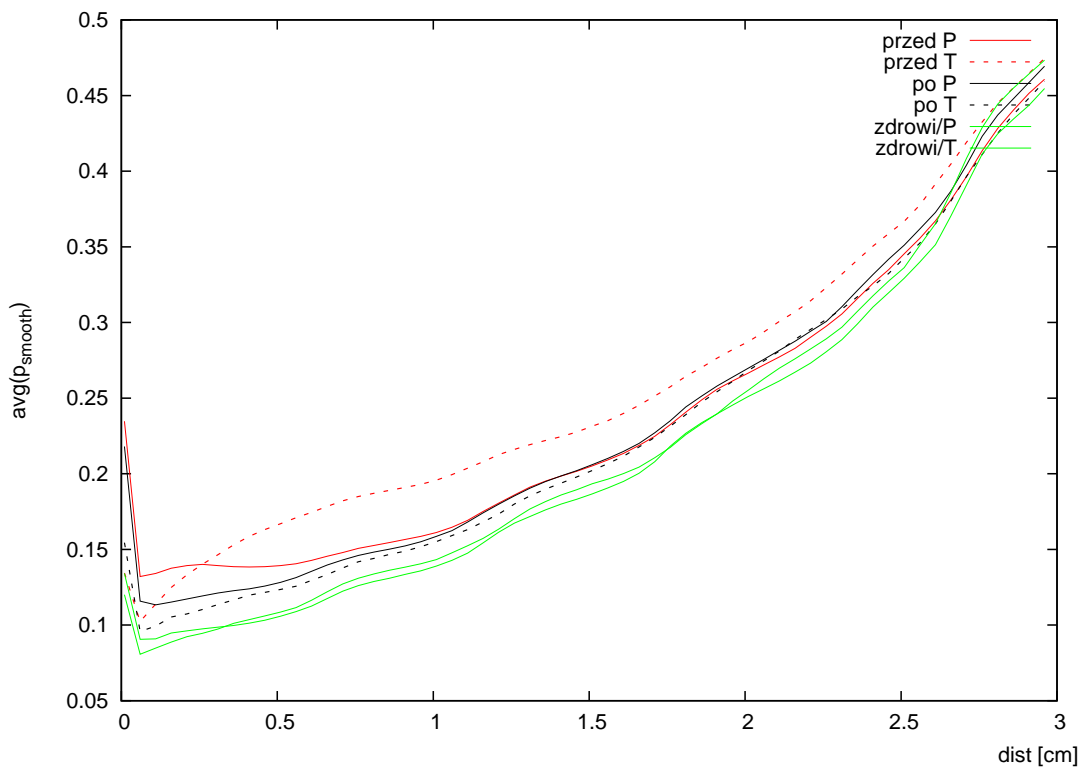
Pomimo dużego zróżnicowania indywidualnych wyników poszczególnych pacjentów, dla niektórych parametrów ruchu i zakresów częstotliwości próbkowania widać wyraźne trendy nawet wśród rezultatów uśrednionych. I tak, na Rys. 11 dla $f > 10$ Hz oraz na Rys. 13 dla $dist < 1000$, najmniejsze drgania (uśrednione po całej grupie badanych) zostały wyznaczone u osób zdrowych, trochę większe – u pacjentów po zabiegach palidotomii i talamotomii, a największe – u tych samych pacjentów przed wykonaniem zabiegu. Również Rys. 12 pokazuje wyraźne różnice pomiędzy osobami zdrowymi a pacjentami, oraz uwidacznia spadek drgań po zabiegu zarówno palidotomii, jak i talamotomii.



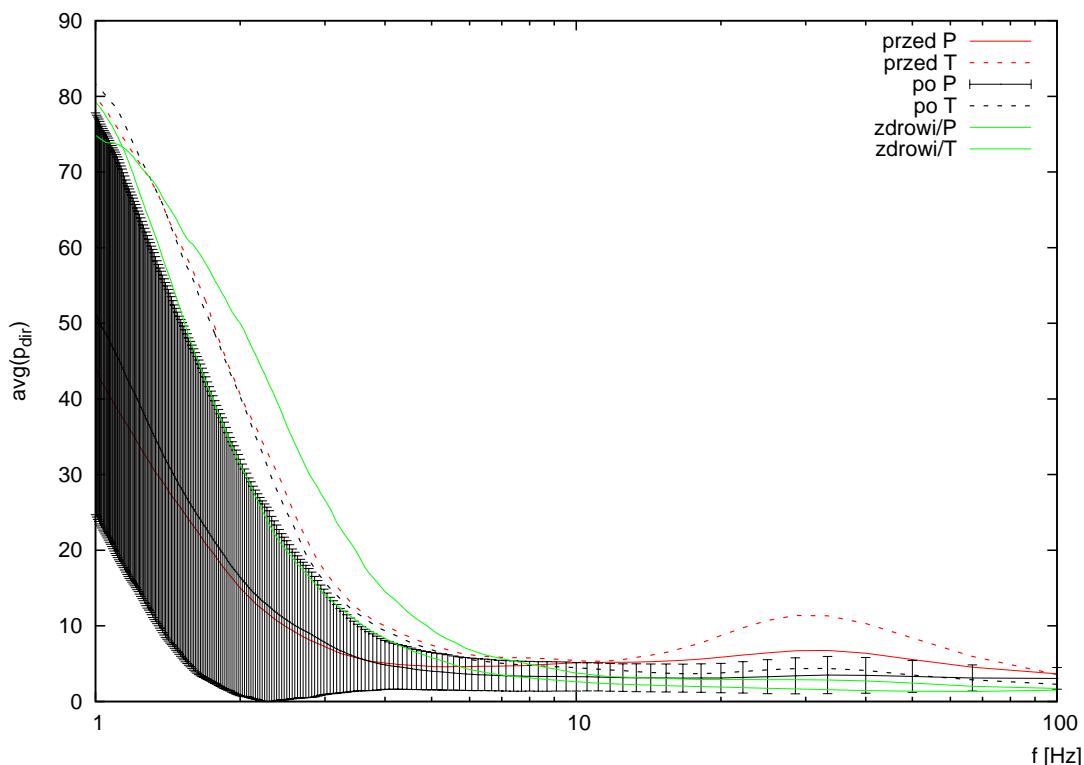
Rysunek 11: Uśrednione po wszystkich pacjentach w ramach grup wartości p_{dir} dla progu kąta 60° .



Rysunek 12: Uśrednione po wszystkich pacjentach w ramach grup wartości p_{vel} dla progu stosunku prędkości 0.9.



Rysunek 13: Uśrednione po wszystkich pacjentach w ramach grup wartości p_{smooth} .

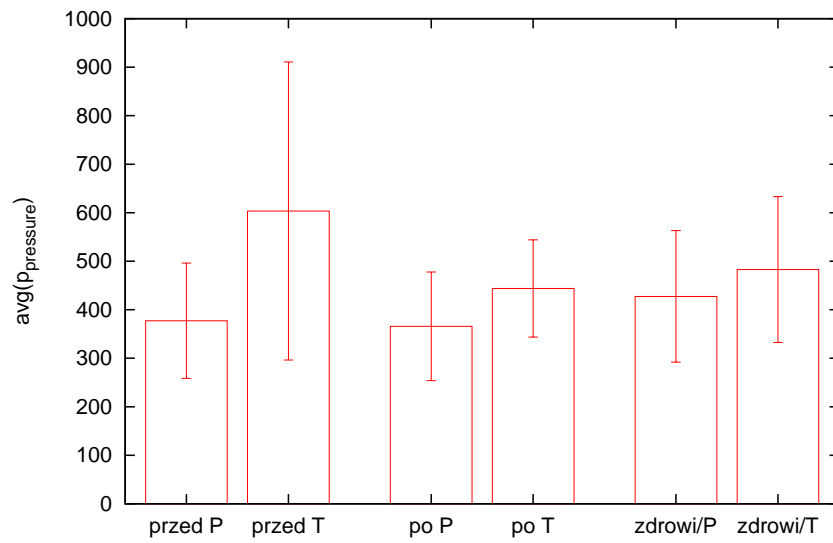


Rysunek 14: Uśrednione po wszystkich pacjentach w ramach grup wartości p_{dir} dla progu kąta 60° . Ten rysunek jest identyczny z Rys. 11, pokazano jedynie odchylenia standardowe w ramach grupy pacjentów po zabiegu palidotomii.

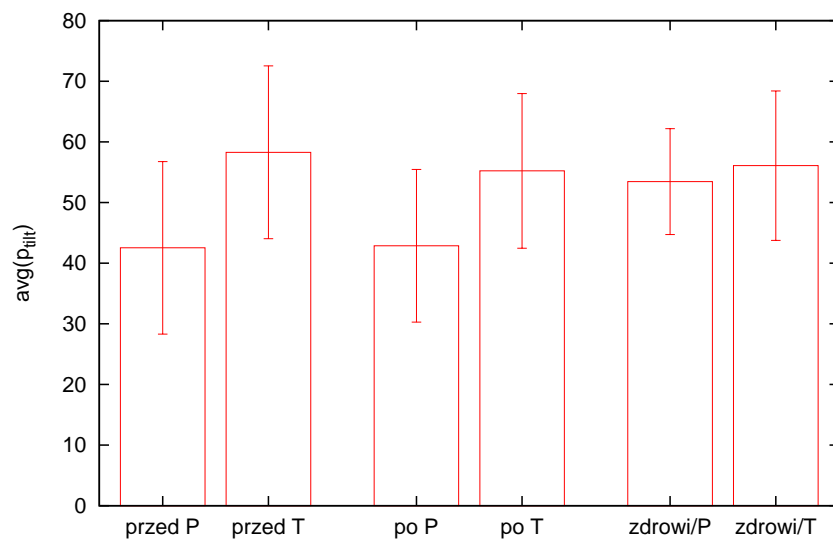
7.2 Metody $p_{pressure}$ i p_{tilt}

Pomijając wysokie wartości odchyłeń standardowych o których była już mowa wcześniej, z rysunków 15 i 16 można wyciągnąć następujące wnioski:

- Dla $p_{pressure}$ który odzwierciedla drżenie pionowe piórka, pacjenci skierowani na zabieg palidotomii przejawiają słabsze drżenia niż osoby zdrowe (trzymają sztywniej piórko), a sam zabieg nie zmienia tej sytuacji. Grupa pacjentów skierowana na zabieg talamotomii była bardziej zróżnicowana i średnio cechowała się silniejszymi pionowymi drganiami. Zabieg upodobnił charakter tej grupy pacjentów do grupy osób zdrowych (podobna średnia i niskie odchylenie standardowe). Por. Rys. 9.
- Dla p_{tilt} który odzwierciedla zmiany nachylenia piórka, pacjenci skierowani na zabieg palidotomii trzymają sztywniej piórko niż osoby zdrowe, a sam zabieg nie zmienia tej sytuacji – podobnie jak dla opisanego wyżej $p_{pressure}$. Natomiast grupa pacjentów skierowana na zabieg talamotomii już przed zabiegiem przypomina grupę osób zdrowych (podobna średnia i niskie odchylenie standardowe); zabieg nie zmienia charakteru tej grupy. Por. Rys. 8.



Rysunek 15: Uśrednione po wszystkich pacjentach w ramach grup wartości $p_{pressure}$.



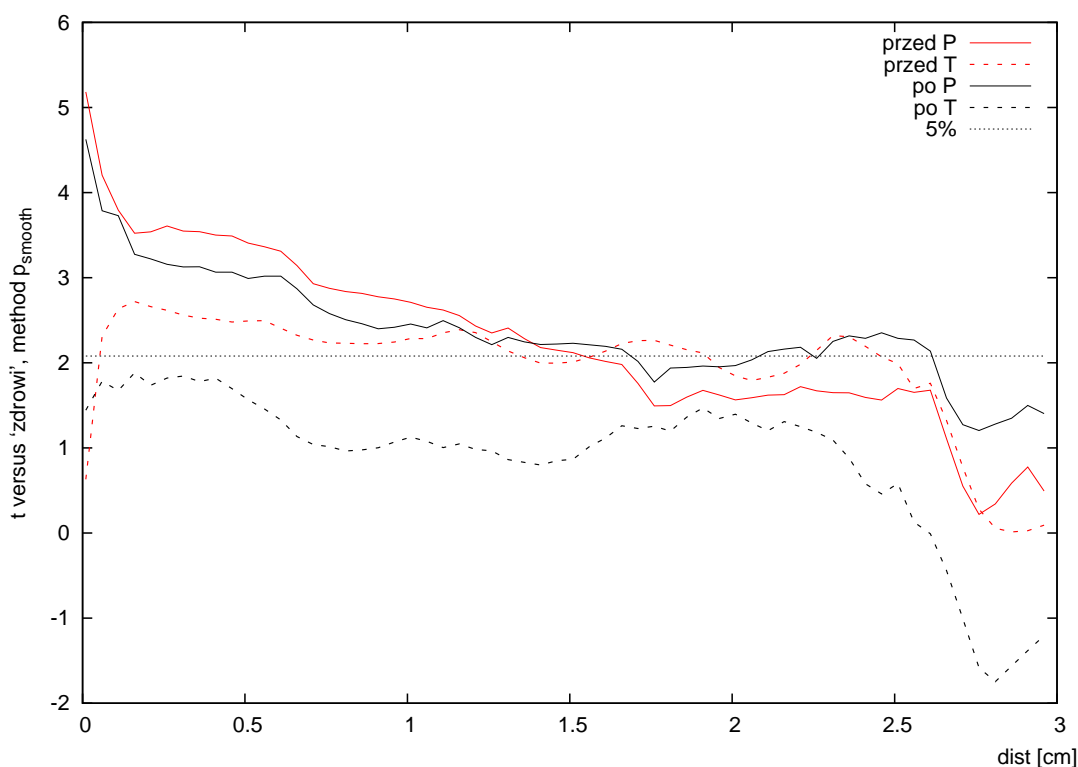
Rysunek 16: Uśrednione po wszystkich pacjentach w ramach grup wartości p_{tilt} .

7.3 Statystyczna istotność różnic średnich z parametru p_{smooth} w grupach osób chorych i zdrowych

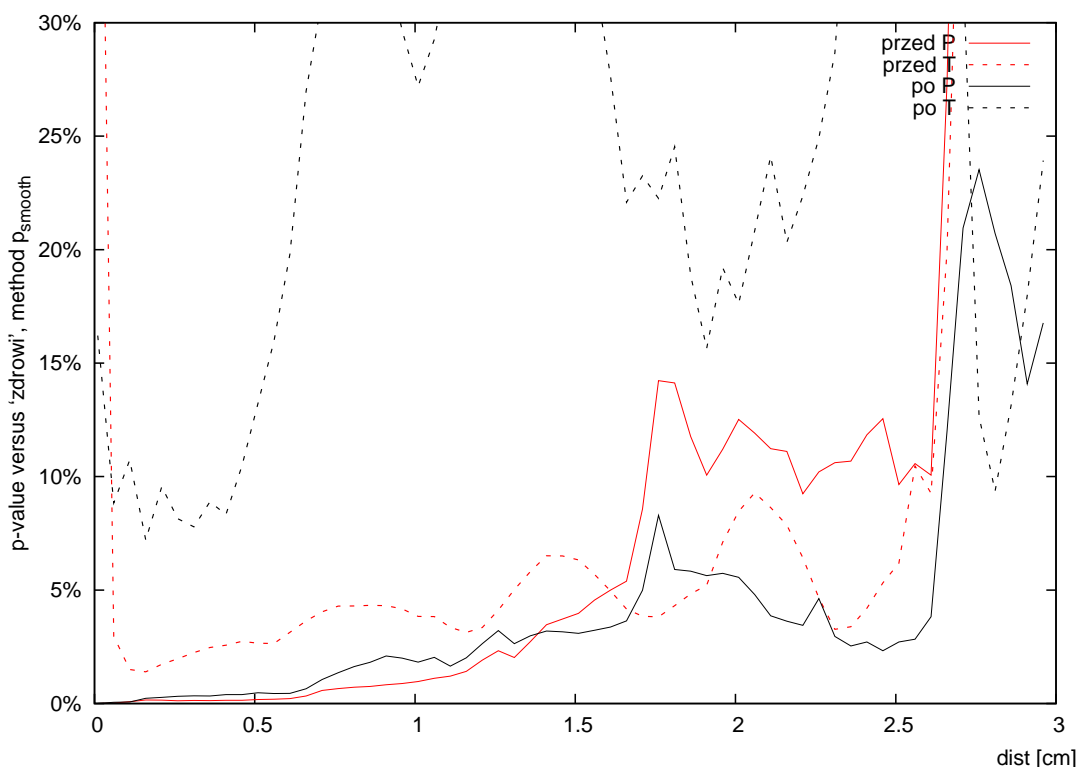
Dla metody p_{smooth} przeprowadzono Welch t-test porównując grupy pacjentów przed i po zabiegach palidotomii i talamotomii z odpowiednimi grupami kontrolnymi osób zdrowych (por. Rys. 13). Rysunek 17 podsumowuje otrzymane wartości statystyki t , a Rys. 18 – otrzymane p-value.

Dla palidotomii, zarówno przed jak i po zabiegu grupy pacjentów różniły się od osób zdrowych dla małych zakrzywień w rysowanym konturze (do 1–1.5cm), natomiast nie różniły się dla łagodniejszych zakrzywień.

Natomiast przy talamotomii, o ile przed zabiegiem grupa pacjentów różniła się statystycznie istotnie od grupy kontrolnej ($p < 5\%$ dla $dist < 1$ cm), o tyle po zabiegu pacjenci nie różnili się od grupy kontrolnej dla takich niewielkich zakrzywień w rysowanym konturze. Również dla łagodniejszych zakrzywień widoczna jest różnica (efekt zabiegu), choć tu grupa pacjentów przed zabiegiem talamotomii upodabnia się do grupy osób zdrowych.



Rysunek 17: Porównanie średnich – grupy pacjentów i grupy zdrowych, metoda p_{smooth} i wartość statystyki t . Linia $t = 2.08$ dla $p = 5\%$ jest orientacyjna: faktycznie zależy ona od liczby stopni swobody czyli liczności prób (a ta była różna dla obu zabiegów), a także – w stosowanym teście statystycznym – od wariacji w próbach. Wartość t dla $p = 5\%$ waha się od 2.02 do 2.15.



Rysunek 18: Porównanie średnich – grupy pacjentów i grupy zdrowych, metoda p_{smooth} i graniczna wartość p .

8 Wnioski i uwagi

Stosunkowo proste metody opisane w niniejszym artykule potrafią w statystycznie istotny sposób dyskryminować pacjentów przed i po zabiegu. Liczbowe wyznaczenie nasilenia drżenia ręki w szerokim spektrum częstotliwości stwarza duży potencjał do dalszych, znaczących badań, na przykład w celu odkrycia powiązań między drzeniem ręki o różnych częstotliwościach, a różnego rodzaju uszkodzeniami mózgu lub charakterystyką pacjenta.

Jeśli wiedzielibyśmy na jakie częstotliwości (lub zakresy częstotliwości) należy zwrócić szczególną uwagę, można by wykorzystywać opisane metody do określania skuteczności wykonanych zabiegów, a zatem do weryfikacji efektów przeprowadzonej operacji.

Uzyskane wyniki mogą być w pewnym stopniu zaburzone przez niedoskonałe dane. Niektórzy pacjenci podczas testu robili przerwy, unosili piórko na dłuższy okres czasu, usiłowali mazać narysowany kontur lub rysować go od nowa, itp. Na szczęście, tego typu zaburzenia stosunkowo słabo wpływają na podstawowe parametry ruchu, a takie właśnie parametry były wyznaczone przez metody zaproponowane w niniejszej pracy.

W tym artykule opisano jedynie podstawowe wnioski płynące z analizy pozyskanych danych. Wyniki te powinny być dalej przeanalizowane przez eksperta znającego dziedzinę prowadzonych badań medycznych.

8.1 Dalsze eksperymenty

Interesujące byłoby przede wszystkim przeprowadzenie eksperymentów na większej liczbie danych, a także wprowadzenie informacji kontekstowej (np. podział na różne figury) i zbadanie zmienności zaproponowanych parametrów ruchu w poszczególnych kontek-

stach (np. w ramach określonych figur: okręgi, spirale, kwadraty, itp.). Takie eksperymenty można byłoby wykonać najsprawniej, gdyby wyekstrahowane fragmenty (np. figury) były zapisane w osobnych plikach w formacie zgodnym z htd/mtb. Dopóki takie doświadczenie nie zostanie wykonane, nie wiadomo jakie znaczenie mają poszczególne figury we wzorze rysowanym przez pacjentów, bowiem badamy jedynie wartości parametrów ruchu uśrednione po całym rysunku.

8.2 Uwagi techniczne

Metoda wyznaczania p_{smooth} , ze względu na złożoność obliczeń, trwała kilkadziesiąt razy dłużej od metod p_{dir} i p_{vel} , które z natury są bardzo proste. Oznacza to, że dla metody p_{smooth} przetworzenie wszystkich plików dla wszystkich wartości parametru zajmowało kilka godzin (procesor $\approx 1.8\text{GHz}$), choć możliwe jest zoptymalizowanie kodu źródłowego i przyspieszenie tych obliczeń. Z kolei metody p_{dir} i p_{vel} są nieco bardziej złożone od metod $p_{pressure}$ i p_{tilt} – te ostatnie są wręcz trywialne.

Wszystkie opisane metody są zaimplementowane w języku java jako programy command-line. Są przenośne na różne systemy operacyjne i nadają się do wykorzystania wsadowego jako część innego systemu, lub mogą współpracować z innymi modułami. To samo dotyczy także reszty środowiska (rysowanie wykresów, statystyki) wykorzystanych przy tworzeniu niniejszego artykułu.

W drugiej części raportu [2] opisano przykład aplikacji, która wykorzystuje podobne metody ilościowej oceny nasilenia drgań ręki oraz prowadzi zarówno akwizycję danych, jak i obliczenia na tym samym, ogólnodostępnym urządzeniu mobilnym.

Literatura

- [1] Gorzelanczyk E. J., Jelonek J., Harat M., Lenart-Jankowska D., and Olzak M. Objective test of tremors in patients with Parkinson's disease. *Eur. J. Neurol.*, 10(Suppl 1), 2003.
- [2] Maciej Komosinski. Mobile health: assessment of upper limb motor function via a drawing test on a mobile device. Research report RA-7/15, Poznan University of Technology, Institute of Computing Science, 2015. URL: <http://www.cs.put.poznan.pl/mkomosinski/research/parkinson-mobile-evaluation-app.pdf>.
- [3] Magdalena Olzak, Ilona Laskowska, Jacek Jelonek, Maciej Michalak, Adam Szolna, Julita Gryz, Marek Harat, and Edward Jacek Gorzelanczyk. Psychomotor and executive functioning after unilateral posteroventral pallidotomy in patients with Parkinson's disease. *Journal of the neurological sciences*, 248(1):97–103, 2006.