

**UNIWERSYTET MEDYCZNY IM. KAROLA MARCINKOWSKIEGO
W POZNANIU
WYDZIAŁ LEKARSKI II**



Agnieszka Nowik

**Wpływ bodźców słuchowych i wzrokowych
na czas reakcji, siłę odpowiedzi i
właściwości elektryczne skóry**

ROZPRAWA DOKTORSKA

**KATEDRA I ZAKŁAD BIOFIZYKI UNIWERSYTETU MEDYCZNEGO W
POZNANIU**

**KIEROWNIK: PROF. DR HAB. FELIKS JAROSZYK
PROMOTOR ROZPRAWY DOKTORSKIEJ: DR HAB. EWA MARZEC**

POZNAŃ 2011

Agnieszka Nowik – Wpływ bodźców słuchowych i wzrokowych na czas reakcji, siłę odpowiedzi i właściwości elektryczne skóry

Spis treści

Streszczenie	5
Abstract	7
1. Wprowadzenie	9
1.1. HISTORIA BADAŃ CZASÓW REAKCJI	10
1.2. DONDERS I JEGO METODA	11
1.3. METODA STERNBERGA	13
1.4. WPŁYW NATĘŻENIA BODŹCA NA RT	14
1.5. EFEKT VAN DER MOLENA-KEUSSA	16
1.6. MODEL ZASOBÓW ENERGETYCZNYCH	16
1.7. METODA SPEKTROSKOPII DIELEKTRYCZNEJ	18
2. Cel pracy	19
3. Materiały i metody badań	20
3.1. METODA CHRONOMETRYCZNA	20
<i>Bodźce wzrokowe</i>	22
<i>Bodźce słuchowe</i>	23
<i>Typ reakcji</i>	24
3.2. METODA SPEKTROSKOPII DIELEKTRYCZNEJ	24
3.3. ANALIZA STATYSTYCZNA	27
4. Wyniki	29
4.1. BADANIA PSYCHOFIZYCZNE	29
4.1.1 <i>Wyniki eksperymentów z zastosowaniem bodźców wzrokowych</i>	30
4.1.2 <i>Wyniki eksperymentów z zastosowaniem bodźców słuchowych</i>	46
4.2. BADANIA BIOIMPEDANCYJNE	60

5. Omówienie wyników	62
5.1 DYSKUSJA BADAŃ PSYCHFIZYCZNYCH.....	62
5.2. DYSKUSJA BADAŃ BIOIMPEDANCYJNYCH	66
6. Wnioski	67
7. Spis rysunków.....	69
8. Spis tabel	72
9. Spis symboli i skrótów.....	73
10. Literatura.....	75

Streszczenie

W omawianej rozprawie doktorskiej zastosowano metodę chronometryczną do zbadania wpływu natężenia bodźców wzrokowych i słuchowych na przetwarzanie informacji w mózgu. W tym celu na podstawie zmierzonej siły nacisku (F) wyznaczono trzy parametry psychofizyczne: czas reakcji (RT), siłę odpowiedzi (RF) i procent poprawnych odpowiedzi (PC). W czterech eksperymentach zbadano wpływ natężenia bodźców wzrokowych i słuchowych na RT, RF i PC.

Pomiary chronometryczne wykazały, że czas reakcji w funkcji natężenia bodźca wzrokowego i słuchowego ma charakter U-kształtnej krzywej dla reakcji z wyborem. Z kolei siła odpowiedzi dla bodźców wzrokowych i słuchowych rośnie wraz ze wzrostem wartości natężenia bodźca i nie zależy od typu reakcji. Natomiast procent poprawnych odpowiedzi wzrasta wraz ze skróceniem czasu reakcji i nie zależy od typu reakcji.

Badania z dziedziny psychologii poznawczej rozszerzono dodatkowo o analizę wpływu natężenia bodźców słuchowych na bioimpedancję skóry ludzkiej czyli właściwości elektryczne in vivo. W tym celu zastosowano metodę spektroskopii dielektrycznej do zbadania skóry w obszarze szyi aby porównać wpływ tych bodźców na zmierzone parametry elektryczne z tymi otrzymanymi metodą chronometrii

Pomiary bioimpedancyjne wykazały, że wartości liczbowe przenikalności dielektrycznej i konduktywności dla skóry szyi, odzwierciedlają

mechanizmy polaryzacji dielektrycznej Maxwell-Wagner-Sillar (MWS) występującej w strukturach wielowarstwowych jaką jest skóra i przewodnictwa jonowego typowego dla wszystkich tkanek. Ponadto, po zadziałaniu bodźca wzrost przewodnictwa jonowego widoczny jest w całej skórze dla obu częstotliwości pola elektrycznego jako rezultat zwiększonej aktywności gruczołów potowych. Natomiast, gwałtowny wzrost przenikalności dielektrycznej po odłączeniu bodźca dla 50kHz może być rezultatem ustąpienia czynnika (silny bodziec słuchowy) powodującego wysoki poziom stresu u badanego.

Abstract

In this Ph.D. thesis, a chronometric method was used to study the effects of visual and auditory stimulus intensity on the information processing in the brain. To this end, on the basis of the measured pressure force (F) three psychophysical parameters were determined: reaction time (RT), response force (RF), and percent of correct responses (PC). In four experiments, the effects of auditory and visual stimuli intensity on RT, RF, and PC were measured.

Chronometric measurements showed that RT in the function of auditory and visual stimulus intensity has a u-shaped curve for choice reaction. Moreover, RF for auditory and visual stimuli increases with increase in stimulus intensity and does not depend on reaction type. However, PC increases with the shortening of RT and does not depend on reaction type.

Research from the area of cognitive psychology was, moreover, extended by additional analysis of the effects of auditory stimulus intensity on bioimpedance of the human skin, i.e., the electric properties in vivo. To this end, a dielectric spectroscopy method was used to study the skin in the neck area in order to compare the impact of this stimulus on the measured electric properties with these obtained with the chronometric method.

Bioimpedance measurements showed that the numerical values of dielectric permeability and conductivity for the neck skin reflect the mechanisms of Maxwell-Wagner-Sillar (MSW) dielectric polarization occurring in multilayer structures such as the skin, and ionic conductivity typical for all tissues. Moreover, after stimulus appearance, the increase in

ionic permeability can be detected for the whole skin for both frequencies of the electric field as a result of the increased activity of the sweat glands.

However, a rapid increase in the dielectric permeability after stimulus offset for 50kHz can be a result of a disappearance of the factor (a strong auditory stimulus) causing a high level of stress in a participant.

1. Wprowadzenie

Już w czasach starożytnych mózg wzbudzał zainteresowanie ówczesnych uczonych. Grecki lekarz, anatom i filozof Alkmeon¹ z Krotony podczas sekcji zwłok zaobserwował bezpośrednie połączenie gałek ocznych z mózgiem poprzez nerw wzrokowy. Wierzył on, iż doznania zmysłowe i myśli pojawiają się w mózgu [1]. Potwierdziło to wyniki badań jakie uzyskali wcześniej dwaj egipscy anatomowie Herofiles² i Erazystros³. Szereg wybitnych postaci nauki, czasów starożytnych (Hipokrates⁴, Platon⁵, Arystoteles⁶ oraz Galen⁷), podzielało i rozwijało pogląd o kontynuowaniu badań nad mózgiem. Jednak dopiero pod koniec XIX wieku można było zaobserwować największy rozwój „nauk o mózgu” (ang. neuroscience). Trudno sobie wyobrazić obecną psychofizykę bez odkryć Luigi Galvaniego⁸, Gustava Fechnera czy Franciscusa C. Dondersa.

¹ Alkmeon z Krotony (VI–V w. p.n.e.), gr. lekarz, anatom i filozof; współczesny Pitagorasowi; autor dzieła o przyrodzie; zdrowie jest wg niego równowagą przeciwnych sobie jakości, choroba — panowaniem jednej z nich; poglądy Alkmeona stanowiły zarys teorii humoralnej, oprac. potem przez Hipokratesa

Herfilos (ur. 320 p.n.e.) grecki anatom podzielił nerwy na 2 grupy a) czuciowe i b) ruchowe.

² Erazystros (304-25 p.n.e.) jako anatom opracowała podział mózgu na 2 części mózg (dużą) oraz mózdzek (małą), twierdził również iż istnieje wprost proporcjonalna zależność między ilością bruzd a wyższością umysłową człowieka nad pozostałymi istotami żywymi.

³ Hipokrates (ok. 460-377 p.n.e.) „Trzeba wiedzieć, że z mózgu samego płyną nasze przyjemności, radość śmiech i wesołość, a także nasze smutki, bóle żalości i łzy (...) twierdzą, że mózg jest interpretatorem świadomości”

⁴ Platon (428-348 p.n.e.) podzielał zdanie Hipokratesa iż siedliskiem myśli jest mózg.

⁵ Arystoteles (384-322 p.n.e.) w prawie powrócił do teorii jakby serce było siedliskiem myśli, ale przy tym twierdził, iż myśli są zjawiskiem fizycznym a zatem, badając ciało można też zbadać myśli

⁶ Galen (129-199 n.e.) grecko-rzymski lekarz, ojciec fizjologii doświadczalnej.

⁸ Luigi Galvani (1737-1798) Włoski lekarz, fizyk i fizjolog. Od 1763 roku był profesorem Uniwersytetu w Bolonii. Był prekursorem badań elektrofizjologicznych. W 1786 roku dokonał słynnego odkrycia, że przy jednoczesnym dotknięciu mięśnia wypreparowanej kończyny żaby dwoma różnymi metalami - połączonymi ze sobą jednym końcem - mięsień kurczy się. Natomiast w 1794 roku doświadczeniem polegającym na wywołaniu skurczu mięśnia

To właśnie Gustaw Fechner w 1850 roku sformułował swoje prawo tłumaczące zależność pomiędzy fizycznymi parametrami bodźca a reakcją na nie takich zmysłów jak wzrok czy też słuch (subiektywne wrażenie natężenia bodźca). Prawo to mówi, iż doznanie zmysłowe zmienia się wprost proporcjonalnie do logarytmu natężenia bodźca. Prawo Fechner było wielkim przełomem w rozwoju psychologii eksperymentalnej.

1.1.Historia badań czasów reakcji

Z czasem, gdy wiedza na temat mózgu i jego funkcji poszerzała się, pojawiały się coraz to nowsze pytania. Poszukiwanie na nie odpowiedzi przyczyniło się znacząco do rozwoju psychologii poznawczej, w szczególności jednej z jej dziedzin, zajmującej się pomiarami czasów reakcji (ang. *reaction time*), nazwanej przez Michaela Posnera [2;3] chronometrią umysłową (ang. *mental chronometry*).

Chronometria umysłowa ma na celu interpretację procesów zachodzących w mózgu podczas przetwarzania informacji o bodźcu na podstawie rejestrowanych zmian czasów reakcji.

Jednym z pierwszych badaczy czasów reakcji był Herman von Helmholtz⁹ [5], który wykazał, iż można zmierzyć szybkość przewodzenia impulsów czuciowych przez nerwy ("szybkość myśli"). Przeprowadził on szereg pomiarów prędkości przewodzenia impulsów wzdłuż włókna nerwowego

udowego żaby przez nałożenie nań przeciętego nerwu kulszowego. Ostatecznie udowodnił istnienie zjawisk elektrycznych w tkankach zwierzęcych.

⁹ Herman von Helmholtz (1821-1894) niemiecki uczyony i filozof, badając percepcję widzenia i słyszenia, wynalazł oftalmoskop – aparat służący do badania wnętrza oka przez źrenicę, oraz oftalmometr – aparat służący do wykrywania wad wzroku, co w późniejszej fazie korygowane jest za pomocą szkieł korekcyjnych[4].

żaby. Doświadczenia te polegały na pomiarze czasu pomiędzy momentem aplikacji bodźca (podrażnienie mięśnia) a momentem, w którym rejestrowano odpowiedź (skurcz tegoż mięśnia). Obliczona tą metodą prędkość przewodzenia impulsu wzdłuż włókna nerwowego żaby według Helmholtza wyniosła ok. 26m/s. Podobne doświadczenie przeprowadził u ludzi uzyskując prędkość 60m/s [6].

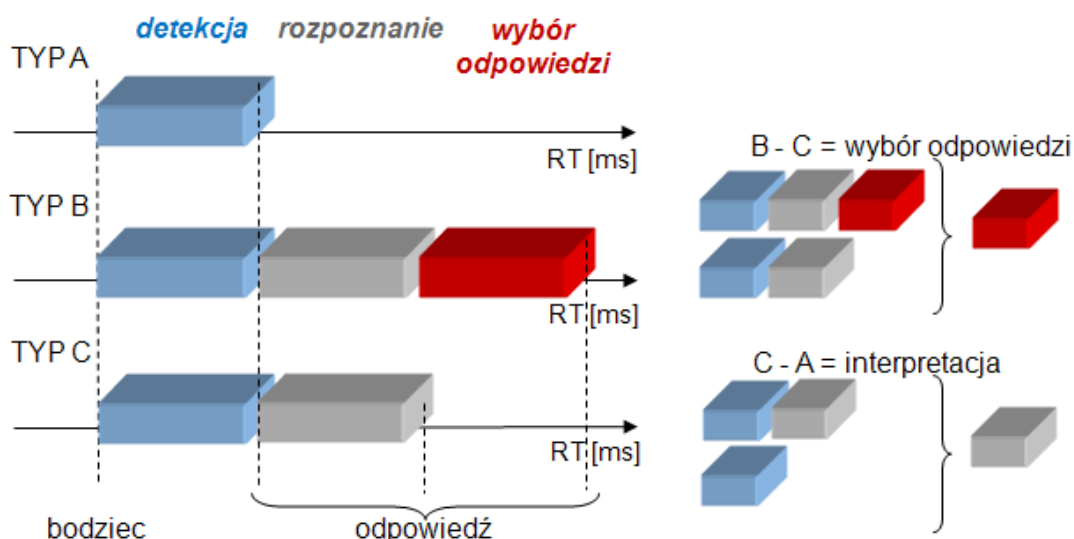
Mimo iż, celem tych badań było określenie jedynie fizycznego parametru, jakim jest prędkość rozchodzenia się pobudzenia w nerwach [7], to praca ta znacząco przyczyniła się do rozwoju doświadczeń prowadzonych nad funkcjami umysłowymi człowieka.

1.2. Donders i jego metoda

Od dawna jedną z popularniejszych wielkości fizycznych używanych w psychologii eksperymentalnej jest czas reakcji (RT), definiowany jako okres od zadziałania bodźca do ruchu kończyną będącego odpowiedzią na bodziec. Holenderski fizjolog Franciscus Cornelis Donders zwany „ojcem chronometrii umysłowej” [8] jako pierwszy podjął próby zastosowania pomiarów czasów reakcji do określenia czasu trwania procesów mózgowych [9]. Przyjął on, że RT odzwierciedla przebieg procesów mózgowych związanych z przetwarzaniem informacji o bodźcu takich jak: detekcja bodźca, rozróżnienie bodźca, podejmowanie decyzji przez badanego. Założył on również, iż transmisja bodźca wzdłuż włókien nerwowych trwa dużo krócej niż przetwarzanie w mózgu informacji o nim.

Donders dokonał podziału reakcji na bodziec, na trzy typy A, B i C (rys.

1). W reakcji typu A, dziś określanej mianem reakcji prostej, podczas trwania całego eksperymentu badany reaguje jak najszybciej na jeden bodziec w jeden określony sposób.



Rys. 1 Typy reakcji według Dondersa

W reakcji typu B, zwanej reakcją z wyborem, badany reaguje na dwa lub więcej różnych bodźców, przy czym ściśle określony sposób reakcji przyporządkowany jest do każdego z bodźców (np. prawa lub lewa ręka). Badany musi dokonać detekcji prezentowanego bodźca, następnie rozpoznania a w końcowym efekcie dokonuje selekcji odpowiedzi.

W reakcji typu C, zwanej reakcją dysjunktywną, badanemu prezentowane jest wiele bodźców, ale reaguje on tylko na jeden określony bodziec (np. reaguje na ; literę A mimo że wyświetlany jest cały alfabet). Badany musi najpierw dokonać detekcji prezentowanego bodźca, a następnie go

rozpoznać po to, aby zdecydować o udzieleniu odpowiedzi bądź też wstrzymaniu się od niej.

Różnicę w czasach reakcji pomiędzy reakcją prostą, a dysjunktywną Donders [10] tłumaczył jako czas potrzebny do interpretacji bodźca (rys. 1). Natomiast różnicę w czasach reakcji dysjunktywnej a reakcji z wyborem jako czas potrzebny na dokonanie wyboru odpowiedzi. Metoda ta została nazwana metodą odejmowania Dondersa.

1.3. Metoda Sternberga

Woodworth w swoim podręczniku psychologii eksperymentalnej, krytykując założenie o szeregowości przetwarzania informacji w metodzie Dondersa, napisał „... *bowiem nie ma niczego co przeszkadzałoby procesom w dwóch półkulach zachodzić równolegle (...) mózg nie jest drogą jednokierunkową.*” [11]. Krytykując metodę odejmowania Dondersa, zwrócono uwagę, iż zmiana warunków zadania może wywołać nie tylko zwiększenie lub zmniejszenie czasu przetwarzania informacji, ale również może wpłynąć na ilość i rodzaj wykonywanych operacji umysłowych [10;12-14].

Saul Sternberg [15], podzielający poglądy Dondersa o szeregowości procesów percepcyjnych zachodzących w mózgu, wznowił pracę nad metodą odejmowania, znacząco ją rozwijając. Nowa wersja tej metody zwykle nazywana jest metodą czynników addytywnych (ang. AFM, *additive factors method*).

Metoda Dondersa-Sternberga jest stosowana w różnych ośrodkach naukowych, pomimo stosunkowo poważnych krytyk ze strony Woodwortsa [11], który postulował, że możliwe jest równoległe wystąpienie różnych procesów percepcyjnych w mózgu oraz Kuelpego [12], który twierdził, iż możliwa jest zmiana czasu trwania jednego procesu na skutek zmiany parametrów zadania.

Szczegóły dotyczące tej metody można znaleźć w pracach Meyera i innych [13;16], Millera [17;18], Ratcliffa [19], Roberta i Sternberga [20], Sandersa [21;22] oraz samego Sternberga [15;23].

Wraz z rozwojem badań oraz postępem techniki w celu lepszego poznania procesów mózgowych obecnie stosują się równoległe również inne techniki badawcze.

1.4. Wpływ natężenia bodźca na RT

Dane literaturowe [24;24-29] wskazują, że RT maleje w funkcji natężenia bodźca, zbliżając się do wartości asymptotycznej dla największych natężeń bodźców. Jest to szczególnie dobrze zbadane dla reakcji prostej, lecz w odniesieniu do bardziej złożonych zadań, takich jak reakcja z wyborem, zależność ta ulega zmianie [30]. Natężenie bodźca zwykle było uważane za czynnik wpływający tylko na bardzo wczesne etapy przetwarzania informacji. Dowody wspierające ten pogląd uzyskano metodą AFM oraz innymi metodami psychofizycznymi. Wykazano, że wpływ natężenia bodźca na RT jest addytywny z wpływem innych czynników takich jak: kompatybilność między bodźcem i reakcją, liczba możliwych reakcji, prawdopodobieństwo

wystąpienia bodźca oraz trening zadania [31-38]. Autorzy [39-41] doszli do wniosków, iż natężenie bodźców wzrokowych ma identyczny wpływ na czas reakcji prostej i na latencję komponentu potencjałów wywołanych N100 (którego maksimum pojawia się ok. 100-150ms po bodźcu). Te odkrycia sugerowały, że późniejsze procesy mózgowie niż te odzwierciedlone przez N100 są niezależne od natężenia bodźca.

Inne prace dostarczają jednak dowodów na to, iż możliwe jest oddziaływanie natężenia bodźca również na późniejsze etapy przetwarzania bodźca.

Przykładowo, autorzy [42;43] pokazali, że natężenie bodźca oraz prawdopodobieństwo wystąpienia bodźca nie są czynnikami addytywnymi. W późniejszej pracy wykazano natomiast, że te same czynniki są addytywne w zadaniu polegającym na określaniu, czy dwa bodźce są jednakowe, czy różne [34]. Badania przeprowadzone przez innych autorów [44] pokazały interakcję między kompatybilnością bodziec-reakcja a natężeniem bodźca. Ten wynik trudno pogodzić z hipotezą, że natężenie bodźca wywiera jedynie wpływ na wczesne etapy przetwarzania informacji. Kolejni autorzy natomiast uzyskali wyniki świadczące o większym wpływie natężenia bodźca na czas reakcji prostej niż na latencję N100 dla bodźców słuchowych[45]. Zbliżone wyniki dla bodźców wzrokowych uzyskano w innej pracy [46].

1.5. Efekt van der Molena-Keussa

Van der Molena i Keussa [30;47-49] pokazali, że jeśli reakcja wymaga wyboru, zależność RT od natężenia bodźca akustycznego nie jest krzywą malejącą monotonicznie do wartości asymptotycznej, lecz ponownie rośnie dla dużych natężeń. Taka U-kształtna zależność nie występuje dla reakcji prostej i reakcji dysjunktywnej („go/no-go”).

Jednakże w pracach innych badaczy [50;51] nie uzyskano U-kształtnej krzywej dla bodźców słuchowych natomiast taką krzywą uzyskano dla bodźców wzrokowych [52].

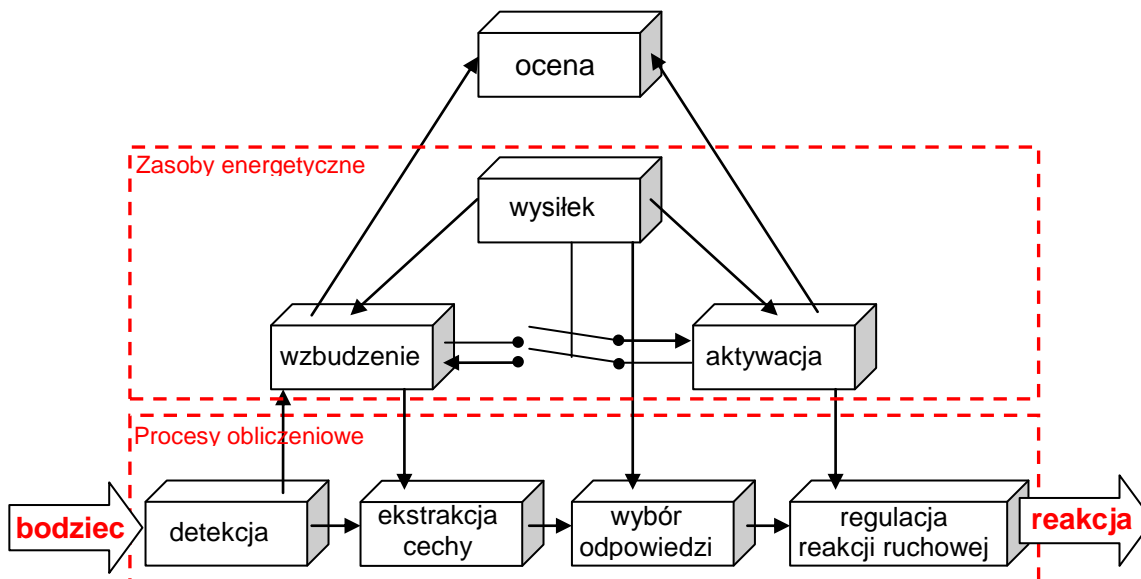
1.6. Model zasobów energetycznych

W swoich wczesnych pracach van der Molen i Kuess [30] sugerowali, że głośne dźwięki wywołują odruch wzdrygnięcia (ang. *startle reflex*), który musi zostać stłumiony, aby nie doprowadzić do pogorszenia wykonania zadania. W późniejszych pracach wymienieni autorzy wyjaśniają swoje wyniki w ramach modelu Sandersa (rys. 2.) [53], odwołując się do koncepcji wzbudzenia (ang. *arousal*) [54].

Według tego modelu bodziec inicjuje łańcuch procesów obliczeniowych (ang. *computational processes*) gdzie w pierwszej kolejności dochodzi do detekcji bodźca poprzez ekstrakcje cech i wybór odpowiedzi kończy regulacją reakcji ruchowej.

Łańcuch procesów obliczeniowych wspomagany jest przez trzy tzw. zasoby energetyczne (ang. *energetic resources*): wzbudzenie (ang. *arousal*),

aktywacja (ang. activation) i wysiłek (ang. effort). Wzbudzenie jest chwilowym wzrostem ogólnej aktywności ośrodkowego układu nerwowego w odpowiedzi na pojawienie się bodźca i wspomaga stadium rozróżnienia parametrów bodźca.



Rys.2. Model Sandersa.

Aktywacja działa na drugim końcu łańcucha stadiów obliczeniowych: określa stan gotowości do odpowiedzi i wspomaga stadium przygotowania reakcji. Sanders zakładał również, że wzbudzenie może bezpośrednio oddziaływać na aktywację, przy czym wpływ ten jest regulowany przez wysiłek. Te wzajemne połączenia między zasobami energetycznymi dają możliwość wyjaśnienia U-kształtnej zależności van der Molena-Keussa.

1.7. Metoda spektroskopii dielektrycznej

W prezentowanej rozprawie powyższe badania z dziedziny psychologii poznawczej rozszerzono dodatkowo o analizę wpływu natężenia bodźców słuchowych na bioimpedancję skóry ludzkiej czyli właściwości elektryczne in vivo [55]. W tym celu zastosowano metodę spektroskopii dielektrycznej do zbadania skóry w obszarze szyi aby porównać wpływ tych bodźców na zmierzone parametry elektryczne z tym otrzymanymi metodą chronometrii. Tym bardziej, że dane literaturowe z zakresu psychofizyki [56-58]uwzględniają również zastosowanie metod elektrycznych do analizy przetwarzania informacji w mózgu w wyniku pobudzenia bodźcami fizycznymi receptorów skóry.

2. Cel pracy

- ✓ Ocena wpływu natężenia bodźców wzrokowych i słuchowych na przetwarzanie informacji w mózgu z zastosowaniem **metody chronometrycznej**.

- ✓ Ocena wpływu natężenia bodźców słuchowych na właściwości elektryczne skóry szyi z zastosowaniem **metody spektroskopii dielektrycznej**.

3. Materiały i metody badań

3.1. Metoda chronometryczna

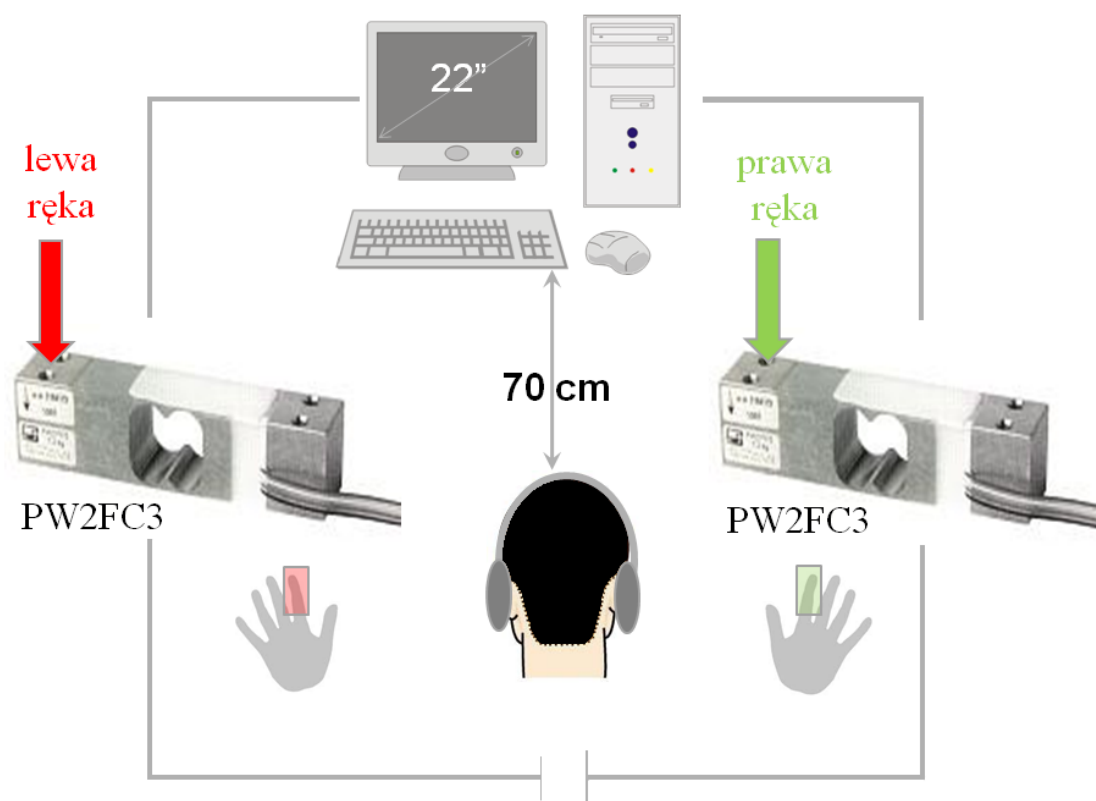
W czterech eksperymentach (tabela 1) zbadano wpływ parametrów fizycznych bodźców wzrokowych (wielkość, luminancja bodźca) i słuchowych (poziom ciśnienia akustycznego) na czas reakcji oraz siłę odpowiedzi w reakcjach prostej i z wyborem. Uczestnicy eksperymentu wcześniej nie brali udziału w tego typu doświadczeniach. Wszyscy badani, którzy wzięli udział w eksperymencie z bodźcami wzrokowymi, mieli normalną bądź skorygowaną do normalnej ostrość wzroku oraz w eksperymencie słuchowym na podstawie wywiadu własnego nie zgłaszali zaburzeń słuchu. Przed rozpoczęciem każdego doświadczenia przeprowadzano test sprawdzający, czy badani widzą lub słyszą najsłabsze stosowane bodźce. Osoby, które miały z tym trudności, nie uczestniczyły w dalszych badaniach.

		Rodzaj bodźca		Bodziec		Typ reakcji		
		wzrokowy	słuchowy	mały	duży	prosta	wybór	
Eksperyment	1	x		x	x		x	
	2	x		x	x	x		
					niski	wysoki		
	3		x	x	x	x	x	
	4		x	x	x		x	

Tabela 1. Zrealizowane eksperymenty.

W trakcie trwania każdego eksperymentu badany znajdował się w dźwiękoszczelnym pomieszczeniu. Podczas eksperymentów wzrokowych pomieszczenie było całkowicie zaciemnione, a badany był adaptowany do ciemności przed eksperymentem. W eksperymentach z wykorzystaniem bodźców słuchowych w pomieszczeniu panował półmrok.

Badani siedzieli w wygodnym fotelu z głową wspartą o jego oparcie, w odległości 70cm od monitora z przedramionami umieszczonymi na podłokietnikach (rys. 3.).

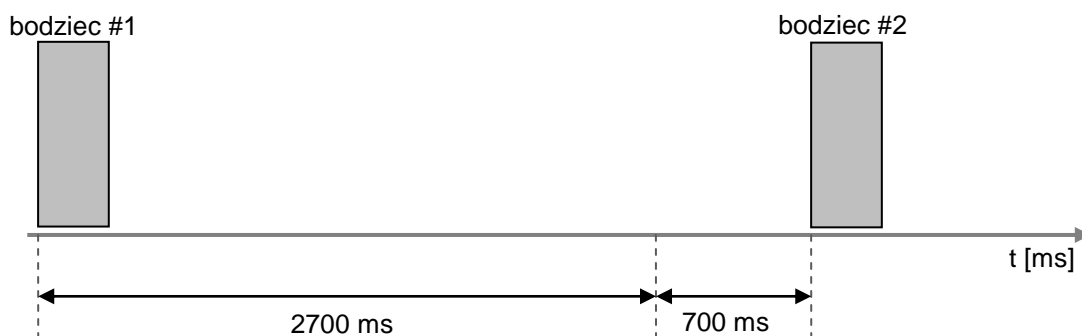


Rys.3. Układ pomiarowy do badania wpływu bodźców wzrokowych i słuchowych na siłę odpowiedzi.

Podczas trwania całego eksperymentu badany miał palce wskazujące na czujnikach nacisku (*tensometr PW2FC3 firmy HBM - klucze odpowiedzi*)

przytwierdzonych do blatu stołu. Badany reagował, naciskając na czujniki palcem wskazującym prawej bądź lewej ręki. Aby zredukować liczbę artefaktów związanych z niekontrolowanymi ruchami oczu, podczas całego eksperymentu, centralnie na monitorze wyświetlany był punkt fiksacji w postaci małej czerwonej kropki.

Doświadczenia (*generowanie bodźców, przebiegi czasowe i rejestracja odpowiedzi*) były sterowane za pomocą programu Presentation 0.71 (firmy *Neurobehavioral Systems*).



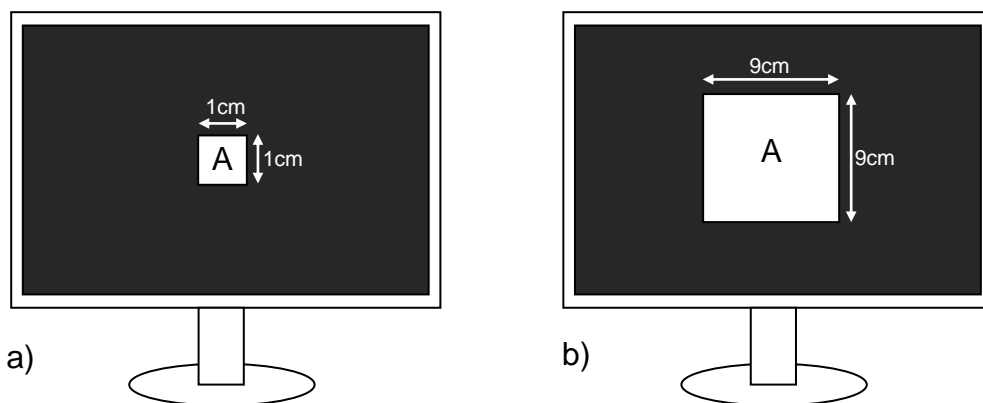
Rys.4. Struktura czasowa eksperymentów psychofizycznych.

Odstęp pomiędzy bodźcami miał stałą wartość 2700ms plus dodatkowy czas od 0-700ms, którego wartość była randomizowana (rys.4.).

Bodźce wzrokowe

Bodźce wzrokowe były wyświetlane na ekranie 22-calowego monitora (Mitsubishi) komputerowego o częstotliwości odświeżania ekranu 120 Hz. Bodziec miał postać białego kwadratu (rys. 5) o wymiarach 1cm x 1cm (bodziec mały, rys. 2 a)) lub 9cm x 9cm (bodziec duży, rys. 2 b)) z centralnie

umieszczoną wielką literą („A” lub „O”) w kolorze czarnym. Litera miała rozmiar 0,5cm x 0,5cm . W pojedynczym bodźcu luminancja białego kwadratu miała

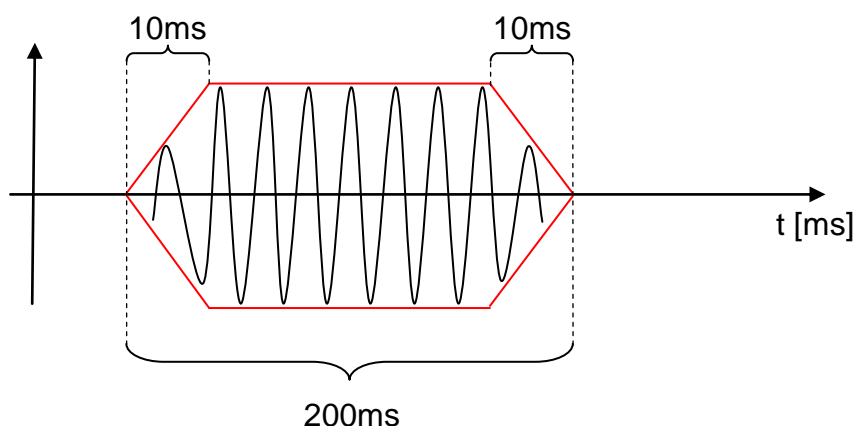


Rys.5. Bodźce wzrokowe małe (a) i duże (b). Zmiany luminancji dotyczyły jasnego pola, centralnie umieszczonego na ekranie monitora, na którym znajdowały się litery A lub O.

jedną z pięciu możliwych wartości: 0,19; 2,0; 6,3; 19,6 lub 125,9 cd/m². Czas prezentacji bodźca wynosił 100ms.

Bodźce słuchowe

Bodźcami słuchowymi (rys.6) były tony o dwóch częstotliwościach 1000 i 3000Hz z obwiednią trapezoidalną o czasach narastania 10ms i opadania 10ms. Czas trwania bodźca wynosił 200ms.



Rys.6. Bodziec słuchowy.

Bodźce miały pięć różnych poziomów ciśnienia akustycznego (16, 40, 56, 72 i 82 dB SPL). Każdy ton doprowadzany był przy pomocy słuchawek obu usznie. Bodźce były generowane za pomocą karty dźwiękowej Sound Blaster Audity (Creative Lab.).

Typ reakcji

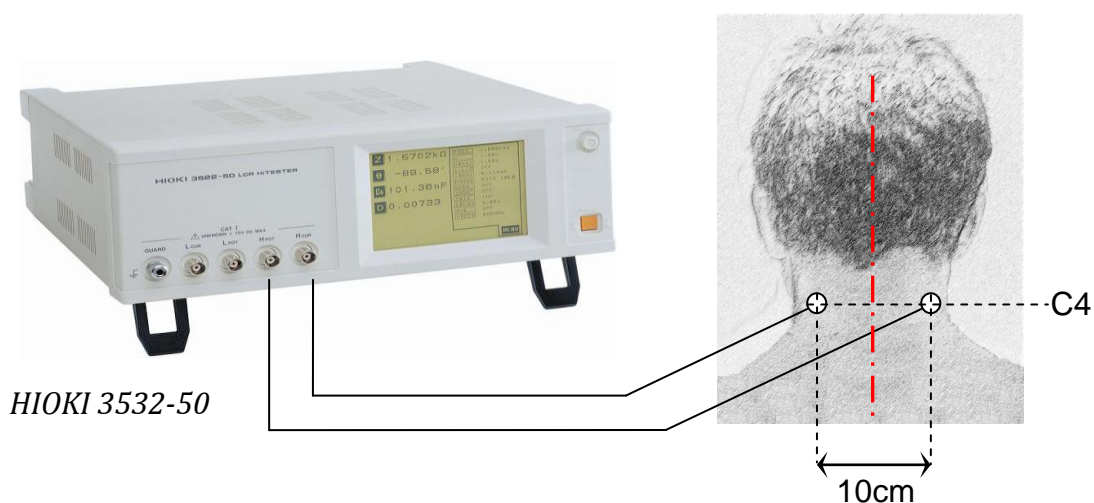
W reakcji prostej, podczas trwania całego eksperymentu zadaniem badanego było reagowanie na prezentowane bodźce jak najszybciej jak to możliwe niezależnie od parametrów fizycznych bodźca.

W reakcji z wyborem badany w pierwszej kolejności miał za zadanie rozróżnienie bodźca (*wzrokowe - litera A lub O, słuchowe - niski lub wysoki ton*), a następnie udzielenie odpowiedzi ręką przyporządkowaną wcześniej do bodźca, w czasie jak najkrótszym jak to możliwe niezależnie od parametrów fizycznych bodźca.

3.2. Metoda spektroskopii dielektrycznej

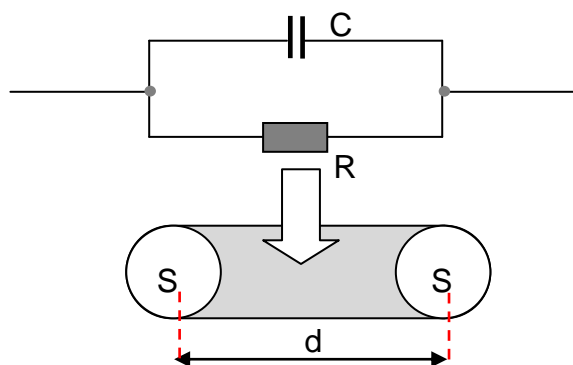
Podczas trwania całego eksperymentu badany znajdował się w pomieszczeniu, w którym panował półmrok. W trakcie badania uczestnicy eksperymentu znajdowali się w pozycji pólężącej i proszeni byli o pozostanie, na ile to możliwe, w bezruchu. W odległości 2m od nich był umieszczony punkt fiksacji w postaci krzyża o wysokości 10cm i szerokości 10cm. Rysunek 7 przedstawia metodę pomiarową rezystancji R i pojemności C skóry szyi za pomocą miernika firmy Hioki 3532-50. Pomiary wykonano metodą dwuelektrodową [55] doprowadzając do elektrod (Ag/AgCl - EK-S 30

PSG, firmy Sorimex Technika Medyczna) sygnał napięciowy o wartości skutecznej 20mV i częstotliwościach 1kHz i 50kHz. Elektrody umieszczono na szyi, po obu stronach w odległości 5cm od linii środkowej ciała na wysokości kręgu C4 kręgosłupa w odcinku szyjnym. Częstotliwość 1kHz odzwierciedla mechanizmy polaryzacyjne i przewodnictwa jonowego w warstwie naskórka i skóry właściwej. Natomiast 50kHz odzwierciedla występowanie powyższych mechanizmów w tkankach podskórnych.



Rys. 7. Aparatura pomiarowa do badania właściwości elektrycznych skóry.

Mierzone parametry R i C odpowiadają równoległemu modelowi skóry uwidocznionemu na rysunku nr 8. Model ten opisuje właściwości elektryczne skóry o długości d zawartej między dwiema elektrodami o powierzchni S.



Rys. 8. Równoległy model elektryczny skóry szyi.

Na podstawie zmierzonych parametrów R i C obliczono parametry dielektryczne skóry:

- konduktywność σ

$$\sigma = \frac{d}{R \cdot S}$$

- przenikalność dielektryczna ϵ'

$$\epsilon' = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot S}$$

gdzie:

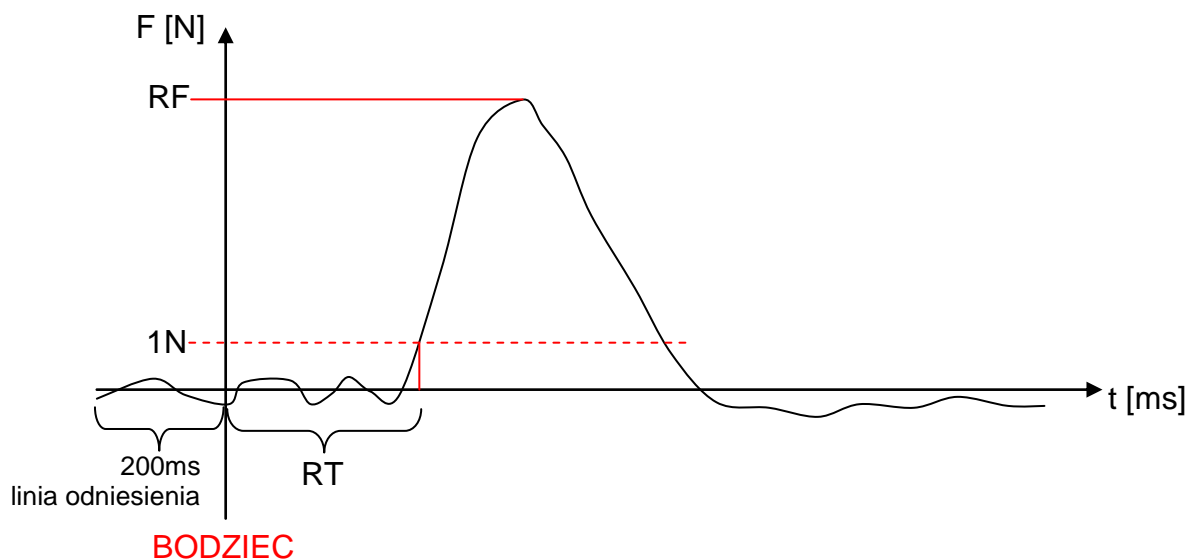
d - odległość pomiędzy elektrodami (10cm)

S - pole powierzchni elektrody ($0,78\text{cm}^2$)

ϵ_0 - przenikalność elektryczna próżni.

3.3. Analiza statystyczna

Na podstawie uzyskanych pomiarów siły odpowiedzi (rys.9) analizowano dwa parametry psychofizyczne: czas reakcji (RT) i liczba poprawnych odpowiedzi (PC).



Rys. 9. Charakterystyka parametrów psychofizycznych.

Wszystkie parametry były wyznaczane z zapisów siły nacisku (F). Czas reakcji (RT) został określony jako czas pomiędzy momentem prezentacji bodźca a chwilą, w której siła odpowiedzi (RF) przekroczyła wartość progową 1N względem wartość odniesienia (mierzonej na 200ms przed pojawieniem się bodźca). Siłę odpowiedzi (RF) zdefiniowano jako maksymalną wartość siły nacisku na czujniki z rejestrowego przebiegu czasowego zmian siły. Poprawność odpowiedzi (PC) określano jako stosunek liczby prawidłowych odpowiedzi do liczby prezentowanych bodźców. Usunięte z dalszej analizy i uznane za błędne odpowiedzi

przedwczesne, to znaczy krótsze od 150ms, oraz zbyt późne, dłuższe od 1000ms [59].

Przed uśrednieniem danych, siły odpowiedzi (RF) i czasu reakcji (RT), po wszystkich badanych obliczono dla każdego badanego z osobna 5% średnią uciętą (*ang. 5% trimmed mean*) będącą jedną z miar tendencji centralnych. Cięcie dotyczy 5% wartości ekstremalnie małych oraz ekstremalnie dużych skutkiem czego średnią arytmetyczną oblicza się z 90% wartości [60]. Dopiero tak przeanalizowane dane dla pojedynczych badanych zostały uśrednione dla całej grupy.

Dla uzyskanych wyników poziom istotności statystycznej został oszacowany na podstawie analizy wariancji (ANOVA) z powtórzonymi pomiarami z dwoma czynnikami wewnątrz grupowymi którymi były: typ reakcji/wielkość bodźca oraz 5 poziomów natężeń bodźca. Poziom istotności p został skorygowany o poprawki Huynha-Feldta uwzględniające warunek sferyczności. Następnie przeprowadzono dla każdego z eksperymentu test post hoc nieparametryczny dla prób zależnych Friedmana przy założonym poziomie istotności statystycznej $p=0,05$.

4. Wyniki

4.1. Badania psychofizyczne

Wykonano cztery eksperymenty psychofizyczne, w których przebadano 90 uczestników. Wśród nich było 75 kobiet i 15 mężczyzn o średnim wieku 22lat. W tabeli nr 2 podano szczegóły odnośnie uczestników każdego z eksperymentu.

		Liczba uczestników eksperymentu	Średni wiek uczestników	Płeć uczestników		Ręczność		Liczba odrzuconych uczestników z dalszych analiz
				♀	♂	P	L	
Eksperyment	1	20	22,1 (SD=5,8)	17	3	18	2	2
	2	26	23,7 (SD=5,3)	21	5	21	5	
	3	21	20,6 (SD=1,1)	17	4	20	1	
	4	23	21,6 (SD=4,2)	20	3	20	3	
Σ		90	22,0 (SD=4,1)	75	15	79	11	2

Tabela 2. Szczegółowe dane dotyczące uczestników eksperymentów psychofizycznych

Powodem usunięcia dwóch uczestników eksperymentu nr 1 z dalszych analiz był prawdopodobnie brak zrozumienia instrukcji dotyczących wykonania zadania w przypadku pierwszego z nich. Natomiast w przypadku drugiego był całkowity brak reakcji (odpowiedzi) na bodźce wzrokowe o najniższej wartości luminancji niezależnie od ich wielkości.

4.1.1 Wyniki eksperymentów z zastosowaniem bodźców wzrokowych

Zrealizowano dwa eksperymenty z wykorzystaniem bodźców wzrokowych o pięciu poziomach luminancji. W tabeli przedstawiano sposób wykonania tych eksperymentów

Eksperyment	bodziec		typ reakcji	
	mały	duży	prosta	wybór
1	x	x		x
2	x	x	x	

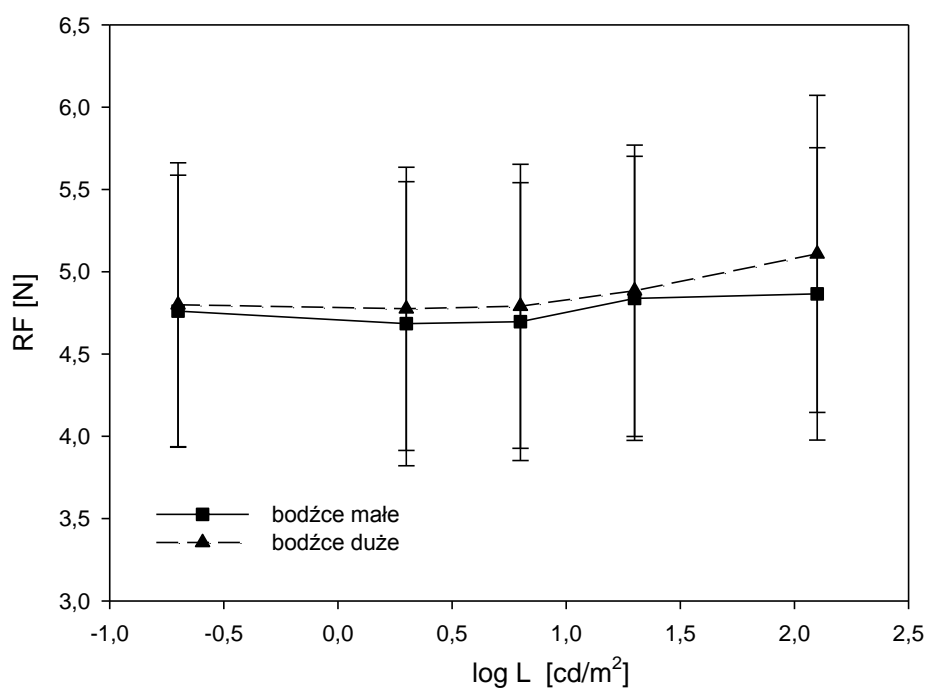
Tabela 3. Zestawienie wykonanych eksperymentów z bodźcami wzrokowymi.

4.1.1.1. Eksperyment 1

W eksperymencie pierwszym wykorzystano bodźce wzrokowe małe i duże o pięciu poziomach luminancji dla reakcji z wyborem. Na podstawie uzyskanych pomiarów siły odpowiedzi wyznaczono czas reakcji z wyborem, siłę z jaką odpowiadali badani oraz procent poprawnych odpowiedzi udzielanych przez badanych podczas realizowanego zadania.

Siła odpowiedzi RF

Siła z jaką udzielali odpowiedzi badani została przedstawiona na rys. 10.



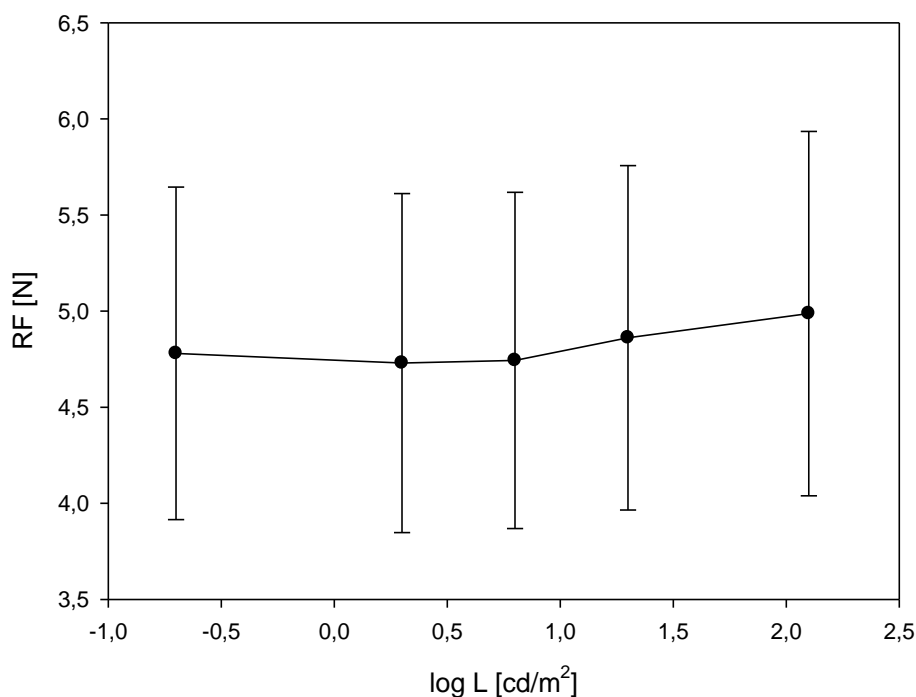
Rys. 10. Siła odpowiedzi dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej (ANOVA z powtórzonymi pomiarami) wykazano, iż jedynie luminancja zastosowanych

bodźców miała istotny statystyczny wpływ na siłę z jaką odpowiadali badani ($F(4,76)=4,022$ $p=0,021$). Zarówno wielkość bodźca jak i interakcja luminancji z wielkością bodźca nie miały istotnego statystycznie wpływu na siłę odpowiedzi.

Test post hoc (nieparametryczny dla prób zależnych Friedmana) nie wykazał istotnie statystycznych różnic (przy założonym poziomie $p=0,05$) pomiędzy żadnymi z par luminancji dla bodźców małych. W przypadku bodźców dużych istotnie statystyczna okazała się różnica pomiędzy poziomami trzecim i piątym luminancji bodźca.

Efekt główny luminancji bodźca na siłę z jaką odpowiadali uczestnicy eksperymentu przedstawiony został na rysunku 11.

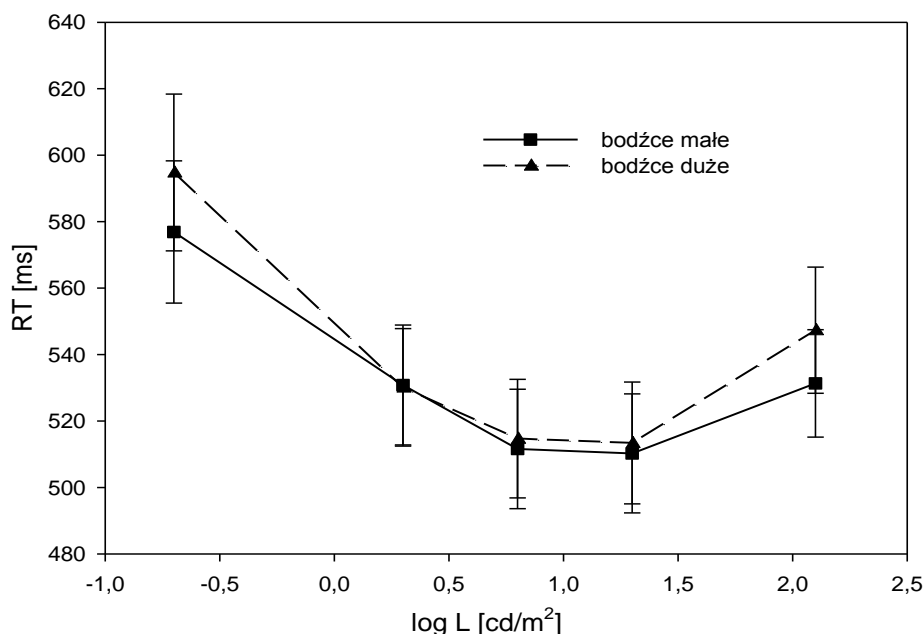


Rys. 11. Efekt główny siły odpowiedzi w zależności od luminancji bodźca.

Test post hoc (nieparametryczny dla prób zależnych Friedmana) wykazał istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) występujące pomiędzy poziomem luminancji piątym a pierwszym, drugim i trzecim. Mimo pozornie widocznego wpływu wielkości bodźca (rys. 11.) efekt główny siły z jaką odpowiadali badani, a wielkością prezentowanego bodźca okazał się nieistotny statystycznie po przeprowadzeniu testów post hoc.

Czas reakcji RT

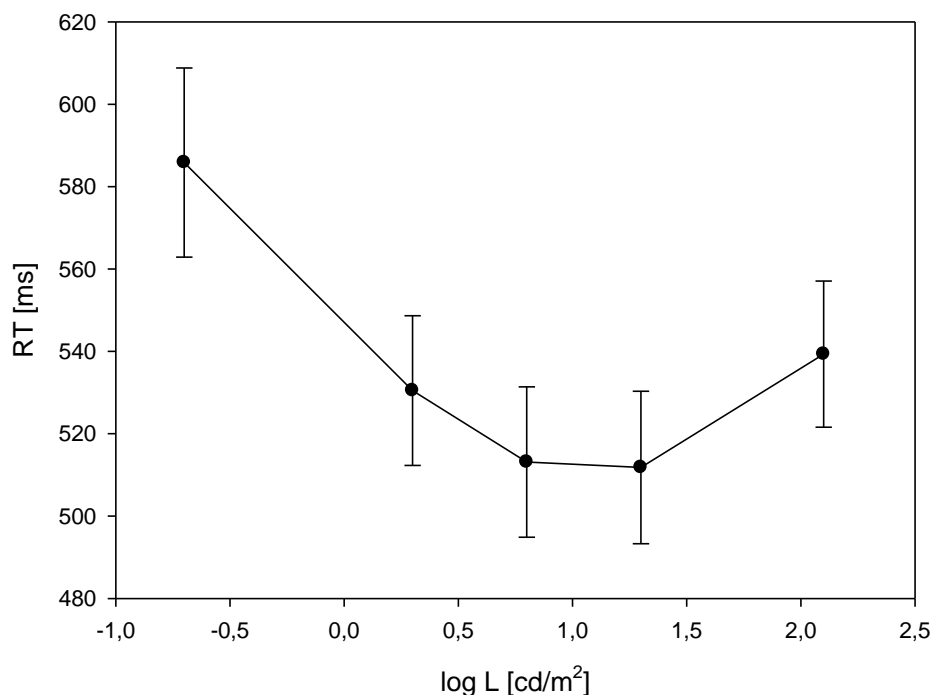
Na rysunku 12 przedstawiono uzyskane wyniki czasów reakcji zarówno dla bodźców małych jak i dużych dla pięciu wartości luminancji. Dla obu wielkości bodźca wyraźnie widoczna jest U-kształtna krzywa. Analiza wariancji (ANOVA) dla powtórzonych pomiarów wykazała istotny statystycznie wpływ wielkości bodźca ($F(1,19)=8,1$, $p=0,01$) oraz jego luminancji ($F(4,76)=31,8$, $p<0,001$) ale nie odnotowano istotnej statystycznie interakcji pomiędzy tymi wielkościami.



Rys. 12. Czas reakcji dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji.

Testy post hoc (nieparametryczny dla prób zależnych Friedmana) wykazały iż dla bodźców małych istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) występują pomiędzy pierwszym poziomem luminancji i pozostałymi oraz pomiędzy drugim i czwartym oraz czwartym i piątym. Takie różnice nie wystąpiły pomiędzy poziomem luminancji drugim i piątym (gdzie różnica w czasach reakcji ΔRT wyniosła zaledwie $0,5ms$, $p>0,05$) oraz poziomem luminancji trzecim i czwartym ($\Delta RT=1,4ms$, $p>0,05$).

W przypadku bodźców dużych istotne statystycznie różnice ($p=0,05$) występują pomiędzy pierwszym poziomem luminancji a poziomami drugim, trzecim i czwartym oraz pomiędzy trzecim i piątym. Pozostałe pary luminancji nie wykazywały różnic istotnych statystycznie.

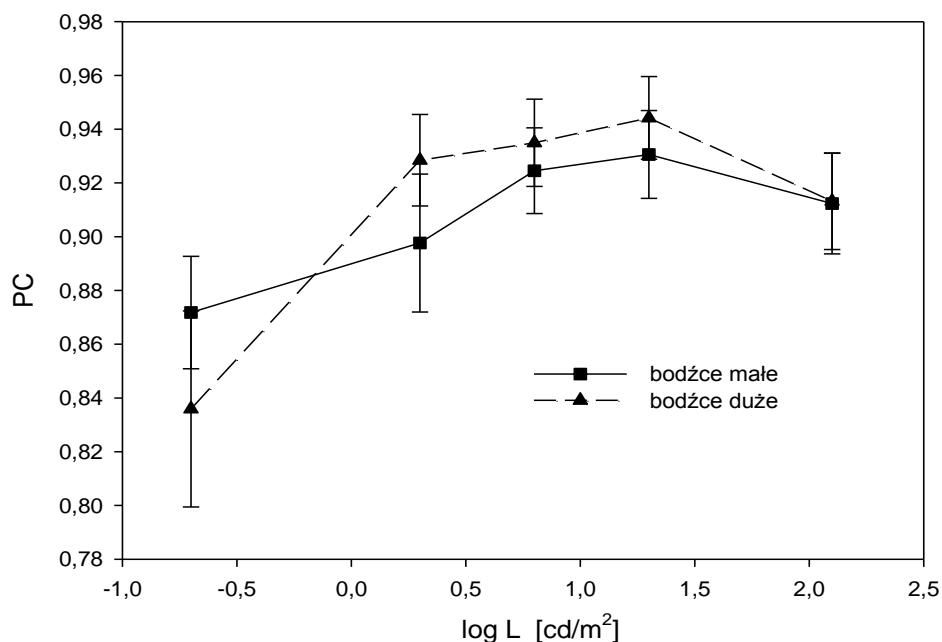


Rys. 13. Efekt główny czasu reakcji w zależności od luminancji bodźca.

Efekt główny natężenia bodźca na czas reakcji uczestników eksperymentu przedstawiony został na rys.13. Po wykonaniu testu post hoc (nieparametryczny dla prób zależnych Friedmana) istotne statystycznie różnice, przy założonym poziomie istotności $p=0,05$, dla par luminancji występowały pomiędzy poziomem luminancji pierwszym a drugim, trzecim i czwartym oraz poziomem luminancji drugim a poziomami trzecim i czwartym oraz trzecim a piątym i czwartym a piątym. Pozostałe trzy pary luminancji nie wykazały różnic istotnych statystycznie.

Procent poprawnych odpowiedzi PC

Podobnie jak w przypadku siły z jaką udzielali odpowiedzi badani, na procent poprawnych odpowiedzi rysunku 14, istotny statystycznie wpływ miała jedynie luminancja bodźca ($F(4,79)=6,3$ $p=0,01$).

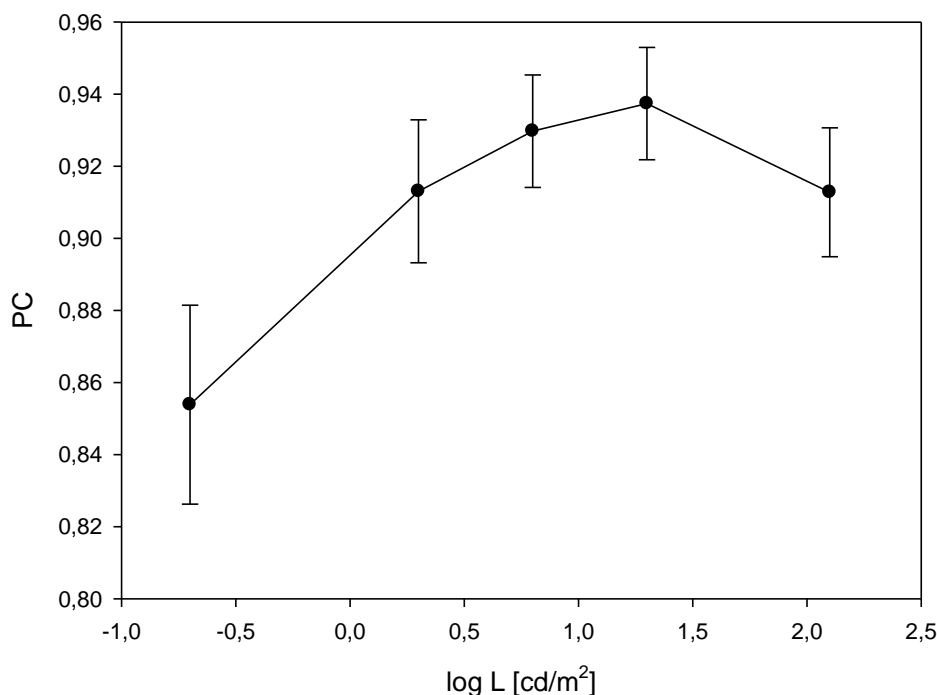


Rys. 14. Procent poprawnych odpowiedzi dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji.

Zarówno wielkość bodźca jak i interakcja pomiędzy wielkością a luminancją bodźca nie miała istotnego statystycznie wpływu na procent prawidłowych odpowiedzi.

Test post hoc (nieparametryczny dla zmiennych zależnych Friedmana) wykazały istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) dla bodźców małych pomiędzy poziomami luminancji pierwszym a trzecim oraz pierwszym a piątym. Pozostałe osiem par luminancji nie wykazało różnic istotnych statystycznie przy tym poziomie istotności. Test post hoc ($p=0,05$) dla bodźców dużych pomiędzy poziomami luminancji pierwszym a czwartym

oraz czwartym a piątym. Pozostałe osiem par nie wykazało różnic istotnych statystycznie na tym poziomie istotności.



Rys. 15. Efekt główny procentu poprawnych odpowiedzi w zależności od luminancji bodźca.

Dla efektu głównego wpływu luminancji bodźca na procent poprawnych odpowiedzi (rys. 15) niezależnie od wielkości bodźca test post hoc (nieparametryczny Friedmana) wykazał istotne statystycznie (przy założonym poziomie $p=0,05$) różnice pomiędzy trzema z dziesięciu par.

Istotne statystycznie różnice wystąpiły pomiędzy poziomem luminancji pierwszym a trzecim, pierwszym a czwartym oraz czwartym i piątym

Mimo pozornie widocznego wpływu wielkości bodźca efekt główny procentu poprawnych odpowiedzi udzielonych przez badanych a wielkością

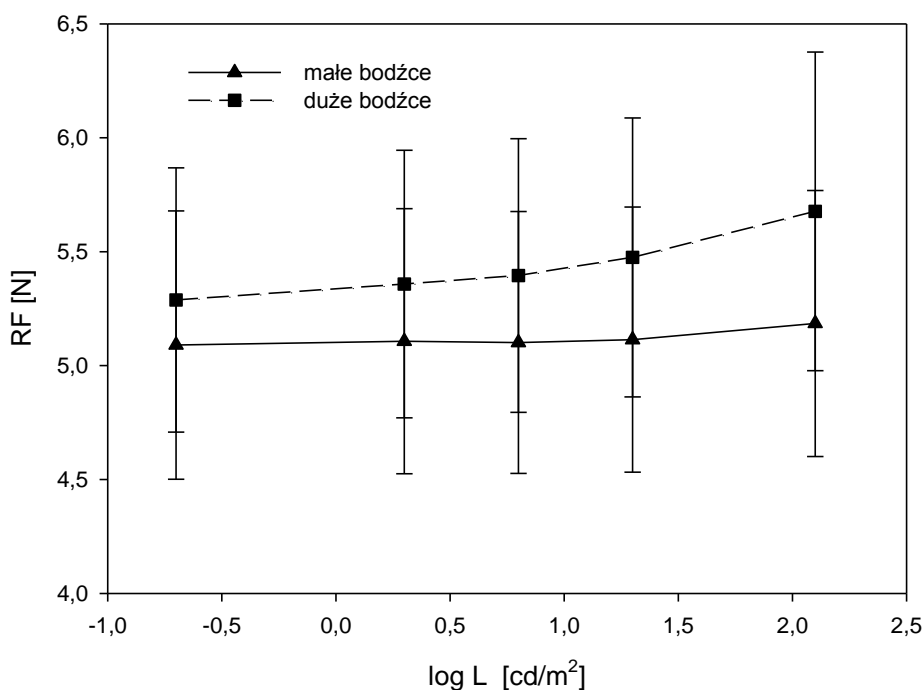
prezentowanego bodźca okazał się nieistotny statystycznie po przeprowadzeniu testów post hoc.

4.1.1.2 Eksperyment 2

W eksperymencie drugim wykorzystano bodźce wzrokowe małe i duże na pięciu poziomach luminancji dla reakcji prostej. Na podstawie uzyskanych pomiarów siły odpowiedzi wyznaczono czas reakcji prostej oraz procent poprawnych odpowiedzi udzielanych przez badanych podczas realizowanego zadania.

Siła odpowiedzi RF

Siła z jaką udzielali odpowiedzi badani została przedstawiona na rys. 16.



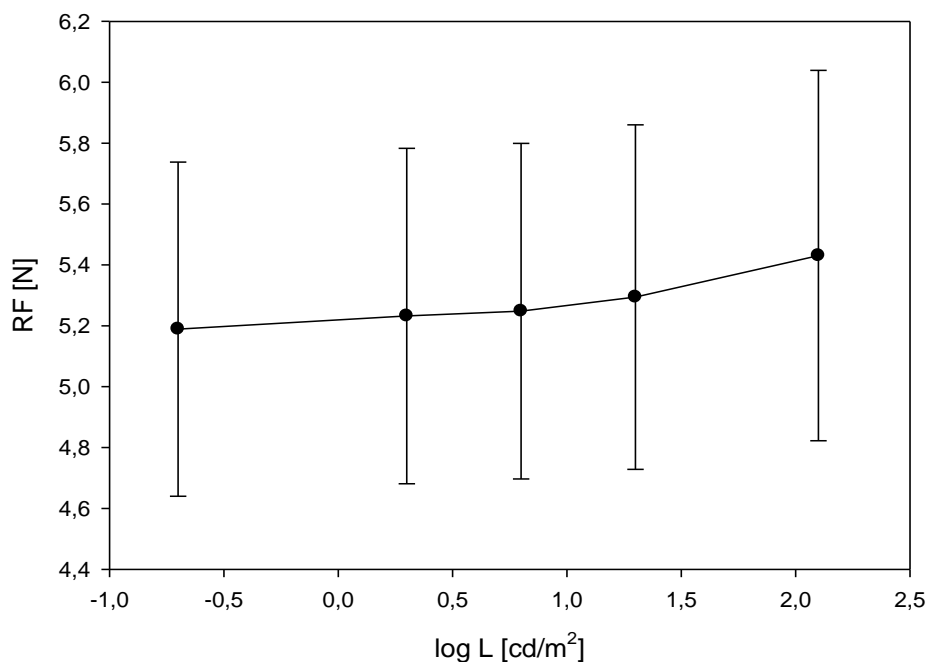
Rys. 16. Siła odpowiedzi dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej (ANOVA z powtórzonymi pomiarami) wykazano, iż jedynie luminancja zastosowanych

bodźców miała istotny statystycznie wpływ na siłę z jaką odpowiadali badani ($F(4,96)=4,545$ $p=0,019$). Zarówno wielkość bodźca jak i interakcja luminancji z wielkością bodźca nie miały istotnego statystycznie wpływu na siłę odpowiedzi.

Mimo pozornie widocznego wpływu luminancji bodźca na siłę z jaką dopowiadali badani test post hoc Friedmana nie wykazał różnic istotnych statystycznie (przy założonym poziomie $p=0,05$) pomiędzy poszczególnymi poziomami natężenia bodźca zarówno w przypadku małych jak i dużych bodźców. Również w przypadku efektu głównego wpływu luminancji bodźca na siłę z jaką odpowiadali badani test post hoc Friedmana nie wykazał istotnych statystycznie różnic pomiędzy poszczególnymi poziomami luminancji bodźca niezależnie od jego wielkości.

Efekt główny luminancji bodźca na siłę z jaką odpowiadali uczestnicy



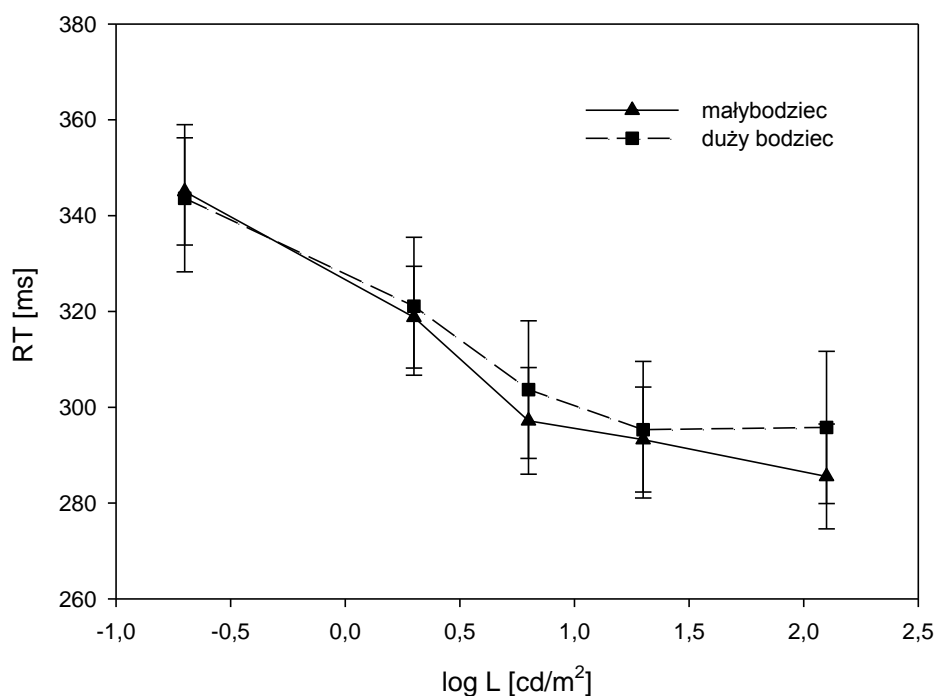
Rys. 17. Efekt główny siły odpowiedzi w zależności od luminancji bodźca.

eksperymentu przedstawiony został na rys. 17.

Mimo pozornie widocznego wpływu wielkości bodźca na siłę odpowiedzi efekt główny okazał się nieistotny statystycznie.

Czasy reakcji RT

Na rysunku 18 przedstawiono uzyskane wyniki czasów reakcji zarówno dla bodźców małych jak i dużych dla pięciu poziomów luminancji. Dla obu wielkości bodźca wyraźnie widoczna jest asymptotycznie malejąca krzywa. Analiza wariancji (ANOVA) dla powtórzonych pomiarów wykazała istotny statystycznie wpływ jedynie luminancji bodźca ($F(4,96)=186,9$, $p<0,001$). Wielkość bodźca oraz interakcja pomiędzy wielkością a luminancją bodźca nie były istotne statystycznie.

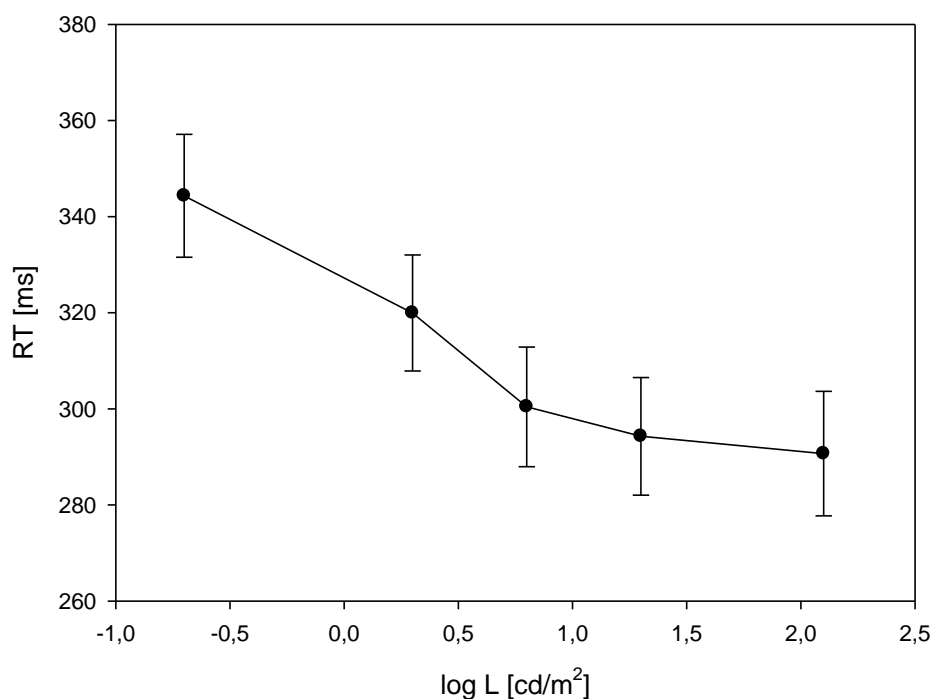


Rys. 18. Czas reakcji dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji bodźca.

Test post hoc Friedmana wykazał, iż dla bodźców małych istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) występują pomiędzy pierwszym poziomem luminancji a trzecim, czwartym i piątym oraz pomiędzy drugim poziomem luminancji a czwartym i piątym. Dla pozostałych pięciu par luminancji test post hoc nie wykazał istotnych statystycznie różnic.

Podobnie w przypadku bodźców dużych istotne statystycznie różnice ($p=0,05$) występują pomiędzy pierwszym poziomem natężeń a trzecim, czwartym i piątym oraz pomiędzy drugim poziomem natężenia a czwartym i piątym. Dla pozostałych pięciu par test post hoc nie wykazał istotnych statystycznie różnic.

Efekt główny wpływu natężenia bodźca na czas reakcji niezależnie od



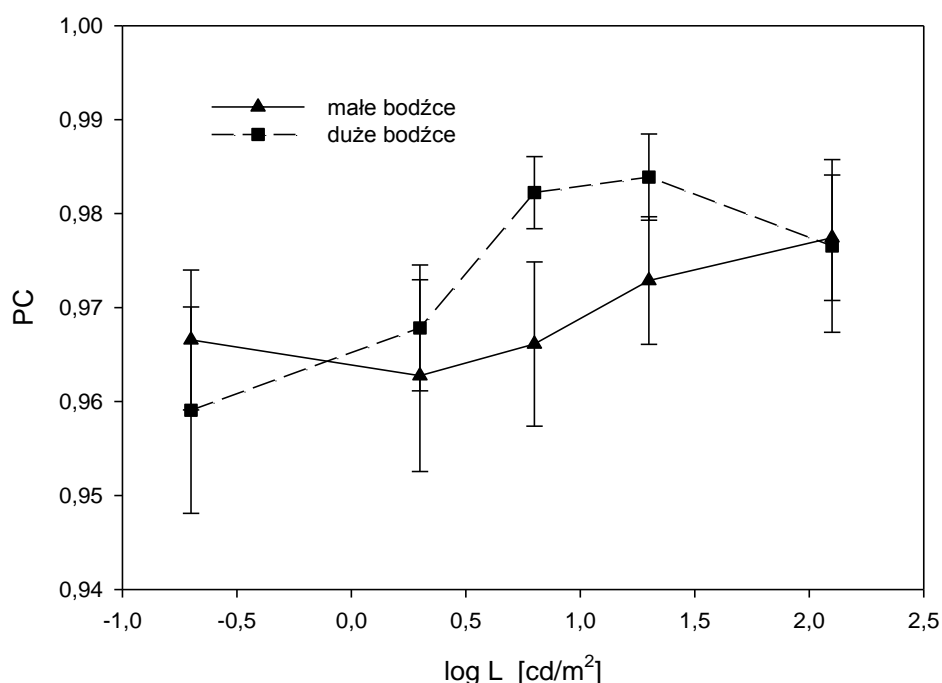
Rys. 19. Efekt główny średniego czasu reakcji w zależności od luminancji bodźca.

wielkości bodźca został przedstawiony na rysunku 19.

Test post hoc Friedmana wykazał, iż niezależnie od wielkości bodźca istotne statystycznie różnice ($p=0,05$) występują pomiędzy pierwszym poziomem luminancji a trzecim, czwartym i piątym oraz pomiędzy drugim poziomem luminancji a trzecim, czwartym i piątym. Dla pozostałych czterech par luminancji test post hoc nie wykazał istotnych statystycznie różnic.

Procent poprawnych odpowiedzi PC

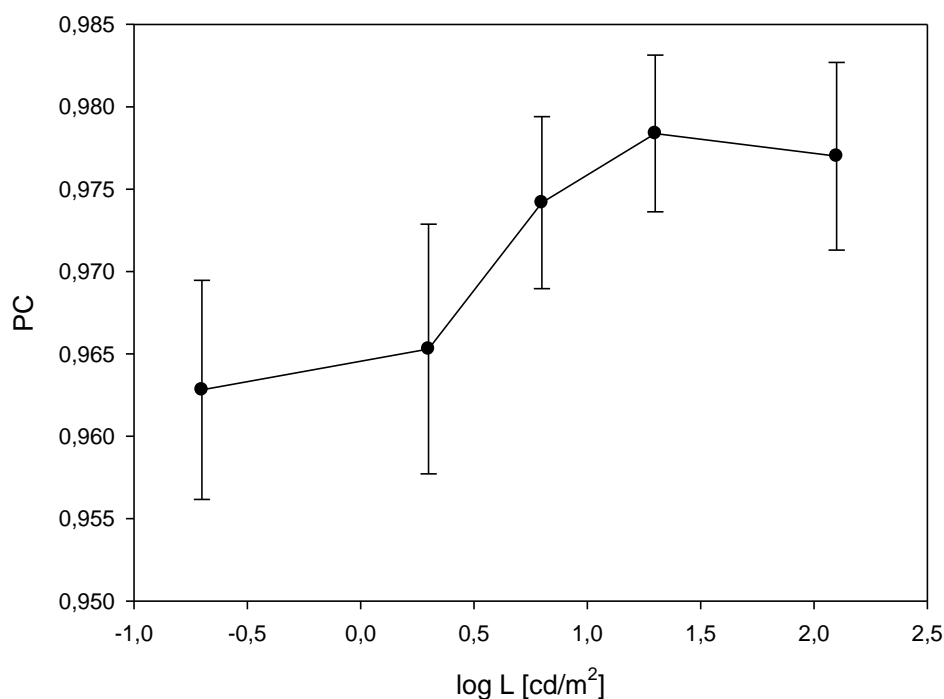
Podobnie jak w przypadku siły odpowiedzi tak i na procent poprawnych odpowiedzi, udzielonych przez uczestników eksperymentu, rysunku 20 istotny statystycznie wpływ miała jedynie luminancja bodźca ($F(4,96)=3,5$ $p=0,029$).



Rys. 20. Procent poprawnych odpowiedzi dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji bodźca.

Zarówno wielkość bodźca jak i interakcja pomiędzy wielkością a luminancją bodźca nie miała istotnego statystycznie wpływu na procent poprawnych odpowiedzi.

Test post hoc (nieparametryczny dla zmiennych zależnych Friedmana) wykazał, iż dla bodźców małych nie było istotnych statystycznie różnic ($p=0,05$) pomiędzy poziomami luminancji bodźca. Natomiast w przypadku bodźców dużych różnice istotne statystycznie ($p=0,05$) były pomiędzy poziomem luminancji pierwszym a czwartym i piątym oraz drugim i czwartym. Dla pozostałych siedmiu porównywanych par luminancji nie wykazał istotnie statystycznego wpływu luminancji bodźca na procent poprawnych odpowiedzi. Efekt główny wpływu natężenia bodźca na procent poprawnych odpowiedzi został przedstawiony na rysunku 21.



Rys. 21. Efekt główny średniego procentu poprawnych odpowiedzi w zależności od luminancji bodźca.

Test post hoc (nieparametryczny dla zmiennych zależnych Friedmana) wykazał istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) występujące pomiędzy dwoma parami poziomów natężenia bodźca. Istotne statystycznie różnice natężeń występowały pomiędzy natężeniem pierwszym i piątym oraz pomiędzy drugim i piątym. Pozostałe osiem par nie wykazywało różnic istotnych statystycznie.

Mimo pozornie widocznego wpływu wielkości bodźca na procent poprawnych odpowiedzi efekt główny wielkości bodźca okazał się nieistotny statystycznie.

4.1.2 Wyniki eksperymentów z zastosowaniem bodźców słuchowych

Zrealizowano dwa eksperymenty (tabela 4) z wykorzystaniem bodźców słuchowych o pięciu poziomach ciśnienia akustycznego oraz przy zastosowaniu dwóch różnych typów reakcji.

Eksperyment	bodziec		typ reakcji	
	niski	wysoki	prosta	wybór
3	x	x	x	x
4	x	x		x

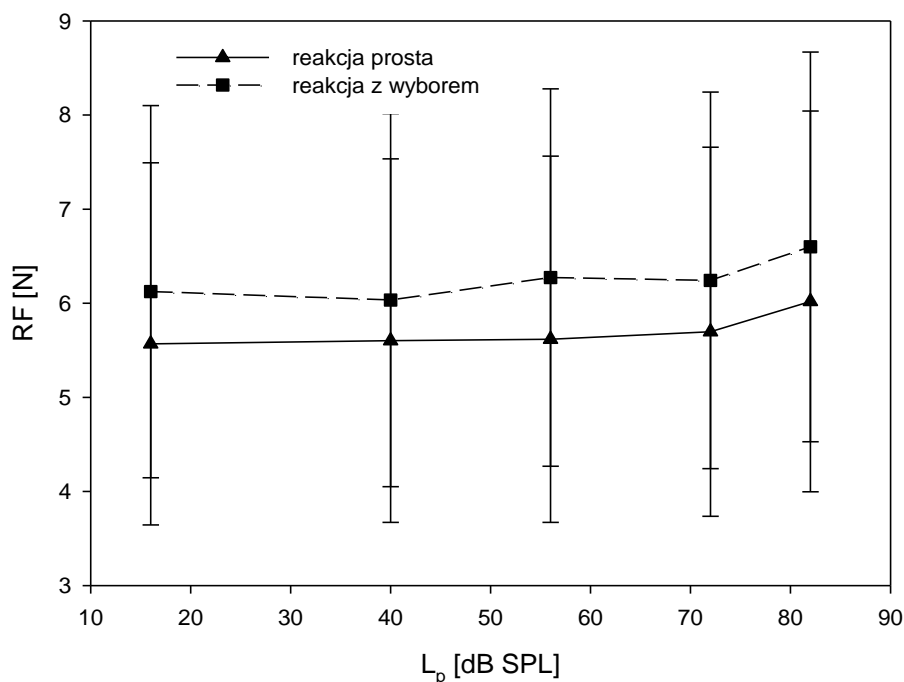
Tabela 4. Zestawienie wykonanych eksperymentów z bodźcami słuchowymi.

4.1.2.1. Eksperyment 3

W eksperymencie trzecim wykorzystano bodźce słuchowe w postaci dwóch tonów o częstotliwości 1000Hz i 3000Hz na pięciu poziomach ciśnienia akustycznego L_p dla reakcji prostej i reakcji z wyborem. Na podstawie uzyskanych pomiarów siły odpowiedzi wyznaczono czas reakcji oraz procent poprawnych odpowiedzi udzielanych przez badanych podczas realizowanego zadania zarówno dla reakcji prostej jak i dla reakcji z wyborem.

Siła odpowiedzi RF

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej (ANOVA z powtórzonymi pomiarami) wykazano, iż jedynie poziom ciśnienia akustycznego (rys. 22) zastosowanych bodźców miało istotny statystyczny wpływ na siłę z jaką odpowiadali badani ($F(4,68)=13,3$ $p<0,001$). Zarówno typ reakcji jak i interakcja poziomu ciśnienia akustycznego bodźca z typem reakcji nie miały istotnego statystycznie wpływu na siłę odpowiedzi.

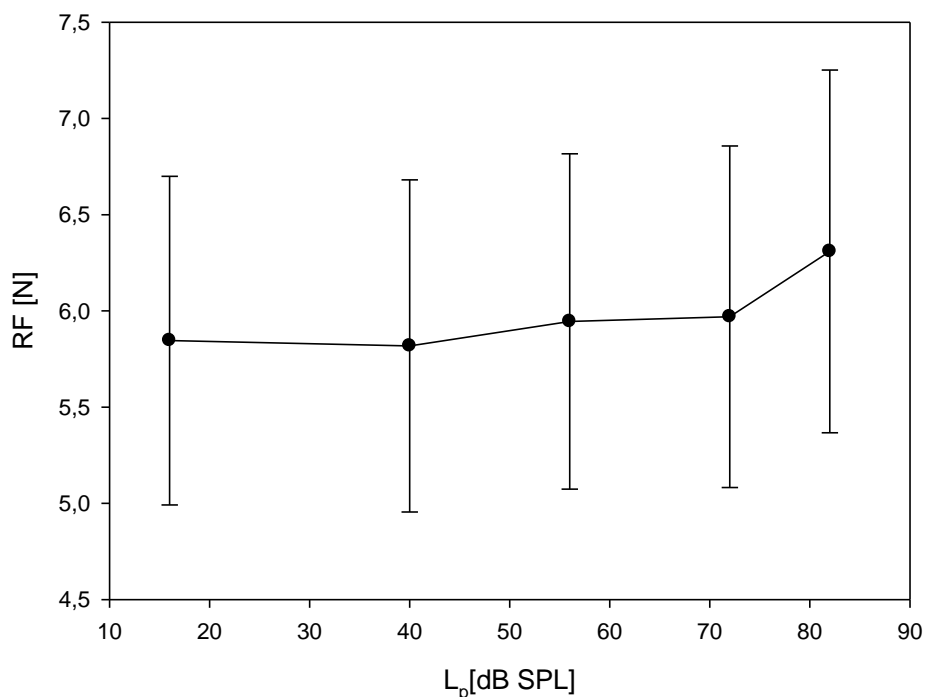


Rys. 22. Siła odpowiedzi dla reakcji prostej i z wyborem w zależności poziomu ciśnienia akustycznego.

Test post hoc (nieparametryczny Friedmana) dla poszczególnych typów reakcji wykazał, iż w przypadku reakcji prostej różnice w pięciu przypadkach porównywanych par ciśnienia akustycznego były istotne statystycznie (przy założonym poziomie $p=0,05$), pomiędzy pierwszym poziomem ciśnienia akustycznego a poziomami trzecim, czwartym i piątym oraz pomiędzy poziomem drugim a poziomami czwartym i piątym.

Dla pozostałych pięciu par różnice, dla tego typu reakcji, były nieistotne statystycznie. W przypadku reakcji z wyborem istotne statystycznie różnice ($p=0,05$) wystąpiły jedynie w przypadku trzech porównań. Dotyczyło to porównań poziomu ciśnienia akustycznego bodźca pierwszego z trzecim, czwartym i piątym.

Efekt główny ciśnienia akustycznego bodźca na siłę z jaką odpowiadali uczestnicy eksperymentu przedstawiony został na rys. 23.



Rys. 23. Efekt główny siły odpowiedzi w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego.

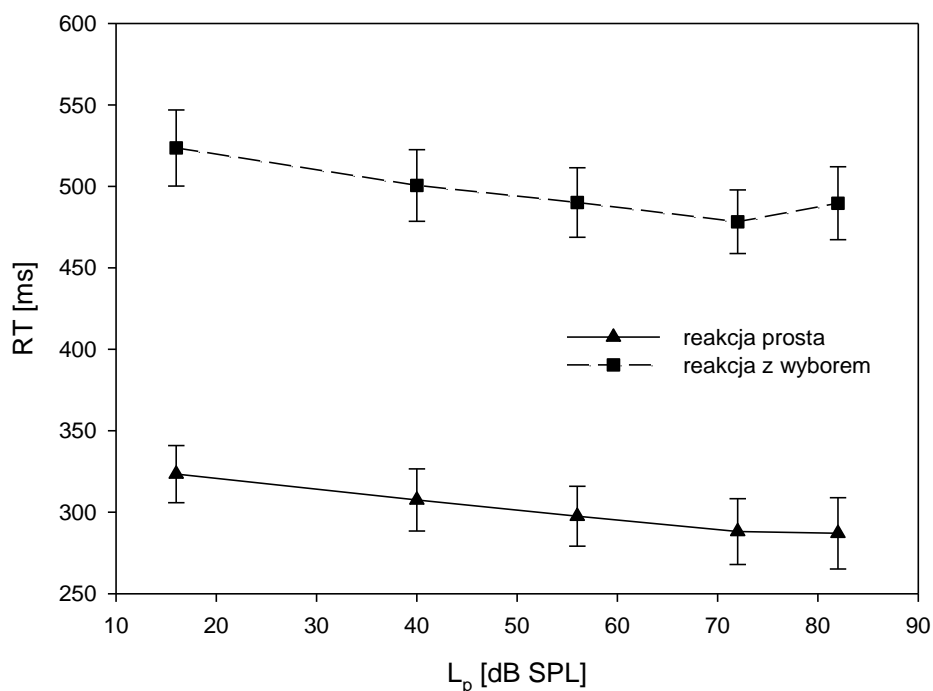
Test post hoc (nieparametryczny dla prób zależnych Friedmana) wykazał istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) występujące pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego piątym i pozostałymi.

Mimo pozornie widocznego wpływu typu reakcji na siłę odpowiedzi efekt główny okazał się nieistotny statystycznie.

Czasy reakcji RT

Na rysunku 24 przedstawiono uzyskane wyniki dla reakcji prostej i z wyborem

dla pięciu wartości poziomu ciśnienia akustycznego L_p . W przypadku reakcji prostej wyraźnie widoczna jest asymptotycznie malejąca krzywa. Natomiast w przypadku reakcji z wyborem zależność czasu reakcji od poziomu ciśnienia akustycznego jest U-kształtną krzywą po przekroczeniu $L_p=80\text{dB}$ SPL. Analiza wariancji (ANOVA) dla powtórzonych pomiarów wykazała istotny statystycznie wpływ zarówno typu reakcji ($F(1,17)=145,9, <0,001$) jak i też poziomu ciśnienia akustycznego bodźca ($F(4,68)=19,3, p<0,001$). Interakcja pomiędzy typem reakcji a ciśnieniem akustycznym bodźca nie były istotne statystycznie.



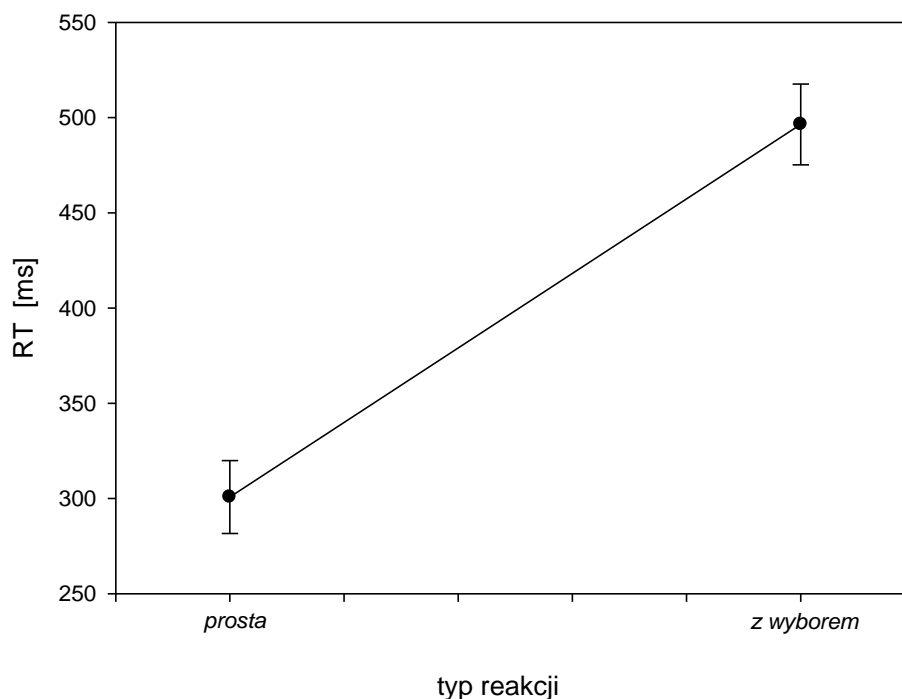
Rys. 24. Czas reakcji prostej i z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.

Test post hoc (nieparametryczny dla prób zależnych Friedmana) wykazał, iż dla reakcji prostej istotne statystycznie różnice występują dla pięciu

porównań. Istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) występują pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego bodźca pierwszym a trzecim, czwartym i piątym oraz drugim a czwartym i piątym.

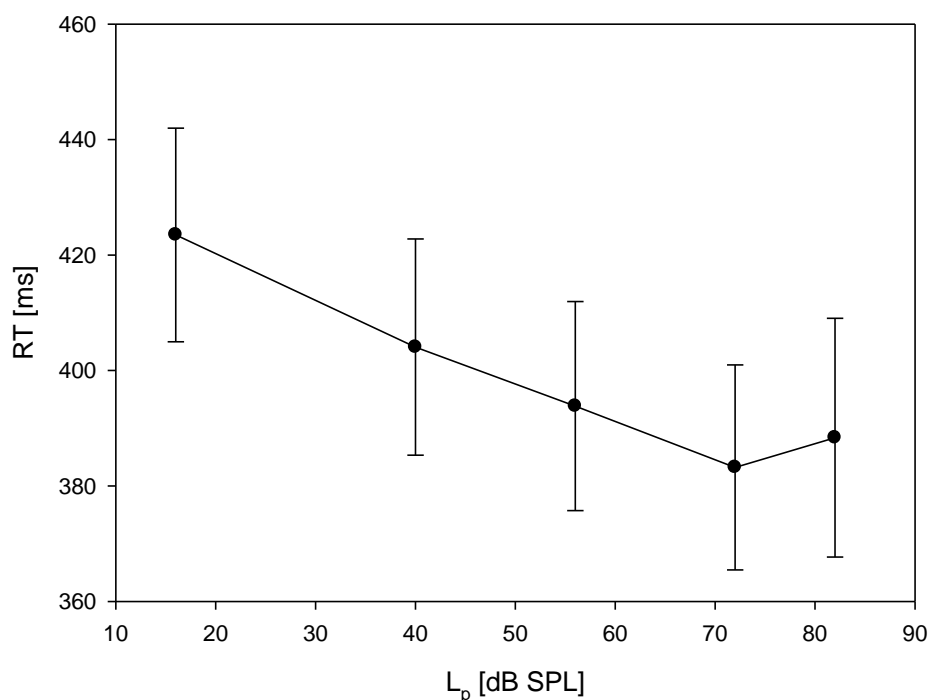
W przypadku reakcji z wyborem istotne statystycznie ($p=0,05$) były różnice dla czterech porównań. Istotne statystycznie różnice występowały pomiędzy poziomem L_p pierwszym a trzecim, czwartym i piątym, a pozostałe siedem par porównań nie było istotne statystycznie.

Efekt główny wpływu poziomu ciśnienia akustycznego bodźca na czas reakcji w zależności od typu reakcji był istotny statystycznie ($p<0,001$) i został przedstawiony na rysunku 25.



Rys. 25. Efekt główny czasu reakcji w zależności od rodzaju reakcji.

Test post hoc (nieparametryczny dla porównań zależnych Friedmana) wykazał istotne statystycznie różnice ($p=0,05$) dla średnich czasów reakcji (rys. 26) dla czterech par porównań. Istotne statycznie okazały się różnice dla poziomów natężeń pierwszego i trzeciego, czwartego i piątego oraz drugiego i czwartego.



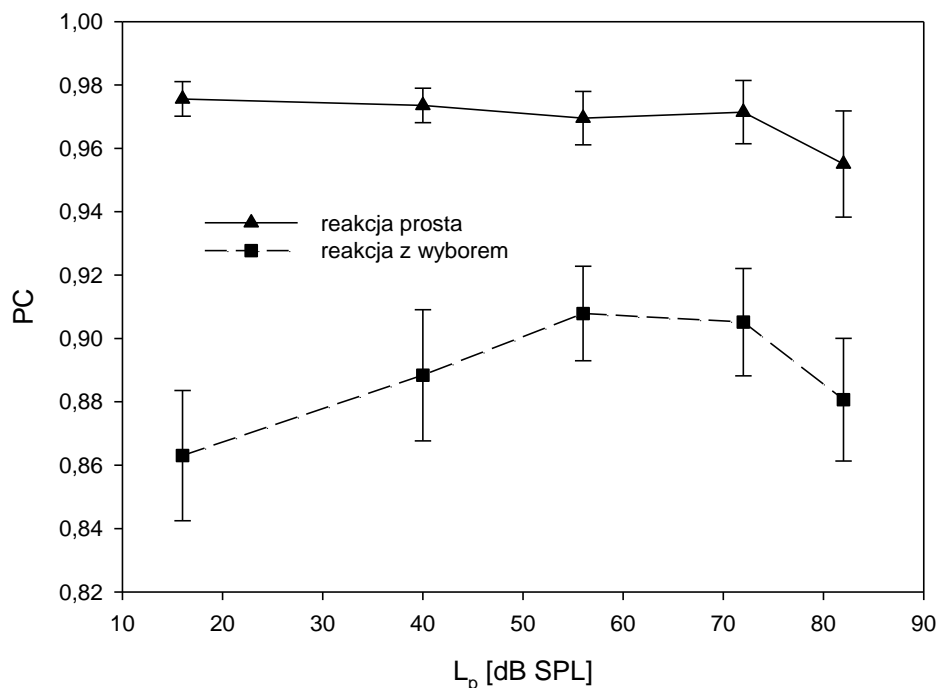
Rys. 26. Efekt główny czasu reakcji w zależności poziomu ciśnienia akustycznego.

Dla pozostałych sześciu par porównań różnice pomiędzy nimi były nie istotne statystycznie.

Procent poprawnych odpowiedzi PC

Na podstawie analizy wariancji z powtórzonymi pomiarami istotny statystycznie był wpływ zarówno typu reakcji ($F(1,17) = 24,6$, $p < 0,001$) jak i

poziomu ciśnienia akustycznego (rys. 27) bodźca słuchowego ($F(4,68)=3,9$, $p=0,018$). Również interakcja pomiędzy typem reakcji a poziomem ciśnienia akustycznego bodźca była istotna statystycznie ($F(4,68)=2,9$, $p=0,037$).

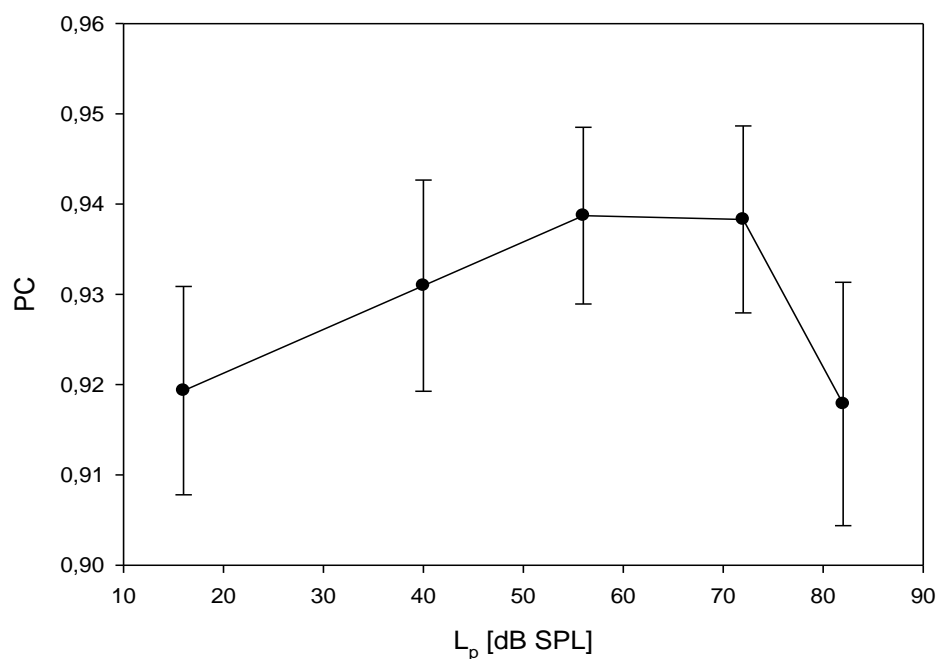


Rys. 27. Procent poprawnych odpowiedzi dla reakcji prostej i z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.

Test post hoc (nieparametryczny dla prób zależnych Friedmana) dla poszczególnych typów reakcji wykazał istotne statystycznie (przy założonym poziomie $p=0,05$) różnice pomiędzy dwoma parami ciśnienia akustycznego bodźca dla reakcji z wyborem. Istotne statystycznie różnice dotyczyły porównań poziomu ciśnienia akustycznego bodźca pierwszego i trzeciego oraz pierwszego i czwartego w przypadku reakcji z wyborem.

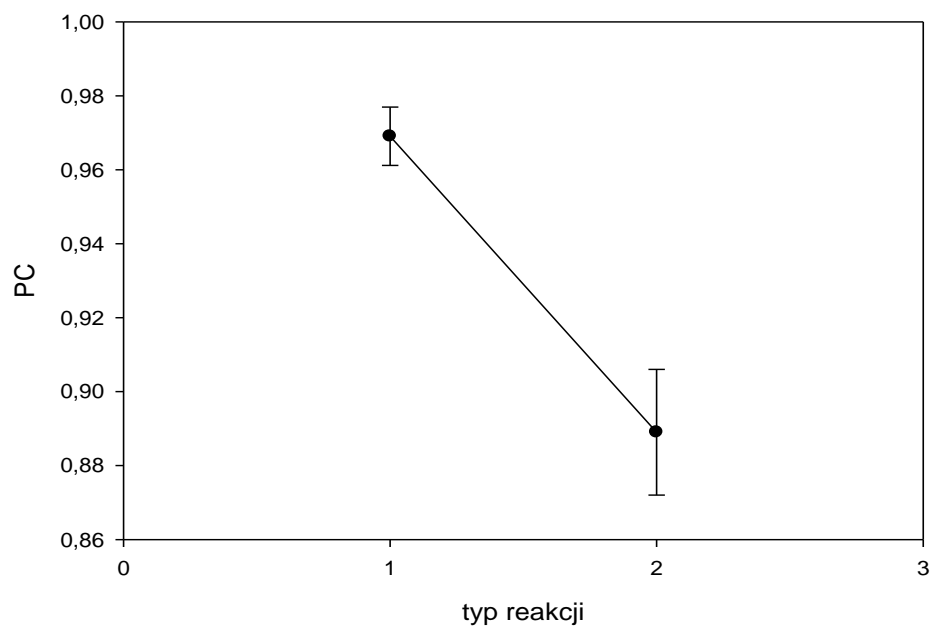
W przypadku efektu głównego (rys. 28) wpływu poziomu ciśnienia akustycznego bodźca na średni procent poprawnych odpowiedzi w różnych typach reakcji test post hoc (nieparametryczny dla parametrów zależnych

Friedmana) wykazał, iż istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) występują pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego pierwszym i trzecim oraz pierwszym i czwartym.



Rys. 28. Średni procent poprawnych odpowiedzi dla reakcji prostej i z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.

Pozostałe osiem par porównań poziomów ciśnienia akustycznego bodźca nie wykazywały różnic istotnych statystycznie.



Rys. 29. Średni procent poprawnych odpowiedzi w zależności od typu reakcji.

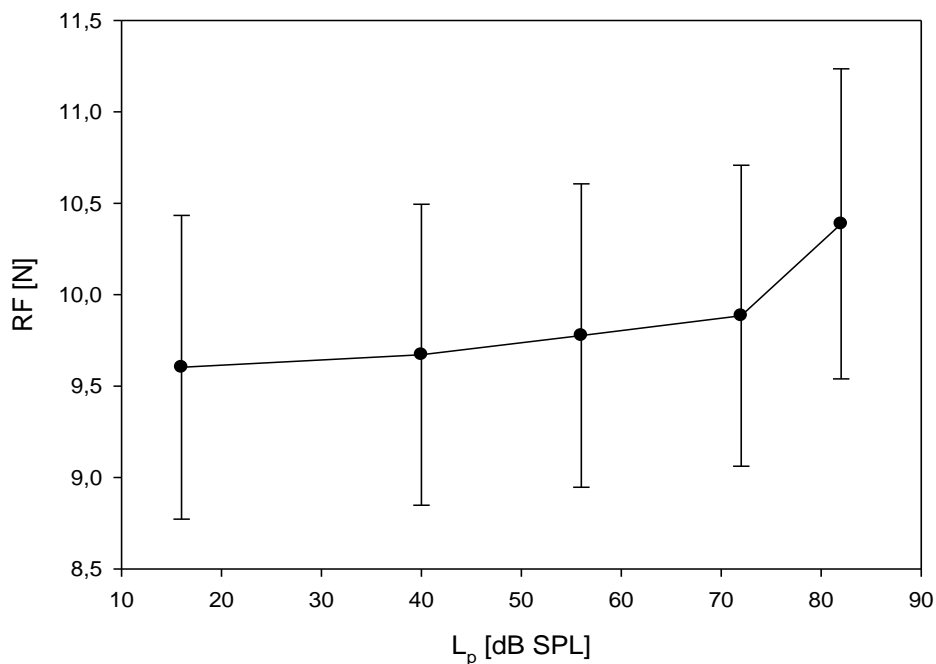
Efekt główny wpływu poziomu ciśnienia akustycznego bodźca na średni procent poprawnych odpowiedzi w zależności od typu reakcji był istotny statystycznie ($p=0,05$) i został przedstawiony na rysunku 29.

4.1.2.2. Eksperyment 4

W eksperymencie czwartym wykorzystano bodźce słuchowe w postaci dwóch tonów o częstotliwości 1000Hz i 3000Hz dla reakcji z wyborem. Na podstawie uzyskanych pomiarów siły odpowiedzi wyznaczono czas reakcji oraz procent poprawnych odpowiedzi udzielanych przez badanych podczas realizowanego eksperymentu.

Siła odpowiedzi RF

Na podstawie przeprowadzonej analizy (rys. 30) statystycznej (ANOVA z powtórzonymi pomiarami) wykazano, iż poziom ciśnienia akustycznego (L_p) zastosowanych bodźców miał istotny statystyczny wpływ na siłę z jaką odpowiadali badani ($F(4,80)=23,6$ $p<0,001$).

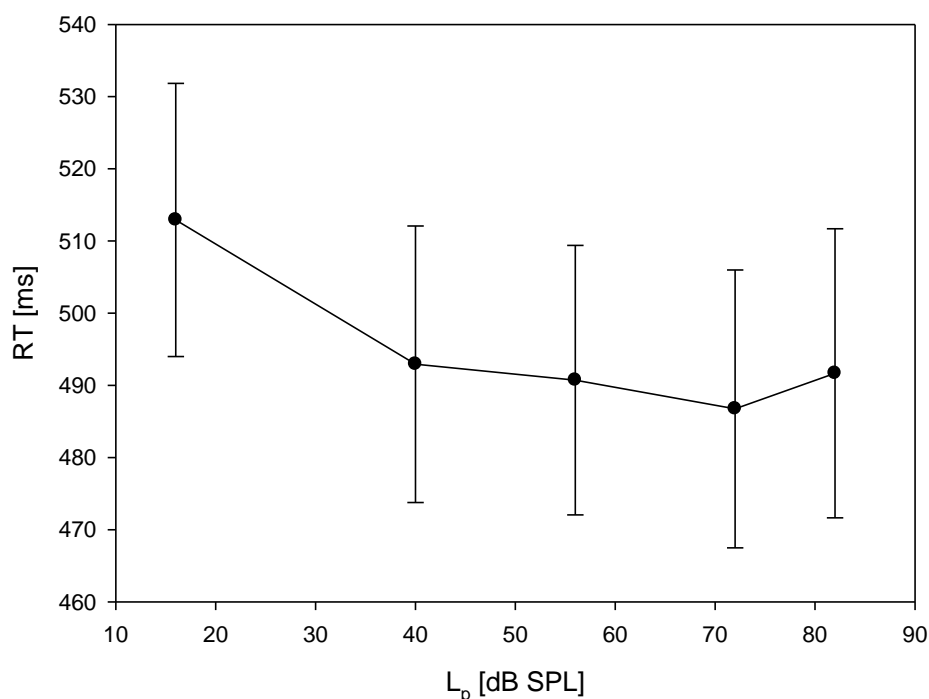


Rys. 30. Siła odpowiedzi dla reakcji z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.

Test post hoc (nieparametryczny dla porównań zależnych Friedmana) wykazał istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) dla porównania poziomów ciśnienia akustycznego bodźca pierwszego i czwartego, pierwszego i piątego, drugiego i czwartego, drugiego i piątego oraz trzeciego i piątego. Dla pozostałych pięciu par różnice okazały się nieistotne statystycznie.

Czasy reakcji RT

Uzyskane wyniki czasów reakcji dla pięciu wartości poziomu ciśnienia akustycznego L_p przedstawiono na rysunku 31. Analiza wariancji (ANOVA) dla powtórzonych pomiarów wykazała istotny statystycznie wpływ natężenia bodźca ($F(4,80)=15,8$, $p<0,001$).

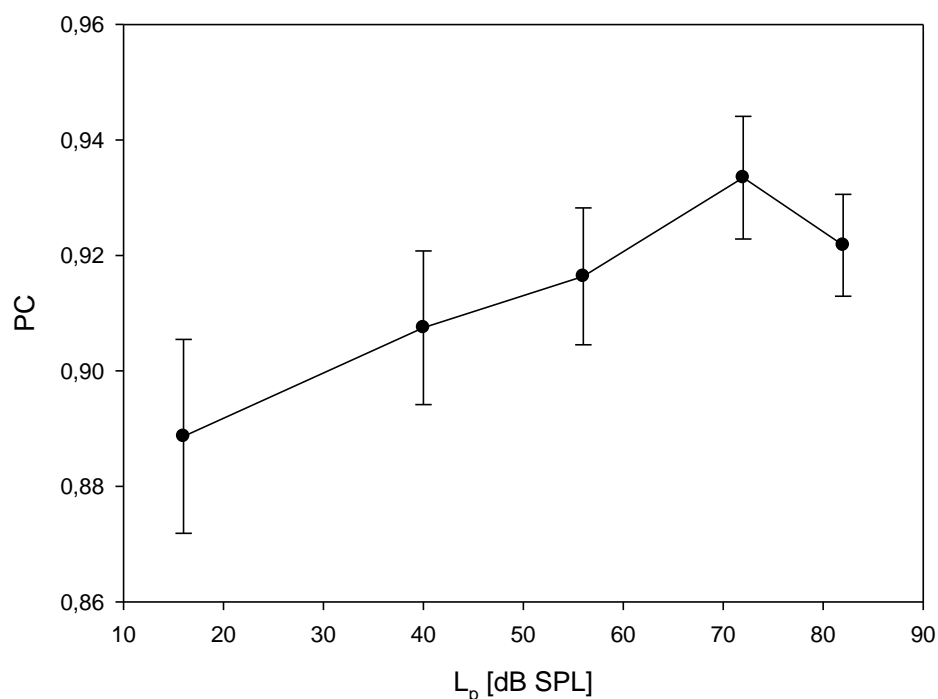


Rys. 31. Czas reakcji z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.

Test post hoc (nieparametryczny dla porównań zależnych Friedmana) wykazał istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) dla porównania poziomów ciśnienia akustycznego bodźca pierwszego i drugiego, pierwszego i trzeciego, pierwszego i czwartego, oraz pierwszego i piątego. Dla pozostałych pięciu par porównań różnice okazały się nieistotne statystycznie.

Procent poprawnych odpowiedzi PC

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji (ANOVA z powtórzonymi pomiarami) wykazano, iż poziom ciśnienia akustycznego (L_p) zastosowanych bodźców (rys. 32) miał istotny statystyczny wpływ na procent poprawnych odpowiedzi jakich udzielili badani ($F(4,80)=10,2$ $p<0,001$).

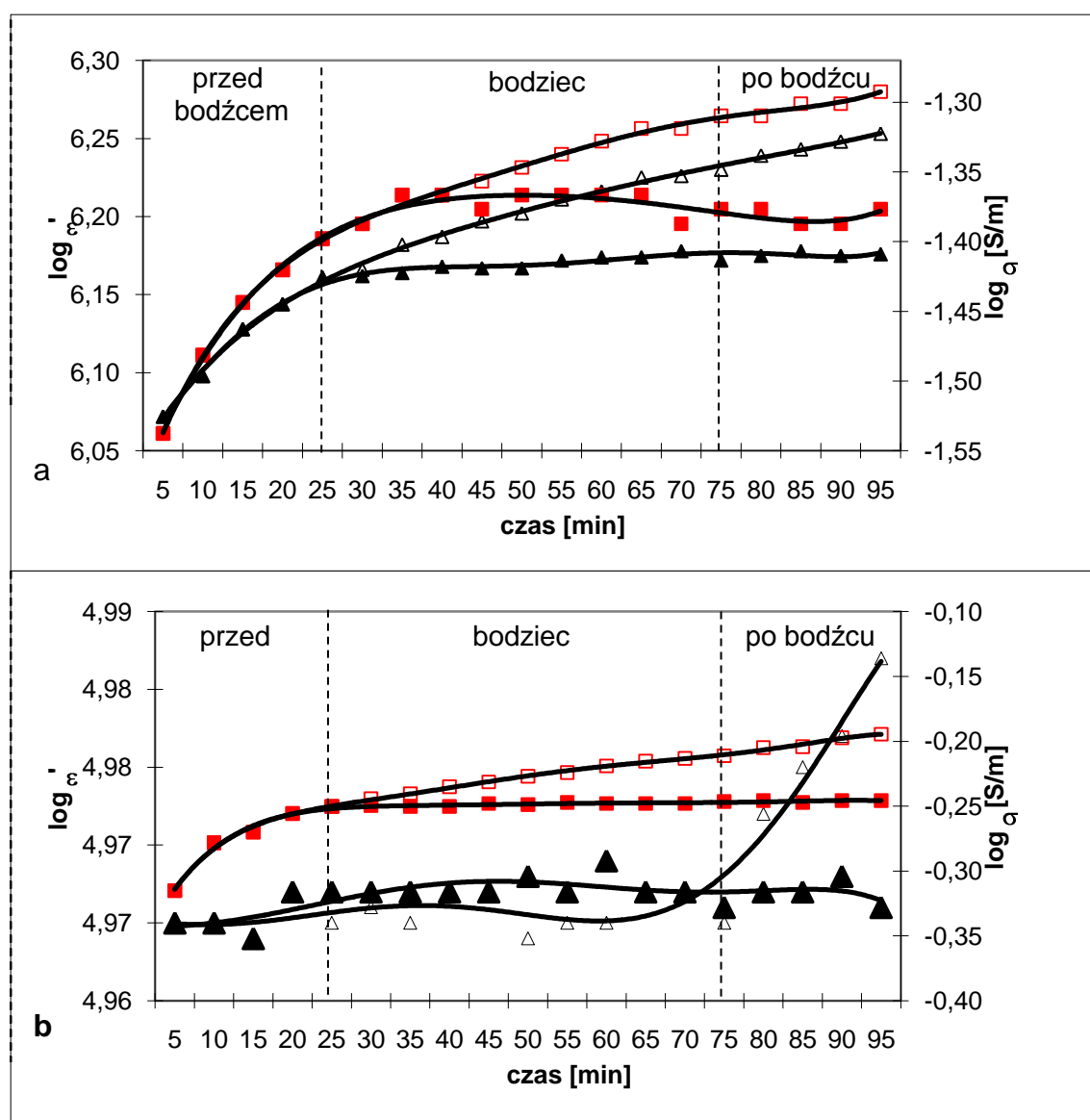


Rys. 32. Procent poprawnych odpowiedzi w zadaniu reakcji z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.

Test post hoc (nieparametryczny dla porównań zależnych Friedmana) wykazał istotne statystycznie różnice (przy założonym poziomie $p=0,05$) dla porównania poziomów ciśnienia akustycznego bodźca pierwszego i czwartego, pierwszego i piątego oraz drugiego i czwartego. Dla pozostałych siedmiu par porównań różnice okazały się nieistotne statystycznie.

4.2. Badania bioimpedancyjne

Wykonano jeden kontrolny eksperyment bioimpedancyjny, w którym przebadano 6 uczestników (5 kobiet i 1 mężczyzna o średnim wieku 24,2lat i SD 8,2lat). Rysunek 33 przedstawia zależności czasowe przenikalności dielektrycznej ϵ' i konduktywności σ skóry szyi dla częstotliwości 1kHz i 50kHz.



Rys. 33. Czasowe zależności ϵ' i σ dla 1kHz (a) i 50kHz (b). (na wykresie symbolami oznaczono: \triangle ϵ' ; \blacktriangle linię odniesienia dla ϵ' ; \square σ ; \blacksquare linię odniesienia dla opis σ).

Dla każdego badanego wykonano dwie serie pomiarów po 95 min każda. Pierwsza seria „linia odniesienia” wykonana była bez bodźca słuchowego. Natomiast druga seria pomiarowa obejmowała czasy przed doprowadzeniem obu usznie bodźca (25 min), z bodźcem (50 min) i bez bodźca (20 min).

Zmiany ϵ' po zadziałaniu bodźca są wyraźnie większe w warstwie naskórka i skóry właściwej w porównaniu do parametrów dielektrycznych bez bodźca, co uwidaczniają przebiegi dla częstotliwości 1kHz. Natomiast wyraźny wzrost ϵ' dla 50kHz w stosunku do linii odniesienia występuje dla tkanek podskórnych po odłączeniu bodźca. Wzrost σ skóry po zadziałaniu bodźca w stosunku do linii odniesienia jest widoczny dla obu częstotliwości.

5. Omówienie wyników

5.1 Dyskusja badań psychofizycznych

W omawianej rozprawie doktorskiej do interpretacji wyników badań psychofizycznych wykorzystano rezultaty badań Van der Molena i Keussa [30;48;49] dla bodźców słuchowych. Z prac tych autorów wynika, że dla reakcji prostej czas reakcji (RT) maleje monotonicznie wraz ze wzrostem poziomu ciśnienia akustycznego, natomiast dla reakcji z wyborem obserwujemy U-kształtną krzywą zależności czasu reakcji od poziomu ciśnienia akustycznego. Taki charakter zależności potwierdzają również krzywe zależności RT w funkcji natężenia bodźca dla bodźców słuchowych jak i również wzrokowych prezentowane w omawianej rozprawie (rys. 24, rys.12, rys.18).

Wcześniej inni autorzy wykonali pomiary dla bodźców wzrokowych[52], które wykazały efekt Van der Molena i Keussa.

Dodatkowo zbadałam wpływ bodźców słuchowych i wzrokowych na siłę odpowiedzi (RF) i procent poprawnych odpowiedzi (PC). Na rysunkach 14, 20, 22 i 27 uwidocznione są zależności RF i PC w funkcji natężenia bodźca, dla wybranych eksperymentów wzrokowych i słuchowych.

Interpretację dalszych moich wyników poparłam modelem zasobów energetycznych Sandersa (rys. 2)

Na podstawie pracy Sandersa [53] wnioskować możemy, iż wyniki uzyskane przez Van der Molena i Keussa w eksperymencie z bodźcami słuchowymi

dowodzą, że wraz ze wzrostem natężenia bodźca wzrasta wartość wzbudzenia (patrz Model Sandersa rys. 2) bezpośrednio działającego na wzrost aktywacji odpowiedzialnej za regulację reakcji motorycznej, w efekcie czego obserwujemy wzrost szybkości reakcji (skrócenie RT) dla reakcji prostej. W reakcji z wyborem na skutek wzrostu natężenia bodźca wystąpił znaczący wzrost wzbudzenia a w konsekwencji i aktywacji, co może zwiększyć liczbę błędnych odpowiedzi. Aby tego uniknąć wysiłek (jeden z zasobów energetycznych, patrz rysunek 2), kontrolujący zarówno wzbudzenie jak i aktywację, przerywa ich wzajemne oddziaływanie w konsekwencji prowadząc do zmniejszenia liczby błędnych odpowiedzi kosztem wydłużenia czasu reakcji co widoczne jest w postaci U-kształtnej krzywej.

Po zastosowaniu bodźców wzrokowych o dużych poziomach luminancji $19,6\text{cd/m}^2$ oraz $125,9\text{cd/m}^2$ dla reakcji z wyborem uzyskałam U-kształtną krzywą zależności RT w funkcji luminancji bodźca (rys.12). Świadczy to o tym, iż zastosowane przeze mnie bodźce były wystarczające do wywołania odpowiednio dużego wzbudzenia, a więc wystąpienia efektu Van der Molena i Keussa. Uzyskane przez mnie rezultaty wskazują, że czas reakcji dla bodźców wzrokowych dla reakcji prostej maleje monotonicznie wraz ze wzrostem natężenia bodźca (rys. 18). W przypadku reakcji z wyborem czas ten maleje monotonicznie jedynie dla mniejszych wartości natężenia bodźca, natomiast dla większych wartości wydłuża się co uwidocznione jest na

wykresie zależności RT w funkcji luminancji w postaci U-kształtnej krzywej (rys. 12).

Dla uzyskanych przeze mnie wyników zależności procentu poprawnych odpowiedzi (PC) od natężenia bodźca, zarówno w eksperymentach wzrokowych jak i słuchowych, obserwujemy wzrost PC (rys. 14, 20 i 27) z jednoczesnym skróceniem RT (rys. 12, 18 i 24), dla pewnych wartości poziomu natężenia bodźca, a następnie spadek PC ze wzrostem RT zgodnie z modelem Sandersa na skutek zadziałania wysiłku na wzajemne oddziaływanie wzbudzenia i aktywacji. Wyniki te przeczą koncepcji automatycznej czujności (*ang. automatic alertness*) Posnera [61] według której w stanach pobudzenia oczekiwać możemy skrócenia czasu reakcji (RT) z jednoczesnym wzrostem liczby błędnych odpowiedzi (spadek PC).

We wszystkich eksperymentach psychofizycznych, omawianej rozprawy, niezależnie od rodzaju bodźca czy też typu reakcji, obserwowany jest wzrost siły odpowiedzi (RF) podobnie jak w pracach innych autorów [62]. Świadczy to o tym, iż natężenie bodźca wpływa na jeden z ostatnich etapów przetwarzania informacji o bodźcu, a mianowicie na proces generowania odpowiedzi ruchowej (zgodnie z modelem Sandersa, rys. 2) [63;64].

W eksperymencie pierwszym i drugim gdzie badałam wpływ zarówno wielkości fizycznej bodźca wzrokowego jak i jego luminancji, na czas reakcji RT, siłę odpowiedzi RT i procent poprawnych odpowiedzi PC, po przeprowadzeniu analizy ANOVA nie odnotowałam żadnej interakcji

pomiędzy luminancją a wielkością bodźca. Zgodnie z metodą AFM (patrz 1.7. *Metoda Stenberga*), brak interakcji świadczy o ich addytywności i wpływie na różne stadia przetwarzania informacji o bodźcu (rys. 12).

W eksperymencie trzecim z bodźcami słuchowymi, po przeprowadzeniu analizy ANOVA dla procentu poprawnych odpowiedzi (PC) wykazałam istnienie interakcji pomiędzy natężeniem, a typem realizowanej reakcji.

Na podstawie metody AMF możemy stwierdzić, iż typ reakcji oraz poziom ciśnienia akustycznego bodźca nie są addytywne i działają na ten sam etap przetwarzania informacji o bodźcu.

5.2. Dyskusja badań bioimpedancyjnych

Otrzymane wartości liczbowe ϵ' i σ (rys. 33) dla skóry szyi odzwierciedlają mechanizmy polaryzacji dielektrycznej Maxwell-Wagner-Sillar (MWS) [55] typowej dla struktur wielowarstwowych i przewodnictwa jonowego [65-67] występującego w każdej tkance. Prawdopodobnie po zadziałaniu bodźca źródłem ładunków elektrycznych zdolnych do gromadzenia się w warstwie kolczystej naskórka oraz odpowiedzialnych za przewodnictwo jest zwiększone wydzielanie potu oraz wzrost transportu płynów w tkance podskórnej. W podobnych badaniach psychofizycznych z zastosowaniem metod elektrycznych wykonanych przez innych autorów [58] również zaobserwowano wzrost przewodnictwa stałoprądowego skóry. Natomiast wyraźny wzrost polaryzacji dla 50kHz, uwidoczony jako gwałtowny wzrost ϵ' po odłączeniu bodźca może być związany ze wzrostem wzbudzenia (patrz Model Sandersa rys.2) wywołanego silnymi bodźcami słuchowymi. Wzrost wzbudzenia oddziałuje na aktywację w wyniku czego dochodzi do przejęcia kontroli nad nimi wysiłku. Taka sytuacja wywołuje podniesienie ogólnego poziomu stresu u badanego w trakcie trwania bodźca, co wskazuje utrzymującą się na stałym poziomie wartość ϵ' , która gwałtownie wzrasta dopiero po wyłączeniu go.

6. Wnioski

Na podstawie pomiarów chronometrycznych wyznaczono czas reakcji (RT), siłę odpowiedzi (RF) oraz procent poprawnych odpowiedzi (PC).

Z pomiarów tych wynika iż:

- ✓ **czas reakcji** w funkcji natężenia bodźca wzrokowego i słuchowego ma charakter U-kształtnej krzywej dla reakcji z wyborem, podobnie jak w pracach innych autorów,
- ✓ **siła odpowiedzi** dla bodźców wzrokowych i słuchowych rośnie wraz ze wzrostem wartości natężenia bodźca i nie zależy od typu reakcji,
- ✓ **procent poprawnych odpowiedzi** wzrasta wraz ze skróceniem czasu reakcji i nie zależy od typu reakcji.

Na podstawie pomiarów bioimpedancji skóry szyi, uzyskanych metodą spektroskopii dielektrycznej, obliczono przenikalność dielektryczną i konduktywność tej tkanki.

Otrzymane wyniki wskazują iż:

- ✓ wartości liczbowe **przenikalności dielektrycznej** i **konduktywności** dla skóry szyi, odzwierciedlają mechanizmy polaryzacji dielektrycznej Maxwell-Wagner-Sillars (MWS) występującej w strukturach wielowarstwowych jaką jest skóra i przewodnictwa jonowego typowego dla wszystkich tkanek,

- ✓ po zadziałaniu bodźca wzrost **przewodnictwa jonowego** widoczny jest w całej skórze dla obu częstotliwości pola elektrycznego jako rezultat zwiększonej aktywności gruczołów potowych
- ✓ gwałtowny wzrost polaryzacji po odłączeniu bodźca dla 50kHz może być rezultatem ustąpienia czynnika (silny bodziec słuchowy) powodującego wysoki poziom stresu u badanego.

7. Spis rysunków

Rys. 1. Typy reakcji według Dondersa.

Rys. 2. Model Sandersa.

Rys. 3. Układ pomiarowy do badania wpływu bodźców wzrokowych i słuchowych na siłę odpowiedzi.

Rys. 4. Struktura czasowa eksperymentów psychofizycznych.

Rys. 5. Bodźce wzrokowe małe (a) i duże (b). Zmiany luminancji dotyczyły jasnego pola, centralnie umieszonego na ekranie monitora, na którym znajdowały się litery A lub O.

Rys. 6. Bodziec słuchowy.

Rys. 7. Aparatura pomiarowa do badania właściwości elektrycznych skóry.

Rys. 8. Równoległy model elektryczny skóry szyi.

Rys. 9. Charakterystyka parametrów psychofizycznych.

Rys. 10. Siła odpowiedzi dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji.

Rys. 11. Efekt główny siły odpowiedzi w zależności od luminancji bodźca.

Rys. 12. Czas reakcji dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji.

Rys. 13. Efekt główny czasu reakcji w zależności od luminancji bodźca.

Rys. 14. Procent poprawnych odpowiedzi dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji.

Rys. 15. Efekt główny procentu poprawnych odpowiedzi w zależności od luminancji bodźca.

Rys. 16. Siła odpowiedzi dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji.

Rys. 17. Efekt główny siły odpowiedzi w zależności od luminancji bodźca.

Rys. 18. Czas reakcji dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji bodźca.

Rys. 19. Efekt główny średniego czasu reakcji w zależności od luminancji bodźca.

Rys. 20. Procent poprawnych odpowiedzi dla bodźców małych i dużych w zależności od luminancji.

Rys. 21. Efekt główny średniego procentu poprawnych odpowiedzi w zależności od luminancji bodźca.

Rys. 22. Siła odpowiedzi dla reakcji prostej i z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego.

Rys. 23. Efekt główny siły odpowiedzi w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego.

Rys. 24. Czas reakcji prostej i z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.

Rys. 25. Efekt główny czasu reakcji w zależności od rodzaju reakcji.

- Rys. 26. Efekt główny czasu reakcji w zależności poziomu ciśnienia akustycznego.
- Rys. 27. Procent poprawnych odpowiedzi dla reakcji prostej i z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.
- Rys. 28. Średni procent poprawnych odpowiedzi dla reakcji prostej i z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.
- Rys. 29. Średni procent poprawnych odpowiedzi w zależności od typu reakcji.
- Rys. 30. Siła odpowiedzi w zadaniu reakcji z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.
- Rys. 31. Czas reakcji z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.
- Rys. 32. Procent poprawnych odpowiedzi w zadaniu reakcji z wyborem w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego bodźca.
- Rys. 33. Czasowe zależności ϵ' i σ dla 1kHz (a) i 50kHz (b). (na wykresie symbolami oznaczono: \triangle ϵ' ; \blacktriangle linię odniesienia dla ϵ' ; \boxplus σ ; \blacksquare linię odniesienia dla opis σ).

8. Spis tabel

Tabela 1. Zrealizowane eksperymenty.

Tabela 2. Szczegółowe dane dotyczące uczestników eksperymentów psychofizycznych.

Tabela 3. Zestawienie wykonanych eksperymentów z bodźcami wzrokowymi.

Tabela 4. Zestawienie wykonanych eksperymentów z bodźcami słuchowymi.

9. Spis symboli i skrótów

<i>Lp.</i>	<i>Skrót</i>	<i>Nazwa w języku angielskim</i>	<i>Nazwa w języku polskim</i>
1	RT	<i>reaction time</i>	czas reakcji
2	RF	<i>reaction force</i>	siła odpowiedzi
3	PC	<i>percent correct</i>	procent poprawnych odpowiedzi
4	AFM	<i>additive factors method</i>	metoda czynników addytywnych
5	PW2FC3	-	czujnikach nacisku (tensometr PW2FC3)
6	R	-	rezystancja
7	C	-	pojemność
8	d	-	odległość pomiędzy elektrodami
9	S	-	pole powierzchni elektrody
10	ϵ_0	-	przenikalność elektryczna próżni
11	ϵ'	-	przenikalność dielektryczna
12	σ	-	konduktywność
13	F	-	siła nacisku
14	L	-	luminancja
15	L_p	-	poziomach ciśnienia akustycznego
16	F(a,b)=c	-	współczynnik rozkładu Fishera o wartości krytycznej c i stopniach swobody dla licznika a i dla mianownika b
17	p	-	poziom istotności statystycznej

18	MWS		polaryzacja dielektryczna typu Maxwell-Wagner-Sillar
----	------------	--	---

10. Literatura

- [1] Leahey T.H. (2004) *A history of psychology: main currents in psychological thought.*, 6th edn. PEARSON Practice Hall, New Jersey.
- [2] Posner, M.I. (1978) *Chronometric Explorations of Mind.* Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- [3] Posner, M.I. (1978) *Chronometric explorations of mind.* Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- [4] Kasperski, M.J. Mózg - historia badań.
<http://www.kognitywistyka.net/mozg/historia.html> . 2001.
Ref Type: Electronic Citation
- [5] Kasperski, M.J. Mózg - historia badań.
http://www.kognitywistyka.net/mozg/historia_badan.htm . 2006.
Ref Type: Electronic Citation
- [6] Helmholtz, H.L.F.v. (1850) Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, 276-364.
- [7] Handwerker, H.O. (1997) Allgemeine Sinnesphysiologie. In *Physiologie des Menschen* (Schmidt, R.F. & Thews, G., eds), pp. 195-215. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- [8] F.C. Donders, the father of mental chronometry.
www.ru.nl/fcdonders/general/biography_fc . 2002.
Ref Type: Electronic Citation
- [9] Donders, F.C. (1868) Die Schnelligkeit Psychischer Prozesse. *Archive für Anatomie und Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, 657-681.
- [10] Nęcka, E., Orzechowski, J., & Szymura, B. (2006) *Psychologia poznawcza.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [11] Woodworth, R.S. (1938) *Experimental Psychology.* Holt, New York.
- [12] Kuelpe, O. (1909) *Outlines of psychology: based upon the results of experimental investigation.* Macmillan, New York.

- [13] Meyer,D.E., Osman,A., Irwin,D.E., & Yantis,S. (1988) Modern mental chronometry. *Biological Psychology*, **26**, 3-67.
- [14] van der Molen,M.W., Bashore,T.R., Halliday,R., & Callaway,E. (1991) Chronopsychophysiology: Mental chronometry augmented by psychophysiological time markers. In *Handbook of Cognitive Psychophysiology. Central and autonomic nervous system approaches* (Jennings,J.R. & Coles,M.G.H., eds), pp. 10-178. John Wiley & Sons, Chichester, New York.
- [15] Sternberg,S. (1969) The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica*, **30**, 276-315.
- [16] Meyer,D.E., Irwin,D.E., Osman,A., & Kounios,J. (1988) The dynamics of cognition and action: mental processes inferred from speed-accuracy decomposition. *Psychological Review*, **95**, 183-237.
- [17] Miller,J.O. (1988) Discrete and continuous models of human information processing: Theoretical distinctions and empirical results. *Acta Psychologica*, **67**, 191-257.
- [18] Miller,J.O. (1990) Discreteness and continuity in models of human information processing. *Acta Psychologica*, **74**, 297-318.
- [19] Ratcliff,R. (1988) Continuous versus discrete information processing: Modeling accumulation of partial information. *Psychological Review*, **95**, 238-254.
- [20] Roberts,S. & Sternberg,S. (1992) The meaning of additive reaction-time effects: Tests of three alternatives. In *Attention and Performance. XIV. Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience* (Meyer,D.E. & Kornblum,S., eds), pp. 611-653. MIT Press, Cambridge, MA.
- [21] Sanders,A.F. (1990) Issues and trends in the debate on discrete vs. continuous processing of information. *Acta Psychologica*, **74**, 123-167.
- [22] Sanders,A.F. (1998) *Elements of human performance: Reaction processes and attention in human skill*. Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- [23] Sternberg,S. (1998) Discovering mental processes: The method of additive factors. In *Methods, models, and conceptual issues. An invitation to cognitive science* (Scarborough,D. & Sternberg,S., eds), pp. 703-863. MIT Press, Cambridge, MA.
- [24] Piéron,H. (1952) *The sensations*. Yale University Press, New Haven.
- [25] Bennett,P.J. & Pratt,J. (2001) The spatial distribution of inhibition of return. *Psychological Science*, **12**, 76-80.

- [26] Bell, A.H., Meredith, M.A., Van Opstal, A.J., & Munoz, D.P. (2006) Stimulus intensity modifies saccadic reaction time and visual response latency in the superior colliculus. *Exp Brain Res*, **174**, 53-59.
- [27] Bonnet, C., Gurlekian, J., & Harris, P. (1992) Reaction-Time and Visual Area - Searching for the Determinants. *Bulletin of the Psychonomic Society*, **30**, 396-398.
- [28] Carreiro, L.R., Haddad, H., & Baldo, M.V. (2011) Effects of intensity and positional predictability of a visual stimulus on simple reaction time. *Neuroscience Letters*, **487**, 345-349.
- [29] Narożny, K. Zmodyfikowany sposób pomiaru czasu reakcji motorycznej na bodziec akustyczny i jego przydatność w badaniach narządu słuchu. 1978. *Rozprawa doktorska*.
- [30] van der Molen, M.W. & Keuss, P.J.G. (1979) The relationship between reaction time and intensity in discrete auditory tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **31**, 95-102.
- [31] Everett, B.L., Hochhaus, L., & Brown, J.R. (1985) Letter-naming as a function of intensity, degradation, S-R compatibility, and practice. *Perception & Psychophysics*, **37**, 467-470.
- [32] Miller, J.O. & Pachella, R.G. (1976) Encoding processes in memory scanning tasks. *Memory & Cognition*, **1976**, 501-506.
- [33] Niemi, P. (1979) Stimulus intensity effects on auditory and visual reaction processes. *Acta Psychologica*, **43**, 299-312.
- [34] Pachella, R.G. & Miller, J.O. (1976) Stimulus probability and same-different classification. *Perception & Psychophysics*, **19**, 29-34.
- [35] Raab, D., Fehrer, E., & Hershenson, M. (1961) Visual RT and the Broca-Sulzer phenomenon. *Journal of Experimental Psychology*, **61**, 193-199.
- [36] Sanders, A.F. & Andriessen, J.E.B. (1978) A suppressing effect of response selection on immediate arousal in a choice reaction time. *Acta Psychologica*, **42**, 181-186.
- [37] Schwarz, S., Pomerantz, J.R., & Egeth, H.E. (1977) State and process limitations in information processing: An additive factors analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **3**, 403-410.
- [38] Schweickert, R., Dahn, C., & McGuigan, H. (1988) Intensity and number of alternatives in hue identification: Pieron's law and choice reaction time. *Perception & Psychophysics*, **44**, 383-389.

- [39] Vaughan, H.G. Jr., Costa, L.D., & Gilden, I. (1966) The functional relation of visual response and reaction time to stimulus intensity. *Vision Research*, **6**, 645-656.
- [40] Wilson, A.J. & Lit, A. (1981) Effects of photopic annulus luminance level on reaction time and on the latency of evoked cortical potential responses to target flashes. *The Journal of Optical Society of America*, **71**, 1481-1486.
- [41] Jaśkowski, P., Pruszevicz, A., & Swidziński, P. (1990) VEP latency and some properties of simple motor reaction-time distribution. *Psychological Research*, **52**, 28-34.
- [42] Miller, J.O. & Pachella, R.G. (1973) Locus of stimulus probability effect. *Journal of Experimental Psychology*, **101**, 227-231.
- [43] Sternberg, S. (1966) High speed scanning in human memory. *Science*, **153**, 652-654.
- [44] Stanovitch, K.E. & Pachella, R.G. (1977) Encoding, stimulus-response compatibility, and stages of processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **3**, 411-421.
- [45] Jaśkowski, P., Rybarczyk, K., & Jaroszyk, F. (1994) On the relationship between latency of auditory evoked potentials, simple reaction time and stimulus intensity. *Psychological Research*, **56**, 59-65.
- [46] Kammer, T., Lehr, L., & Kirschfeld, K. (1999) Cortical visual processing is temporally dispersed by luminance in human subjects. *Neuroscience Letters*, **263**, 133-136.
- [47] van der Molen, M.W. & Orlebeke, J.F. (1980) Phasic heart rate change and the U-shaped relationship between choice reaction time and auditory signal intensity. *Psychophysiology*, **17**, 471-481.
- [48] van der Molen, M.W. & Keuss, P.J.G. (1981) Response selection and the processing of auditory intensity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **33**, 177-184.
- [49] Keuss, P.J.G. & van der Molen, M.W. (1982) Positive and negative effects of stimulus intensity in auditory reaction time tasks: Further studies on immediate arousal. *Acta Psychologica*, **52**, 61-72.
- [50] Jaśkowski, P. & Włodarczyk, D. (2005) Effect of loudness on reaction time and response force in different motor tasks. *Percept. Mot. Skills*, **101**, 949-960.

- [51] Włodarczyk,D., Jaśkowski,P., & Nowik,A. (2002) The influence of sleep deprivation and auditory intensity on reaction time and response force. *Perceptual and Motor Skills*, **94**, 1101-1112.
- [52] Jaśkowski,P. & Włodarczyk,D. (2006) Task modulation of the effect of brightness on reaction time and response force. *International Journal of Psychophysiology*, **61**, 98-112.
- [53] Sanders,A.F. (1983) Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, **53**, 61-97.
- [54] Sanders,A.F. (1980) Stage analysis of reaction processes. In *Tutorials in motor behavior* (Stelmach,G.E. & Requin,J., eds), pp. 331-354. North-Holland, Amsterdam.
- [55] Grimnes,S. & Martinsen,O.G. (2008) *Bioimpedance and bioelectricity basics*. Academic Press.
- [56] Lim,C.L., Rennie,C., Barry,R.J., Bahramali,H., Lazzaro,I., Manor,B., & et al. (1997) Decomposing skin conductance into tonic and phasic components. *Intern. J. Psychophysiol*, **25**, 97-109.
- [57] Barry,R.J., Clarke,A.R., Johnston,S.J., & Rushby,J.A. (2008) Timing of coffee's impact on the autonomic and central nervous system: clarification of arousal issues. *Biological Psychology*, **77**, 304-316.
- [58] Vaez Mousavi,S.M., Barry,J.R., & Clarke,A.R. (2009) Individual differences in task-related activation and performance. *Physiology&Behavior*, **98**, 326-330.
- [59] Whelan,H. (2008) Effective analysis of reaction time data. *The Psychological Record*, **58**, 475-482.
- [60] Malarska,A. (2005) *Statystyczna analiza danych wspomagana programem SPSS*. SPSS Polska Kraków .
- [61] Posner,M.I., Nissen,M.J., & Klein,R.M. (1976) Visual dominance: An information-processing account of its origins and significance. *Psychol. Rev.*, **83**, 157-171.
- [62] Angel,A. (1973) Input-output relations in simple reaction time experiments. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **25**, 193-200.
- [63] Miller,J., Franz,V., & Ulrich,R. (1999) Effects of auditory stimulus intensity on response force in simple, go/no-go, and choice RT tasks. *Perception & Psychophysics*, **61**, 107-119.
- [64] Ulrich,R., Leuthold,H., & Sommer,W. (1998) Motor programming of response force and movement direction. *Psychophysiology*, **35**.

- [65] Nunez,P.L. & Srinivasan,R. (2006) *Electric fields of the brain : The neuro physics of EEG*. Oxford University Press.
- [66] Zhao,E. (2009) Electrical fields in wound healing—An overriding signal that directs cell migration. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, **20**, 674-682.
- [67] Levin,M. (2007) Large-scale biophysics: ion flows and regeneration. *Trends in Cell Biology*, **17**, 261-270.