

# Badanie progu czucia na nadgarstku

## Tactile perception threshold test on human wrists

Cezary Kasprzak, Jerzy Wiciak

AGH - Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. +48 12 617 36 85, e-mail: cekasp@agh.edu.pl

### Streszczenie

Podstawą wyższych funkcji nerwowych jest kojarzenie różnych informacji sensorycznych docierających do człowieka. W przypadku percepcji, będącej wynikiem holistycznego rozpoznania w obrębie mózgu, muszą zachodzić procesy scalania elementarnych komponentów pochodzących z różnych układów czuciowych, takich jak wzrokowe, słuchowe, smakowe czy węchowe. Istotną rolę w procesie percepcji odgrywa, często niedoceniany, zmysł czucia.

Od 2009 roku Akademia Górniczo-Hutnicza realizuje projekt rozwojowy, w ramach którego opracowana zostanie metoda i system oznaczania miejsc niebezpiecznych i szczególnie istotnych w dużym mieście dla osób niewidomych z wykorzystaniem markerów falowo-wibracyjnych.

Jednym z elementów systemu identyfikacji ważnych lub niebezpiecznych miejsc jest przetwornik drganiowy noszony na nadgarstku przez osobę niewidomą. Z tego powodu konieczne było porównanie wrażliwości różnych obszarów skóry na nadgarstku na dwa bodźce dotykowe działające jednocześnie oraz określenie najmniejszej rozpoznawalnej w ponad 95% przypadkach odległości dwóch jednoczesnych ukłuc.

Badaniami objęto grupę 33 osób w wieku 20–25 lat (w tym 12 kobiet i 21 mężczyzn), studentów Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Badania progu czucia wykonano na obu nadgarstkach.

Do pomiaru wrażliwości na dotyk wykorzystano estezjometr firmy MacKinnon-Dellon składający się z kolców o średnicy 1 mm zamontowanych na wspólnej ramie. Osoba badana miała określić, czy odczuwa jedno czy dwa ukłucia. Jeżeli podwójne ukłucie odczuwane było jako jedno, oznaczało to, że w danym miejscu skóra badanego jest mało wrażliwa. Odległość między kolcami zwiększano do momentu odczuwania przez pacjenta dwóch odrębnych ukłuc.

Analiza uzyskanych wyników pozwoliła na stwierdzenie, że ponad 95% badanych prawidłowo rozpoznaje podwójne ukłucie na nadgarstku przy odległości 13 mm między sąsiednimi kolcami.

**Słowa kluczowe:** próg czucia, estezjometr, percepcja

### Abstract

The higher functions of the nervous system coordinate various types of sensory information. In case of the perception, resulting from the effect of holistic recognition in the brain regions, the elementary components coming from various sensory systems (auditory, visual etc.) have to be integrated.

Since 2009, the AGH University of Science and Technology implements a development project, aiming to develop a method and system for marking hazardous areas. Particularly, it is important for blind people using wave-vibration markers. One of the elements of the system for identification of hazardous places is a vibration transmitter on the wrist of a blind person. For this reason, it is necessary to compare the sensitivity of various areas on the wrist skin for two tactile stimuli acting simultaneously and to determine the smallest distance between two simultaneous stings that is recognized in more than 95% of cases.

The control group included 33 persons aged 20–25 years, 12 female and 21 male students of the AGH University of Science and Technology. The tactile perception tests were performed on both wrists.

The touch sensitivity measurements were performed by means of an esthesiometer, comprising two needles, with the diameter 1 mm, fixed on the frame. The examined person has to assess the sensation of a single or double stimulus. The distance between the needles was increasing, till the subject sensed the stimuli as two separate pricks.

The experimental data revealed that over 95% participants correctly recognized the double prick with two needles set apart by a distance of 13 mm.

**Key words:** perception threshold, esthesiometer, perception

### Wprowadzenie

Podstawą wyższych funkcji nerwowych jest kojarzenie różnych informacji sensorycznych docierających do człowieka. W przypadku percepcji, będącej wynikiem holistycznego rozpoznania w obrębie mózgu, muszą zachodzić procesy scalania elementarnych komponentów pochodzących z różnych układów czuciowych, takich jak wzrokowe, słuchowe, sma-

kowe czy węchowe. U osób niewidomych lub/i niesłyszących istotnym źródłem informacji stają się bodźce pochodzące z trzech pozostałych zmysłów tj. dotyku, smaku i węchu [1–3].

Od 2009 roku Akademia Górniczo-Hutnicza realizuje projekt rozwojowy, w ramach którego opracowana zostanie metoda i system oznaczania miejsc niebezpiecznych i szczególnie istotnych w dużym mieście dla osób niewidomych z wykorzystaniem markerów falowo-wibracyjnych.

Jednym z elementów systemu identyfikacji niebezpiecznych miejsc jest przetwornik drganiowy noszony przez osobę niewidomą na nadgarstku. Z tego powodu konieczne było porównanie wrażliwości różnych obszarów skóry na nadgarstku na dwa bodźce dotykowe działające jednocześnie oraz określenie najmniejszej rozpoznawalnej w ponad 95% przypadkach odległości dwóch jednoczesnych ukuć.

Ze względu na plastyczność ośrodkowego układu nerwowego u osób pozbawionych pewnych informacji sensorycznych dochodzi do zmiany organizacji połączeń neuronalnych i pojawiają się odmienne wzorce percepcji. Początkowo zmiany te dotyczą struktur podkorowych, a następnie obejmują korę mózgową. Podczas pobudzania receptorów dotyku u ludzi niewidomych jednocześnie dochodzi do pojawiania się pobudzenia w obrębie pól wzrokowych. Wykazano także, że osoby niewidome odznaczają się lepszą ostrością słuchu. Nie zawsze deprivacji zmysłowej towarzyszą jednak korzystne zmiany adaptacyjne. U osób niesłyszących częściej występują zaburzenia syntezy i analizy wzrokowej niż u słyszących prawidłowo [4].

Badania nad zjawiskami psychicznymi, szczególnie w zakresie wrażliwości dotykowej, już w XIX wieku przeprowadził G.T. Fechner [5]. Przedmiotem jego badań była wrażliwość dotykowa. Eksperymentator dotykał badanego estezjometrem, zwiększając i zmniejszając intensywność stymulacji (siłę nacisku), i analizował poziom subiektywnego odczuwanego wrażenia przez osobę badaną. Stwierdził, że wraz z rosnącą geometrycznie siłą stymulacji rośnie arytmetycznie siła wrażenia. Oznacza to, że przyrost wrażenia jako subiektywnie odczuwana różnica jest zależny od siły bodźca w sposób logarytmiczny (prawo Webera-Fechnera). Po raz pierwszy w sposób doświadczalny zjawiska psychiczne oznaczono liczbami, a nie jak dotychczas miarami abstrakcyjnymi [6]. Podobnie jak inne zmysły, również dotyk – zwłaszcza u osób niewidomych – był przedmiotem wielu badań [1, 5–7]. Pierwsze z nich wskazywały na lepsze rozpoznawanie bodźców dotykowych przez osoby niewidome, tj. wyższą wrażliwość i czułość dotykową (haptyczną) mierzoną tzw. progiem przestrzennym Webera.

Jednym z pierwszych badaczy, którzy uzyskiwali wyniki wskazujące na wyższy poziom czułości na dotyk u osób niewidomych, był J.N. Czermak, który w 1855 roku przeprowadził w Niemczech badania porównawcze nad dwójką widzących oraz dwójką niewidomych dzieci oraz jednym niewidomym dorosłym. W 1895 roku wyniki te potwierdził W. Stern w badaniach obejmujących 100 niewidomych i 400 widzących w różnym wieku, które przeprowadził w Zakładzie dla Niewidomych w Monachium [1].

U niewidomych spostrzeganie dotykowe ulega rozwojowi w miarę ćwiczenia oraz nabywania doświadczenia; polega

na pełniejszym i dokładniejszym spostrzeganiu i wychwytywaniu cech istotnych oraz na szybszym i łatwiejszym rozpoznawaniu przedmiotów. Następuje to na skutek rozwijania podstawowych funkcji kory mózgowej – analizy i syntezy – oraz doskonalenia dynamicznych układów strukturalnych.

W literaturze tyflopsychologicznej (zajmującej się procesami psychicznymi zachodzącymi u ludzi niewidomych i niedowidzących) stosunkowo rzadko porusza się zagadnienia badania zmysłu dotykowo-ruchowego, który dla niewidomych ma istotne znaczenie – przyjmuje bowiem dominującą rolę w procesie poznania rzeczywistości. Do zadań rehabilitacji niewidomych należy konieczność usprawniania pozostałych zmysłów i przygotowania ich do przejęcia funkcji brakującego wzroku (kompensacja). Analiza prawidłowości funkcjonowania zmysłu dotyku w aspekcie kompensacyjnym u niewidomych skupia się przede wszystkim na ocenie zdolności rozróżniania elementarnych cech przedmiotów [8, 9].

Dotychczas nie opracowano standardów badania sprawności zmysłu dotykowo-ruchowego u osób niewidomych. Należy jednak zaznaczyć, że niewidomi nie potrzebują w tym zakresie specjalnych metod, ponieważ można wykorzystywać w tym celu metody stosowane u osób widzących. Przykładem jest estezjometr Webera do badania wrażliwości dotykowej mierzonej tzw. progiem przestrzennym. Badanie polega na równoczesnym dotykaniu skóry badanego dwoma ostrzami. Zadaniem osoby badanej jest określenie, czy odczuwa jeden czy dwa uciski. Wrażliwość dotykową w tym przypadku określa się jako najmniejszą odległość między nóżkami estezjometru, przy której badany odczuwa 2 uciski.

Zadanie polega na ustaleniu najmniejszej odległości (wyrażonej w mm), przy której badany odczuwa na skórze dwa dotknięcia. Mniejsza odległość między ramionami estezjometru świadczy o większej wrażliwości badanego obszaru skóry na 2 bodźce dotykowe działające jednocześnie, a w związku z tym o większej ilości receptorów na tym obszarze skóry. Większa odległość dowodzi mniejszej wrażliwości badanego obszaru skóry na 2 bodźce dotykowe działające jednocześnie, a tym samym mniejszej ilości receptorów na tym obszarze skóry.

## Materiał i metoda

Od 2009 roku Akademia Górniczo-Hutnicza realizuje projekt rozwojowy, w ramach którego opracowana zostanie metoda i system oznaczania miejsc niebezpiecznych i szczególnie istotnych w dużym mieście dla osób niewidomych z wykorzystaniem markerów falowo-wibracyjnych [10, 11].

Jednym z elementów systemu identyfikacji miejsc niebezpiecznych i istotnych jest przetwornik drganiowy noszony przez osobę niewidomą na nadgarstku. Z tego powodu konieczne było porównanie wrażliwości różnych obszarów skóry na nadgarstku na dwa bodźce dotykowe działające jednocześnie oraz określenie najmniejszej rozpoznawalnej w ponad 95% przypadkach odległości dwóch jednoczesnych ukuć.

Do pomiaru wrażliwości na dotyk wykorzystano estezjometr firmy Mackinnon-Dellon składający się z kolców o średnicy 1 mm zamontowanych na wspólnej ramie. Jeśli

podwójne ułknięcie odczuwane jest jako jedno, oznacza to, że w danym miejscu skóra jest mało wrażliwa. Zwiększając odległość między kolcami, osiąga się odległość, przy której badany odczuwa dwa ułknięcia.

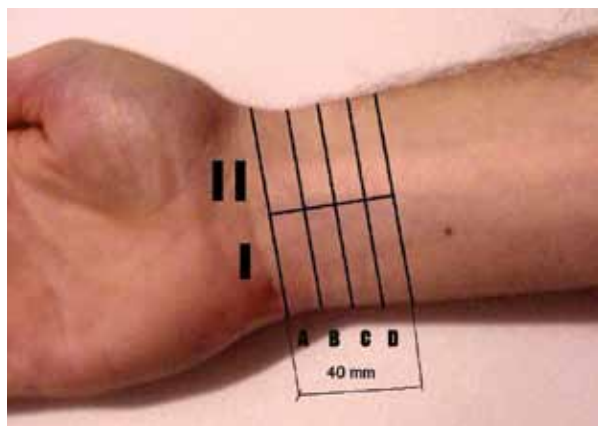
Badaniami objęto grupę 33 osób w wieku 20–25 lat (w tym 12 kobiet i 21 mężczyzn), studentów Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Osoby nie zgłaszały żadnych zaburzeń słyszenia ani widzenia. Badania przeprowadzono w godzinach od 8.00 do 14.00. Przed ich rozpoczęciem zapoznawano osoby badane z pomocami naukowymi stosowanymi podczas testów (estezjometr) oraz algorytmem badania. Przed zasadniczą próbą wykonano badanie próbne, które oceniało stopień zrozumienia przez badanych wymogów testu i jednocześnie niwelowało ewentualny lęk.

Na przegubach dłoni (strona wewnętrzna i zewnętrzna) zaznaczono odpowiednie pola testowe w taki sposób, aby uzyskać osiem pól testowych (4 x 2), o wymiarach 10 x 25 mm każde (rys. 1).

Kolumny oznaczono kolejno cyframi rzymskimi (I, II – strona wewnętrzna przegubu; III, IV – strona zewnętrzna przegubu), wiersze literami alfabetu (A, B, C, D). Ręce oznaczano literą L (lewa) lub P (prawa). Uzyskano w ten sposób na obu dłoniach 32 pola testowe. Przykładowe oznaczenie LIIIA oznacza pole testowe umiejscowione na lewym przegubie ręki (L), na stronie zewnętrznej przegubu (III) i pierwszą kolumnę (A) (rys. 1).

Pole testowe stymulowano za pomocą estezjometru o średnicy kolców 1 mm, zaczynając od odległości między zakończeniami wynoszącej 8 mm. Osoba badana stwierdzała, czy odczuwa pojedyncze czy podwójne ułknięcie. W przypadku, gdy odczuła dwa ułknięcia, podawała subiektywną odległość między nimi. Zmniejszając lub zwiększając odległość, oznaczono najmniejszą odległość, przy której dotknięcia są jeszcze odczuwalne przez osobę badaną jako osobne ułknięcia.

W trakcie badań osoby miały otwarte oczy, lecz nie mogły obserwować pól testowych. W celu utrzymania wymaganego do przeprowadzenia testu odpowiedniego stopnia koncentracji między badaniami stosowano przerwy.



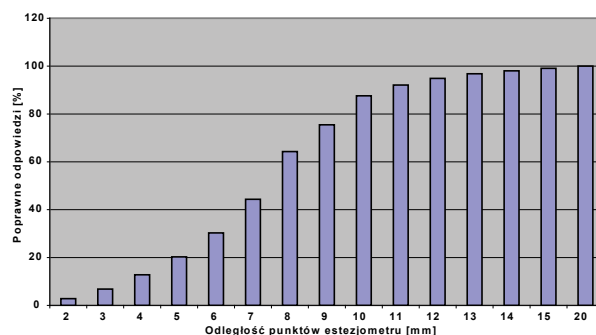
Rys. 1 Pola testowe na przegubie (prawa ręka)

## Analiza wyników

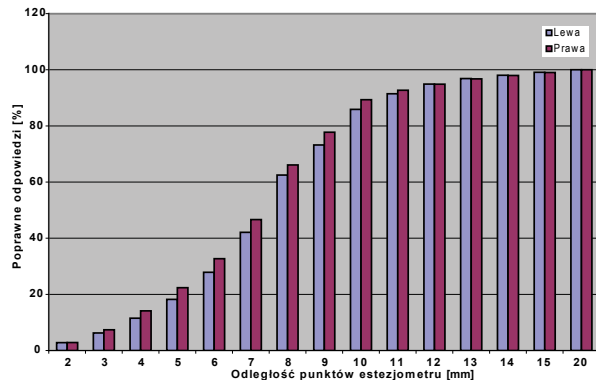
Uzyskane wyniki badań uśredniono dla całej próby, otrzymując średnie wartości poprawnego rozpoznania dwóch jednoczesnych ułknięć estezjometrem (tabela 1). W pierwszej kolumnie zaznaczono rękę lewą (L) i prawą (P). Kolumna druga i trzecia zawierają odpowiednio oznaczenie pola testowego (kolumna i wiersz). W kolejnych kolumnach zamieszczono średnią skuteczność rozpoznania dwóch jednoczesnych ułknięć estezjometrem (w procentach).

Uzyskane wyniki uśredniono dla wszystkich pól pomiarowych i obu rąk (tabela 2).

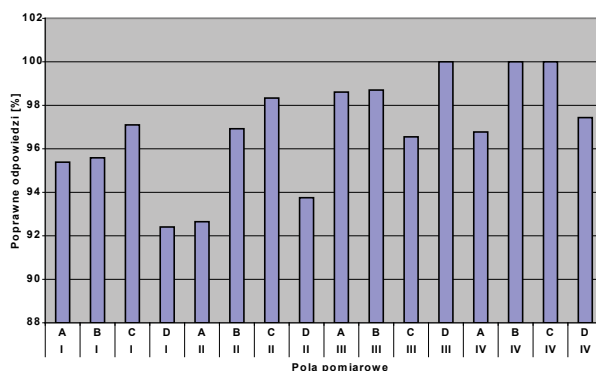
Na rysunku 2 przedstawiono średnie wyniki poprawnego rozpoznania podwójnego ułknięcia dla wszystkich pól



Rys. 2 Średnie wyniki poprawnego rozpoznania podwójnego ułknięcia estezjometrem w zależności od odległości punktów estezjometru



Rys. 3 Średnie wyniki rozpoznania podwójnego ułknięcia estezjometrem w zależności od odległości punktów estezjometru, osobno dla prawego i lewego nadgarstka



Rys. 4 Poprawne rozpoznania podwójnego ułknięcia estezjometrem w poszczególnych polach testowych, lewa ręka, odległość kolców estezjometru 13 mm

**Tabela 1** Uśrednione wyniki z pól pomiarowych

			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20
L	I	A	0,0	0,0	1,5	6,2	16,9	29,2	47,7	56,9	73,8	83,1	89,2	95,4	96,9	98,5	100,0
L	I	B	0,0	0,0	1,5	4,4	14,7	32,4	51,5	67,6	80,9	85,3	92,6	95,6	97,1	98,5	100,0
L	I	C	1,4	2,9	7,2	13	21,7	42	63,8	73,9	84,1	94,2	95,7	97,1	97,1	98,6	100,0
L	I	D	2,5	5,1	8,9	16,5	26,6	36,7	57	67,1	79,7	86,1	88,6	92,4	96,2	98,7	100,0
L	II	A	4,4	10,3	16,2	25,0	33,8	42,6	58,8	67,6	77,9	85,3	88,2	92,6	94,1	97,1	100,0
L	II	B	4,6	10,8	16,9	23,1	29,2	38,5	58,5	64,6	81,5	84,6	90,8	96,9	98,5	98,5	100,0
L	II	C	1,7	5,0	10	16,7	23,3	41,7	66,7	73,3	86,7	91,7	98,3	98,3	100,0	100,0	100,0
L	II	D	4,7	10,9	17,2	23,4	31,3	45,3	60,9	70,3	82,8	85,9	93,8	93,8	96,9	100,0	100,0
L	III	A	1,4	5,6	13,9	20,8	30,6	45,8	66,7	79,2	88,9	95,8	97,2	98,6	98,6	98,6	100,0
L	III	B	2,6	5,2	10,4	16,9	27,3	45,5	67,5	79,2	88,3	94,8	97,4	98,7	98,7	98,7	100,0
L	III	C	4,6	9,2	16,1	25,3	36,8	51,7	71,3	80,5	89,7	92,0	95,4	96,6	97,7	100,0	100,0
L	III	D	2,8	5,6	8,5	15,5	26,8	42,3	63,4	77,5	94,4	97,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
L	IV	A	3,2	6,5	11,3	16,1	25,8	35,5	61,3	69,4	85,5	95,2	95,2	96,8	98,4	100,0	100,0
L	IV	B	2,7	5,5	12,3	20,5	31,5	45,2	64,4	78,1	94,5	97,3	98,6	100,0	100,0	100,0	100,0
L	IV	C	2,8	7,0	14,1	22,5	32,4	46,5	69,0	81,7	93	98,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
L	IV	D	5,1	10,3	17,9	25,6	37,2	52,6	71,8	84,6	92,3	96,2	97,4	97,4	98,7	98,7	100,0
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20
P	I	A	2,4	8,3	19,0	29,8	40,5	54,8	73,8	81,0	89,3	90,5	95,2	98,8	98,8	98,8	100,0
P	I	B	3,5	8,2	17,6	27,1	38,8	52,9	68,2	80,0	88,2	92,9	95,3	95,3	96,5	97,6	100,0
P	I	C	3,5	8,2	16,5	24,7	36,5	50,6	69,4	78,8	88,2	92,9	92,9	95,3	97,6	98,8	100,0
P	I	D	2,9	7,4	13,2	19,1	27,9	39,7	57,4	67,6	83,8	89,7	91,2	92,6	92,6	97,1	100,0
P	II	A	1,4	7,2	13,0	20,3	31,9	43,5	63,8	73,9	89,9	95,7	95,7	97,1	98,6	98,6	100,0
P	II	B	1,4	5,6	11,3	19,7	29,6	43,7	57,7	71,8	85,9	88,7	91,5	94,4	98,6	98,6	100,0
P	II	C	2,3	6,8	13,6	23,9	36,4	50,0	71,6	79,5	89,8	92,0	93,2	97,7	97,7	98,9	100,0
P	II	D	2,6	5,2	9,1	15,6	29,9	45,5	66,2	77,9	89,6	92,2	94,8	96,1	97,4	100,0	100,0
P	III	A	3,8	7,7	12,8	19,2	28,2	46,2	69,2	82,1	93,6	96,2	98,7	100,0	100,0	100,0	100,0
P	III	B	2,7	6,8	13,7	21,9	28,8	42,5	61,6	76,7	89,0	91,8	93,2	94,5	97,3	100,0	100,0
P	III	C	1,2	7,4	14,8	23,5	34,6	48,1	70,4	81,5	90,1	95,1	96,3	96,3	96,3	97,5	100,0
P	III	D	3,9	9,1	16,9	24,7	32,5	46,8	66,2	80,5	93,5	94,8	94,8	96,1	98,7	100,0	100,0
P	IV	A	3,8	7,5	15,0	23,8	32,5	42,5	58,8	76,3	88,8	93,8	97,5	97,5	98,8	100,0	100,0
P	IV	B	1,3	3,9	10,4	19,5	31,2	48,1	71,4	83,1	92,2	93,5	96,1	100,0	100,0	100,0	100,0
P	IV	C	4,0	9,3	14,7	22,7	32,0	42,7	64,0	74,7	90,7	93,3	96,0	97,3	100,0	100,0	100,0
P	IV	D	4,8	9,5	14,3	22,6	32,1	48,8	67,9	78,6	86,9	90,5	95,2	98,8	98,8	98,8	100,0

**Tabela 2** Wartości średnie dla obu nadgarstków łącznie

Odległość (mm)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20
Poprawne odpowiedzi (%)	3,2	7,26	13,6	21,3	31,3	45,7	66,6	79	90,7	94,7	96,8	98	98,9	99,5	100,0

**Tabela 3** Wartości średnie dla lewego nadgarstka

Odległość (mm)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20
Poprawne odpowiedzi (%)	2,8	6,2	11,5	18,2	27,9	42,1	62,5	73,2	85,9	91,4	94,9	96,9	98,1	99,1	100,0

pomiarowych w zależności od odległości kółców estezjometru. Stwierdzono, że 100% badanych prawidłowo rozpoznało odległość 20 mm, a ponad 99% odległość 15 mm. Ponad 50% badanych prawidłowo rozpoznało ukłucie przy rozstawie kółców wynoszącym 8 mm.

Analogiczną analizę przeprowadzono oddzielnie dla prawego i lewego nadgarstka (rys. 3).

Stwierdzono, że lewy nadgarstek wykazuje mniejszą wrażliwość i dlatego na nim skoncentrowano się w kolejnym etapie analizy (tabela 3).

Przeprowadzona analiza pozwoliła na stwierdzenie, że odległość 13 mm poprawnie określa ponad 95% badanych.

W kolejnym etapie analiz określono, które rejony skóry zlokalizowane na nadgarstku charakteryzują się najwyższym stopniem wrażliwości na dotyk (rys. 4).

Stwierdzono, że pola III i IV, zlokalizowane na zewnętrznej części nadgarstka, charakteryzują się najwyższymi wartościami rozpoznania, powyżej 95%.

## Wnioski

Próg odległości dotykowej to najmniejsza odległość, jaka musi dzielić dwa jednocześnie dotykane punkty na skórze, by dotknięcia te odczuwane były jako dwa odrębne bodźce. W przeprowadzonym badaniu wszystkie osoby bezbłędnie rozpoznały ukłucie estezjometrem o rozstawie kółców w odległości 20 mm, minimalna odległość, przy której następuje ponad 95-procentowe rozpoznanie dwóch jednoczesnych ukłuć, to 13 mm. Stwierdzono, że stymulacja estezjometrem na polach III i IV dają zadowalające rozpoznanie powyżej 95%. Przeprowadzone badania pozwoliły na stwierdzenie, że minimalna odległość, między dwoma przetwornikami drganiowymi noszonymi przez osobę niewidomą na nadgarstku powinna wynosić 13 mm.

## Podziękowania

Praca została wykonana w ramach projektu rozwojowego NR17001706 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR). ■

## Literatura

1. T. Majewski: *Psychologia niewidomych i niedowidzących*, PWN, Warszawa 1983.
2. L. Borodulin-Nadzieja, J. Thannhäuser, A. Buldańczyk, M. Jurcka: *Simple and differential reactions times in children with hearing sense disorders who grow up and develop in various environmental conditions*, J Hum Kinet, vol. 2, 1999, s. 79-92.
3. H. Burton, A.Z. Snyder, T.E. Conturo, E. Akbudak, J.M. Ollinger, M.E. Raichle: *Adaptive changes in early and late blind: a fMRI study of Braille reading*, J Neurophysiol, vol. 87(1), 2002, s. 589-607.
4. R.W. Van Boven, R.H. Hamilton, T. Kauffman, J.P. Keenan, A. Pascual-Leone: *Tactile spatial resolution in blind Braille readers*, Neurology, vol. 54(12), 2000, s. 2230-2236.
5. A.S. Reber: *The Penguin Dictionary of Psychology*, Penguin Books, London, 1985.
6. H.E. Ross, D.J. Murray, E.H. Weber (ed.): *E.H. Weber on the tactile senses*, 2<sup>nd</sup> ed. Hove: Erlbaum Taylor & Francis, 1996.
7. J. Czarkowska-Bauch: *Variety of muscle responses to tactile stimuli*, Acta Neurobiol Exp, vol. 56, 1996, s. 435-439.
8. J. Thannhäuser, A. Buldańczyk, U. Wasilewska, L. Borodulin-Nadzieja, J. Dobosz, K. Magott: *Assessment of the tactile perception in children with senses deprivation*, Adv Clin Exp Med, vol. 14(1), 2005, s. 31-38.
9. L.G. Cohen, R.A. Weeks, N. Sadato, P. Celnik, K. Ishii, M. Hallett: *Period of susceptibility for cross-modal plasticity in the blind*, Ann Neurol, vol. 45(4), 1999, s. 451-460.
10. J. Wiciak, B. Borkowski, I. Czajka: *Prototype system for marking and identification of dangerous spots for vision impaired people – size and shape testing of marking the dangerous spots' zone*, Acta Physica Polonica A, vol. 120(6-A), 2012, s. 24-27.
11. J. Wiciak, D. Młynarczyk, B. Borkowski: *Zastosowanie sygnałów falowo-wibracyjnych do orientacji przestrzennej osób niewidomych*, Nowiny Lekarskie, vol. 79(3), 2010, s. 254-259.

otrzymano / received: 05.04.2011

zaakceptowano / accepted: 12.09.2011