

Ocena powtarzalności wyników testu rozdzielnościowego cyfrowego (DDT) u dzieci w wieku szkolnym

Test-retest reliability of the dichotic digit test (DDT) in school-age children

KRZYSZTOF KOCHANEK^{1,2/}, KAROLINA DAJOS-KRAWCZYŃSKA^{1/}, ADAM PIŁKA^{1/}, KATARZYNA BIEGUN^{2/}, HENRYK SKARŻYŃSKI^{1/}

^{1/} Światowe Centrum Słuchu, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Kajetany k. Warszawy

^{2/} Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Zakład Logopedii i Językoznawstwa Stosowanego

Wprowadzenie. Testy słyszenia rozdzielnościowego używane są do oceny funkcji wykonawczych i kontroli poznawczej, a także asymetrii słuchowej, która może być wskaźnikiem lateralizacji funkcjonalnej półkul mózgowych. Testy słyszenia rozdzielnościowego stosowane są również do diagnostyki ośrodkowych zaburzeń słuchu. Za ich pomocą można ocenić procesy integracji słuchowej, separacji międzyuszej i krótkotrwałej pamięci słuchowej. Chociaż testy słyszenia rozdzielnościowego są powszechnie stosowane, ich wiarygodność (powtarzalność) jest przedmiotem dyskusji.

Cel pracy. Ocena powtarzalności rozdzielnościowego testu cyfrowego w grupie dzieci w wieku szkolnym.

Materiał i metody. Badania przeprowadzono w grupie 49 dzieci w wieku 7 i 12 lat o prawidłowej czułości słuchu. Test rozdzielnościowy cyfrowy (Dichotic Digit Test, DDT) wykonano za pomocą programu komputerowego zainstalowanego na komputerze typu notebook wyposażonym w słuchawki nauszne Sennheiser HDA 200. Badanie przeprowadzono trzykrotnie.

Wyniki. Wyniki testu rozdzielnościowego cyfrowego odznaczają się dużą powtarzalnością. Mniejsze różnice pomiędzy pomiarami występują w badaniu uwagi ukierunkowanej i w badaniu ucha prawego. Wykazano istotny wpływ wieku na wyniki testu DDT. Większą powtarzalnością odznaczają się badania dzieci 12-letnich. Dzieci młodsze uzyskały niższy średni odsetek prawidłowo powtórzonych cyfr w porównaniu z dziećmi starszymi.

Wnioski. Na podstawie analizy wyników stwierdzono, że w obu grupach wiekowych wyniki testu DDT są powtarzalne. Test rozdzielnościowy cyfrowy daje wiarygodne wyniki i może być używany w badaniach klinicznych ośrodkowych zaburzeń słuchu.

Słowa kluczowe: słyszenie rozdzielnościowe, rozdzielnościowy test cyfrowy, DDT, ośrodkowe zaburzenia słuchu

Introduction. Dichotic listening tests are used for assessment of executive functions and cognitive control, as well as ear asymmetry, which may be an indicator of functional hemispheric lateralization. Dichotic listening tests are also used in diagnosis of central auditory processing disorders. The use of these tests enables evaluation of binaural integration and separation, and short-term auditory memory. Despite the fact that dichotic listening tests are commonly used, their reliability is being discussed.

Aim. The objective of the study was to evaluate the test-retest reliability of dichotic digit test in school-aged children.

Material and methods. The test was conducted in the group of 49 children aged 7 and 12 with normal hearing thresholds. Dichotic Digit Test (DDT) was carried out with the use of software APD (Auditory Processing Disorders) installed on the laptop computer equipped with headphones (Sennheiser HDA 200). Subjects were tested three times with the same DDT procedure.

Results. The results of DDT showed high reliability. Smaller differences between the results of measurements were observed in focused attention conditions. Greater differences between the results were in left ear compared with right ear both in divided and focused attention conditions. A significant aging effect was observed. The results obtained in 12-year-old children showed greater reliability than the results of 7-year-old group. Younger children showed greater ear asymmetries and lower average percentage of correctly repeated digits compared with older children.

Conclusions. Based on the analysis, it was found that DDT test results are reliable in both age groups. DDT gives reliable results and can be used in clinical studies of central auditory processing disorders.

Key words: dichotic listening, dichotic digit test, DDT, central auditory processing disorders

WSTĘP

Testy słyszenia rozdzielnościowego polegają na prezentacji dwóch różnych dźwięków jednocześnie do obu uszu [1-8]. W testach tych mogą być stosowane zarówno bodźce werbalne, jak i niewerbalne [3].

Podczas prezentacji dwóch różnych bodźców werbalnych w tym samym czasie do obu uszu, w warunkach uwagi rozproszonej, obserwuje się zwykle tzw. zjawisko przewagi ucha prawego (*Right Ear Advantage*, REA), co oznacza, że uzyskuje się więcej prawidłowych odpowiedzi dla bodźców docierających z ucha prawego, w porównaniu z uchem lewym [2-5,7-12]. Z kolei podczas prezentowania bodźców niewerbalnych uzyskuje się przewagę ucha lewego (*Left Ear Advantage*, LEA) [2,13-15].

Przyjmuje się, że u większości ludzi (90% osób praworęcznych i 70% leworęcznych) przetwarzanie mowy odbywa się w lewej półkuli mózgu [13]. Przewaga ucha prawego (REA) w badaniach rozdzielnościowych z użyciem bodźców słownych odzwierciedla dominację lewej półkuli w przetwarzaniu bodźców językowych.

Przewaga ucha prawego związana jest z anatomiczną budową projekcji słuchowych z jąder ślimakowych do pierwszorzędowej kory słuchowej [16]. Podczas stymulacji rozdzielnościowej kontralateralne projekcje są dominujące, i dodatkowo blokują lub hamują słabsze projekcje ipsilateralne (tzw. model strukturalny) [2,4,5,7-9,11,16-19]. Oczekiwanie, że zadanie będzie wymagało przetwarzania bodźców słownych, powoduje przygotowanie i większe pobudzenie lewej półkuli (tzw. model uwagi) [20] oraz skierowanie uwagi na bodźce docierające z ucha przeciwnego (prawego), dzięki czemu sygnały z tego ucha są przetwarzane bardziej efektywnie [2,3,5,9,20,21].

Liczne badania wykazały, że uwaga wpływa na wyniki testów słyszenia rozdzielnościowego, a także kierunek i stopień efektu lateralizacji. W porównaniu z badaniem w warunkach uwagi rozproszonej, ukierunkowanie uwagi na jedno ucho powoduje wzrost liczby prawidłowych odpowiedzi na bodźce docierające z tego ucha oraz zmniejszenie liczby prawidłowych odpowiedzi z ucha przeciwnego [2,4,5,9]. Jancke i wsp. [2] w badaniu fMRI wykazali, że skierowanie uwagi na ucho prawe w badaniu rozdzielnościowym zwiększa poziom aktywacji w lewej korze słuchowej, podczas gdy uwaga ukierunkowana na ucho lewe powoduje zwiększenie poziomu aktywacji prawej kory słuchowej.

Testy rozdzielnościowego słyszenia są jedną z najczęściej stosowanych metod oceny lateralizacji półkulowej dla mowy i języka, chociaż ich wiarygod-

ność jest przedmiotem dyskusji. Pierwsze badania z użyciem testów rozdzielnościowych wskazywały, że ich wyniki nie są powtarzalne [11]. Nawet jeśli wartości współczynników korelacji były zadowalające, obserwowano wysoki odsetek zmienności kierunku lateralizacji w kolejnych pomiarach [22]. Wykazywano również, że wyniki badania lateralizacji słuchowej nie są zgodne z badaniami lateralizacji ręki, którą pierwotnie uznawano za wskaźnik dominacji półkulowej. Dopiero badania z użyciem metod neuroobrazowania (m.in. fMRI) potwierdziły, że u większości osób leworęcznych przetwarzanie mowy, podobnie jak u osób praworęcznych, odbywa się w lewej półkuli [11].

W późniejszych badaniach słyszenia rozdzielnościowego z zastosowaniem różnych bodźców słownych (sylaby otwarte, słowa, cyfry) wykazano, że testy te odznaczają się umiarkowaną lub znaczną powtarzalnością [11,23]. Keith [24] oraz Amos i wsp. [25] badali powtarzalność testów zawartych w zestawie testów przesiewowych SCAN (*A Screening Test For Auditory Processing Disorders*), m.in. testu rozdzielnościowego słownego (*Competing Words*, CW). Musiek i wsp. [26] wyznaczyli stopień powtarzalności rozdzielnościowego testu cyfrowego na poziomie 0,77, natomiast Russell i wsp. [27] na poziomie 0,76 dla sylab i 0,51 dla słów. Wyznaczone przez nich współczynniki korelacji nie osiągnęły zalecanej dla testów diagnostycznych wartości >0,8 [25]. Voyer i wsp. [28] prowadzili badania z użyciem testu rozdzielnościowego sylabowego i wyznaczyli wartość współczynnika powtarzalności dla prawidłowych odpowiedzi z obu uszu. Tylko w badaniu uwagi rozproszonej dla ucha prawego wartość współczynnika korelacji była wysoka i wynosiła 0,84, natomiast dla uwagi ukierunkowanej na ucho prawe i lewe oraz w badaniu uwagi rozproszonej dla ucha lewego nie osiągnięto zalecanego stopnia powtarzalności [28]. Również Gadea i wsp. [8] osiągnęli poziom istotności >0,8, ale tylko w badaniu uwagi rozproszonej. Mukari i wsp. [29] oraz Frasca i wsp. [30] wykazali, że nie ma istotnych różnic pomiędzy wynikami dwóch kolejnych testów słyszenia rozdzielnościowego z użyciem bodźców cyfrowych.

Prowadzone dotychczas badania wykazały, że stopień powtarzalności wyników jest w dużej mierze uzależniony od zastosowanego bodźca. Użycie bardzo podobnych pod względem brzmienia sylab lub słów wywołuje często wrażenie jednego dźwięku, co powoduje znaczącą trudność w selektywnym słuchaniu i większą zmienność odpowiedzi w kolejnych pomiarach [11]. Natomiast zastosowanie bardziej różnorodnych bodźców pozwala na uzyskanie bardziej stabilnych wyników badań.

Liczne badania wykazały wysoką powtarzalność i wiarygodność testów rozdzielnościowych z użyciem cyfr [22,29-32]. Ich podstawową zaletą jest to, że bodźce cyfrowe są znane większości słuchaczy, niezależnie od wieku, i nie wymagają odniesienia do wyższych funkcji językowych. Przy zastosowaniu cyfr, bodźce docierające do ucha lewego i prawego pozostają względnie różne i mogą być dość łatwo zlokalizowane. W konsekwencji nawet młodsze dzieci są w stanie rozróżnić cyfry i skierować uwagę na bodźce docierające z jednego bądź drugiego ucha [31]. Dodatkowo, rozdzielnościowe testy cyfrowe są względnie niezależne od łagodnych i umiarkowanych ubytków słuchu, a więc mogą być stosowane również w tych grupach pacjentów [31].

Rozdzielnościowe testy z wykorzystaniem różnego rodzaju bodźców słownych stosuje się w diagnostyce ośrodkowych zaburzeń słuchu ((*Central Auditory Processing Disorders*, (C)APD), w celu oceny integracji i separacji obuuszej oraz zdolności percepcji i interpretacji mowy w obecności dźwięków konkurujących [1]. Badania różnych autorów wykazały, że testy rozdzielnościowe są bardzo czułe na deficyty różnych poziomów ośrodkowego układu słuchowego, m.in. pnia mózgu, kory słuchowej i ciała modzelowatego [33-35]. Yathiraj i wsp. [36] przeprowadzali testy ośrodkowych funkcji słuchowych u dzieci w wieku 8-13 lat. Spośród grupy 64 dzieci z czynnikami ryzyka APD (*Auditory Processing Disorders*), 65,5% miało nieprawidłowe wyniki rozdzielnościowego testu z użyciem sylab otwartych. W badaniach Vanniasagaram i wsp. [37] wykazano, że dzieci z grupy ryzyka APD, w porównaniu z grupą kontrolną, w badaniu uwagi rozproszonej osiągają słabsze wyniki dla obu uszu. Iliadou i wsp. [38] oceniali lateralizację półkulową przy użyciu rozdzielnościowego testu cyfrowego w grupie osób z centralnymi zaburzeniami słuchu i dysleksją. Osoby z APD miały niższe rezultaty, zarówno dla ucha prawego, jak i lewego, niż osoby z grupy kontrolnej i osoby z dysleksją. W porównaniu z grupą kontrolną, w grupach osób z dysleksją i APD zaobserwowano większy odsetek osób z przewagą ucha lewego [38]. Bellis i wsp. [39] porównywali średnie wyniki testu rozdzielnościowego cyfrowego w grupie dzieci z zaburzeniami przetwarzania słuchowego i w grupie kontrolnej. W obu grupach wykazano występowanie przewagi ucha prawego, jednak u osób z CAPD różnica między wynikiem z prawego i lewego ucha była dużo większa, niż u dzieci z grupy kontrolnej.

W Polsce w coraz większej liczbie ośrodków audiologicznych i logopedycznych dokonuje się diagnozy ośrodkowych zaburzeń słuchu za pomocą różnych testów behawioralnych, w tym również

rozdzielnościowego testu cyfrowego – DDT (*Dichotic Digit Test*). Jednak wyniki testu DDT dostępnego w polskiej wersji językowej nie zostały dotąd poddane ocenie powtarzalności w odniesieniu do dzieci w wieku szkolnym. Dlatego celem niniejszej pracy było zbadanie powtarzalności wyników rozdzielnościowego testu cyfrowego w grupie dzieci uczęszczających do szkoły podstawowej. Ocenie poddano również wpływ wieku i badanego ucha na wyniki i powtarzalność testu DDT.

MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto grupę 49 uczniów w wieku 7 lat (24 uczniów klasy I, w tym 13 dziewcząt i 11 chłopców) oraz 12 lat (25 uczniów klasy VI, w tym 12 dziewcząt i 13 chłopców). U każdego dziecka przeprowadzono badanie proggu słyszenia za pomocą audiometrii tonalnej dla częstotliwości od 250 do 8000 Hz. U wszystkich dzieci próg słyszenia na żadnej z badanych częstotliwości w obu uszach nie przekraczał 20 dB HL.

Rozdzielnościowy test cyfrowy został wykonany za pomocą oprogramowania komputerowego (Zakomed s.c. – *Auditory Processing Disorder*), opracowanego przez McPhersona, Skarżyńskiego, Senderskiego i Kochanka (2012). Program został zainstalowany na komputerze typu laptop wyposażonym w słuchawki HDA 200 firmy Sennheiser oraz odpowiednią kartę dźwiękową, co zapewniało wiarygodność wykonanych pomiarów.

Podczas testu słuchaczowi prezentowano 20 sekwencji składających się z dwóch różnych par cyfr (od 1 do 10) podawanych jednocześnie do lewego i prawego ucha (razem 4 liczby w jednej sekwencji, 2 do ucha lewego i 2 do prawego). W pierwszej części badania zadaniem pacjenta było powtórzenie wszystkich usłyszanych cyfr (uwaga rozproszona), natomiast w drugiej i trzeciej próbie powtórzenie cyfr słyszanych tylko w jednym uchu (uwaga ukierunkowana na ucho prawe bądź lewe). Bodźce podawane były z natężeniem 60 dB HL. Wynikiem testu był odsetek prawidłowo powtórzonych liczb usłyszanych w każdym z uszu. W badaniu uwagi rozproszonej rejestrowano zarówno odpowiedzi z ucha prawego, jak i lewego, natomiast w badaniu uwagi ukierunkowanej tylko odpowiedzi z ucha prawego (uwaga ukierunkowana na ucho prawe) lub z lewego (uwaga ukierunkowana na ucho lewe).

U każdego dziecka badania wykonano trzykrotnie – drugie badanie przeprowadzano po upływie godziny od pierwszego, natomiast trzecie po upływie 2-3 tygodni. Wszystkie pomiary odbywały się w tym samym pomieszczeniu, stosowano te same procedury oraz taką samą kolejność testów. Podczas

pierwszego badania (jeśli była taka potrzeba również w badaniu drugim i trzecim) przeprowadzono badanie wstępne w celu zapoznania dziecka z zadaniem i procedurą badania. Z analizy statystycznej wykluczono wyniki tych dzieci, które (na podstawie obserwacji badającego) nie wykazywały zainteresowania badaniem lub nie rozumiały zadania.

W celu oceny powtarzalności wyników testu DDT wyznaczono bezwzględne różnice pomiędzy wynikami poszczególnych pomiarów. Przyjęto założenie, że im mniejsza jest wartość bezwzględnej różnicy pomiędzy dwoma kolejnymi pomiarami, tym większa jest powtarzalność danego badania.

Uzyskane dane poddano jednowymiarowej analizie wariancji ANOVA za pomocą programu STATISTICA. Ze względu na niewielką liczebność grup wykonano testy rang Kruskala-Wallisa oraz testy istotności U-Manna-Whitneya. Za istotne uznawano wartości $p < 0,05$.

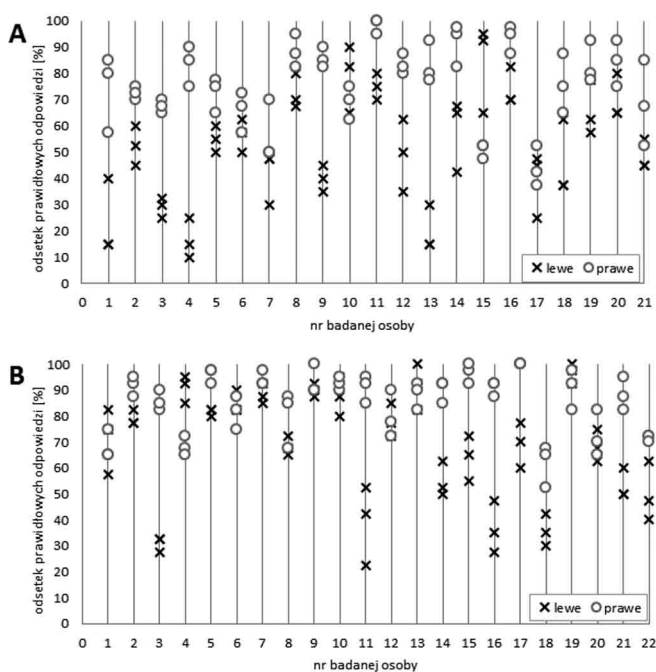
WYNIKI

Na rycinie 1 przedstawiono indywidualne wyniki testu DDT uzyskane w trzech pomiarach w badaniu uwagi rozproszonej dla ucha prawego i lewego w obu grupach wiekowych. Analiza wyników wykazała, że w grupie dzieci w wieku 12 lat rozrzut wyników w trzech pomiarach jest mniejszy niż w grupie dzieci 7-letnich. W grupie dzieci 12-letnich różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi w uchu prawym i lewym są mniejsze – wyraźne asymetrie międzuszne można zaobserwować jedynie u dzieci nr 3, 11 i 16 (ryc. 1B). W grupie dzieci 7-letnich różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi w prawym i lewym uchu są znacznie większe (ryc. 1A).

Na wielkość rozrzutu wyników nie ma wpływu wartość odsetka prawidłowo rozpoznanych cyfr. Dla przykładu u dzieci nr 3 i 9 (ryc. 1A) w uchu lewym uzyskano niskie wartości wyników testu w trzech pomiarach, ale ich rozrzut był tak samo niewielki, jak u dzieci, które miały znacznie wyższy odsetek prawidłowo rozpoznanych cyfr (dziecko o nr 11).

Na rycine 2 przedstawiono indywidualne wyniki testu DDT w badaniu uwagi ukierunkowanej dla ucha prawego i lewego w grupie dzieci 7- i 12-letnich. W grupie dzieci młodszych rozrzut wyników z trzech pomiarów, zarówno w uchu prawym, jak i lewym, był większy, niż w grupie dzieci 12-letnich. W obu grupach wiekowych większy rozrzut wyników jest obserwowany w badaniu uwagi ukierunkowanej dla ucha lewego.

W grupie dzieci 12-letnich wyniki z trzech kolejnych pomiarów w uchu prawym i lewym są zbliżone. Jedynie w przypadku dzieci nr 4, 14 i 18 (ryc. 2B) można zaobserwować znaczne różnice pomiędzy



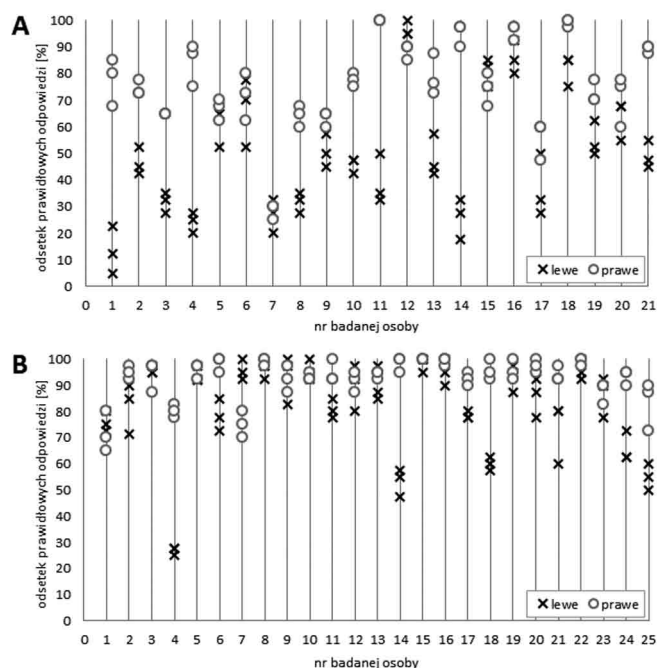
Ryc. 1. Indywidualne wyniki testu DDT w badaniu uwagi rozproszonej dla ucha lewego i prawego w grupie dzieci 7-letnich (A) i 12-letnich (B)

wynikiem uzyskanym w uchu prawym i lewym. Natomiast w przypadku dzieci młodszych wyraźne asymetrie międzuszne występują niemal u połowy badanych dzieci (ryc. 2A).

W badaniu uwagi ukierunkowanej, podobnie jak w przypadku uwagi rozproszonej, wartość odsetka prawidłowo rozpoznanych cyfr nie wpływa na wielkość rozrzutu wyników. Na przykład dzieci nr 4, 14 i 18 (ryc. 2B) w trzech kolejnych pomiarach uzyskały niski odsetek prawidłowo rozpoznanych cyfr w uchu lewym, jednak rozrzut wyników był równie niewielki, jak w przypadku dzieci osiągających znacznie wyższy odsetek (np. dzieci o nr 8, 10, 15).

Analiza statystyczna wyników w obu grupach wiekowych nie wykazała istotnych różnic pomiędzy odsetkami właściwie rozpoznanych cyfr w kolejnych pomiarach ($p > 0,05$). Nie zaobserwowano również tendencji do poprawy uzyskanych wyników w kolejnych badaniach, zarówno w przypadku badania uwagi rozproszonej, jak i ukierunkowanej.

U każdej osoby wyznaczono wartości bezwzględne różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi w trzech pomiarach. Brak różnicy (0%) oznacza, że w kolejnych trzech pomiarach dziecko osiągnęło ten sam wynik, różnica 5% oznacza, że w kolejnym badaniu dziecko udzieliło o 2 mniej (lub więcej) poprawnych odpowiedzi dla danego ucha, natomiast różnica 10% oznacza, że osoba badana udzieliła o 4 mniej lub więcej prawidłowych odpowiedzi w porównaniu z badaniem poprzednim. Na rycinach 3 i 4 przed-



Ryc. 2. Indywidualne wyniki testu DDT w badaniu uwagi ukierunkowanej dla ucha lewego i prawego w grupie dzieci 7-letnich (A) i 12-letnich (B)

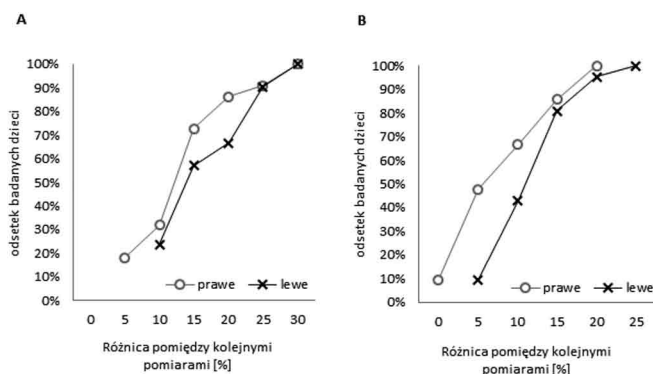
stawiono wykresy skumulowanych częstości różnic pomiędzy wynikami w trzech badaniach.

Różnice nie przekraczające 10% pomiędzy wynikami uzyskanymi w trzech pomiarach wśród dzieci 7-letnich występowały w 67% przypadków w badaniu uwagi ukierunkowanej na ucho prawe i 42% w badaniu uwagi ukierunkowanej na ucho lewe (ryc. 3B), natomiast w badaniu uwagi rozproszonej w 31% przypadków dla ucha prawego i zaledwie 23% dla ucha lewego (ryc. 3A). W grupie dzieci 12-letnich w badaniu uwagi ukierunkowanej na ucho prawe i lewe różnice mniejsze od 10% występują odpowiednio u 92% i 68% (ryc. 4B). W badaniu uwagi rozproszonej różnice mniejsze od 10% uzyskało 67% dzieci 12-letnich w uchu prawym i 45% w uchu lewym (ryc. 4A).

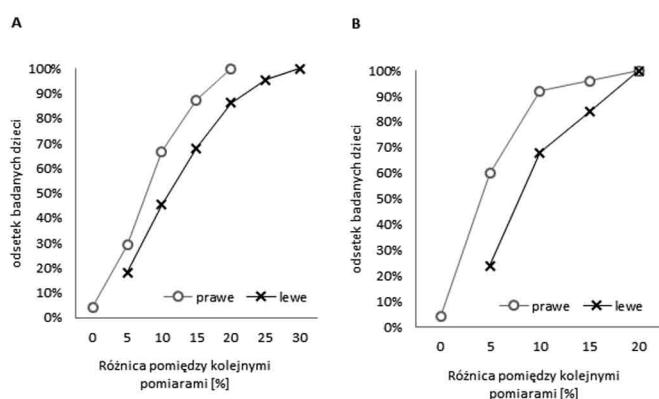
W obu grupach wiekowych mniejsze różnice pomiędzy wynikami trzech badań uzyskano w przypadku uwagi ukierunkowanej, co wskazuje na to, że badania uwagi ukierunkowanej odznaczają się większą powtarzalnością (ryc. 3-4).

Zarówno w badaniu uwagi ukierunkowanej, jak i rozproszonej, w obu grupach wiekowych, większą powtarzalnością odznaczają się badania ucha prawego – w uchu prawym (w porównaniu z uchem lewym) można zaobserwować mniejsze różnice pomiędzy trzema kolejnymi pomiarami (ryc. 3-4).

Analiza statystyczna wykazała, że pomiary w grupie dzieci 12-letnich są bardziej powtarzalne, niż badania w grupie dzieci 7-letnich, ponieważ



Ryc. 3. Wykres skumulowany bezwzględnych różnic w badaniu uwagi rozproszonej (A) i ukierunkowanej (B) w grupie dzieci 7-letnich



Ryc. 4. Wykres skumulowany bezwzględnych różnic w badaniu uwagi rozproszonej (A) i ukierunkowanej (B) w grupie dzieci 12-letnich

u dzieci starszych, zarówno w badaniu uwagi rozproszonej, jak i ukierunkowanej, różnice pomiędzy trzema kolejnymi pomiarami są mniejsze niż w grupie dzieci młodszych (ryc. 3-4). Na przykład w badaniu uwagi ukierunkowanej u wszystkich dzieci 12-letnich w obu uszach różnice pomiędzy trzema kolejnymi pomiarami są mniejsze niż 20% (ryc. 4B), natomiast wśród dzieci 7-letnich w uchu prawym różnice są mniejsze od 20%, a w uchu lewym mniejsze od 25% (ryc. 3B). Podobnie w badaniu uwagi rozproszonej, u wszystkich dzieci 12-letnich różnice w uchu prawym były mniejsze od 20% i w uchu lewym mniejsze od 25% (ryc. 4A), natomiast w grupie dzieci 7-letnich w obu uszach u wszystkich dzieci różnice były mniejsze od 30% (ryc. 3A).

Dodatkowo, w celu porównania uzyskanych wyników z wynikami innych autorów dokonano analizy korelacji pomiędzy poszczególnymi pomiarami, w zależności od grupy wiekowej i procedury badania (tab. I-IV). Analiza wykazała, że badania są powtarzalne – współczynniki korelacji mieściły się w zakresie od 0,71 do 0,95. Zarówno u dzieci

starszych, jak i młodszych większą powtarzalnością odznaczały się wyniki badania uwagi ukierunkowanej (tab. II, IV). Nie wykazano istotnych różnic pomiędzy współczynnikami korelacji uzyskanymi u dzieci z klasy 1 i 6 szkoły podstawowej.

Tabela I. Współczynniki korelacji w kolejnych testach DDT w grupie dzieci 7-letnich (uwaga rozproszona)

Pomiar	1	2
UCHO LEWE		
1	-	-
2	0,77	-
3	0,77	0,92
UCHO PRAWY		
1	-	-
2	0,81	-
3	0,66	0,75

Tabela II. Współczynniki korelacji w kolejnych testach DDT w grupie dzieci 7-letnich (uwaga ukierunkowana)

Pomiar	1	2
UCHO LEWE		
1	-	-
2	0,94	-
3	0,90	0,92
UCHO PRAWY		
1	-	-
2	0,92	-
3	0,89	0,93

Tabela III. Współczynniki korelacji w kolejnych testach DDT w grupie dzieci 12-letnich (uwaga rozproszona)

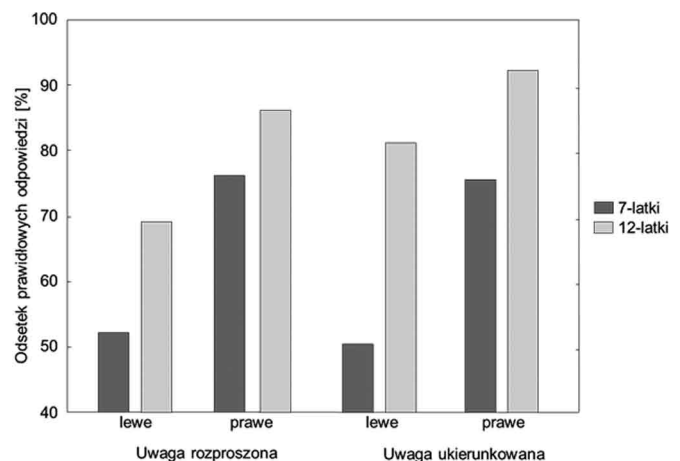
Pomiar	1	2
UCHO LEWE		
1	-	-
2	0,91	-
3	0,95	0,91
UCHO PRAWY		
1	-	-
2	0,79	-
3	0,71	0,80

Tabela IV. Współczynniki korelacji w kolejnych testach DDT w grupie dzieci 12-letnich (uwaga ukierunkowana)

Pomiar	1	2
UCHO LEWE		
1	-	-
2	0,91	-
3	0,91	0,87
UCHO PRAWY		
1	-	-
2	0,80	-
3	0,82	0,77

Istnieje istotna statystycznie zależność pomiędzy wiekiem badanych osób, a wynikami testu DDT ($p < 0,001$). Średni odsetek prawidłowo rozpoznanych cyfr był większy w grupie dzieci 12-letnich. Zależność ta występowała zarówno w badaniu uwagi rozproszonej, jak i ukierunkowanej (ryc. 5). Nie wykazano natomiast istotnego wpływu płci na wyniki testu DDT ($p > 0,05$). Chłopcy i dziewczynki, niezależnie od wieku, uzyskiwali zbliżone średnie odsetki prawidłowo rozpoznanych cyfr.

W grupie dzieci 7-letnich nie wykazano istotnych różnic pomiędzy wynikami z ucha prawego i lewego uzyskanymi w badaniu uwagi rozproszonej i ukierunkowanej. W obu przypadkach średni odsetek prawidłowo rozpoznanych cyfr w uchu lewym wynosił ok. 52%, natomiast w uchu prawym ok. 75%. W grupie dzieci 12-letnich zaobserwowano różnice w liczbie prawidłowych odpowiedzi w uchu prawym i lewym w badaniu uwagi ukierunkowanej i rozproszonej. Po ukierunkowaniu uwagi na ucho prawe liczba prawidłowych odpowiedzi z ucha prawego zwiększyła się. Średni odsetek prawidłowo rozpoznanych cyfr w badaniu uwagi rozproszonej wynosił 85%, natomiast w badaniu uwagi rozproszonej 92%. Podobnie, w uchu lewym – średni odsetek prawidłowych odpowiedzi w badaniu uwagi rozproszonej wynosił 68%, zaś w badaniu uwagi ukierunkowanej 81%, zaś w badaniu uwagi ukierunkowanej 81% (ryc. 5).



Ryc. 5. Odsetek prawidłowych odpowiedzi w teście DDT w obu grupach wiekowych w zależności od uwagi i badanego ucha

W całym materiale badawczym średni odsetek prawidłowo rozpoznanych liczb był wyższy w uchu prawym niż w uchu lewym. W przypadku uwagi rozproszonej 74% dzieci w trzech kolejnych badaniach wykazywało wyższy odsetek prawidłowo rozpoznanych liczb w uchu prawym, natomiast 6% (3 dzieci) w uchu lewym. U 20% dzieci (10 osób) odsetek ten był zmienny w kolejnych próbach (np. w pierwszym

miarze wykazano wyższe wyniki dla ucha prawego, natomiast w kolejnym dla ucha lewego). Ze względu na to, że układ słuchowy dojrzewa w ciągu pierwszych kilkunastu lat życia, na podstawie wyników nie wnioskowano o lateralizacji słuchowej.

DYSKUSJA

Testy słyszenia rozdzielnościowego, wykorzystujące różnego rodzaju bodźce słowne, najczęściej stosowane są do oceny lateralizacji językowej i asymetrii międzysusznej oraz w celu oceny integracji i separacji obuusznej. Coraz częściej stosuje się je również w diagnozie ośrodkowych zaburzeń słuchu.

W ocenie użyteczności klinicznej testów diagnostycznych ważne jest określenie wiarygodności i powtarzalności wyników badań. Dla testów diagnostycznych zaleca się przyjęcie współczynnika powtarzalności wynoszącego co najmniej 0,8 (najlepiej powyżej 0,9) [25]. W niniejszej pracy współczynniki korelacji pomiędzy poszczególnymi pomiarami, w zależności od grupy wiekowej, ucha oraz procedury badania zawierały się w zakresie od 0,71 do 0,95. Prowadzone przez Keith'a [24] badania powtarzalności testów zawartych w zestawie testów przesiewowych SCAN (*Screening Test For Auditory Processing Disorders*) wykazały, że żaden z testów nie osiągnął zalecanego współczynnika powtarzalności. Amos i Humes [25] również badali powtarzalność podtestów zestawu SCAN w grupie dzieci 6 i 8-letnich. W badaniach tych współczynnik korelacji dla testu rozdzielnościowego z wykorzystaniem słów konkurujących (*Competing Words*, CW) wynosił 0,7-0,78. Voyer i Flight [28] w dwukrotnym badaniu uwagi rozproszonej w teście rozdzielnościowym z wykorzystaniem sylab osiągnęli współczynnik korelacji 0,86. Russell i wsp. [27] porównywali dwa testy rozdzielnościowe z użyciem różnych bodźców słownych. Dla testu z użyciem bodźców sylabowych stopień powtarzalności wynosił 0,76, natomiast dla testu słownego 0,51. Mukari i wsp. [29] oraz Frasca i wsp. [30] stwierdzili, że nie występują różnice pomiędzy wynikami testu DDT uzyskanymi w dwóch kolejnych pomiarach, a zatem charakteryzują się one wysoką powtarzalnością. Również w badaniach Summers i wsp. [32] nie wykazano różnic pomiędzy kolejnymi wynikami rozdzielnościowego testu cyfrowego.

W niniejszej pracy dokonano oceny powtarzalności pomiarów testu DDT przede wszystkim za pomocą analizy bezwzględnych różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi w kolejnych pomiarach. Metoda ta jest z powodzeniem stosowana np. w przypadku oceny powtarzalności wyników audiometrii tonalnej [40-42]. Na potrzeby niniejszej pracy przy-

jęto założenie, że im mniejsza jest różnica pomiędzy kolejnymi pomiarami, tym większą powtarzalnością odznaczają się wyniki badania. Analiza indywidualnych rozrzutów wyników wykazała, że istnieje duża zgodność pomiędzy trzema kolejnymi wynikami testu DDT, bez względu na odsetek prawidłowo rozpoznanych cyfr, pomimo, że odstępy czasowe pomiędzy pomiarami 1 i 2 oraz 2 i 3 znacznie się różniły. Wielkość średniej różnicy między kolejnymi pomiarami była mniejsza w grupie dzieci starszych. Tang Heung [43] oceniła powtarzalność wyników testu DDT w grupie osób dorosłych za pomocą techniki porównania bezwzględnych różnic pomiędzy pomiarami. W badaniach tych wykazano, że wyniki pierwszego i drugiego pomiaru u wszystkich badanych nie różniły się o więcej niż 3 punkty [43].

Wyznaczone w niniejszej pracy bezwzględne różnice pomiędzy kolejnymi pomiarami wskazują, że większą powtarzalnością odznaczają się badania uwagi ukierunkowanej, w porównaniu z badaniami uwagi rozproszonej. Hugdahl i wsp. [44] badali powtarzalność testu rozdzielnościowego z użyciem sylab otwartych. Wyższe współczynniki korelacji wyznaczono dla badania uwagi ukierunkowanej (0,61-0,86) niż badania uwagi rozproszonej (0,6). Z kolei Gadea i wsp. [8] w swoich badaniach wykazali, że nieco wyższy współczynnik korelacji występuje w pomiarach uwagi rozproszonej (0,82) niż w badaniu uwagi ukierunkowanej na ucho prawe (0,77) lub lewe (0,76). Voyer i Flight [28] również wykazali, że biorąc pod uwagę liczbę prawidłowych odpowiedzi, większy współczynnik korelacji występuje dla uwagi rozproszonej (0,86) niż dla uwagi ukierunkowanej (0,62).

W niniejszej pracy wykazano, że bardziej powtarzalne wyniki uzyskiwane są dla ucha prawego niż lewego. W badaniach Hugdahl'a i wsp. [44] wyższy współczynnik korelacji wyznaczono dla badania uwagi ukierunkowanej na ucho lewe (0,86), niż dla badania uwagi ukierunkowanej na ucho prawe (0,61). Natomiast w badaniach prowadzonych przez Gadea i wsp. [8] wartości współczynnika korelacji dla ucha prawego i lewego były zbliżone.

Pomimo tego, że w wielu badaniach udowodniono wysoką powtarzalność wyników testów rozdzielnościowych, obserwowano również wysoki odsetek zmienności wyników w poszczególnych sesjach. W niniejszej pracy 20% dzieci wykazywało zmienną lateralizację w kolejnych pomiarach. Podobnie w pracy Pizzamiglio [22] ok. 30% osób miało odwrotny kierunek lateralizacji w drugim pomiarze. W badaniach Bethmann i wsp. [13], spośród 6 osób przebadanych trzykrotnie tym samym testem rozdzielnościowym, tylko jedna miała tę samą (lewostronną) lateralizację we wszystkich

trzech testach. Liczne badania wykazały, że na wyniki testów słyszenia rozdzielności, a także kierunek i stopień efektu lateralizacji, mogą mieć wpływ różne czynniki związane z samym pacjentem (np. wiek, uwaga, praktyka, przyjęte kryteria decyzyjne) i z procedurą badania (rodzaj i parametry bodźca, stosowanie maskowania, rodzaj instrukcji dla pacjenta) [45,46]. Czynniki te mogą wpływać również na wartość współczynnika korelacji [47].

Wiek w istotny sposób wpływa na wyniki testów słyszenia rozdzielności i wielkość przewagi ucha prawego. Wyniki licznych badań wskazują, że już u dzieci w wieku 2-5 lat można zaobserwować znaczną przewagę ucha prawego, co sugeruje, że już w tym wieku wykształca się lewopółkulowa dominacja dla bodźców słownych [10,17,48]. U dzieci młodszych obserwuje się większe asymetrie międzyszne, jednak wraz z wiekiem zdolność do udzielania prawidłowych odpowiedzi na bodźce z obu uszu zwiększa się, jednocześnie zmniejsza się wielkość przewagi ucha prawego [1]. Pomiędzy 8-10 rokiem życia następuje dynamiczny wzrost liczby odpowiedzi z ucha lewego, podczas gdy liczba odpowiedzi z ucha prawego pozostaje stała lub zwiększa się tylko nieznacznie [48]. W niniejszych badaniach dzieci 7-letnie uzyskały znacznie niższy odsetek prawidłowo rozpoznanych cyfr niż dzieci 12-letnie. Starsze dzieci wykazywały większy odsetek prawidłowo rozpoznanych cyfr zarówno w przypadku ucha prawego, jak i lewego. W grupie dzieci młodszych zaobserwowano większe asymetrie międzyszne niż w grupie dzieci starszych. W badaniach Geffen [48] wykazano, że dzieci 6-letnie osiągają gorsze wyniki w porównaniu z grupą 8- i 10-latków, a także popełniają dużo więcej błędów niż dzieci starsze [48]. Również Mukari i wsp. [29] zaobserwowali większą asymetrię międzyszną w grupie młodszych dzieci. Lamm i wsp. [12] badali dwukrotnie tę samą grupę dzieci, w odstępie jednego roku. Wykazano, że po roku nastąpiła poprawa wyników zarówno w uchu prawym, jak i lewym, a także znacznie zmniejszyła się wielkość asymetrii międzysznej. W badaniach Zenker'a i wsp. [31] dzieci w wieku 6-12 lat uzyskały znacznie gorsze wyniki niż dzieci starsze (13-17 lat). W młodszej grupie wiekowej zaobserwowano również dużo większą różnicę pomiędzy wynikami ucha lewego i prawego, niż w grupie dzieci starszych. Wielu autorów sugeruje, że poprawa wyników testów rozdzielności wraz z wiekiem i wielkość przewagi ucha związana jest z funkcjonalnymi i anatomicznymi właściwościami (np. wielkością) ciała modelowego [11,21,35]. W ciągu dwóch pierwszych dekad życia zachodzi rozwój i dojrzewanie włókien ciała modelowego. Jednocześnie zwykle następuje poprawa wyników z ucha lewego,

ponieważ zwiększa się efektywność transferu międzypółkulowego [35]. Natomiast w wieku średnim i starszym, kiedy ciało modelowe zmniejsza swój rozmiar, obserwowane jest pogorszenie wyników testów słyszenia rozdzielności, szczególnie w uchu lewym [31,35,49,50].

W badaniach uwagi rozproszonej, niezależnie od wieku badanych osób, zwykle obserwuje się większą liczbę prawidłowych odpowiedzi na bodźce docierające z ucha prawego (przewaga ucha prawego). W niniejszej pracy 74% dzieci w trzech kolejnych próbach wykazało przewagę ucha prawego, natomiast 6% przewagę ucha lewego. Podobne wyniki uzyskali Carr i wsp. [51] oraz Gadea i wsp. [8], u których przewagę ucha prawego uzyskało odpowiednio 75 i 87,5% osób badanych. W badaniach Pizzamiglio [22] 76% spośród 90 osób dorosłych miało przewagę ucha prawego w pierwszym badaniu, natomiast w drugim 68%. Niemal 3/4 osób badanych wykazywało ten sam kierunek lateralizacji w obu pomiarach. Lamm [12] wykazał przewagę ucha prawego w dwóch kolejnych sesjach pomiarowych u 63%, natomiast Bethmann i wsp. [13] u 54% badanych osób. Mukari i wsp. [29] badali występowanie przewagi ucha prawego w teście uwagi rozproszonej z wykorzystaniem jednej i dwóch par cyfr. W badaniu z użyciem jednej pary cyfr wyraźną przewagę ucha prawego wykazano tylko u dzieci młodszych (6-7 lat), natomiast w grupach dzieci starszych wyniki dla ucha prawego i lewego były zbliżone. Badania z wykorzystaniem dwóch par cyfr wskazały występowanie przewagi ucha prawego we wszystkich grupach wiekowych [29]. Zenker i wsp. [31], Strouse i wsp. [52], Vanniasagaram i wsp. [37] oraz Norrelgen i wsp. [53] w swoich badaniach także wykazały występowanie przewagi ucha prawego w testach uwagi rozproszonej.

Liczne badania wykazują, że ukierunkowanie uwagi na jedno ucho powoduje wzrost liczby prawidłowych odpowiedzi na bodźce docierające z tego ucha oraz zmniejszenie liczby prawidłowych odpowiedzi z ucha przeciwnego, w porównaniu z badaniem uwagi rozproszonej [2,4,5,8,11,29,45,49]. Ukierunkowanie uwagi na ucho prawe powoduje zwiększenie przewagi ucha prawego i znaczne zmniejszenie liczby prawidłowych odpowiedzi na bodźce z ucha lewego. Natomiast skierowanie uwagi na ucho lewe powoduje najczęściej wzrost liczby odpowiedzi dla ucha lewego i zmniejszenie wielkości przewagi ucha prawego [4]. W niniejszej pracy wykazano, że po ukierunkowaniu uwagi na ucho prawe odsetek prawidłowych odpowiedzi z ucha prawego zwiększył się. Podobnie – ukierunkowanie uwagi na ucho lewe spowodowało wzrost liczby prawidłowych odpowiedzi na bodźce docierające z ucha lewego.

WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Wyniki testu DDT odznaczają się dużą powtarzalnością, niezależnie od odsetka prawidłowo rozpoznanych cyfr.
2. Nie stwierdzono występowania tendencji do poprawy wyników testu DDT w kolejnych

badaniach, zarówno w przypadku uwagi rozproszonej, jak i ukierunkowanej.

3. Większą powtarzalnością odznaczają się badania uwagi ukierunkowanej oraz badania ucha prawego.
4. Wiek w istotny sposób wpływa na wyniki testu DDT oraz ich powtarzalność.

Piśmiennictwo

1. Moncrieff DW, Wilson RH. Recognition of randomly presented one-, two-, and three-pair dichotic digits by children and young adults. *J Am Acad Audiol* 2009, 20(1): 58-70.
2. Jancke L, Buchanan TW, Lutz K, Shah NJ. Focused and Nonfocused Attention in Verbal and Emotional Dichotic Listening: An fMRI Study. *Brain Lang* 2001, 78(3): 349-63.
3. Dos Santos Sequeira S, Specht K, Hämäläinen H, Hugdahl K. The effects of background noise on dichotic listening to consonant-vowel syllables. *Brain Lang* 2008, 107(1): 11-15.
4. Kompus K, Specht K, Ersland L, Juvodden HT, van Wagneningen H, Hugdahl K, et al. A forced-attention dichotic listening fMRI study on 113 subjects. *Brain Lang* 2012, 121(3): 240-7.
5. Asbjørnsen AE, Hugdahl K. Attentional effects in dichotic listening. *Brain Lang* 1995, 49(3): 189-201.
6. Hirnstein M. Dichotic listening and left – right confusion. *Brain Cogn* 2011, 76(2): 239-44.
7. Hugdahl K. What can be learned about brain function from dichotic listening? *Revista Espanola de Neuropsicologia* 2000, 2(3): 62-84.
8. Gadea M, Gomez C, Espert R. Test-Retest performance for the consonant-vowel dichotic listening test with and without attentional manipulations. *J Clin Exp Neuropsychol* 2000, 22(6): 793-803.
9. Foundas AL, Corey DM, Hurley MM, Heilman KM. Verbal dichotic listening in right and left-handed adults: Laterality effects of directed attention. *Cortex* 2006, 42(1): 79-86.
10. Berlin CI, Hughes LF, Lowe-Bell SS, Berlin HL. Dichotic Right Ear Advantage in children 5 to 13. *Cortex* 1973, 9(4): 394-402.
11. Hiscock M, Kinsbourne M. Attention and the right-ear advantage: What is the connection? *Brain Cogn* 2011, 76(2): 263-75.
12. Lamm O, Epstein R. Dichotic Listening in Children: the reflection of verbal and attentional changes with age. *J Exp Child Psychol* 1997, 65(1): 25-42.
13. Bethmann A, Tempelmann C, De Bleser R, Scheich H, Brechmann A. Determining language laterality by fMRI and dichotic listening. *Brain Res* 2007, 1133(1): 145-57.
14. Voyer D, Russell A, McKenna J. On the reliability of laterality effects in a dichotic emotion recognition task. *J Clin Exp Neuropsychol* 2002, 24(5): 605-14.
15. Jancke L, Specht K, Shah J, Hugdahl K. Focused attention in a simple dichotic listening task: an fMRI experiment. *Brain Res Cogn Brain Res* 2003, 16(2): 257-66.
16. Kimura D. Functional Asymmetry of the brain in dichotic listening. *Cortex* 1967, 3(2): 163-78.
17. Moncrieff DW. Dichotic listening in children: Age-related changes in direction and magnitude of ear advantage. *Brain Cogn* 2011, 76(2): 316-22.
18. Westerhausen R, Moosmann M, Alho K, Medvedev S, Hämäläinen H, Hugdahl K. Top-down and bottom-up interaction: manipulating the dichotic listening ear advantage. *Brain Res* 2009, 1250: 183-9.
19. Jerger J, Martin J. Hemispheric asymmetry of the right ear advantage in dichotic listening. *Hear Res* 2004, 198(1-2): 125-36.
20. Kinsbourne M. The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychol (Amst)* 1970, 33: 193-201.
21. Westerhausen R, Hugdahl K. The corpus callosum in dichotic listening studies of hemispheric asymmetry: A review of clinical and experimental evidence. *Neurosci Biobehav Rev* 2008, 32(5): 1044-54.
22. Pizzamiglio L, De Pascalis C, Vignati A. Stability of Dichotic Listening Test. *Cortex*, 1974, 10(2): 203-5.
23. Hugdahl K. Fifty years of dichotic listening research – Still going and going and... *Brain Cogn* 2011, 76(2): 211-13.
24. Keith RW. Development and standardization of the SCAN-C test for auditory processing disorders in children. *J Am Acad Audiol* 2000, 11(8): 438-45.
25. Amos NE, Humes LE. Scan test-retest reliability for first and third-grade children. *JSLHR* 1998, 41(4): 834-45.
26. Musiek FE, Gollegly KM, Kibbe KS, Verkest-Lenz SB. Proposed screening test for central auditory disorders: follow-up on the dichotic digits test. *Am J Otol* 1991, 12(2): 109-13.
27. Russell NL, Voyer D. Reliability of laterality effects in a dichotic listening task with words and syllables. *Brain Cogn* 2004, 54(3): 266-76.
28. Voyer D, Flight JL. Reliability and Magnitude of Auditory Laterality Effects: the influence of attention. *Brain Cogn* 2001, 46(3): 397-413.
29. Mukari SZ, Keith RW, Tharpe AM, Johnson CD. Development and standardization of single and double dichotic digit tests in the Malay language. *Int J Audiol* 2006, 45(6): 344-52.
30. Frasca MFSS, Lobo IFN, Schochat E. Test and retest of auditory processing: reliability of the evaluation. *Rev Soc Bras Fonoaudiol* 2011, 16(1): 42-8.
31. Zenker F, Mora Espino R, Marro Cosialls S, et al. The effect of age over the dichotic digit test. 8th EFAS Congress, 10th Congress of the German Society of Audiology, 2007.

32. Summers SA. Factor structure, correlations, and mean data on Form A of the Beta III version of Multiple Auditory Processing Assessment (MAPA). (w) Master's thesis. Idaho State University, Pocatello 2003.
33. Goodglass H. Binaural Digit Presentation and Early Lateral Brain Damage. *Cortex* 1967, 3(3): 295-306.
34. Musiek FE, Chermak GD, Weihing J, Zappulla M, Nagle S. Diagnostic accuracy of established Central Auditory Test Batteries in Patients with documented brain lesions. *J Am Acad Audiol* 2011, 22(6): 342-58.
35. Musiek FE, Weihing J. Perspectives on dichotic listening and the corpus callosum. *Brain Cogn* 2011, 76(2): 225-32.
36. Yathiraj A, Maggu AR. Screening Test for Auditory Processing (STAP): a preliminary report. *J Am Acad Audiol* 2013, 24(9): 867-78.
37. Vanniasegaram I, Cohen M, Rosen S. Evaluation of selected auditory tests in school-age children suspected of auditory processing disorders. *Ear Hear* 2004, 25(6): 586-97.
38. Iliadou V, Kaprinis S, Kandyli D, Kaprinis GS. Hemispheric laterality assessment with dichotic digits testing in dyslexia and auditory processing disorder. *Int J Audiol* 2010, 49(3): 247-52.
39. Bellis TJ, Billiet C, Ross J. Hemispheric lateralization of bilaterally presents homologous visual and auditory stimuli in normal adults, normal children, and children with central auditory dysfunction. *Brain Cogn* 2008, 66(3): 280-9.
40. Stuart A, Stenstrom R, Tompkins C, Vandenhoff S. Test-retest variability in audiometric threshold with supraaural and insert earphones among children and adults. *Audiology* 1991, 30(2): 82-90.
41. Landry JA, Green WB. Pure-Tone audiometric threshold test-retest variability in young and elderly adults. *J Speech Lang Pathol Audiol*. 1999, 23(2): 74-80.
42. Jerlvall L, Arlinger S. A comparison of 2-dB and 5-dB step size in pure-tone audiometry. *Scand Audiol* 1986, 15(1): 51-6.
43. Tang Heung C. Cantonese dichotic digit test: normative findings for young adults. The University of Hong Kong, 2006. <http://hub.hku.hk/handle/10722/50061>
44. Hugdahl K, Hammar A. Test-retest reliability for the consonant-vowel syllables dichotic listening paradigm. *J Clin Exp Neuropsychol* 1997, 19(5): 667-75.
45. Birkett P, Terry M. Laterality, order of report and attention in a dichotic CV syllable task. *Cortex* 1982, 18(2): 227-44.
46. Hugdahl K, Westerhausen R, Alho K, Medvedev S, Hämäläinen H. The effect of stimulus intensity on the right ear advantage in dichotic listening. *Neurosci Lett* 2008, 431(1): 90-4.
47. Voyer D. On the reliability and validity of noninvasive laterality measures. *Brain Cogn* 1998, 36(2): 209-36.
48. Geffen G. The development of the right ear advantage in dichotic listening with focused attention. *Cortex* 1978, 14(2): 169-77.
49. Gootjes L, Van Strien JW, Bouma A. Age effects in identifying and localizing dichotic stimuli: a corpus callosum deficit? *J Clin Exp Neuropsychol* 2004, 26(6): 826-37.
50. Bouma A, Gootjes L. Effects of attention on dichotic listening in elderly and patients with dementia of the Alzheimer type. *Brain Cogn* 2011, 76(2): 286-93.
51. Carr BM. Ear effect variables and order of report in dichotic listening. *Cortex* 1969, 5(1): 63-8.
52. Strouse A, Wilson RH, Brush N. Effect of order bias on the recognition of dichotic digits in young and elderly listeners. *Audiology* 2000, 39(2): 93-101.
53. Norrelgen F, Lilja A, Ingvar M, Gisselgård J, Fransson P. Language lateralization in children aged 10 to 11 years: a combined fMRI and Dichotic Listening study. *PLOS One* 2012, 7(12): e51872.