

Wyniki testów ośrodkowych funkcji słuchowych u dzieci i młodzieży w wieku szkolnym

Results of central auditory processing tests in school-aged children

KAROLINA DAJOS^{1,2/}, ADAM PIŁKA^{1/}, ANDRZEJ SENDERSKI^{3/}, KRZYSZTOF KOCHANEK^{1,2/}, HENRYK SKARŻYŃSKI^{1/}

^{1/} Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu w Warszawie

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

^{3/} Instytut „Pomnik Centrum Zdrowia Dziecka” w Warszawie

Wstęp. Diagnoza zaburzeń przetwarzania słuchowego jest trudna ze względu na brak wystandaryzowanych testów, procedur klinicznych oraz specjalistycznych urządzeń. Na wyniki testów ośrodkowych funkcji słuchowych wpływa wiele czynników, między innymi wiek, poziom rozwoju poznawczego, językowe, poziom koncentracji. Stwarza to trudności w postawieniu pewnej diagnozy zaburzeń przetwarzania słuchowego.

Cel pracy. Analiza wyników wybranych testów ośrodkowych funkcji słuchowych: adaptacyjnego testu rozumienia mowy w szumie (aSPN) oraz adaptacyjnych testów dyskryminacji słuchowej (DLD, DLF, DLI) u dzieci i młodzieży w wieku szkolnym.

Materiał i metody. Badaniami objęto 119 osób w wieku od 7 do 17 lat z prawidłowym słuchem. Osoby zakwalifikowano do testów na podstawie badań audiometrycznych i ankietowych. Testy przeprowadzono za pomocą programu komputerowego „APD” zainstalowanego na komputerze typu laptop HP Compaq nx7400 wyposażonego w słuchawki Sennheiser HDA 200.

Wyniki. Wiek istotnie wpływa na osiągnięte wyniki testów. Dzieci młodsze uzyskiwały słabsze wyniki niż dzieci starsze i młodzież. Nie obserwowano natomiast wpływu płci na wyniki testów.

Wnioski. Podczas diagnozy zaburzeń przetwarzania słuchowego konieczne jest stosowanie norm wiekowych. Istotne jest opracowanie i wystandaryzowanie procedur klinicznych, urządzeń i testów używanych do diagnostyki ośrodkowych zaburzeń słuchu.

Słowa kluczowe: zaburzenia przetwarzania słuchowego, rozumienie mowy w szumie, testy dyskryminacji słuchowej

Introduction. Assessment of central auditory processing disorders is difficult because of the lack of standardized clinical procedures, tests and specialized equipment. Factors such as e.g. age, cognitive and language abilities affect the results of central auditory tests. This creates difficulties in (C)APD diagnosis.

Aim. To examine the effect of age on results of selected central auditory tests: adaptive speech-in-noise test (aSPN) and three adaptive auditory discrimination tests (DLD, DLF, DLI) in school-age children and juveniles.

Material and methods. A battery of auditory tests was applied to 119 subjects aged 7-17 with normal hearing. Tests were performed using a computer program “APD” installed on a nx7400 Compaq HP notebook provided with HDA 200 Sennheiser headphones.

Results. Age significantly affected the results of the tests Adolescents performed significantly better on all four tests than the younger children. Gender-related differences between test results were not observed.

Conclusions. Age-specific standards must be used while assessing central auditory processing disorders. It is important to develop and standardize clinical procedures, equipment and diagnostic tests for assessment of (C)APD.

Key words: auditory processing disorders, speech in noise, auditory discrimination tests

WPROWADZENIE

Zaburzenia przetwarzania słuchowego to trudności w przetwarzaniu informacji słuchowych w ośrodkowym układzie nerwowym. Amerykańskie Towarzystwo Mowy, Języka i Słuchu (ASHA, *American Speech, Language and Hearing Association*) zdefiniowało zaburzenia przetwarzania słuchowego jako deficyty w przynajmniej jednej z następujących funkcji: lateralizacji i lokalizacji źródła dźwięku, dyskryminacji słuchowej, przetwarzaniu czasowym dźwięków (rozdzielczość czasowa, maskowanie czasowe, integracja czasowa, percepcji kolejności dźwięków) oraz rozumieniu sygnałów zniekształconych (w tym mowy) lub prezentowanych w obecności sygnału zagłuszającego [1-5].

Diagnoza zaburzeń w zakresie procesów ośrodkowego przetwarzania słuchowego jest trudna m.in. ze względu na duży wpływ czynników osobniczych na wyniki testów behawioralnych. Czynniki, które należy brać pod uwagę podczas interpretacji wyników badań, to m.in.: wiek, poziom rozwoju poznawczego, poziom rozwoju mowy i języka, motywacja, ogólne zachowanie dziecka oraz poziom koncentracji. Szczególnie istotnym czynnikiem jest wiek. Jak wskazuje wielu autorów, wyniki testów ośrodkowych funkcji słuchowych u dzieci poniżej 7-8 roku życia są bardzo zróżnicowane, głównie ze względu na różny stopień dojrzałości ośrodkowego układu nerwowego [6,7]. Duży rozrzut śródosobniczy wyników powoduje trudności z wyznaczeniem norm dla dzieci poniżej 7 roku życia, a wyznaczone parametry graniczne testów mogą być mało przydatne klinicznie. Dlatego też większość testów ośrodkowego przetwarzania słuchowego przeznaczona jest dla dzieci powyżej 6 roku życia. Dzieci w wieku wczesnoszkolnym osiągają w testach behawioralnych znacznie słabsze wyniki niż młodzież i dorośli [6-8]. Dopiero około 10-12 roku życia wyniki uzyskiwane przez dzieci w testach ośrodkowych funkcji słuchowych są zbliżone do wyników osób dorosłych [6].

Ponieważ nie zawsze znana jest przyczyna powstawania ośrodkowych zaburzeń słuchu, ważne jest poznanie sprawności układu słuchowego osoby badanej. Pozwalają na to testy psychoakustyczne, za pomocą których można określić progi percepcji bodźców akustycznych. Progi percepcji są wypadkową dwóch procesów: procesu percepcji zmysłowej oraz procesu podejmowania decyzji i reakcji na dany bodziec. Obecnie brak metod, które pozwoliłyby na niezależną ocenę procesu percepcji zmysłowej oraz kryterium decyzyjnego. Wynika to z faktu, że osoba badana może wykazywać tendencję, by częściej odpowiadać w kierunku jednej z odpowiedzi – skłonność do przeszacowania lub niedoszacowa-

nia progu percepcji (ang. *bias*) zależy od procesu decyzyjnego osoby badanej i nie jest zależna od procesu percepcji. Osoba badana może podejmować decyzje w sposób nielogiczny, a takie zachowanie może występować w czasie całego badania lub tylko przez krótki czas, i w ten sposób wpływać na wynik badania. Czynnikiem ten ma szczególnie duże znaczenie w przypadku badania dzieci, które z powodu zmęczenia czy rozproszenia uwagi mogą zmieniać swoje odpowiedzi, a nawet kryteria decyzyjne.

W Polsce diagnoza zaburzeń przetwarzania słuchowego dokonywana jest w coraz większej liczbie ośrodków, zarówno audiologicznych, jak i logopedycznych. Badania wskazują, że wiek badanych osób w sposób istotny wpływa na wyniki testów ośrodkowych funkcji słuchowych, jednak w polskiej literaturze brakuje pozycji dotyczących tego zagadnienia. Dlatego też w niniejszej pracy porównano wyniki kilku wybranych testów oceniających ośrodkowe funkcje słuchowe w różnych grupach wiekowych. Badania przeprowadzono dla adaptacyjnego testu rozumienia mowy w szumie aSPN (ang. *Adaptive Speech in Noise*) oraz testów dyskryminacji słuchowej, oceniających progi różnicowania czasu trwania – DLD (*Difference Limen for Duration*), częstotliwości – DLF (*Difference Limen for Frequency*) oraz intensywności dźwięku – DLI (*Difference Limen for Intensity*). Testy dyskryminacji słuchowej dostarczają informacji o tym, jak efektywnie układ słuchowy koduje akustyczne parametry dźwięków. Nie są one jednak w powszechnym użyciu w diagnostyce zaburzeń przetwarzania słuchowego [9]. Zdolność pacjenta do różnicowania niewielkich zmian częstotliwości, głośności i długości dźwięków, obok czułości słuchu, ma ogromny wpływ na rozumienie mowy w codziennym życiu. Kliniczne testy dyskryminacji słuchowej są dodatkowym narzędziem pozwalającym poszerzyć diagnostykę w kierunku wykrywania dzieci z ośrodkowymi zaburzeniami słuchu, ale również ocenić te funkcje u pacjentów implantowanych i korzystających z aparatów słuchowych.

MATERIAŁ I METODY

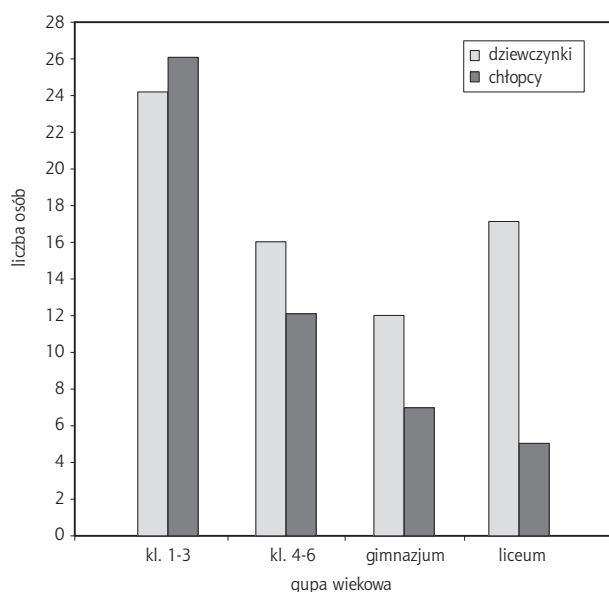
Badaniami objęto grupę 181 osób w wieku od 7 do 17 lat. U każdego uczestnika wykonano progową audiometrię tonalną dla częstotliwości 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz. Z dalszego udziału w badaniach wykluczono osoby, u których wynik audiometrii tonalnej był nieprawidłowy (tzn. jeśli dla dwóch częstotliwości w jednym uchu wartość progu przekraczała 25 lub więcej dB HL lub dla jednej częstotliwości w dowolnym uchu wartość progu wynosiła 35 i więcej dB HL).

Do dalszych etapów badań uczestników kwalifikowano na podstawie wyników ankiety dotyczącej zachowań słuchowych, osiągnięć edukacyjnych oraz występowania trudności z koncentracją i skupieniem uwagi. W przypadku młodszych dzieci ankietę wypełniali rodzice. Ankieta, która zawierała 13 pytań, została opracowana na podstawie kwestionariusza – *Children's Auditory Processing Performance Scale* [10] oraz ankiety Programu Badań Przesiewowych Słuchu u dzieci w wieku szkolnym [11]. Z dalszych badań wykluczono osoby, które udzieliły twierdzącej odpowiedzi na wszystkie następujące pytania:

- „Czy dziecko często prosi o powtórzenie informacji, pytań, poleceń?”
- „Czy dziecko ma trudności z rozumieniem poleceń, informacji przekazywanych w hałasie?”
- „Czy u dziecka występują trudności z czytaniem na głos lub pisanie ze słuchu?”
- „Czy dziecko ma trudności ze skupieniem uwagi w hałasie?”

lub na pytanie „Czy dziecko często rozprasza się, ma obniżoną koncentrację?”. Pozwoliło to na wykluczenie tych osób, u których można byłoby podejrzewać obecność zaburzeń przetwarzania słuchowego.

Testy oceniające ośrodkowe funkcje słuchowe wykonano u 119 osób (w tym 69 dziewczynek i 50 chłopców). Zebrany materiał podzielono na 4 grupy wiekowe, powiązane z kolejnymi etapami edukacji. Ze względu na różną liczbę osób w poszczególnych przedziałach wiekowych nie zdecydowano się na analizę zależności pomiędzy poszczególnymi rocznikami. Na rycinie 1 przedstawiono liczebności poszczególnych grup z uwzględnieniem płci badanych osób. Najliczniejszą grupę stanowiły dzieci z klas



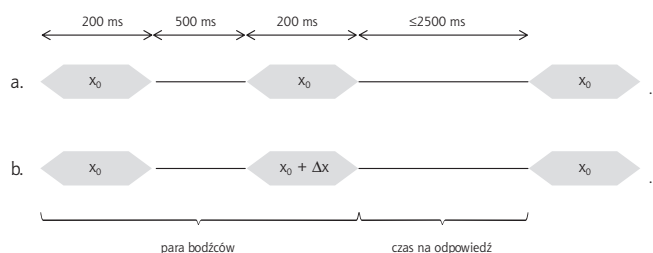
Ryc. 1. Liczebności poszczególnych grup wiekowych z uwzględnieniem płci

1-3 szkoły podstawowej. Najmniej zrównoważoną pod względem płci była grupa młodzieży z liceum (5 chłopców, 17 dziewczynek), w pozostałych grupach liczba chłopców i dziewcząt była zbliżona.

Do oceny ośrodkowych funkcji słuchowych zastosowano oprogramowanie komputerowe opracowane w Instytucie Fizjologii i Patologii Słuchu przez McPhersona, Senderskiego, Skarżyńskiego i Kochanka. Oprogramowanie zostało zainstalowane na komputerze typu laptop HP Compaq nx7400 wyposażonym w słuchawki typu Sennheiser HDA 200. Testy progów różnicowania przeprowadzane były za pomocą procedury adaptacyjnej, która umożliwia skrócenie czasu badania, a jednocześnie pozwala zachować dużą dokładność i wiarygodność wyniku badania. Standardowo próg odpowiedzi oznaczany jest przy wartości parametrów bodźca, które umożliwiają słuchaczowi na wykonanie badania z 50% dokładnością. Badania adaptacyjne pozwalają określić dokładność nie tylko na poziomie 50%, ale również np. 70,1% czy 78,9%.

W testach różnicowania dźwięków o różnych parametrach (DLD, DLF i DLI) stosowane były dwa rodzaje tonów: standardowy oraz zmienny (ze zmienną wartością określonego parametru). Bodźce prezentowano w parach, w których mogły być zawarte dwa tony standardowe lub ton standardowy i ton zmienny.

Na rycinie 2 przedstawiono zależności czasowe pomiędzy bodźcami prezentowanymi słuchaczowi podczas wykonywania testów różnicowania częstotliwości, intensywności i czasu trwania dźwięków. Częstotliwość bodźca standardowego wynosiła 1000 Hz we wszystkich testach. W testach DLI oraz DLD również bodziec zmienny miał tę samą częstotliwość ($F_0=1000$ Hz), natomiast w badaniu DLF bodziec zmienny miał częstotliwość $F_0+\Delta F$, gdzie ΔF oznacza wartość różnicy częstotliwości pomiędzy tonem standardowym i zmiennym. Czas



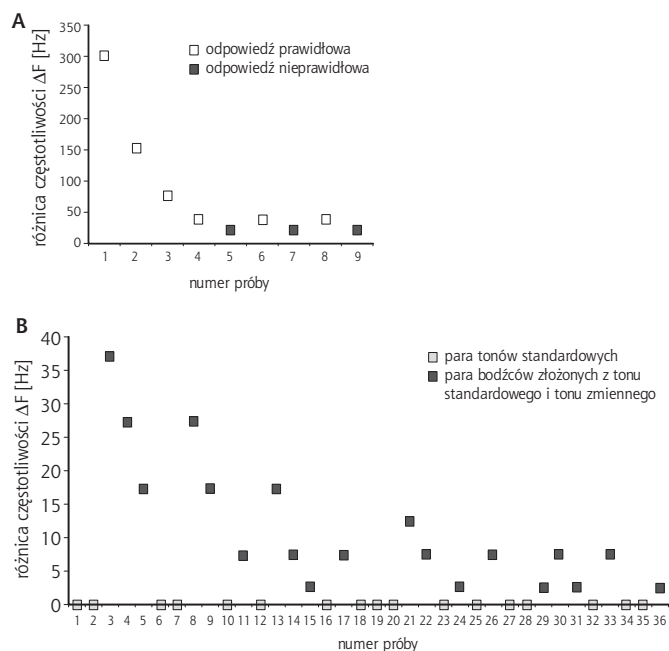
Ryc. 2. Zależności czasowe pomiędzy bodźcami stosowanymi w badaniach DLF, DLI, DLD. Bodźce prezentowano w sekwencjach zawierających parę tonów standardowych (X_0) bądź parę, w której znajdował się ton standardowy (X_0) i ton zmienny ($X_0+\Delta X$) (o zmiennej częstotliwości, intensywności lub długości, w zależności od testu). Parametr ΔX oznacza przyrost częstotliwości, intensywności lub czasu trwania dźwięków w zależności od wykonywanego testu

trwania bodźca standardowego wynosił 200 ms, czasy narastania i opadania 50 ms, a czas plateau 100 ms. W przypadku testów DLI i DLF czasy trwania bodźca standardowego i zmiennego były takie same, natomiast w badaniu DLD bodziec zmienny był dłuższy od bodźca standardowego o wartość ΔT . W badaniach DLD i DLF bodźce standardowy i zmienny podawane były z natężeniem $I_0=60$ dB HL, natomiast w badaniu DLI bodziec standardowy miał natężenie $I_0=60$ dB, a bodziec zmienny $I_0+\Delta I$. Przerwa pomiędzy tonami w danej parze wynosiła 500 ms, a czas przeznaczony na odpowiedź słuchacza wynosił ≤ 2500 ms. Po uzyskaniu odpowiedzi słuchacza lub osiągnięciu limitu czasu na odpowiedź prezentowano kolejną sekwencję tonów.

Na rycinie 3 przedstawiono procedurę badania DLF na przykładzie badania jednego słuchacza. Procedura testów dyskryminacji słuchowej (DLD, DLI i DLF) obejmowała dwie fazy: fazę I – wstępną oraz fazę II – właściwego pomiaru. W fazie I podawano wyłącznie pary tonów o różnej częstotliwości. Początkowa wartość ΔF była wysoka, co pozwalało słuchaczowi na udzielenie pewnej odpowiedzi. Wartość ΔF zmniejszano o połowę po udzieleniu poprawnej odpowiedzi lub zwiększano dwukrotnie po udzieleniu niepoprawnej odpowiedzi. Podczas fazy wstępnej zapoznawano słuchacza z procedurą badania oraz wyznaczano początkowy poziom wartości zmiennej, od którego rozpoczynało się właściwe badanie (najniższa wartość ΔF , dla której udzielono trzykrotnie poprawnej odpowiedzi). W omawianym przykładzie słuchacz udzielił trzykrotnie poprawnej odpowiedzi w próbach 4, 6 i 8 (ryc. 3A), dla których różnica ΔF pomiędzy częstotliwością tonu standardowego i zmiennego wynosiła 37,5 Hz. W związku z tym startową wartość ΔF algorytm wyznaczył na poziomie 37,5 Hz.

Po zakończeniu fazy wstępnej rozpoczynała się faza II – właściwego pomiaru (ryc. 3B). W tej fazie słuchaczowi prezentowano w losowej kolejności pary tonów o tej samej częstotliwości (dwa tony standardowe o częstotliwości $F_0=1000$ Hz) lub tonów o różnej częstotliwości (F_0 oraz $F_0+\Delta F$). Połowę bodźców stanowiły bodźce standardowe, połowę różniące się od siebie. Zadaniem pacjenta było naciśnięcie na przycisk w przypadku, gdy dwa tony były różne, i powstrzymanie się od naciśnięcia, gdy bodźce były takie same. Za odpowiedź prawidłową uznawano: odpowiedź prawdziwie dodatnią, kiedy bodźce różniły się między sobą i zostało to wykryte przez badaną osobę poprzez naciśnięcie przycisku (ang. *hit*) lub odpowiedź prawdziwie ujemną, kiedy bodźce nie różniły się między sobą i osoba badana nie nacisnęła przycisku (ang. *correct rejection*). Natomiast za odpowiedź nieprawidłową uznawano

odpowiedź fałszywie dodatnią, kiedy bodźce nie różniły się między sobą, a osoba badana nacisnęła przycisk (ang. *false alarm*) lub odpowiedź fałszywie ujemną, kiedy bodźce różniły się, ale osoba badana nie nacisnęła przycisku (ang. *miss*).



Ryc. 3. Procedura badania DLF

(A) faza I – wstępna; (B) faza II – właściwy pomiar

Metody adaptacyjne pozwalają na uzyskanie kilku odpowiedzi badanej osoby dla bodźców różniących się między sobą określoną cechą. O tym, jaki będzie następny bodziec decyduje odpowiedź badanej osoby. Metody adaptacyjne różnią się pomiędzy sobą między innymi poziomem początkowej trudności prezentacji bodźca oraz wielkością skoku, z jakim zmieniana jest głośność bodźca (ang. *step size*). W testach stosowanych w niniejszej pracy, po każdej odpowiedzi prawdziwie dodatniej wielkość różnicy pomiędzy tonami w parze zmniejszała się o jeden skok, natomiast po odpowiedzi prawdziwie ujemnej wielkość różnicy pomiędzy bodźcami pozostawała niezmienna. Po udzieleniu odpowiedzi nieprawidłowej wartość różnicy między bodźcami zwiększała się – w przypadku odpowiedzi fałszywie ujemnej o jeden skok, a w przypadku odpowiedzi fałszywie dodatniej o dwa skoki. Na przykładzie testu DLF – po udzieleniu odpowiedzi prawidłowej (prawdziwie dodatniej) wartość zmiennej zmniejszano o 10 Hz, aż do takiej próby, w której odpowiedź słuchacza była niepoprawna. Po udzieleniu niepoprawnej odpowiedzi wartość zmiennej zwiększano o 10 Hz (po odpowiedzi fałszywie ujemnej) lub o 20 Hz (po odpowiedzi fałszywie dodatniej). W prezentowanym przykładzie w próbie 1 i 2 zapre-

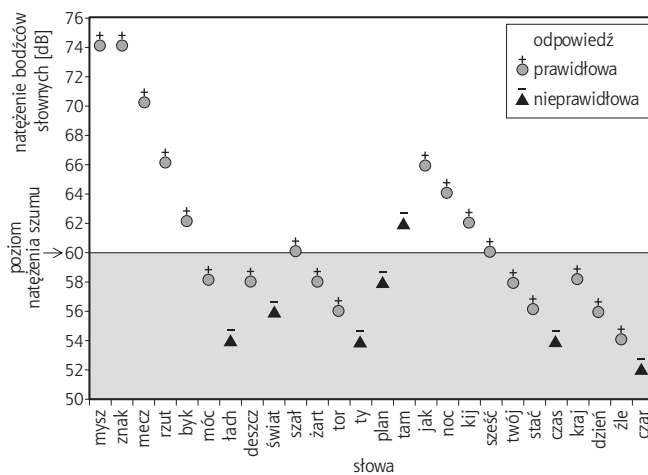
zentowano wyłącznie pary tonów standardowych, które słuchacz poprawnie zignorował (odpowiedź prawdziwie ujemna). W próbie 3 pojawiły się tony o różnej częstotliwości (F_0 oraz $F_0+37,5$ Hz). Ponieważ słuchacz prawidłowo wskazał te tony jako różniące się częstotliwością, wartość ΔF została zmniejszona o 10 Hz. W czwartej próbie zaprezentowano ponownie tony o różnej częstotliwości (F_0 oraz $F_0+27,5$ Hz), które słuchacz prawidłowo wskazał jako różniące się między sobą. Dlatego wartość ΔF zmniejszono o kolejne 10 Hz. W próbie nr 5 prezentowano tony o różnej częstotliwości (F_0 oraz $F_0+17,5$ Hz), które słuchacz poprawnie rozpoznał jako różniące się między sobą. Wartość ΔF zmniejszono ponownie o 10 Hz (do wartości 7,5 Hz). W 6 i 7 próbie prezentowano tony o tej samej częstotliwości. W próbie nr 6 parę tonów o tej samej częstotliwości słuchacz poprawnie zignorował, natomiast w 7 próbie określił jako różniące się częstotliwością (odpowiedź fałszywie dodatnia). W związku z tym wartość ΔF zwiększono o 20 Hz. W kolejnej próbie pojawiły się tony o różnej częstotliwości (F_0 oraz $F_0+27,5$ Hz). Po udzieleniu przez słuchacza poprawnej odpowiedzi wartość ΔF zmniejszono o 10 Hz. Zmiany wartości zmiennej były powtarzane 7 razy. Średni próg dyskryminacji częstotliwości dźwięku wyznaczano w oparciu o 6 najniższych wartości ΔF , przy których osoba badana udzieliła poprawnej odpowiedzi.

Badania dyskryminacji intensywności i czasu trwania dźwięku były oparte na tej samej procedurze. W teście DLI zmienną było natężenie tonu zmiennego. Po udzieleniu poprawnej odpowiedzi przez słuchacza wartość różnicy natężenia pomiędzy tonami zmniejszono o 2 dB, natomiast po niepoprawnej zwiększono o 4 dB. Z kolei w teście DLD zmienną był czas trwania tonu zmiennego. Różnica czasu trwania pomiędzy tonami w parze była zmniejszana o 10 ms po poprawnej odpowiedzi słuchacza lub zwiększana o 20 ms po odpowiedzi niepoprawnej.

Na rycinie 4 przedstawiono procedurę wykonywania testu aSPN. W badaniu bodźce słowne (jednosylabowe) prezentowano obustronnie o zmiennym natężeniu na tle tzw. „multitalker babble” o stałym natężeniu 60 dB. Zadaniem słuchacza było powtórzenie usłyszanego słowa. Za odpowiedź prawidłową uznawano poprawne powtórzenie słowa, natomiast za nieprawidłową brak powtórzenia lub niepoprawne powtórzenie (np. wypowiedzenie innego słowa). Dwa pierwsze słowa podawane były z dużą różnicą pomiędzy natężeniem bodźca a szumu (14 dB), co pozwalało słuchaczowi na udzielenie pewnej odpowiedzi. Kolejne bodźce słowne były podawane z coraz niższym natężeniem (z krokiem 4 dB), do czasu udzielenia przez słuchacza nieprawidłowej od-

powiedzi. Po nieprawidłowej odpowiedzi natężenie bodźca słownego zwiększano o 4 dB i kontynuowano podawanie bodźca do uzyskania poprawnej odpowiedzi. Po uzyskaniu poprawnej odpowiedzi słuchacza natężenie bodźca zmniejszono o 2 dB. Zmiany kierunku skoków natężenia powtarzano 5 razy. Średni próg SNR wyznaczano w oparciu o 4 najniższe wartości, przy których osoba badana udzieliła poprawnej odpowiedzi.

Wyniki testów zostały poddane analizie staty-



Ryc. 4. Procedura wykonywania badania aSPN

stycznej za pomocą programu STATISTICA. Różnice pomiędzy grupami dla wyników poszczególnych testów wyznaczono za pomocą jednowymiarowych testów istotności (ANOVA). Za istotne uznawano wartości $p < 0,05$. Ponieważ rozkłady wyników w testach dyskryminacji słuchowej nie miały cech charakteru normalnego, dla każdego z testów wyznaczono wartości mediany.

WYNIKI

Analiza statystyczna nie wykazała istotnego wpływu płci na wyniki testów rozumienia mowy w szumie oraz dyskryminacji częstotliwości, czasu trwania i intensywności dźwięku. Różnice pomiędzy wynikami osiąganymi przez chłopców i dziewczynki, zarówno w całej grupie badanej, jak i w poszczególnych przedziałach wiekowych, nie były istotne statystycznie.

Wykazano natomiast istotny statystycznie wpływ wieku na wyniki osiągane w testach rozumienia mowy w szumie oraz dyskryminacji słuchowej. Wartości mediany uzyskane przez poszczególne grupy w analizowanych testach przedstawiono w tabeli I. Młodzież uzyskuje niższe wartości mediany niż dzieci (im niższe wartości, tym lepsza zdolność rozumienia mowy w szumie i lepsze umiejętności dyskryminacji słuchowej).

Tabela I. Wartości mediany oraz wartości minimalne i maksymalne uzyskane w poszczególnych testach w różnych grupach wiekowych

Grupa wiekowa	Rodzaj testu											
	aSPN			DLD			DLF			DLI		
	med. [dB]	min. [dB]	maks. [dB]	med. [ms]	min. [ms]	maks. [ms]	med. [Hz]	min. [Hz]	maks. [Hz]	med. [dB]	min. [dB]	maks. [dB]
kl. 1-3	-1,8	-5,2	2,8	68,4	33,0	213,3	81,7	9,2	326,7	4,7	1,4	11,3
kl. 4-6	-4,3	-7,4	0,4	66,6	17,5	112,0	79,8	12,5	275,0	3,8	1,8	10,3
gimnazjum	-5,8	-9,4	-2,6	46,7	19,6	152,5	48,2	12,3	211,7	3,0	0,8	9,3
liceum	-5,0	-7,0	-2,6	48,3	15,8	155,0	48,5	10,8	156,7	2,5	1,5	9,7

Wyniki testu rozumienia mowy w szumie zależą od wieku badanych osób ($F=34,16$; $p<0,0001$). Istotnie statystycznie różnice stwierdzono między wynikami dzieci z klas 1-3, a dziećmi z klas 4-6 szkoły podstawowej oraz pomiędzy tymi dwoma grupami a wynikami uzyskiwanymi przez młodzież z gimnazjum i liceum.

Analiza statystyczna wykazała, że wartości ΔT uzyskiwane w teście DLD zmieniają się wraz z wiekiem ($F=3,82$; $p<0,05$). Wartości testu DLD uzyskane u dzieci w grupie klas 1-3 i 4-6 ze szkoły podstawowej oraz gimnazjum, nie różnią się istotnie statystycznie. Grupa młodzieży z liceum uzyskała istotnie statystycznie lepsze wyniki niż dzieci młodsze.

Wykazano również znaczący wpływ wieku na wartości ΔF w teście DLF ($F=4,20$; $p<0,05$). Pomiedzy wynikami dzieci uczęszczających do klas 1-3 i 4-6 szkoły podstawowej nie ma istotnej statystycznie różnicy, natomiast pomiędzy pozostałymi grupami występują istotne zależności.

Wiek wpływa także na wyniki testu DLI ($F=3,28$; $p<0,05$). Analiza zależności pomiędzy poszczególnymi grupami wykazała istotną różnicę między wynikami uzyskanymi w grupie dzieci z klas 1-3 szkoły podstawowej oraz dzieci z klas 4-6 szkoły podstawowej a pozostałymi grupami. Wartości uzyskane przez dzieci z gimnazjum i liceum nie różnią się istotnie statystycznie.

We wszystkich testach zaobserwowano duży rozrzut śródosobniczy wyników. Wartości minimalne i maksymalne zmiennych przedstawiono w tabeli I. Szczególnie duży rozrzut wyników występuje w grupach dzieci młodszych, uczęszczających do szkoły podstawowej (np. w teście DLF różnica pomiędzy wartością minimalną a maksymalną ΔF w grupie dzieci uczęszczających do klas 1-3 szkoły podstawowej wynosi ponad 300 Hz), co oznacza, że pomiary w tych grupach wiązały się z większymi trudnościami (zmęczenie, rozproszenie uwagi). Badania w grupach dzieci starszych i młodzieży są bardziej stabilne, o czym świadczy mniejszy zakres wartości minimalnych i maksymalnych zmiennych w poszczególnych testach.

Tabela II. Wartości 95 percentyla uzyskane w testach aSPN, DLD, DLF, DLI dla poszczególnych grup wiekowych

Grupa wiekowa	Test aSPN SNR [dB]	Test DLD ΔT [ms]	Test DLF ΔF [Hz]	Test DLI ΔI [dB]
kl. 1-3	2,0	198,3	275,0	11,0
kl. 4-6	0,4	144,4	263,3	8,9
gimnazjum	-2,6	152,5	211,7	9,3
liceum	-3,4	128,0	130,0	9,6

W tabeli II przedstawiono wartości 95 percentyla uzyskane dla poszczególnych grup wiekowych w testach aSPN, DLD, DLF oraz DLI. Zgodnie z oczekiwaniami najmniejsze wartości w wynikach poszczególnych testów uzyskała grupa młodzieży, natomiast najwyższe grupa dzieci w wieku wczesnoszkolnym.

DYSKUSJA

Problem diagnozy zaburzeń przetwarzania słuchowego jest obiektem zainteresowania coraz większej liczby audiologów i logopedów. Testy oceniające ośrodkowe funkcje słuchowe są ciągle rozwijane, jednak wciąż brakuje wystandardyzowanych norm i procedur klinicznych, które pozwoliłyby na postawienie pewnej diagnozy (C)APD. Funkcjonowanie ośrodkowego układu słuchowego nie jest do końca poznane, dlatego ważne jest opracowanie testów oceniających podstawowe funkcje słuchowe (np. dyskryminację cech akustycznych dźwięku). Wyniki testów ośrodkowych funkcji słuchowych zależą od wieku badanych osób (rozwój umiejętności słuchowych trwa do ok. 10-12 roku życia). Dlatego też w niniejszej pracy dokonano analizy wyników psychoakustycznych testów ośrodkowych funkcji słuchowych (adaptacyjnego testu rozumienia mowy w szumie – aSPN oraz testów oceniających dyskryminację częstotliwości, czasu trwania i intensywności dźwięku – DLF, DLD, DLI) w różnych grupach wiekowych dzieci i młodzieży.

Jednym z podstawowych mechanizmów słuchowych, który może być zaburzony w CAPD, jest rozumienie mowy zniekształconej lub w obecności sygnału zagłuszającego. Najczęściej stosowanym

sposobem zniekształcania bodźca słownego jest prezentacja mowy w obecności hałasu (szumu lub tzw. „multitalker babble”). Najbardziej popularnym testem oceniającym rozumienie mowy w szumie jest test HINT (*Hearing In Noise Test*). Został on opracowany przez Nilsson’a i wsp. [12], a wielu autorów [13-17] dokonało adaptacji i standaryzacji testu do swojego języka ojczystego. Badania i normalizację testów percepcji mowy w szumie prowadzili również Wagener, Neijenhuis, Xi, Cervera, Lagace [7,8,18-20]. Porównanie wyników testu rozumienia mowy w szumie uzyskanych w niniejszej pracy z wynikami innych autorów wykazało, że niezależnie od przyjętych kryteriów i zastosowanych parametrów badań, dorośli uzyskują zbliżone średnie wartości SNR (tab. III). Dzieci uzyskują słabsze wyniki w testach rozumienia mowy w szumie w porównaniu z wynikami uzyskiwanymi przez młodzież (w niniejszej pracy wartość mediany w teście aSPN u dzieci była o 5 dB większa, niż u młodzieży). Niektórzy autorzy sugerują, że dzieci osiągają słabsze wyniki niż młodzież i dorośli, ponieważ mają mniejsze zdolności poznawcze, inni że słabsza percepcja mowy w szumie przez dzieci związana jest z niedojrzałością ośrodkowego układu słuchowego, a niektórzy sugerują, że dzieci osiągają słabsze wyniki z powodu niedostatecznie rozwiniętych umiejętności językowych [6,7]. Niezależnie od przyczyny pewne jest, że zdolność rozumienia mowy w szumie u dzieci zwiększa się w okresie dzieciństwa, by osiągnąć stabilny poziom w okresie adolescencji. Rozwój struktur mózgowych i nabywanie umiejętności słuchowych w dzieciństwie zwiększają zdolności rozumienia mowy w szumie [7].

Badania dyskryminacji słuchowej dostarczają informacji o efektywności, z jaką układ słuchowy dokonuje analizy dźwięków docierających ze środowiska (w tym dźwięków mowy). Bungert-Kahl i wsp. [21] przeprowadzili standaryzację psychoakustycznych testów do oceny dyskryminacji częstotliwości, intensywności i czasu trwania dźwięków u osób w wieku 20-70 lat. Średnie progi dyskryminacji częstotliwości i czasu trwania dźwięku dla częstotliwości 1 kHz przy jednoczesnej prezentacji bodźca są dużo niższe niż wartości mediany ΔF wyznaczone w niniejszej pracy. W obu pracach uzyskano podobne wartości w teście dyskryminacji intensywności. Różnice w uzyskanych wynikach spowodowane są prawdopodobnie różnicami w zastosowanym algorytmie. W metodach klasycznych próg wyznaczany jest na poziomie 50% poprawnych odpowiedzi, natomiast w niniejszych badaniach algorytm wyznaczał próg dyskryminacji na poziomie 71% poprawnych odpowiedzi, a więc dokładność badania była większa. Warto podkreślić

Tabela III. Porównanie średnich wartości progu SNR uzyskanych przez różnych autorów

Autor	Test	Średni próg SNR [dB]
Wyniki niniejszej pracy	aSPN („multitalkerbabble”)	-1,8/-4,3 (dzieci) -5,8/-5,0 (młodzież)
Nilsson i wsp. (1993)	HINT (rozumienie zdań w szumie)	-2,92
Hällgren i wsp. (2006)	HINT (rozumienie zdań w szumie)	-3
Vaillancourt i wsp. (2008)	HINT (rozumienie zdań w szumie)	-1,7 (dzieci 9 lat) -2,7 dorośli
Nielsen i wsp. (2010)	Test rozumienia zdań w szumie	-2,52
Wagener i wsp. (2003)	DANTALE II (rozumienie zdań w szumie)	-8,43
Xi i wsp. (2012)	Test rozumienia zdań („multitalkerbabble”)	-6,1
Neijenhuis i wsp. (2002)	Test rozumienia zdań w szumie	-4 (młodzież 14-16 lat) -5,4 (dorośli)

nową jakość zastosowanej w niniejszych badaniach metody adaptacyjnej. Dzięki temu, że w procedurze wyznaczania progu zawarto również bodźce nie różniące się badaną cechą (bodźce, które należało zignorować, ang. catch trials) oraz dzięki wizualizacji procesu dochodzenia do progu możliwe jest oszacowanie jakości współpracy osoby testowanej, a tym samym wiarygodności wyznaczonego progu różnicowania badanej cechy dźwięku.

Niezależnie od stosowanych procedur, baterii testów, parametrów badania i rodzajów stymulacji, badacze zgadzają się, że wiek istotnie wpływa na wyniki osiągane w testach centralnych funkcji słuchowych [8,22]. W niniejszej pracy dzieci młodsze, uczęszczające do szkoły podstawowej, we wszystkich czterech testach, osiągnęły dużo słabsze wyniki niż młodzież. Uzyskane wyniki są zgodne z wynikami innych autorów, którzy wskazują na wpływ wieku na wyniki testów ośrodkowego przetwarzania słuchowego [4,8,22-24]. Pomimo, iż peryferyjny układ słuchowy jest w pełni ukształtowany już w momencie narodzin dziecka, proces mielinizacji ośrodkowego układu nerwowego i nabywania umiejętności słuchowych trwa do 7-12 roku życia [1,14,23]. Potwierdza to duży rozrzut śródosobniczy wyników testów w grupie dzieci młodszych. W okresie wczesnoszkolnym następuje gwałtowny rozwój funkcji słuchowych i związanych z nimi umiejętności językowych. W niniejszej pracy w niektórych testach wykazano, że istnieją statystycznie istotne różnice między wynikami osiąganymi przez 7 i 9-latków, jednak ze względu na niewielką liczebność grup wiekowych nie zdecydowano się na rozdzielanie grupy dzieci uczęszczających do klas 1-3 szkoły podstawowej na mniejsze grupy. Kontynuowane są

badania dotyczące wpływu wieku na wyniki testów ośrodkowych funkcji słuchowych i opracowania norm wiekowych dla poszczególnych testów.

WNIOSKI

W niniejszej pracy analizowano wyniki wybranych testów ośrodkowych funkcji słuchowych u dzieci i młodzieży w wieku szkolnym. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że:

1. Płeć nie ma wpływu na wyniki uzyskiwane w testach rozumienia mowy w szumie oraz dyskryminacji czasu trwania, częstotliwości i intensywności dźwięku.

2. Wiek w istotny sposób wpływa na wyniki testu rozumienia mowy w szumie oraz testów dyskryminacji czasu trwania, intensywności i częstotliwości dźwięku.
3. Ze względu na istotny wpływ wieku na wartości uzyskiwane w poszczególnych testach, w procesie oceny ośrodkowych funkcji słuchowych konieczne jest stosowanie norm wiekowych.
4. Dla dalszego upowszechniania testów ośrodkowych funkcji słuchowych istotne jest opracowanie i wystandaryzowanie procedur klinicznych, urządzeń i testów diagnostycznych CAPD.

Piśmiennictwo

1. Bamiou DE, Musiek F, Luxon L. Aetiology and clinical presentations of auditory processing disorders – a review. *Arch Dis Child* 2001; 85(5): 361-5.
2. Senderski A. Diagnostyka centralnych zaburzeń przetwarzania słuchowego. Algorytm postępowania diagnostycznego. Materiały Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu, 2002.
3. Fuente A, McPherson B. Ośrodkowe procesy przetwarzania słuchowego: wprowadzenie i opis testów możliwych do zastosowania u pacjentów polskojęzycznych. *Otorynolaryngologia* 2007; 6(2): 66-76.
4. Iliadou V, Bamiou DE, Kaprinis S, Kandyli D, Kaprinis G. Auditory Processing Disorders in children suspected of Learning Disabilities - A need for screening? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2009; 73(7): 1029-34.
5. Skoczyła A, Lewandowska M, Pluta A, Kurkowski Z, Skarżyński H. Ośrodkowe zaburzenia słuchu – wskazówki diagnostyczne i propozycje terapii. *Nowa Audiofonologia* 2012; 1(1): 11-8.
6. American Academy of Audiology: Guidelines for the Diagnosis, Treatment and Management of Children and Adults with Central Auditory Processing Disorders. 2010, <http://www.asha.org/docs/html/tr2005-00043.html>, 10.07.2013.
7. Lagace J, Jutras B, Gagne JP. Understanding the listening problems in noise experimented by children with Auditory Processing Disorders. http://www.icben.org/2008/PDFs/Lagace_et_al.pdf, 10.07.2013.
8. Neijenhuis K, Snik A, Priester G, van Kordenoordt S, van den Broek P. Age effects and normative data on a Dutch test battery for auditory processing disorders. *Int J Audiol* 2002; 41(6): 334-46.
9. Hurley R, Fulton S. Psychoacoustic considerations and implications for the diagnosis of (C)APD. (w) Handbook of (Central) Auditory Processing Disorder. Vol. I. Auditory Neuroscience and Diagnosis. Musiek FE, Chermak GD (red.). Plural Publishing, 2007; 13-52.
10. deConde Johnson C, Benson PV, Seaton JB. The Educational Audiology Handbook. Singular Publishing Limited, London, 1997; 375-7
11. Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Ankieta Audiologiczna Programu Przesiewowych Badań Słuchu u dzieci w wieku szkolnym, <http://skrining.ifps.org.pl>, 10.07.2013.
12. Nilsson M, Soli SD, Sullivan JA. Development of the Hearing In Noise Test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *J Acoust Soc Am* 1994; 95(2): 1085-99.
13. Hällgren M, Larsby B, Arlinger S. A Swedish version of the Hearing In Noise Test (HINT) for measurement of speech recognition. *Int J Audiol* 2006; 45: 227-37.
14. Vaillancourt V, Laroche C, Giguère C, Soli SD. Establishment of Age-Specific Normative Data for the Canadian French Version of the Hearing in Noise Test for Children. *Ear Hear* 2008; 29(3): 453-66.
15. Wong LL, Soli SD. Development of the Cantonese Hearing In Noise Test (CHINT). *Ear Hear* 2005; 26(3): 276-89.
16. Wong LL, Soli SD, Liu S, Han N, Huang MW. Development of the Mandarin Hearing In Noise Test (MHINT). *Ear Hear* 2007; 28(2 Suppl): 70S-74S.
17. Nielsen JB, Dau T. The Danish hearing in noise test. *Int J Audiol* 2011; 50(3): 202-8.
18. Wagener K, Jøsvassen J, Ardenkjær R. Design, optimization and evaluation of a Danish sentence test in noise. *Int J Audiol* 2003; 42(1): 10-7.
19. Xi X, Ching TY, Ji F, Zhao Y, Li JN, Seymour J i wsp. Development of a corpus of Mandarin sentences in babble with homogeneity optimized via psychometric evaluation. *Int J Audiol* 2012; 51(5): 399-404.
20. Cervera T, Gonzalez-Alvarez J. Test of Spanish sentences to measure speech intelligibility in noise conditions. *Behav Res* 2011; 43(2): 459-67.
21. Bungert-Kahl P, Biedermann F, Dörrscheidt GJ, von Cramon DY, Rübsamen R. Psychoacoustic test tools for the detection of deficits in central auditory processing: Normative data. *Zeitschrift für Audiologie* 2004; 43(2): 48-71.
22. Bellis T. Comprehensive Central Auditory Assessment. (w) Assessment and Management of Central Auditory Processing Disorders in the Educational Setting: From Science to Practice, Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, 2003; 231-65.
23. Buss E, Hall III JW, Grose J. Psychometric functions for pure tone intensity discrimination: Slope differences in school-aged children and adults. *J Acoust Soc Am* 2009; 125(2): 1050-8.
24. Moore DR, Ferguson MA, Halliday LF, Riley A. Frequency discrimination in children: Perception, learning and attention. *Hear Res* 2008; 238(1-2): 147-54.