

# Wartości normatywne przesiewowych testów wyższych funkcji słuchowych platformy diagnostyczno-terapeutycznej APD-Medical

## Normative values of screening tests of auditory processing abilities of diagnostic-therapeutic platform APD-Medical

ANDRZEJ SENDERSKI<sup>1,4/</sup>, KATARZYNA IWANICKA-PRONICKA<sup>2/</sup>, JOANNA MAJAK<sup>3/</sup>, MARZENA WALKOWIAK<sup>3/</sup>, KAROLINA DAJOS<sup>4/</sup>

<sup>1/</sup> Senso-Medical, Warszawa

<sup>2/</sup> Instytut Pomnik Centrum Zdrowia Dziecka, Warszawa

<sup>3/</sup> Klinika Audiologii i Foniatrii Instytutu Medycyny Pracy, Łódź

<sup>4/</sup> APD-Medical, Warszawa

**Wprowadzenie.** Zaburzenia słuchu na poziomie centralnym mogą powodować trudności w rozumieniu mowy w hałasie, problemy w lokalizacji źródła dźwięku czy trudności w dyskryminacji częstotliwości i czasu trwania dźwięku. Zaburzenia te mogą mieć negatywny wpływ na możliwości komunikowania się oraz sukces edukacyjny dziecka, dlatego ważna jest ich wczesna diagnoza i rehabilitacja.

**Cel pracy.** Opracowanie wartości referencyjnych dla przesiewowych testów ośrodkowych funkcji słuchowych zawartych na platformie APD-Medical dla dzieci w wieku przedszkolnym i wczesnoszkolnym.

**Materiał i metody.** Badaniem objęto 341 dzieci w wieku od 4 do 9 lat z prawidłowym słuchem. Dzieci zostały zakwalifikowane do badań na podstawie badań audiometrycznych i ankietowych. U dzieci wykonano testy reakcji słuchowej i wzrokowej, test rozumienia mowy w szumie, przesiewowy polski liczbowy test rozdzielnousznego słyszenia (dichotic digits test, DDT) oraz przesiewowy test sekwencji częstotliwości (frequency pattern test, FPT).

**Wyniki.** Wykazano, że wiek istotnie wpływa na wyniki osiągnięte przez dzieci we wszystkich testach ( $p < 0,05$ ). Wyznaczono wartości referencyjne normy dla poszczególnych testów, uwzględniając wpływ wieku na wyniki.

**Wnioski.** Bateria przesiewowych testów dostępna na platformie internetowej APD-Medical może być przydatnym narzędziem do wstępnej oceny ośrodkowych funkcji słuchowych dla logopedów, psychologów i innych specjalistów pracujących z dziećmi z trudnościami w komunikowaniu się.

**Słowa kluczowe:** *dzieci, zaburzenia przetwarzania słuchowego, testy przesiewowe, wartości referencyjne*

**Introduction.** Central Auditory Processing Disorders may cause difficulty in understanding speech in noise, localization of sound source or difficulties in frequency discrimination and temporal processing of sound. These difficulties may have a negative impact on the ability to communicate and on the child's educational success. Therefore it is important to diagnose these difficulties early and introduce rehabilitation.

**Aim.** To develop reference values for screening tests of auditory processing functions included on APD-Medical platform for pre-school and school-aged children.

**Material and methods.** The study group included 341 children aged 4-9 years with normal hearing. The children were included on the basis of audiometrical testing and data collected from questionnaire. All children were examined with visual and auditory reaction tests, speech in noise test, screening Polish dichotic digit test and screening frequency pattern test.

**Results.** It was demonstrated that age significantly affects the performance of children in all tests. Reference values for auditory processing tests were developed taking into account the influence of age on the results.

**Conclusions.** The battery of tests included on APD-Medical platform may be a useful tool for preliminary assessment of auditory functions for speech-therapists, psychologists and other specialists who work with children with communication difficulties.

**Key words:** *children, Auditory processing disorders, screening tests, reference values*

## WSTĘP

Prawidłowe słyszenie zależy nie tylko od fizycznej sprawności ucha, ale również od procesów przetwarzania informacji słuchowej zachodzących na wyższych piętrach drogi słuchowej. Przetwarzanie słuchowe obejmuje funkcje słuchowe wyższego rzędu, takie jak np. dyskryminacja słuchowa, lokalizacja źródła dźwięku i czasowe przetwarzanie sygnałów akustycznych [1,2]. Ośrodkowe zaburzenia słuchu odnoszą się do problemów w przetwarzaniu dźwięków w centralnym układzie słuchowym i objawiają się zaburzeniami umiejętności i zdolności słuchowych, np. rozumienia mowy w hałasie, integracji i separacji słuchowej czy rozpoznawania wzorców dźwiękowych. Zaburzenia przetwarzania słuchowego znajdują często odzwierciedlenie w umiejętnościach językowych i edukacyjnych dzieci (np. trudności w różnicowaniu niewielkich różnic fonetycznych pomiędzy słowami) [3].

W ocenie procesów przetwarzania słuchowego wykorzystywane są testy elektrofizjologiczne, takie jak ABR, cABR oraz słuchowe potencjały korowe LLR i potencjały poznawcze jak P300 i MMN, oraz testy behawioralne (psychoakustyczne), pozwalające na zbadanie określonych funkcji słuchowych. Badania elektrofizjologiczne pozwalają na ocenę funkcjonowania ośrodkowego układu słuchowego w odpowiedzi na bodziec dźwiękowy (trzask, ton, bodziec słowny). Z kolei za pomocą testów psychoakustycznych można ocenić poszczególne wyższe funkcje słuchowe oraz integralność i sprawność działania ośrodkowej części układu słuchowego [4]. Testy psychoakustyczne obarczone są błędami, szczególnie w badaniach dzieci w wieku wczesnoszkolnym – istotny wpływ na wyniki mają czynniki takie jak uwaga, motywacja, męczliwość dziecka.

ASHA [2] wskazuje, że celem diagnozy ośrodkowych funkcji słuchowych jest potwierdzenie lub wykluczenie zaburzeń przetwarzania słuchowego oraz ocena ich zakresu i głębokości. U dużej części dzieci z objawami APD nie jesteśmy w stanie wykryć specyficznej przyczyny obserwowanych trudności. Testy APD stanowią narzędzie do wstępnego szacunkowego rozpoznania i potwierdzenia objawów w celu włączenia rewalidacji. Istnieją dowody na to, że wiele funkcji słuchowych ulega poprawie po zastosowaniu treningu słuchowego i odpowiedniej terapii językowej [5,6].

Jerger i wsp. [7] podczas konferencji w 2000 roku określili, jakie testy elektrofizjologiczne i behawioralne powinny zostać włączone do diagnozy zaburzeń przetwarzania słuchowego. Autorzy wskazują, że tylko zastosowanie różnych testów,

obejmujących różne rodzaje bodźców (werbalnych i niewerbalnych) oraz różne procedury badania, pozwala na pełne zbadanie ośrodkowego przetwarzania słuchowego. Opierając diagnozę CAPD na testach behawioralnych należy mieć na uwadze wpływ na wyniki testów czynników niezależnych od „czystej” percepcji słuchowej, takich jak uwaga, koncentracja, motywacja, zdolności językowe i inne zdolności poznawcze [8].

Zaburzenia przetwarzania słuchowego (ang. *Auditory Processing Disorders*, APD) dotyczą od ok. 2-3% [9] do nawet 7% [10] populacji dzieci w wieku szkolnym. Trudności związane z ośrodkowymi zaburzeniami słuchu mogą w istotny sposób wpływać na różne sfery rozwoju i sukces edukacyjny dzieci, m.in. na zdolności nabywania umiejętności czytania i pisanie. Z tego powodu niezwykle istotne jest wczesne rozpoznanie zaburzeń oraz wdrożenie skutecznych działań terapeutycznych. Obecnie w audiologii, z powodu złożoności zaburzeń oraz braku tzw. „złotego standardu” (czyli testu referencyjnego o 100% czułości i specyficzności), nie opracowano testów diagnostycznych o udokumentowanej czułości i specyficzności. Pewnym rozwiązaniem problemu są badania, w których jako referencję traktuje się potwierdzone uszkodzenia makroskopowe OUN [11].

W literaturze zagranicznej można znaleźć wiele przykładów zestawów badań przesiewowych i diagnostycznych w kierunku APD, m.in. SCAN-C [12], MAPA [13], TAPS-3 [za: 14], DSTP [za: 15], STAP [16], a także zestawy testów holenderskich [17] i hiszpańskich [4]. W Polsce do tej pory nie opracowano i nie wystandaryzowano pełnego zestawu testów, które mogłyby posłużyć do badań przesiewowych i diagnostyki ośrodkowych zaburzeń słuchu. Platforma APD-Medical zawiera testy psychoakustyczne APD, które można wykonać przy podłączeniu komputera do sieci Internet przy użyciu słuchawek audiometrycznych. Zaletami badań internetowych są przede wszystkim: skrócenie czasu badania i obniżenie kosztów jego organizacji, większa atrakcyjność badania (co ma szczególne znaczenie w przypadku młodszych dzieci), większy komfort i wygoda badania [za: 18]. Wiele testów psychologicznych możliwych jest do wykonania za pomocą komputera, również przy wykorzystaniu programów komputerowych działających on-line [19]. Przy wykorzystaniu komputera z kartą dźwiękową spełniającą standard HD oraz dedykowanych słuchawek audiometrycznych można uzyskać powtarzalne parametry akustyczne, wpływające na wyniki testów, tzn. pasmo przenoszenia, charakterystykę przenoszenia i głośność sygnału [20].

Celem pracy jest ocena przydatności klinicznej i opracowanie wartości referencyjnych w grupie dzieci w wieku wczesnoszkolnym dla zmodyfikowanych pod kątem badań przesiewowych testów wyższych funkcji słuchowych, które można wykonać za pomocą komputera podłączonego do sieci Internet i dedykowanych słuchawek audiometrycznych. W baterii znalazły się testy, których oryginalne wersje są najbardziej czułe i specyficzne w stosunku do uszkodzeń ośrodkowego układu nerwowego.

## MATERIAŁ I METODY

Przebadano 341 dzieci z terenów całej Polski, z ośrodków miejskich i wiejskich. Badana próbka była reprezentatywna dla populacji polskiej. Jedynie w zakresie miejsca zamieszkania (miasto/wieś) odchylenie przekraczało 30%. Badania normalizacyjne były przeprowadzane w szkołach i przedszkolach, poradniach psychologiczno-pedagogicznych, ośrodkach medycznych. Podczas badań zachowywano odpowiednie warunki akustyczne (ciche pomieszczenie), a testy wykonywały odpowiednio przeszkolone osoby z doświadczeniem w pracy z dziećmi. Dzieci zostały podzielone na dwie grupy, ze względu na poziom edukacji – pierwszą grupę stanowiły dzieci w wieku przedszkolnym (4-5 lat), natomiast drugą dzieci w wieku wczesnoszkolnym (6-9 lat).

### Procedura

#### Kryteria włączenia do badania:

Czułość słuchu oceniano audiometrem przesiewowym Maico MA-1 ze słuchawkami audiometrycznymi DD-45 wyposażonymi dodatkowo w nakładki tłumiące hałas zewnętrzny Audiocups firmy Amplivox.

Do badań zakwalifikowano wyłącznie te dzieci, u których próg słyszenia w audiometrii tonalnej nie przekroczył 20 dBHL.

Historię medyczną dziecka oraz przebieg jego rozwoju psychoruchowego i językowego oceniano za pomocą kwestionariusza. Szczegółowo pytano o przebieg ciąży i porodu, choroby, które przechodziło dziecko we wczesnym dzieciństwie oraz przebieg rozwoju motorycznego, językowego, emocjonalnego dziecka. Dodatkowo w ankiecie znalazły się pytania pozwalające na ocenę nasilenia objawów często obserwowanych u dzieci z APD, takich jak trudności rozumienia mowy w hałasie, zaburzenia uwagi i pamięci słuchowej, trudności szkolne. Ocena dokonywana jest w pięciostopniowej skali, gdzie 1 oznacza, że dana umiejętność/zjawisko nigdy nie występuje, natomiast 5, że występuje zawsze.

Do dalszej analizy zakwalifikowano wyniki wyłącznie tych dzieci, u których wyniki ankiety pozwoliły wykluczyć występowanie trudności słuchowych, edukacyjnych oraz zdrowotnych, które w istotny sposób mogłyby wpłynąć na wyniki uzyskane w testach wyższych funkcji słuchowych.

### Testy wyższych funkcji słuchowych

Testy słuchowe wykonywano przy użyciu słuchawek audiometrycznych DD-45 z nakładkami tłumiącymi hałas zewnętrzny Audiocups firmy Amplivox podłączonych do wyjścia audio przenośnego komputera klasy PC. U dzieci młodszych, w wieku przedszkolnym oraz u dzieci w wieku 6-9 lat wykonano następujące badania: test reakcji słuchowej i wzrokowej oraz test rozumienia mowy w szumie ASPN. W grupie dzieci w wieku 6-9 lat wykonano dodatkowo przesiewowy liczbowy test rozdzielności słyszenia (pDDT), przesiewowy test różnicowania sekwencji częstotliwości (pFPT).

Testy reakcji słuchowej i wzrokowej przeprowadzono w oparciu o ten sam protokół badania. W teście reakcji słuchowej zadaniem dziecka było naciśnięcie na przycisk w momencie, kiedy usłyszy dźwięk. Z kolei w teście reakcji wzrokowej dziecko miało nacisnąć przycisk w momencie, kiedy na ekranie pojawi się biała kropka. Testy reakcji wzrokowej i słuchowej pozwalają ocenić czas potrzebny na wykonanie pojedynczej reakcji w odpowiedzi na określony bodziec [21]. Czas reakcji obejmuje: czas rozpoznania i percepcji bodźca oraz czas podjęcia decyzji o reakcji, a także czas samej reakcji, obejmujący koordynację nerwowo-mięśniową w płycie nerwowo-mięśniowej i czas skurczu mięśni [22]. Dodatkową intencją zastosowania testu była chęć oceny interakcji i motywacji dziecka, zdolności reagowania na bodziec, powtarzalności reakcji, męczliwości. Za pomocą testów można również ocenić, czy dziecko charakteryzuje nadreaktywność (duża liczba odpowiedzi fałszywie dodatnich), czy niereaktywność (duża liczba pominiętych bodźców). Testy reakcji słuchowej i wzrokowej przeprowadzono jako testy wstępne, pokazujące możliwość przeprowadzenia wiarygodnych testów słuchowych APD.

Polski przesiewowy test rozdzielności słyszenia został opracowany na podstawie testu angielskiego DDT (ang. *Dichotic Digit Test*). Składa się on z 20 sekwencji składających się z dwóch różnych par cyfr (od 1 do 10) prezentowanych w tym samym czasie do obu uszu. Zadaniem dziecka jest powtórzenie wszystkich usłyszanych cyfr (wyłącznie badanie uwagi rozproszonej). Wynikiem testu jest odsetek prawidłowo powtórzonych cyfr w każdym uchu. Za

pomocą testów rozdzielności słyszenia można ocenić stopień dojrzałości ośrodkowego układu słuchowego, specjalizację półkul mózgowych dla bodźców językowych, a także sposób przekazywania informacji pomiędzy półkulami mózgu [23].

Przesiewowy test różnicowania sekwencji częstotliwości opracowano na podstawie założeń Pinheiro i późniejszych badań Musieka [11]. Test polega na prezentacji dziecku 20 sekwencji złożonych z trzech następujących po sobie dźwięków, które różnią się częstotliwością (dźwięk niski 880 Hz, wysoki 1020 Hz). Zadaniem dziecka było określenie, w jakiej kolejności usłyszało dźwięki (np. wysoki-niski-niski, niski-wysoki-niski). Wynikiem badania jest odsetek prawidłowo rozpoznanych sekwencji. Badania wykazały, że oryginalny test FPT odznacza się dużą specyficznością i czułością w wykrywaniu organicznych uszkodzeń OUN i jest podstawowym testem używanym w diagnozie zaburzeń przetwarzania słuchowego [11].

Podczas badania rozumienia mowy w hałasie (ang. *Adaptive Speech in Noise*, ASPN) prezentowano dziecku jednosylabowe słowa na tle tzw. *multitalker babble* („gadanina”). Zadaniem dziecka było powtórzenie usłyszanego słowa. Początkowo poziom SNR wynosił 8 dB. Poziom natężenia słów zmieniał się w zależności od odpowiedzi dziecka – po prawidłowej odpowiedzi natężenie bodźca zmniejszało się (początkowo skok o 4 dB, po pierwszej niepoprawnej odpowiedzi o 2 dB), natomiast po niepoprawnej odpowiedzi natężenie zwiększało się (skok o 2 dB). Wynikiem badania jest średni próg SNR dla wartości 50% poprawnie rozpoznanych słów.

Wyniki testów poddano analizie statystycznej za pomocą programu STATISTICA. Istotność różnic pomiędzy poszczególnymi grupami wyznaczono za pomocą jednowymiarowych testów istotności ANOVA. Za istotne uznano wartości  $p < 0,05$ . Wartości referencyjne wyznaczono na poziomie 75 i 25 percentyla (w zależności od testu).

## WYNIKI

W tabeli I przedstawiono liczbę dzieci biorących udział w badaniu z podziałem na wiek i płeć. Największą grupę stanowią dzieci w wieku 6 lat, najmniejszą dzieci w wieku 4 lat. Analiza statystyczna nie wykazała istotnego wpływu płci na wyniki uzyskane we wszystkich testach ( $p > 0,05$ ), dlatego dalsze analizy wykonywane były bez podziału na płeć.

Na rycinie 1 zaprezentowano wyniki uzyskane w testach reakcji wzrokowej i słuchowej, z podziałem na wiek. Zgodnie z oczekiwaniami, wiek w istotny

sposób wpływa na czas reakcji, zarówno w przypadku bodźców wzrokowych, jak i słuchowych. Najmłodsze dzieci (4-5 lat), zarówno w teście reakcji wzrokowej, jak i słuchowej mają istotnie dłuższy czas reakcji w porównaniu z dziećmi w wieku wczesnoszkolnym ( $p < 0,05$ ). Istotne różnice wykazano również pomiędzy wynikami dzieci w wieku 6-7 lat a wynikami dzieci 8-9-letnich. Pomiedzy grupą dzieci 8- i 9-letnich nie wykazano istotnych różnic statystycznych ( $p > 0,05$ ).

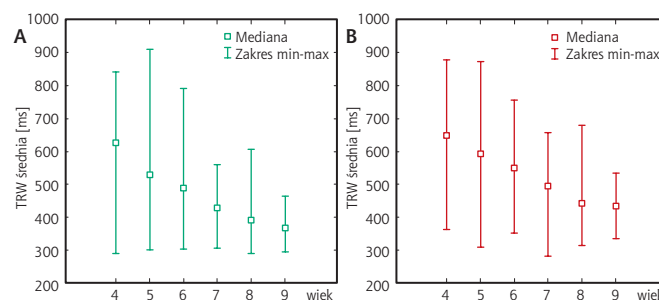
We wszystkich grupach wiekowych czas reakcji słuchowej był dłuższy, niż czas reakcji wzrokowej. Analiza wykazała, że u dzieci w wieku 7-9 lat różnica pomiędzy czasem reakcji na bodźce wzrokowe, a czasem reakcji na bodźce słuchowe jest istotna ( $p < 0,05$ ). U dzieci młodszych nie wykazano istotnej różnicy pomiędzy wynikiem testów reakcji słuchowej i wzrokowej.

Zgodnie z oczekiwaniami wyniki testu ASPN były najlepsze u dzieci w wieku 9 lat, natomiast najslabsze u dzieci w wieku 4 lat. Istotne różnice wykazano pomiędzy wynikami dzieci w wieku 4 i 5 lat oraz pomiędzy wynikami dzieci w wieku przedszkolnym a wynikami dzieci w wieku wczesnoszkolnym. Istotne statystycznie różnice wykazano również między wynikami dzieci w wieku 6 i 7 lat a wynikami dzieci w wieku 8-9 lat ( $p < 0,05$ ). Nie wykazano istotnej różnicy pomiędzy wynikami dzieci najstarszych (8-9 lat). Medianę oraz zakres wartości minimalnych i maksymalnych przedstawiono w tabeli II.

Również w teście FPT wykazano, że wiek w istotny sposób wpływa na uzyskiwane wyniki. Istotne różnice zaobserwowano pomiędzy wynikami dzieci

Tabela I. Liczebność grupy badawczej z podziałem na wiek i płeć

	4 lata	5 lat	6 lat	7 lat	8 lat	9 lat	Razem
Dziewczeta	11	32	42	34	18	19	156
Chłopcy	20	29	46	34	34	22	185
Razem	31	61	88	68	52	41	341



Ryc. 1. Wartości mediany testów reakcji wzrokowej (A) i słuchowej (B) w zależności od wieku

w wieku 6 i 7 lat, a wynikami dzieci w wieku 8-9 lat ( $p < 0,05$ ). Różnica pomiędzy wynikami dzieci w wieku 8 i 9 lat nie była istotna statystycznie ( $p > 0,05$ ). W tabeli III przedstawiono medianę oraz zakres wartości maksymalnych i minimalnych testu FPT w zależności od wieku dziecka.

Zgodnie z oczekiwaniami, w teście rozdzielnościowym cyfrowym we wszystkich grupach wiekowych zaobserwowano różnicę pomiędzy wynikami ucha prawego i lewego wynikającą z dojrzewania ciała modelowanego. Różnica pomiędzy uszami była istotna tylko w przypadku dzieci najmłodszych (6 lat) ( $p < 0,05$ ). W pozostałych grupach wiekowych różnica między lewym i prawym uchem nie była istotna statystycznie ( $p > 0,05$ ).

Zarówno w badaniu ucha lewego, jak i prawego, zaobserwowano istotny wpływ wieku na uzyskiwane wyniki. W przypadku ucha lewego istotne różnice występują pomiędzy grupą 6-latków i pozostałymi grupami, oraz pomiędzy grupą 7-latków a grupą 9-latków. Z kolei w uchu prawym różnice występują pomiędzy grupami 6- i 7-latków a grupami 8-9-latków ( $p < 0,05$ ). Wyniki dzieci 8- i 9-letnich nie różnią się istotnie, zarówno w uchu prawym, jak i lewym (ryc. 2).

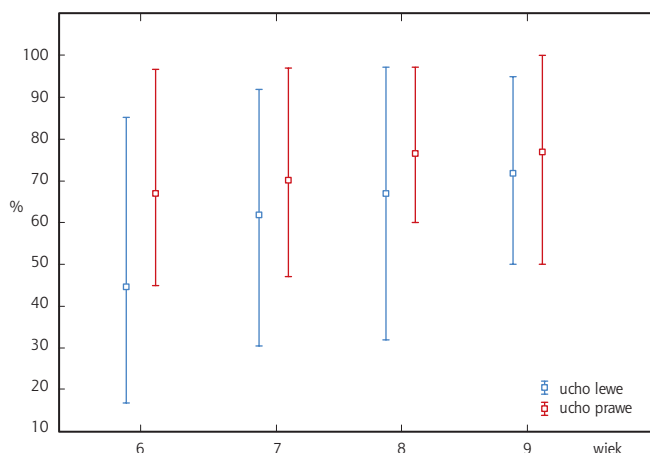
Dla wszystkich testów jako wartość referencyjną przyjęto wartość 75 lub 25 percentyla. W tabeli IV przedstawiono uzyskane wartości referencyjne dla wszystkich testów, z podziałem na wiek. Jak oczekiwano, w testach reakcji wzrokowej i słuchowej oraz ASPN wartości referencyjne są najwyższe dla dzieci w wieku młodszym (4-5 lat), natomiast wraz z wiekiem wartości te zmniejszają się (tab. IV). Z kolei dla testów DDT i FPT wartości referencyjne są najwyższe dla dzieci najstarszych, a najniższe dla dzieci najmłodszych. Nie wykazano istotnych różnic

Tabela II. Mediana oraz zakres min-max testu rozumienia mowy w szumie ASPN

Wiek	N	Mediana [dB]	Minimum [dB]	Maksimum [dB]
4	24	3,83	-3,66	6,33
5	47	1,66	-7,66	5,00
6	81	0,33	-4,33	5,00
7	63	0,00	-8,66	3,66
8	51	-1,00	-4,33	5,00
9	39	-1,00	-10,33	1,00

Tabela III. Mediana oraz zakres min-max testu FPT

Wiek	N	Mediana [dB]	Minimum [dB]	Maksimum [dB]
6	54	45,0	20,0	100,0
7	42	55,0	30,0	95,0
8	39	75,0	30,0	100,0
9	22	70,0	30,0	100,0



Ryc. 2. Wartości mediany oraz zakres min-max w teście DDT w zależności od ucha i wieku

pomiędzy wartościami 75 i 25 percentyla pomiędzy dziećmi w wieku 8 i 9 lat ( $p > 0,05$ ).

## DYSKUSJA

Wykrycie i ocena zaburzeń przetwarzania słuchowego jest dużym wyzwaniem, przede wszystkim ze względu na współwystępowanie APD z innymi zaburzeniami, takimi jak ADHD, SLI, dysleksja czy trudności z czytaniem i pisanem. Dzieci z zabu-

Tabela IV. Wartości referencyjne dla testów reakcji słuchowej i wzrokowej, rozumienia mowy w szumie, testu rozdzielnościowego cyfrowego oraz testu różnicowania sekwencji częstotliwości z uwzględnieniem wieku dzieci

	4 lata	5 lat	6 lat	7 lat	8 lat	9 lat
TRW [ms]	721,85	751,23	585,20	467,33	455,58	395,63
TRS [ms]	706,69	660,89	585,95	514,10	488,93	432,63
DDT UP [%]	-	-	60,00	62,00	70,00	72,00
DDL UL [%]	-	-	35,00	50,00	56,00	61,00
ASPN [dB]	4,66	3,00	1,33	1,00	-0,33	-0,33
FPT [%]	-	-	35,00	40,00	40,0	55,00

rzeniami przetwarzania słuchowego stanowią heterogeniczną grupę, w której obecne może być całe spektrum trudności [3]. Z tego powodu niezwykle istotny jest właściwy dobór testów przesiewowych i diagnostycznych. Dlatego podejmowane są próby określenia tzw. baterii minimalnej testów, które pozwalają na ocenę każdej z podgrup ośrodkowych zaburzeń słuchu – przetwarzanie czasowe dźwięków, integracja i separacja międzysusznna, słyszenie w obecności dźwięków zagłuszających i konkurujących.

Platforma APD-Medical stanowi kompromis pomiędzy chęcią zbadania pełnego zakresu wyższych funkcji, a dostosowaniem zakresu i stopnia trudności badań do możliwości współpracy dziecka

i czasu potrzebnego na wykonanie testów. Dane do systemu wprowadza logopeda, psycholog, natomiast dostęp do wyników badań, danych z ankiety oraz wywiadu ma zespół specjalistów (lekarz audiolog, pedagog, neurologopeda). Współpraca specjalistów z różnych dziedzin zapewnia wielokierunkową analizę uzyskanych wyników i umożliwia postawienie wiarygodnej diagnozy.

Na platformie APD-Medical znajdują się testy zalecane przez Jergera i wsp. [7] oraz ASHA [2] i AAA [8]. Za ich pomocą możliwa jest ocena wszystkich funkcji słuchowych, zarówno z użyciem bodźców werbalnych, jak i niewerbalnych. Testy te odznaczają się dużą czułością i specyficzną w diagnostyce zaburzeń przetwarzania słuchowego oraz są czułe na uszkodzenia struktur biorących udział w ośrodkowym przetwarzaniu słuchowym, m.in. ciała modzelowatego oraz lewego płata skroniowego.

Według literatury wiarygodną diagnozę zaburzeń przetwarzania słuchowego można wykonać u dzieci w wieku od 6. do 7. roku życia. U dzieci młodszych, ze względu na trwający dynamiczny proces mielinizacji dróg nerwowych, diagnoza APD nie jest możliwa. Jednak, jeżeli te zaburzenia występują, możliwe jest co najmniej potwierdzenie objawów za pomocą wybranych testów słuchowych dostosowanych do możliwości współpracy małych dzieci. Wyniki tych testów mogą uprawdopodobnić ryzyko występowania APD i być podstawą do wczesnego włączenia działań rehabilitacyjnych [2].

Prawidłowe funkcjonowanie dziecka i jego rozwój są zależne od rozwoju procesów integracji systemów zmysłowych. Trudności w przetwarzaniu wrażeń zmysłowych, m.in. słuchowych i wzrokowych, mogą być przyczyną problemów edukacyjnych, szczególnie trudności z nabywaniem umiejętności czytania i pisanie. Czas reakcji to czas pomiędzy prezentacją bodźca a odpowiedzią behawioralną, czas potrzebny do wykrycia obecności bodźca. Prosty czas reakcji odzwierciedla poziom koordynacji nerwowo-mięśniowej w odpowiedzi na fizyczne, mechaniczne i chemiczne procesy zachodzące w układzie nerwowym podczas detekcji bodźca [22]. Czas reakcji zależy od modalności bodźca i narządu zmysłowego, który ten bodziec odbiera i przetwarza. Im krótsza jest droga nerwowa, tym szybsza jest reakcja na dany bodziec [24]. Reakcja na bodziec wzrokowy jest zwykle dłuższa, niż na bodziec dźwiękowy [22,25]. U dorosłych czas reakcji na bodziec wzrokowy wynosi średnio 180-200 ms, natomiast czas reakcji na bodziec słuchowy 140-160 ms [22,25]. W niniejszej pracy czas reakcji wzrokowej we wszystkich grupach wiekowych był krótszy niż czas reakcji słuchowej, i wynosił średnio od ok. 600 ms (dzieci 4-letnie) do ok. 368 ms

(dzieci 9-letnie). Natomiast czas reakcji na bodźce słuchowe wynosił od ok. 600 ms u dzieci najmłodszych do ok. 404 ms u dzieci najstarszych. Zgodnie z oczekiwaniami wraz z wiekiem średni czas reakcji na bodźce, zarówno wzrokowe, jak i słuchowe, zmniejszał się. Pozwala to przypuszczać, że chociaż u dzieci w wieku przedszkolnym i wczesnoszkolnym proces rozwoju koordynacji nerwowo-mięśniowej nie jest jeszcze zakończony, testy reakcji wzrokowej i słuchowej mogą być skutecznym narzędziem oceny uwagi i koncentracji dziecka na zadaniu. Testy reakcji wzrokowej i słuchowej pozwalają również ocenić motywację dziecka, jego chęć i zdolność do współpracy, a także powtarzalność odpowiedzi. Dane te dostarczają dodatkowych informacji o wiarygodności badań centralnych funkcji słuchowych.

Testy słuchania rozdzielności pozwalają na ocenę zdolności układu słuchowego do przetwarzania dwóch różnych sygnałów akustycznych docierających jednocześnie do lewego i prawego ucha. Zastosowanie bodźców językowych (sylab, cyfr, słów) powoduje zazwyczaj powstanie tzw. przewagi ucha prawego, co oznacza, że więcej prawidłowych odpowiedzi uzyskuje się dla bodźców docierających z ucha prawego, w porównaniu z uchem lewym [23]. W niniejszej pracy we wszystkich grupach wiekowych średni wynik z ucha prawego był wyższy, niż średni wynik z ucha lewego. Istotną przewagę ucha prawego można zaobserwować już u dzieci w wieku przedszkolnym (2-5 lat), co potwierdza, że już w tym wieku u większości dzieci wykształca się dominacja lewej półkuli w zakresie przetwarzania bodźców językowych [26]. Wraz z wiekiem przewaga ucha prawego zmniejsza się – około 8-10 roku życia następuje dynamiczny wzrost liczby odpowiedzi z ucha lewego, co skutkuje zmniejszeniem asymetrii międzyusznej [26,27]. W niniejszym badaniu największą asymetrię pomiędzy wynikami lewego i prawego ucha zaobserwowano u dzieci najmłodszych, natomiast u dzieci w wieku 7-9 lat różnica pomiędzy wynikiem w uchu prawym i lewym nie była istotna statystycznie. W badaniach Geffen [28] oraz Mukari i wsp. [29] i Lamm'a i wsp. [30] również wykazano, że wraz z wiekiem wyniki uzyskiwane w prawym i lewym uchu zwiększają się, a jednocześnie wielkość asymetrii międzyusznej zmniejsza się. Stopniowa poprawa wyników i zmniejszanie asymetrii międzyusznej spowodowane są prawdopodobnie dojrzewaniem i mielinizacją włókien ciała modzelowatego, co poprawia efektywność transferu informacji pomiędzy półkulami [31].

Testy rozumienia mowy w szumie lub w obecności dźwięków konkurujących odznaczają się wysoką czułością i specyficzną w diagnostyce zaburzeń przetwarzania słuchowego. Obecnie

najczęstszym sposobem zniekształcania sygnału mowy jest prezentowanie bodźców werbalnych na tle tzw. *multitalker babble* (tzw. „paplanina”). Warunki testu odzwierciedlają rzeczywiste warunki akustyczne, jakie otaczają dziecko w życiu codziennym (podczas zajęć w szkole, zajęć pozalekcyjnych i innych) [3]. Podobnie jak w przypadku wyników testu rozdzielności cyfrowego, również w teście ASPN wykazano, że wraz z wiekiem umiejętność rozumienia mowy w szumie poprawia się – w niniejszej pracy dzieci w wieku 8-9 lat uzyskały znacznie lepsze wyniki, niż dzieci młodsze (6- i 7-latkami). Hetu i wsp. (1990) wykazali, że hałas panujący w klasie szkolnej znacznie bardziej rozprasza uwagę dzieci młodszych, w porównaniu ze starszymi dziećmi. Młodsze dzieci mają również większe trudności z poprawnym rozumieniem ostatniego słowa w zdaniu prezentowanym w obecności hałasu (Elliott, 1979) [za: 32]. Fallon i wsp. [32] wykazali, że dzieci 5-, 9- i 11-letnie wymagają bardziej korzystnego stosunku sygnału do szumu, aby w badaniu rozumienia mowy w hałasie osiągnąć wyniki zbliżone do osób dorosłych. Rozumienie mowy w hałasie przez młodsze dzieci może być utrudnione z powodu kilku czynników, między innymi nieco wyższym progiem słyszenia, mniejszym doświadczeniem językowym, a także mniejszymi możliwościami skupienia uwagi i zapamiętywania [32].

Testy różnicowania częstotliwości dźwięku są czułe na uszkodzenia półkulowe i dysfunkcje przetwarzania słuchowego związane z dysleksją i trudnościami szkolnymi [11]. Badania potwierdzają, że poprawne dekodowanie dźwięku i werbalna odpowiedź na niego wymagają współpracy obu półkul – prawa półkula odpowiada za przetwarzanie konturu akustycznego i wzorców dźwiękowych, natomiast lewa jest dominująca w zakresie dźwięków mowy i czasowego przetwarzania informacji akustycznych [11]. Wraz z wiekiem umiejętności różnicowania częstotliwości dźwięku zwiększają się. W niniejszej pracy młodsze dzieci uzyskały znacznie niższy odsetek prawidłowo powtórzonych sekwencji w teście FPT, w porównaniu z dziećmi w wieku 8-9 lat. W pracy Romero-Diaz i wsp. [33] również wykazano, że wraz z wiekiem wyniki testu FPT ulegają poprawie – dzieci 9-letnie uzyskały znacznie lepsze wyniki, niż dzieci 7-letnie.

Określenie kryterium dla wartości referencyjnych nie jest kwestią oczywistą. Wilson i wsp. [34] wskazują, że w zależności od przyjętych kryteriów diagnostycznych, diagnozę ośrodkowych zaburzeń

słuchu otrzymuje 7,3% do nawet 96% przypadków. W niniejszej pracy jako granicę wartości referencyjnej przyjęto wartość 75 lub 25 percentyla. Przyjęcie takiej wartości pozwala zachować odpowiednią czułość testów, przy jednoczesnym niewielkim zmniejszeniu ich specyficzności. Z powodu braku testów referencyjnych nie wyliczono tych parametrów dla analizowanych testów przesiewowych. Dzięki temu zmniejszona będzie liczba wyników fałszywie ujemnych, a dzieci, u których można podejrzewać zaburzenia przetwarzania słuchowego będą mogły być odpowiednio wcześniej zdiagnozowane w celu podjęcia odpowiedniej terapii.

W niniejszej pracy w teście FPT wartość graniczną dla dzieci w wieku 6 lat wyznaczono na poziomie 35%, dla dzieci w wieku 7-8 lat wartość graniczną wyznaczono na poziomie 40%, natomiast dla dzieci najstarszych na poziomie 55%. Musiek i wsp. [35] opracowali normy dla testu diagnostycznego FPT dla dzieci powyżej 8. roku życia. Dla dzieci 8-letnich wartość referencyjna wynosi 40%, natomiast dla dzieci 9-letnich wzrasta do wartości 65%. Z kolei dla dzieci 10-letnich i starszych oraz dla dorosłych wartość graniczna wynosi ponad 70%. Bellis i wsp. [36] uzyskali zbliżone wyniki wartości referencyjnych stosując kryterium dwóch odchyłeń standardowych poniżej średniej. Dla dzieci 7-, 8- i 9-letnich wartość referencyjną określono na poziomie odpowiednio 35%, 42% oraz 63%. Dla dzieci starszych i dorosłych wartości referencyjne wynoszą 78% (10, 11 lat) oraz 80% (>12 lat).

Wyniki niniejszej pracy wskazują, że możliwe jest prowadzenie badań przesiewowych wyższych funkcji słuchowych przy użyciu internetowych testów psychoakustycznych dostępnych on-line. Ze względu na dojrzewanie układu słuchowego konieczne jest jednak określenie wartości referencyjnych dla różnych grup wiekowych dla danej populacji. Specjaliści z obszaru logopedii, psychologii i audiologii przy użyciu tej baterii testów przesiewowych o udokumentowanej wartości klinicznej będą mogli ocenić wyższe funkcje słuchowe u pacjentów, u których podejrzewają występowanie ośrodkowych zaburzeń słuchu i potwierdzić lub wykluczyć to podejrzenie. Porównanie wyników uzyskanych przez dziecko z wartościami referencyjnymi umożliwi również określenie stopnia rozwoju danej funkcji słuchowej. Wczesne wykrycie i zdiagnozowanie zaburzeń przetwarzania słuchowego pozwala na wczesne wdrożenie odpowiedniej terapii i rehabilitacji co bezpośrednio przekłada się na jej skuteczność.

## Piśmiennictwo

1. ASHA, Central Auditory Processing: Current status of research and implications for clinical practice. *Am J Audiol* 1996, 5(2): 41-54.
2. ASHA, (Central) Auditory Processing Disorders, Technical Report, 2005. [www.asha.org](http://www.asha.org)
3. 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.
4. Fuente A, McPherson B. Auditory processing tests for Spanish-speaking adults: an initial study. *Int J Audiol* 2006, 45(11): 645-59.
5. Bamiou DE, Musiek FE, Luxon LM. Aetiology and clinical presentations of auditory processing disorders – a review. *Arch Dis Child* 2001, 85(5): 361-5.
6. Moore DR. Auditory processing disorders: acquisition and treatment. *J Commun Disord* 2007, 40(4): 295-304.
7. Jerger J, Musiek FE. Report of the Consensus Conference on the diagnosis of Auditory Processing Disorders in school-aged children. *J Am Acad Audiol* 2000, 11(9): 467-74.
8. American Academy of Audiology, Clinical Practice Guidelines, Diagnosis, treatment and management of children and adults with Central Auditory Processing Disorder, 2010.
9. Chermak GD, Musiek FE. Central auditory processing disorders: new perspectives. San Diego: Singular Publishing Group, 1997.
10. Musiek FE, Gollegly KM, Lamb LE, Lamb P. Selected issues in screening for central auditory processing dysfunction. *Semin Hear* 1990, 11(4): 372-83.
11. Musiek FE. Frequency (Pitch) and Duration Pattern Tests. *J Am Acad Audiol* 1994, 5(4): 265-8.
12. Keith RW. Development and standardization of SCAN-C Test for Auditory Processing Disorders in children. *J Am Acad Audiol* 2000, 11(8): 438-45.
13. Schow RL, Seikel JA, Brockett JE, Whitaker MM. Multiple Auditory Processing Assessment (MAPA), Test Manual. Auditec, Idaho State University, 2007.
14. Edwards K. The Test of Auditory Processing Skills – third edition (TAPS-3): Validity analyses and reconceptualization based on the cattell-horn-carroll model of cognitive abilities. A dissertation submitted to the Graduate Faculty of Auburn University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Auburn, Alabama, 2006.
15. Brandon A. A double-blind study to determine the efficacy of the Differential Screening Test for Processing in identifying children with auditory processing disorders. Au. D. Research Project, 2009. <http://cdswebserver.med.buffalo.edu/drupal/files/BrandonAUDResearch.pdf>
16. Yathiraj A, Maggu AR. Screening Test for Auditory Processing – a preliminary report. *J Am Acad Audiol* 2013, 24(9): 867-78.
17. Neijenhuis CAM. Auditory Processing Disorders. Development and evaluation of a test battery, 2003.
18. Sorokowska A, Słowińska A, Zbieg A, Sorokowski P. Polska adaptacja testu Ten Item Personality Inventory (TIPI) – TIPI-PL – wersja standardowa i internetowa. WrocLab, Wrocław 2014.
19. Kuś J, Stefańska K, Bukowska A. Metodologia badań psychologicznych prowadzonych w przestrzeni Internetu. *Studia Metodologiczne* 2015, 34: 209-37.
20. Masalski M, Grysiński T, Kręcicki T. Biological Calibration for Web-Based hearing tests: evaluation of the methods. *J Med Internet Res* 2014, 16(1): 11.
21. Misra N, Mahajan KK, Maini BK. Comparative study of visual and auditory reaction time on hands and feet in males and females. *Ind J Physiol Pharmac* 1985, 29(4): 213-18.
22. Shelton J, Kumar G. Comparison between auditory and visual simple reaction times. *Neuroscience & Medicine* 2010, 1(1): 30-2.
23. Hugdahl K, Westerhausen R, Alho K, Medvedev S, Hamalainen H. The effect of stimulus intensity on the right ear advantage in dichotic listening. *Neuroscience Letters* 2008, 431(1): 90-4.
24. Nowik A. Wpływ bodźców słuchowych i wzrokowych na czas reakcji, siłę odpowiedzi i właściwości elektryczne skóry. Rozprawa doktorska. Uniwersytet Medyczny, Poznań 2011.
25. Iermakov S. Szybkość ruchowych reakcji człowieka. Czas reakcji i czas motoryczny w ruchach sportowca. Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz, 2014. [https://figshare.com/articles/Reaction\\_Time\\_Polish\\_language\\_/1172053](https://figshare.com/articles/Reaction_Time_Polish_language_/1172053)
26. Berlin CI, Hughes LF, Lowe-Bell SS, Berlin HL. Dichotic Right Ear Advantage in children 5 to 13. *Cortex* 1973, 9(4): 394-402.
27. Moncrieff DW. Dichotic listening in children – age related changes in direction and magnitude of ear advantage. *Brain & Cognition* 2011, 76(2): 316-22.
28. Geffen G. The development of the right ear advantage in dichotic listening with focused attention. *Cortex* 1978, 14(2): 169-77.
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. 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.
31. Musiek FE, Weihing J. Perspectives on dichotic listening and the corpus callosum. *Brain Cogn* 2011, 76(2): 225-32.
32. Fallon M, Trehub SE, Schneider BA. Children's perception of speech in multitalker babble. *J Acoust Soc Am* 2000, 108(6): 3023-9.
33. Romero-Diaz A, Penaloza-Lopez Y, Garcia-Pedroza F, Perez SJ, Camacho W. Central Auditory Processes Evaluated with Psychoacoustic Tests in normal children. *Acta Otorrinolaringol Esp* 2011, 62(6): 418-24.
34. Wilson WJ, Arnott W. Using Different Criteria to diagnose (Central) Auditory Processing Disorder: how big a difference does it make? *J Speech Lang Hear Res* 2013, 56(1): 63-70.
35. Musiek FE. The frequency pattern test: a guide. *Hearing J* 2002, 55(6): 58.
36. Bellis TJ. Assessment and Management of Central Auditory Processing Disorders in the Educational Settings, from science to practice. Plural Publishing, Chapter 6, 2003.