

ELŻBIETA SZELAĞ i JOANNA KOWALSKA

Zakład Neurofizjologii, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN

Pasteura 3, 02-093 Warszawa

e-mail: szelag@nencki.gov.pl; kowalska@nencki.gov.pl

*„Czymże jest czas? Jeśli nikt mnie nie pyta, wiem.
Jeśli pytającemu usiłuję wytłumaczyć, nie wiem.”
(Święty Augustyn, ks. XI, 14, str. 227)*

„ZEGAR” NASZEGO MÓZGU A KSZTAŁTOWANIE PERCEPCJI SŁUCHOWEJ

WPROWADZENIE

Poczucie upływu czasu i przemijania zdarzeń jest dla nas czymś naturalnym, na ogół nie zdajemy więc sobie sprawy, że u podłoża tych zjawisk leżą skomplikowane neurobiologiczne mechanizmy. Pytanie o to, jak tworzy się w naszym umyśle poczucie przemijania, jak postrzegamy czas, jak wkracza on w naszą świadomość nie od dziś intryguje ludzi. Zastanawiali się nad tym myśliciele niemal wszystkich epok, filozofowie, twórcy wielkich religii. Jednak dopiero w ostatnich latach tematyką tą zaczęli również interesować się neurofizjologowie.

Poszukując odpowiedzi na powyższe pytanie warto uświadomić sobie, że bodźce z otoczenia nieustannie oddziałują na nasze zmysły. Mózg nie rejestruje jednak wszystkiego co akurat dzieje się, ale przyjmuje do wiadomości tylko te bodźce, które w danej chwili są istotne dla jednostki. Niezwykle ważne są więc mechanizmy, które spośród ogromnego natłoku sygnałów dokonują selekcji bodźców. Zgodnie z teorią

zaproponowaną przez PÖPPELA (1978, 1994, 1997) rolę tę mogą spełniać między innymi mechanizmy związane z przeżywaniem czasu. Punktem wyjścia takiego stanowiska jest założenie, że czas obiektywnie płynący we Wszechświecie (znany nam z praw fizyki), a czas rejestrowany przez nasze narządy zmysłów to dwa odmienne zjawiska. Podczas, gdy pierwszy płynie równomiernie bez jakiegokolwiek relacji do zachodzących wokół nas zdarzeń, to drugi ma wyraźnie nieciągły, segmentowany charakter, podyktowany funkcjonowaniem mózgu.

Według PÖPPELA (1987, 1989, 1998) wyróżnić można przynajmniej 5 podstawowych zjawisk, charakteryzujących przeżywanie czasu przez umysł człowieka: jednoczesność, niejednoczesność, następstwo, teraźniejszość i trwanie. Są one związane są z działaniem specyficznych mózgowych mechanizmów, operujących w odpowiednich zakresach czasowych.

ZJAWISKA OPISUJĄCE PRZEŻYWANIE CZASU

HORYZONT JEDNOCZESNOŚCI

Jeżeli osobie badanej prezentować do każdego ucha przez słuchawki dwa proste dźwięki,

okazuje się, że to co słyszy zależy od szybkości z jaką bodźce następują po sobie. Jeśli odstęp czasowy wynosi 2–3 ms, to subiektywnie są one odbierane jako jeden dźwięk. Dopiero wydłużenie przerwy między bodźcami do około 5 ms

powoduje, że percypowane są jako dwa oddzielne dźwięki.

Próg potrzebny do wydostania się poza „horyzont jednoczesności” różni się u poszczególnych osób i dla słuchu zazwyczaj wynosi 2–5 ms. Jest on również zróżnicowany zależnie od układu zmysłowego opracowującego informację. Dla bodźców dotykowych, „okno jednoczesności” powiększa się do około 10 ms, a dla wzrokowych do 20–30 ms. A zatem to, co dla słuchu jest już niejednoczesne, dla wzroku i dotyku pozostaje nadal jeszcze jednoczesnym. Horyzont jednoczesności wyznaczają więc procesy zachodzące w narządach zmysłów, nie zaś centralny mechanizm mózgowy.

NASTĘPSTWO

Odstęp czasowy pomiędzy dwoma dźwiękami potrzebny do wydostania się z okna jednoczesności nie jest wystarczający do podania ich poprawnej kolejności. Choć, osoba badana słyszy bodźce jako niejednoczesne, nie jest jednak w stanie podać, w którym uchu eksponowano pierwszy, a w którym drugi dźwięk. Mózg jest zdolny określić relację „pierwszy — drugi” dopiero wówczas, jeśli przerwa między bodźcami wynosi przynajmniej 20–30 ms. Przypuszcza się, że czas ten jest konieczny do ich identyfikacji, która jest niezbędna przy określeniu kolejności. Na przykład, warunkiem koniecznym rozumienia mowy jest identyfikacja odpowiedniej kolejności jej podstawowych jednostek składowych — fonemów. Zakłócenie ich sekwencji powoduje niemożność recepcji kierowanych do nas wypowiedzi słownych.

Okazuje się, że niezależnie od układu zmysłowego analizującego informację, dla poprawnego podania następstwa potrzebna jest przerwa 20–30 ms. Wskazuje to, w przeciwieństwie do „okna jednoczesności”, na jeden wspólny dla wszystkich modalności mechanizm mózgowy o zasięgu operowania około 30 ms odpowiedzialny za szeregowanie zdarzeń w czasie. Istotną rolę 30 ms zakresu w opracowywaniu informacji zmysłowej potwierdzają wyniki eksperymentów z różnych dziedzin. Na przykład w badaniach elektrofizjologicznych periodyczność neurooscylacji wynosi około 30–40 ms (PÖPPEL i LOGOTHETIS 1986). Podobnie w badaniach okulograficznych zaobserwowano, że jeśli nasze oczy podążają za obiektem poruszającym się w polu widzenia, to ich czasy reakcji zmieniają się skokowo co około 30 ms. Tak więc najkrótsze wynoszą około 120 ms, nieco dłuższe około 150 ms, kolejne około 180 ms (RUHNAU i HAASE 1993).

Zastanawiając się nad biologiczną rolą omawianego mechanizmu można przypuszczać, że polega ona na identyfikowaniu bodźców nieustannie dopływających do naszych zmysłów. Wydaje się, że mózg człowieka byłby przeciążony, gdyby zarejestrował na przykład 100 zdarzeń/s. Na każde z nich przypadałoby wówczas zaledwie 10 ms, co jak wykazano powyżej, jest niewystarczające dla ich identyfikacji. Strumień wydarzeń, aby były one przez nasz mózg rozpoznawane, nie może płynąć prędzej niż z szybkością ok. 30/sekundę.

POCZUCIE „TERAZ”

Każdemu z nas zapewne bliskie jest wrażenie, że wykonując jakąś czynność na przykład patrząc na obraz, rozmawiając z kimś, słuchając muzyki nie identyfikujemy poszczególnych elementarnych zdarzeń (np. fonemów, słów, dźwięków), ale odbieramy informację jako całość. Wskazuje to, że prawdopodobnie istnieje kolejny mechanizm zwany integracyjnym, który scala poszczególne wydarzenia w większe „paczki”, co daje nam poczucie przeżywania teraźniejszości, czyli tak zwane „teraz”. Wiele prostych codziennych obserwacji wskazuje, że trwa ono ok. 2–3 s.

Na przykład płynna mowa, której przyjemnie słuchać i łatwo „wpada w ucho” ma określoną strukturę czasową. Zazwyczaj po 2–3 s mówienia, następuje krótka przerwa potrzebna mówiacemu do zastanowienia się nad następną frazą, a słuchaczowi do opracowania przekazanej treści. Wykazano, że taki rytm wypowiedzi jest niezależny od języka, jakim posługują się rozmówcy, obserwuje się go zarówno u ludzi posługujących się niemieckim, angielskim, polskim i chińskim (TURNER i PÖPPEL 1983, VOLLRATH i współaut. 1992). Frazowanie (czyli stosowanie odpowiednich pauz podczas mówienia) jest niezwykle ważne dla ładnego wysławiania się. Uczą się więc go osoby profesjonalnie posługujące się mową: aktorzy, politycy, mówcy. Warto zauważyć, że podobna 3 sekundowa segmentacja charakteryzuje także muzykę klasyczną, twórczość Mozarta, Bethovena, Haydnla. Takiego rytmu trudno jednakże doszukać się w nowoczesnej muzyce, na przykład typu *heavy metal* lub *techno*. Być może brak odpowiedniej segmentacji i nietypowa dla funkcjonowania mózgu człowieka struktura rytmiczna powoduje, że wielu z nas ciągle preferuje pierwszy rodzaj dzieł muzycznych.

Interesujące, że 3 sekundowy rytm obserwuje się nie tylko w procesach percepcyjnych, ale również w zachowaniach ruchowych. Pewne

automatycznie wykonywane ruchy, jak na przykład drapanie, podawanie ręki na przywitanie, machanie ręką na pożegnanie, głaskanie, poklepywanie, pukanie do drzwi i tak dalej trwają u ludzi z różnych kultur i grup etnicznych (Europejczyków, Buszmenów, Indian, Nanibijczyków) przeciętnie kilka sekund (SCHLEIDT i współaut. 1987, SCHLEIDT 1988). Trzy sekundowe „wyspy czasowe” charakteryzują zatem zarówno naszą percepcję, jak i motorykę.

Poza opisanymi obserwacjami, znane są również dowody empiryczne wskazujące, że mechanizm integracyjny rzeczywiście istnieje i ma on zakres operowania ograniczony maksymalnie do 2–3 s (PÖPPEL 1998, SZELĄG 1995, 1996a, 1997a). W niniejszym artykule omówimy tylko trzy wybrane modele eksperymentalne, istotne dla naszych dalszych rozważań: subiektywną rytmizację, reprodukcję interwałów o różnym czasie trwania oraz spontaniczny rewersal bodźców dwuznacznych.

Przysłuchując się jednostajnemu rytmowi uderzeń generowanych przez metronom można akcentując w myślach co któregoś uderzenie słyszeć je tak, jakby było głośniejsze. Kładąc takie akcenty łatwo dosłuchać się pewnego subiektywnego rytmu łącząc w grupy po dwa, trzy, cztery i tak dalej uderzenia (Ryc. 1). Okazuje się, że jeśli przysłuchiwać się uderzeniom metronomu generowanym w rytmie 1/s, możemy połączyć maksymalnie w grupę nie więcej niż 3 dźwięki. Wykonując proste mnożenie (3 scalane uderzenia razy 1 s przerwy między każdym z nich) łatwo przekonać się, że integracja jest ograniczona w czasie maksymalnie do 3 s. Czas ten istotnie skraca się wraz ze wzrostem częstotliwości prezentowanych uderzeń (Ryc. 2), co zostało szerzej przedyskutowane w naszych wcześniejszych publikacjach w oparciu o hipo-

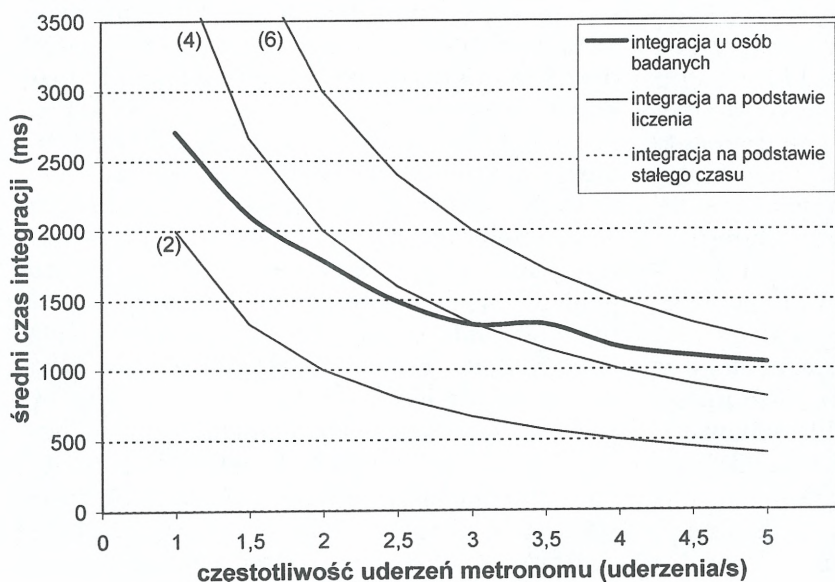


Ryc. 1. Przykład obrazujący tworzenie subiektywnego rytmu przez akcentowanie co czwartego uderzenia metronomu.

tezę przeżywania nudy (SZELĄG i współaut. 1996, SZELĄG 1997a). Ryc. 2 pokazuje, że w omawianym zadaniu możliwe jest stosowanie co najmniej dwóch podstawowych strategii polegających na: 1) bazowaniu na stałym czasie integracji (linie poziome przerywane, np. zawsze w stałym czasie, np. w ciągu 1, 2 s.. itd.) lub 2) bazowaniu na liczeniu uderzeń (cienkie ukośne linie, np. zawsze do dwóch, trzech ...itd.). Osoby badane (gruba linia) stosują kombinację tych dwóch strategii i opierają się częściowo na stałym czasie, a częściowo na liczeniu.

Z kolei w zadaniu reprodukcji interwałów o różnorodnym czasie trwania osobie badanej prezentuje się najpierw bodziec wzorcowy (słuchowy bądź wzrokowy) na określony czas, a następnie po krótkiej przerwie prosi się o odtworzenie jego trwania (Ryc. 3). Analizując poprawność reprodukcji wykazano, że u osób dorosłych bodźce 2–3 sekundowe są najdokładniej odtwarzane. Uważa się, że ich trwanie odpowiada naturalnym ramom biologicznym wyznaczonym przez powyższy mechanizm integracyjny. Przypuszczalnie łatwiej dokładnie zreprodukować interwał preferowany przez układ nerwowy, niż krótsze, które są przeceniane, bądź dłuższe — z reguły niedoceniane.

Podobną segmentację czasową można zaobserwować mierząc czas spontanicznego rewer-

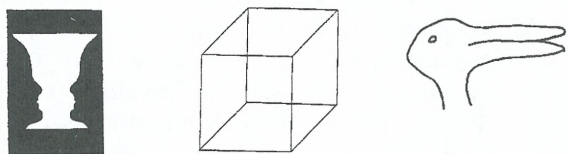


Ryc. 2. Średni czas integracji w zależności od częstotliwości uderzeń metronomu.



Ryc. 3. Schematyczne przedstawienie procedury eksperymentalnej stosowanej podczas reprodukcji interwałów czasowych. Strzałka obrazuje odpowiedź osoby badanej.

salu bodźców dwuznacznych. W eksperymentach (Ryc. 4) tych prezentuje się osobom badanym figury typu „dwie twarze i waza”, sześciian



Ryc. 4. Przykłady figur dwuznacznych

Neckera” lub też sylaby typu SOMA — MASO, KUBA — BAKU i prosi o naciskanie na przycisk dla zasygnalizowania, że jedna interpretacja bodźca została zastąpiona przez drugą. Wykazano (PÖPPEL 1989, 1998), że czas trwania każdej interpretacji wynosi średnio kilka sekund.

PRZEŻYWANIE CZASU U PACJENTÓW Z USZKODZONYM MÓZGIEM

Następne pytania, jakie nasuwają się w związku z omawianymi zagadnieniami brzmią: jakie struktury mózgowe zaangażowane są w przeżywanie czasu? Czy mechanizmy odpowiedzialne za poszczególne zjawiska czasowe są reprezentowane w tych samych, czy w różnych obszarach korowych?

Poszukując na nie odpowiedzi przeprowadziliśmy w ostatnim okresie w Monachium serię eksperymentów na pacjentach z nabytymi uszkodzeniami mózgu. Szczególnie interesujące było poznanie, czy w związku z wyraźną strukturą czasową mowy człowieka równoległe do zaburzeń językowych po uszkodzeniach mózgu występują defekty w przeżywaniu czasu. Przebadaliśmy ogółem 60 pacjentów z potwierdzonym w badaniu MRI (rezonans magnetyczny) lub CT (tomografia komputerowa) ogniskowym jednostronnym uszkodzeniem mózgu o etiologii naczyniowej. Pacjenci zostali poklasyfikowani na 5 grup zależnie od miejsca uszkodzenia i rodzaju występujących zaburzeń afatycznych, oszacowywanych według Aachener Aphasia Test. W obrębie wspomnianych grup były osoby z afazją Broca i lewopółkulowym uszkodzeniem

Uogólniając przedstawione badania i obserwacje można sądzić, że mechanizm integracyjny potrafi utrzymać daną konfigurację bodźców mniej więcej przez kilka sekund, co odpowiada naszemu poczuciu „teraz”. Po tym czasie zdolności integracyjne wyczerpują się, a w świadomości zajmuje miejsce nowa informacja, czyli nowe „teraz”. Wszystkie przedstawione obserwacje i eksperymenty wskazują, że górną granicę integracji bodźców w czasie wyznaczają 3 sekundy. Powyższy mechanizm kształtuje więc nie tylko percepcję słuchową, ale również różnorodne sfery naszego doznawania.

TRWANIE

Mimo występowania w wielu dziedzinach życia opisanej wyżej segmentacji i „pokawałkowania” naszego doznawania na 3 sekundy „wyspy teraźniejszości”, mamy jednak poczucie, że czas płynie w sposób ciągły i nie ma w nim żadnych dziur. Można przypuszczać, że poczucie ciągłości zapewnia następny mechanizm mózgowy. Kolejne 3 sekundy „wyspy czasu” zawierają treści, które są ze sobą powiązane semantycznie w sensowny łańcuch myślowy. Relacje treściowe łączące kolejne „teraz” dają nam poczucie upływu czasu i ciągłości jego trwania.

umiejscowionym do przodu od bruzdy centralnej (*sulcus centralis*), z afazją Wernickego i lewopółkulową leżą do tyłu od tej bruzdy, z lewopółkulowymi uszkodzeniami bez oznak afazji, z uszkodzeniami prawopółkulowymi do przodu (symetrycznymi do Broca) i do tyłu (symetrycznymi do Wernickego) od bruzdy centralnej. Grupę kontrolną stanowili pacjenci bez uszkodzeń układu nerwowego poddani leczeniu ortopedycznemu.

Wyniki wykazały, że wyłącznie u chorych z afazją wystąpiły istotne zmiany zakresów czasowych, w których operuje mechanizm sekwencji zdarzeń i mechanizm integracyjny (SZELĄG i współaut. 1997). Nietypowe funkcjonowanie jednego bądź drugiego z wymienionych mechanizmów miało ścisły związek z rodzajem afazji (GOODGLASS i KAPLAN 1972). Pacjenci z afazją Wernickego i leżą w tylnej części pierwszego zwoju skroniowego po stronie lewej (tzw. okolicą Wernickego, pole 22) wykazywali istotne spowolnienie mechanizmu odpowiedzialnego za sekwencję zdarzeń. Potrzebowali oni prawie dwukrotnie dłuższego odstępu oddzielającego dwa dźwięki, aby móc podać ich poprawną

kolejność. Z kolei pacjenci z objawami afazji Broca i leżą w lewej dolnej okolicy przedczołowej (tzw. okolicy Broca, pole 44) wykazywali istotne zaburzenia operowania mechanizmu integracyjnego, które obserwowaliśmy w eksperymencie z metronomem (porównaj rozdziały II. 3 i V). Górny limit integracji dla wolnych częstotliwości metronomu przekraczał u nich typową 3 sekundową granicę. Towarzyszyło temu istotne skrócenie integracji dla częstotliwości szybkich. Przypuszczamy, że afatycy Broca bazowali więc raczej na liczeniu scalanych dźwięków, a nie na stałym czasie odpowiadającym ramom mechanizmu integracyjnego (porównaj Ryc. 2). Taki sposób opracowywania informacji był odmienny od obserwowanego u wszystkich pozostałych pacjentów (włączając również afatyków Wernickego) i wskazuje na istotne zaburzenia mechanizmu integracyjnego.

Ogólnie biorąc można stwierdzić, że pacjenci z afazją Wernickego wykazują defekty w zakresie identyfikacji sekwencji zdarzeń, a afatycy Broca w integracji informacji. Wniosek ten znajduje potwierdzenie w obrazie zaburzeń językowych typowych dla jednego i drugiego rodzaju afazji (LEZAK 1995), które występowały również u pacjentów zakwalifikowanych do przedstawionych eksperymentów. Chorzy w afazją Wer-

nickego przejawiają zaburzenia słuchu fonematycznego, czyli zdolności analizy i syntezy dźwięków mowy. Konsekwencją tego jest upośledzenie rozumienia mowy. Odwołując się do danych przedstawionych w podrozdziale *Następstwo* można sądzić, że u podłoża rozumienia leży identyfikacja fonemów i percypowanie ich w odpowiedniej sekwencji. Zegar milisekundowy odgrywa tu zatem kluczową rolę. Z kolei afatycy Broca, choć stosunkowo dobrze rozumieją mowę, mają trudności z płynnym wypowiedzeniem się. Typowy jest dla nich drastyczny ubytek fluencji słownej i agramatyzm. Zaburzona jest więc fraza, dla której w normie (porównaj podrozdział *Poczucie „teraz”*) wykazano wyraźną 3 sekundową segmentację, podyktowaną działaniem mechanizmu integracyjnego. Zaburzenia tego mechanizmu, czyli zegara sekundowego, u afatyków Broca potwierdzają przedstawione wyniki.

Badania eksperymentalne na pacjentach z jednostronnymi ogniskowymi uszkodzeniami mózgu wykazały, że zaburzeniom językowym towarzyszą deficyty w przeżywaniu czasu. Pokazują również, że różne rodzaje afazji mają odmienne neurobiologiczne korzenie. U pacjentów z afazją Wernickego zaburzony jest zegar milisekundowy, natomiast z afazją Broca nieprawidłowo funkcjonuje zegar sekundowy.

PRZEŻYWANIE CZASU U DZIECI Z OPÓŹNIONYM ROZWOJEM MOWY

Wykazane w poprzednim rozdziale defekty w przeżywaniu czasu po uszkodzeniach mózgu, skłaniają do refleksji, czy „zepsuty zegar” może być również przyczyną trudności w naturalnym opanowywaniu mowy w trakcie rozwoju dziecka?

Dotychczasowe doniesienia na ten temat ograniczają się do tak zwanej alalii dziecięcej (inne nazwy: dysfazja rozwojowa, afazja dziecięca). Według BENTONA (1964) jest to specyficzna dysfunkcja rozwoju funkcji językowych, która dotyczy recepcji i/lub ekspresji, wobec braku innych defektów w obrębie narządu słuchu, obwodowego aparatu artykulacyjnego, niedorozwoju umysłowego, urazów mózgu, zaburzeń psychicznych. Według danych przytaczanych przez FITCH (FITCH i współaut. 1997) w USA corocznie rodzi się 3–6% takich dzieci. Wyniki wieloletnich badań prowadzonych w zespole TALLAL wykazały, że przyczyną alalii nie są specyficzne trudności językowe, ale problemy w opracowywaniu szybko zmieniających się bodźców (TALLAL i współaut. 1996, porównaj podrozdział *Następstwo*). Dzieci te nie są w stanie podać kolejności dwóch tonów, jeśli od-

działała je przerwa rzędu 40 ms. Natomiast jeśli zastosować dłuższą przerwę, działają na poziomie normalnie mówiących. U podłoża alalii leżą więc defekty mechanizmu identyfikacji sekwencji zdarzeń, czyli „zegara milisekundowego”. Warto przypomnieć, że zakres operowania tego mechanizmu jest zbliżony do strefy krytycznej dla różnicowania spółgłosek zwartych (typu k, g, p, b...itd.). Jak wykazano w analizie spektrograficznej mowy naturalnej strefa ta wynosi około 40 ms. (FITCH i współaut. 1997). W tym czasie następują szybkie zmiany cech dystyngtywnych różnicujących spółgłoski zwarte. Dzieci z alalią nie mają problemów ani z identyfikacją samogłosek, których struktura akustyczna zmienia się znacznie wolniej i pozostaje stała nawet w ciągu 250 ms, ani z rozpoznawaniem sztucznie generowanych na syntetyzatorze mowy spółgłosek zwartych, w których strefę krytyczną wydłużono do ok. 80 ms (FITCH i współaut. 1997, TALLAL i współaut. 1996). Niestety, budowa naszego aparatu artykulacyjnego nie pozwala na wydłużanie tych spółgłosek w mowie naturalnej.

Przedstawione dane jednoznacznie wskazują więc, że specyficzne zaburzenia w przeżywa-

niu czasu leżą również u podłoża opóźnionego rozwoju mowy.

PRZEŻYWANIE CZASU A ROZWÓJ POZNAWCZY DZIECKA

Jak wykazaliśmy w poprzednich dwóch rozdziałach, defekty w przeżywaniu czasu leżą u podłoża zaburzeń językowych. Powstaje więc kolejne pytanie, czy zakresy charakterystyczne dla rozważanych zjawisk czasowych są wrodzoną cechą układu nerwowego, czy kształtują się wraz z rozwojem poznawczym i językowym dziecka w ontogenezie. Odpowiedzi na to pytanie poszukiwaliśmy w serii eksperymentów prowadzonych w Zakładzie Neurofizjologii. Skoncentrowaliśmy się w nich na badaniu mechanizmu integracyjnego, kształtującego szerokie spektrum funkcjonowania człowieka, nie zaś mechanizmu identyfikacji sekwencji. Powodem takiego podejścia był fakt, że ostatni z wymienionych kontroluje raczej rozumienie mowy, które na badanych przez nas etapach ontogenezy w zasadzie jest już uformowane i nie podlega dynamicznym zmianom.

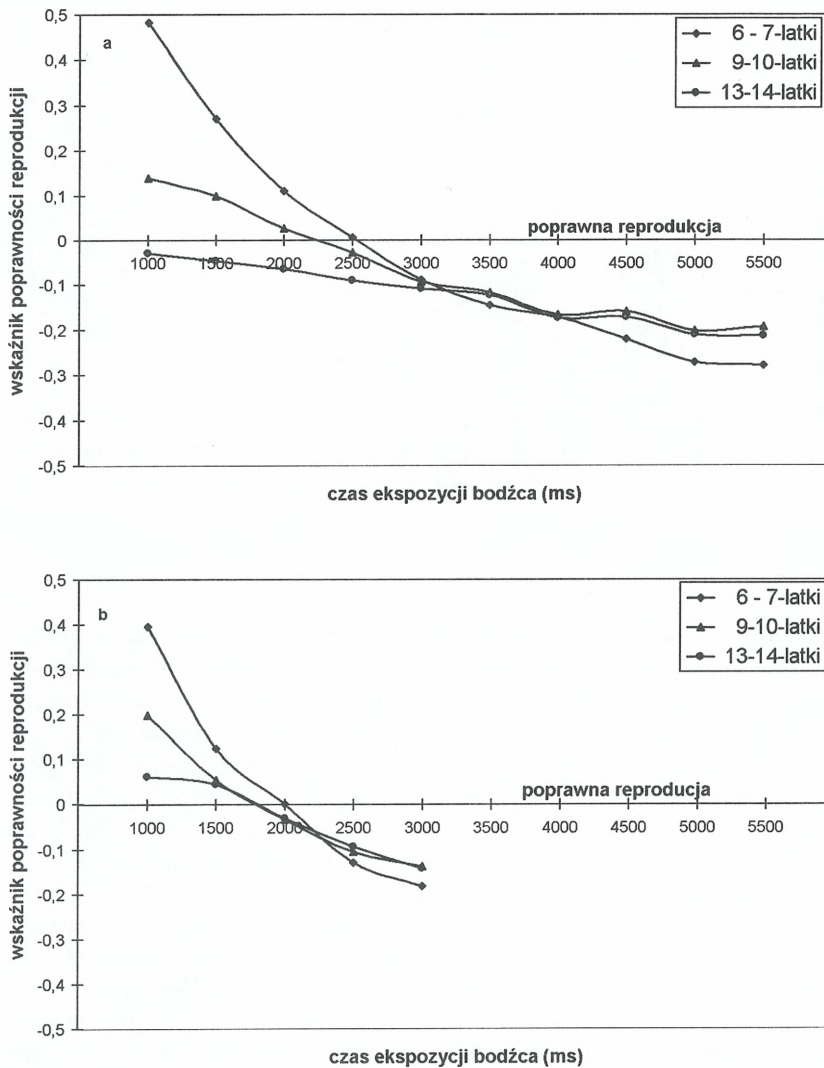
W badaniach rozwojowych wzięło udział 60-cioro dzieci — uczniów szkół podstawowych. Zakwalifikowano je do trzech następujących grup wiekowych: 6–7-latków ($\bar{x}$ –6 lat i 8 miesięcy), 9–10-latków ($\bar{x}$ –9 lat i 2 miesiące) oraz 13–14-latków ($\bar{x}$ –13 lat i 8 miesięcy). Wszystkie dzieci były praworęczne, posiadały prawidłowy słuch i wzrok oraz IQ w granicach normy, nie przechodziły chorób neurologicznych, nie przyjmowały leków wpływających na układ nerwowy, jak również nie miały specyficznych trudności w nauce pisania i czytania. W oparciu o założenia programu nauczania w szkole masowej przyjąć można, że dzieci z najmłodszej grupy („zerówka”) zaczynały dopiero naukę czytania i pisania, poznawały cyfry i proste działania matematyczne. Trzecioklasiści doskonalili nabyte umiejętności w czytaniu, pisaniu i liczeniu, wzbogacali słownictwo, uczyli się układać plany do czytanek i opowiadań, budować dłuższe wypowiedzi zarówno ustne jak i pisemne. Z kolei siódemoklasiści utrwalali i poszerzali zdobytą już wiedzę, zaś poziom ich sprawności językowej był podobny jak u osób dorosłych. Odwołując się do teorii PIAGETA (1966) można przyjąć, że badane dzieci znajdowały się na trzech różnych etapach rozwoju poznawczego, a więc odpowiednio: na poziomie myślenia przedoperacyjnego, operacji konkretnych oraz operacji formalnych.

Badania rozwojowe obejmowały pięć eksperymentów, których procedury są szerzej omówione w podrozdziale *Poczucie „teraz”*. Ekspe-

ryment 1 dotyczył reprodukcji czasu trwania generowanych przez komputer tonów o częstotliwości 200 Hz (porównaj Ryc. 3). Aby wyeliminować wpływ zestawu prezentowanych bodźców na uzyskane zależności zastosowano dwie skale wzorców. Jedna z nich obejmowała bodźce trwające od 1 s do 5,5 s a druga od 1 s do 3 s (różnica pomiędzy kolejnymi bodźcami wynosiła 0,5 s). Zgodnie z naszymi oczekiwaniami (porównaj *Poczucie „teraz”*.), najbardziej poprawnie reprodukowane były tony trwające ok. 2 s, niezależnie od wieku dziecka i prezentowanego zestawu wzorców. Bodźce krótsze były zazwyczaj przeceniane, a dłuższe niedoceniane (Ryc. 5a, b). Zaobserwowano również zależność między poprawnością reprodukcji bodźców krótszych niż 2 s, a wiekiem dzieci. Sześcioletki miały dużo większe trudności z poprawnym utworzeniem krótkich wzorców niż dwie pozostałe grupy. Uogólniając zaobserwowane zjawiska wnioskować można, że choć górny limit integracji niezależnie od wieku ogranicza się do około 2 s, to opisane różnice między grupami mogą być przejawem doskonalącej się wraz z wiekiem zdolności mózgu do szybszego przyjmowania nowych informacji.

Interesujące było poznanie, czy zależności obserwowane w eksperymencie 1 charakterystyczne są tylko dla bodźców słuchowych, czy występują również dla innej modalności. W eksperymencie 2, stosując tę samą procedurę, bodziec słuchowy zastąpiono wzrokowym, którym był zielony prostokąt prezentowany na ekranie. Uzyskane zależności były analogiczne do obserwowanych w eksperymencie 1, co wskazywać może na wspólny, centralny mechanizm integracyjny, niezależny od układu zmysłowego (KOWALSKA i współaut. 1998a, SZELAĞ i współaut. 1998c).

Uniwersalność tego mechanizmu potwierdzają dane uzyskane w eksperymencie 3, dotyczącym obserwacji zachowania ruchowego dziecka (porównaj podrozdział *Poczucie „teraz”*). Każdą osobę proszono o wykonanie pewnych akcji ruchowych, takich jak: drapanie, poklepywanie, machanie ręką na pożegnanie, uciszanie i tak zwana „figa z makiem”. Czynności te rejestrowano na taśmie magnetowidowej, a następnie mierzono czas ich trwania. Analizowane akcje podzielono na dwie kategorie: 1) rytmicznie powtarzane (np.: klepanie, machanie) i 2) nierytmiczne (gest uciszania, „figa”). Zgodnie



Ryc. 5. Poprawność reprodukcji bodźców o różnym czasie trwania w trzech grupach wiekowych przy zastosowaniu obszerniejszego (a) i zawężonego (b) zestawu wzorców.

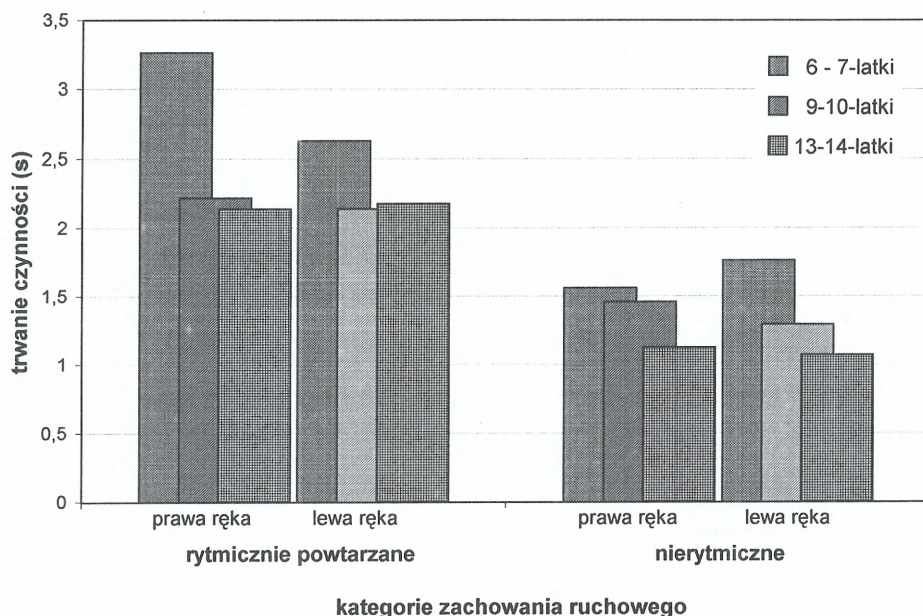
z definicją THELENA (1981) zachowanie rytmicznie powtarzane to ruchy części ciała wykonywane w ten sam sposób kilka razy z rzędu oddzielone krótkimi przerwami. Za zachowanie nierytmiczne natomiast uznano akcję zawierającą pojedynczy wzorec ruchowy.

Choć średni czas wykonywania poszczególnych czynności był zróżnicowany (Tabela 1), to zazwyczaj nie przekraczał kilku sekund (średnio wynosił on 2,1 s). Przypuszczamy, że taka segmentacja czasowa stanowi kolejny przejaw

działania mechanizmu integracyjnego. Wraz z rozwojem poznawczym następowało skracanie wykonywania poszczególnych akcji, przy czym dla rytmicznie powtarzanych zachowań było ono istotne tylko dla prawej ręki, natomiast w przypadku czynności nierytmicznych, dla ręki lewej (Ryc. 6). Zależność ta może być odzwierciedleniem różnic w sposobie funkcjonowania półkul mózgowych (np. HELLIGE 1993). Lewa półkula (kontrolująca ruchy prawej ręki) działa w sposób analityczny, sekwencyjny, natomiast

Tabela 1. Średni czas trwania poszczególnych czynności.

	Zachowanie rytmicznie powtarzane					Zachowanie nierytmiczne	
	drapanie misia	drapanie siebie	klepanie misia	klepanie siebie po brzuchu	machanie na pożegnanie	uciszenie	„figa z makiem”
średni czas trwania (w sekundach)	3,344	2,340	1,951	2,475	2,014	1,547	1,209
			2,424				1,378



Ryc. 6. Czas trwania rytmicznie powtarzanych i nierytmicznych zachowań wykonywanych prawą i lewą ręką w trzech grupach wiekowych.

prawa półkula (lewa ręka), bazuje na ocenie globalnej. Ze względu na sekwencyjny charakter rytmicznie powtarzanych zachowań mogą być one w większym stopniu regulowane przez lewą półkulę, zaś zachowania nierytmiczne podlegają globalnej analizie, która jest typowa dla półkuli prawej. Można sądzić, że wraz z rozwojem poznawczym dziecka i doskonaleniem się funkcji reprezentowanych w prawej i lewej półkuli, następują modyfikacje w analitycznym i holistycznym sposobie opracowywania informacji (KOWALSKA i współaut. 1998b).

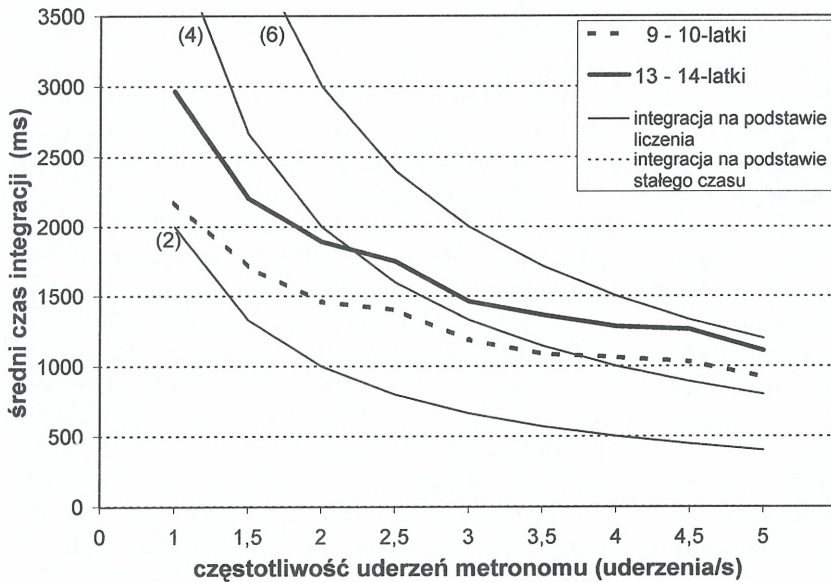
Podsumowując przedstawione w trzech eksperymentach wyniki można powiedzieć, że zarówno w zadaniach percepcyjnych (niezależnie od analizatora opracowującego bodźce), jak i w zachowaniu ruchowym obserwuje się podobną segmentację czasową. Przypuszczalnie jest ona kształtowana przez hipotetyczny mechanizm integracyjny operujący w „oknie czasowym”, ograniczonym do kilku sekund. Wyniki nasze dostarczają dowodów, że mechanizm ten ma charakter uniwersalny i leży u podłoża funkcjonowania człowieka w różnych obszarach życia (PÖPPEL 1998, SZELĄG 1995, 1997b). Obserwowane różnice w precyzji reprodukcji krótkich bodźców (eksperyment 1 i 2) oraz skracanie czasu wykonywania różnych akcji ruchowych (eksperyment 3) mogą być przejawem kształtującej się wraz z rozwojem poznawczym dziecka umiejętności szybszej „obróbki” informacji, co za tym idzie doskonalenia się mechanizmu integracji.

Powstało pytanie, czy doskonalenie to polega jedynie na sprawniejszym przygotowaniu mózgu na przyjęcie nowych danych, czy również na możliwości dłuższego utrzymywania danej

treści w świadomości? Aby odpowiedzieć na to pytanie przeprowadziliśmy dwa kolejne eksperymenty, których procedury wymuszały utrzymywanie integrowanej informacji w jak najdłuższym czasie. W tych eksperymentach wzięły udział jedynie dzieci z dwóch starszych grup, czyli 9–10-cio i 13–14-letki, gdyż tylko one były w stanie sprostać dość skomplikowanym instrukcjom badawczym.

Eksperyment 4 polegał na nadawaniu subiektywnego rytmu jednostajnym uderzeniom metronomu (porównaj Ryc. 1). Osoby badane proszono tym razem o łączenie w grupy jak największej ilości uderzeń. Analiza wyników wykazała (SZELĄG i współaut. 1998a, 1998b), że na średni czas integracji wpływ miały dwa czynniki: częstotliwość uderzeń metronomu i wiek badanych dzieci (Ryc. 7). Wraz ze wzrostem częstotliwości skracał się średni czas integracji. Ponadto w starszej grupie był on dłuższy niż w młodszej.

Podobną tendencję do wydłużania integracji wraz z wiekiem zaobserwowano w eksperymencie 5, dotyczącym spontanicznego rewersalu bodźców dwuznacznych (figury „dwie twarze i waza”, kostki Neckera i sylaby typu „SOMA — MASO”) (porównaj Ryc. 4). Osoby badane proszono również o jak najdłuższe utrzymywanie każdej z ich interpretacji. Stwierdzono, że wraz z wiekiem wydłużał się (zwłaszcza wyraźnie u dziewcząt) maksymalny czas trwania rewersalu, co ilustruje rycina 8. Warto jednakże zaznaczyć, że przekraczał on znacznie „3-sekundowe okno”, typowe dla działania mechanizmu integracji. Wyjaśnienie tego faktu wymaga dalszych badań, które są przez nas obecnie prowadzone.



Ryc. 7. Średni czas integracji u starszych i młodszych dzieci w zależności od częstotliwości uderzeń metronomu.

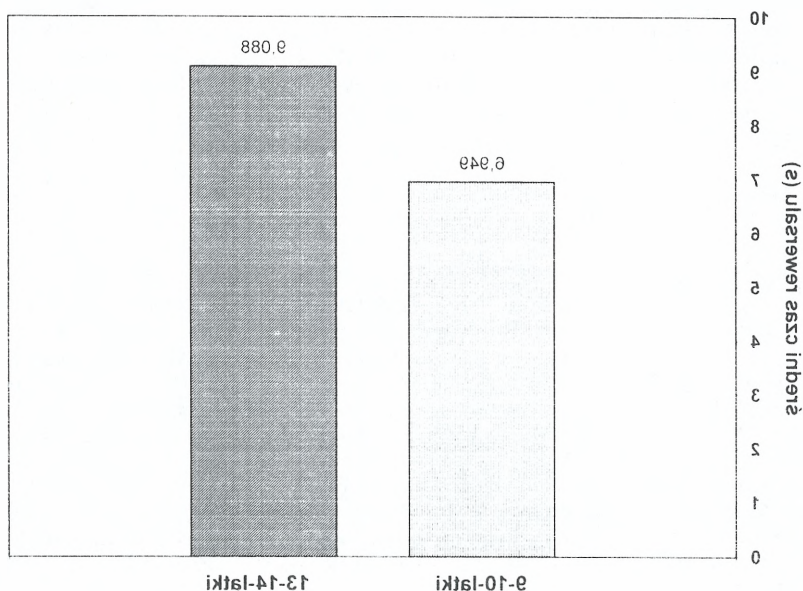
Podsumowując przedstawione wyniki badań rozwojowych można stwierdzić, że wraz z rozwojem poznawczym dziecka doskonalą się operowanie mechanizmu integracyjnego. Z jednej strony następuje skracanie „obróbki informacji”, czyli mózg szybciej przygotowany jest na

przyjęcie nowych treści. Z drugiej strony, jeśli wymaga tego specyficzna sytuacja eksperymentalna wraz z wiekiem zwiększają się możliwości dłuższego utrzymywania określonych treści w świadomości.

PRZEŻYWANIE CZASU A NIEKONWENCJONALNE METODY TERAPII LOGOPEDYCZNEJ

Przedstawione w niniejszym artykule dane skłaniają do głębszych refleksji. Skoro nietypowe przeżywanie czasu leży u podłoża defektów językowych, to czy „naprawiając zegar” można leczyć te defekty? Ponadto, jeśli przeżywanie czasu ulega modyfikacjom wraz z rozwojem poznawczym, to czy można stymulować rozwój dziecka ingerując w funkcjonowanie zegara? Najtrudniejsze pytanie brzmi, jakimi metodami można oddziaływać na percepcję czasu?

Dotychczasowe pionierskie badania w tym zakresie dały obiecujące wyniki. Dotyczą one przede wszystkim mechanizmu identyfikacji sekwencji, czyli poziomu kilkudziesięciu milisekund. W badaniach tych skoncentrowaliśmy się na pacjentach z afazją, u których występowały trudności w rozumieniu mowy. W zastosowanym treningu wykorzystano procedurę opracowywania szybko zmieniającej się informacji akustycznej polegającej na identyfikowaniu ko-



Ryc. 8. Średni czas rewersu bodźców dwuznacznych u starszych i młodszych dzieci.

lejsności dwóch dźwięków prezentowanych z różnym odstępem czasu (porównaj podrozdział *Następstwo*). Wszyscy afatycy przed rozpoczęciem treningu potrzebowali znacznie dłuższej niż osoby zdrowe przerwy koniecznej do określenia relacji pierwszy — drugi. Zastosowane u afatyków w ciągu 8 tygodni ćwiczenia zaowocowały po pierwsze znacznym skróceniem tej przerwy, po drugie równoczesną poprawą rozumienia mowy wykazanej w teście różnicowania fonemów. Sugeruje to, że funkcje językowe można usprawniać poprzez odpowiedni trening w przeżywaniu czasu (v. STEINBÜCHEL i współaut. 1996).

Do podobnych wniosków skłaniają wyniki uzyskane na dzieciach z alalią (porównaj rozdział *Przeżywanie czasu u dzieci z opóźnionym rozwojem mowy*) przez naukowców amerykańskich (MERZENICH i współaut. 1996, TALLAL i współaut. 1996). Prowadzone za pomocą gier komputerowych ćwiczenia polegały na odtwarzaniu sekwencji dwóch tonów (wyższy/nniższy) prezentowanych z różnym odstępem czasowym, wskazywaniu w którym miejscu w słowie znajduje się dana sylaba oraz na słuchaniu mowy generowanej na syntetyzatorze o zmienionych akustycznych parametrach. Obejmowały one wydłużone bądź głośniejsze wypowiedziane spółgłoski. Wszystkie wymienione aspekty treningu zaowocowały wyraźnym usprawnieniem zaburzonych funkcji językowych. Średnia poprawa po sześciotygodniowym okresie ćwiczeń oszacowywana przy pomocy wystandaryzowanego testu psychometrycznego była równoznaczna z

nadrobieniem prawie dwuletniego opóźnienia w rozwoju językowym.

Wyniki te stanowią mogą inspirację dla terapeutów mowy do szerszego zastosowania treningu w czasowym opracowywaniu informacji jako wspomagającego leczenie nie tylko afazji i alalii, ale również innych defektów mowy u dzieci i dorosłych. W najbliższym czasie planujemy rozpoczęcie w Zakładzie Neurofizjologii nowego projektu badawczego nad percepcją czasu u dzieci głuchych od urodzenia, wykorzystując wyniki naszych wcześniejszych eksperymentów na dzieciach z tym defektem (SZELĄG 1996b). Szczególnie intrygujące wydaje się nam pytanie, czy opisywany trening mógłby wspomagać terapię logopedyczną u dzieci po wszczępieniu implantu ślimakowego. Choć nowoczesna chirurgia daje możliwość operacyjnego leczenia głuchoty i usłyszenia dźwięków otoczenia, nie jest to równoznaczne z naturalnym nabywaniem mowy po zabiegu. Trudności w opanowaniu języka na nietypowym etapie ontogenezy zostały szerzej opisane przez H. SKARŻYŃSKIEGO w niniejszym zeszycie KOSMOSU. Wyrażamy głęboką nadzieję, że trening w przeżywaniu czasu mógłby zaowocować przyspieszeniem tego procesu.

Można również na zasadzie analogii przypuszczać, że trening oparty na podobnych zasadach, zastosowany w formie atrakcyjnych gier komputerowych mógłby stymulować rozwój poznawczy dziecka, na co wskazują wyniki przedstawionych przez nas badań.

"CEREBRAL CLOCK" AND FORMATION OF AUDITORY PERCEPTION

Summary

This review examines different experimental paradigms used for measuring time perception. The results observed both in children and adults by clinical and experimental methods are reported and interpreted in the framework of a model derived from Pöppels Timing Theory. We report an association between language deficits and disorders in timing. The temporal domain of 30 ms appears to be

involved in speech reception, whereas that of 3 s is associated with production of fluent speech. We also found some variability in temporal informational processing during normal child development. The scope and limits of new approaches to speech therapy based on the specific temporal training are briefly summarised.

LITERATURA

- św. AUGUSTYN, 1987. *Wyznania*. Instytut Wyd. PAX, Warszawa.
- BENTON A. L., 1964. *Developmental aphasia and brain damage*. Cortex. 1, 40–52.
- FITCH R. H., MILLER S., TALLAL P., 1997. *Neurobiology of speech perception*. Annu. Rev. Neurosci. 20, 331–353.
- GOODGLASS H., KAPLAN E., 1972. *The assessment of aphasia and related disorders*. Lea and Febiger, Philadelphia.
- HELLIGE J. B., 1993. *Hemispheric asymmetry: what's right and what's left*. Harvard University Press, Cambridge.
- KOWALSKA J., SZELĄG E., RYMARCZYK K., v. STEINBÜCHEL N., PÖPPEL E., 1998a. *Age and method as variables in time reproduction*. Eur. J. of Neurosci. Suppl. 10, 307.
- KOWALSKA J., SZELĄG E., RYMARCZYK K., DO L., PÖPPEL E., 1998b. *Temporal constraints of motor behaviour in children*. European Research Conference: Brain Development and Cognition in Human Infants: Development and Functional Specialisation of the Cortex, San Feliu de Guixols, materiały konferencyjne str. 68.
- LEZAK M. D., 1995. *Neuropsychological assessment*. Oxford University Press, Inc, New York.
- MERZENICH M. M., JENKINS W. M., JOHNSTON P., SCHREINER C., MILLER S. L., TALLAL P., 1996. *Temporal processing deficits of language – learning impaired children ameliorated by training*. Science. 271, 77–81.

- PIAGET J., 1966. *Studia z psychologii dziecka*. PWN, Warszawa.
- PÖPPEL E., 1978. *Time perception*. [W:] *Handbook of sensory physiology. Perception*. HELD R., LEIBOWITZ H., TEUBER H. L. (red.), Springer, Berlin, t. 8, 713–729.
- PÖPPEL E., 1987. *Time perception*. [W:] *Encyclopaedia of Neuroscience*. Birkhäuser, Boston. 1215–1216.
- PÖPPEL E., 1989. *Granice świadomości*. PIW, Warszawa.
- PÖPPEL E., 1994. *Temporal mechanisms in perception*. *Int. J. Neurobiol.* 37, 185–202.
- PÖPPEL E., 1997. *A hierarchical model of temporal perception*. *Trends Cogn. Sci.* 1, 56–61.
- PÖPPEL E., 1998. *Mózg — tajemniczy kosmos*. PIW, Warszawa.
- PÖPPEL E., LOGOTHETIS N., 1986. *Neuronal oscillations in the brain. Discontinuous initiations of pursuit eye movements indicate a 30-Hz temporal framework for visual information processing*. *Naturwissenschaften*. 73, 267–268.
- RUHNAU E., HAASE V. G., 1993. *Parallel distributed processing and integration by oscillation*. *Behav. Brain Sci.* 16, 587–588.
- SCHLEIDT M., 1988. *A universal time constant operating in human short-term behaviour repetitions*. *Ethology* 77, 67–75.
- SCHLEIDT M., EIBL-EIBSFELDT I., PÖPPEL E., 1987. *A universal constant in temporal segmentation of human short-term behaviour*. *Naturwissenschaften*. 74, 289–290.
- V.STEINBÜCHEL N., WITTMANN M., PÖPPEL E., 1996. *Timing in perceptual and motor tasks after disturbances to the brain*. [W:] *Time, Internal Clocks and Movement*. Pastor M.A., ATRIEDA J. (red.), Elsevier, Amsterdam. 281–303.
- SZELAG E., 1995. *Wpływ uszkodzeń płatów skroniowych na subiektywne przeżywanie czasu*. [W:] *Płaty skroniowe — morfologia, funkcje i ich zaburzenia*. GRABOWSKA A., KOSMAŁ A., KOWALSKA D.M., (red.), Polskie Tow. Badań Ukl. Nerwowego, Warszawa. 117–126.
- SZELAG E., 1996a. *Neurobiologiczne podłoże mowy człowieka*. *Kosmos*. 45, 179–200.
- SZELAG E., 1996b. *The effect of auditory experience on hemispheric asymmetry in a post-lingually deaf child: a case study*. *Cortex*. 32, 647–661.
- SZELAG E., 1997a. *Temporal integration of the brain as studied with the metronome paradigm*. [W:] *Time, Temporality, Now*. ATMANSPACHER H., RUHNAU E. (red.), Springer-Verlag, Berlin. 121–132.
- SZELAG E., 1997b. *Neuropsychologiczne podłoże mowy*. [W:] *Mózg a zachowanie*. GÓRSKA T., GRABOWSKA A., ZAGRODZKA J. (red.), PWN, Warszawa. 429–459.
- SZELAG E., V.STEINBÜCHEL N., REISER M., GILLES de LANGEN E., PÖPPEL E., 1996. *Temporal constraints in processing of nonverbal rhythmic patterns*. *Acta Neurobiol. Exp.* 56, 215–225.
- SZELAG E., V.STEINBÜCHEL N., PÖPPEL E., 1997. *Temporal processing disorders in patient with Brocas aphasia*. *Neurosci. Lett.* 234, 1–4.
- SZELAG E., KOWALSKA J., RYMARCZYK K., PÖPPEL E., 1998a. *Temporal integration as a function of age studied with a subjective accentuation task*. *Neurosci. Lett.* (w druku).
- SZELAG E., KOWALSKA J., RYMARCZYK K., V.STEINBÜCHEL N., PÖPPEL E., 1998b. *Developmental changes in temporal information processing*. *Eur. J. of Neurosc. Suppl.* 10, 306.
- SZELAG E., KOWALSKA J., RYMARCZYK K., V.STEINBÜCHEL N., PÖPPEL E., 1998c. *Temporal perception and cognitive development of the child*. 28th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, Los Angeles.
- TALLAL P., MILLER S. L., BEDI G., BYMA G., WANG X., NAGARAJAN S. S., SCHREINER C., JENKINS W. M., MERZENICH M. M., 1996. *Language comprehension in language – learning impaired children improved with acoustically modified speech*. *Science*. 271, 81–84.
- THELEN E., 1981. *Rhythmical behaviour in infancy: An ethological perspective*. *Developmental Psychology*. 17, 237–257.
- TURNER F., PÖPPEL E., 1983. *The neural lyre: Poetic meter, the brain and time*. *Poetry*. 5, 211–309.
- VOLLRATH M., KAZENWADEL J., KRÜGER H., 1992. *A universal constant in temporal segmentation of human speech*. *Naturwissenschaften* 79, 479–480.