

POMOST POMIĘDZY NAUCZANIEM MATERIAŁU LEKSYKALNEGO A
FUNKCJONOWANIEM UKŁADU NERWOWEGO – MODEL PAMIĘCI
DŁUGOTRWALEJ

EDWARD JACEK GORZELAŃCZYK

Nie można wyobrazić sobie ludzkości bez mowy. Osobniki społeczeństw ludzkich, od najprymitywniejszych po rozwinięte cywilizacje, porozumiewają się między sobą dzięki mowie. Ponadto wszystkie znane języki naturalne są już w pełni wykształcone. Wielu współczesnych badaczy (także badaczy języka) skłania się do stwierdzenia, że mowa ludzka jest uwarunkowana genetycznie (Thomason i Kaufman, 1988; Pinker, 1995). W toku ewolucji rozwinął się system struktur nerwowych, który umownie możemy nazwać narządem mowy. O tym, że zjawiska językowe mają podłoże genetyczne, świadczą fakty. Zgodnie z poglądami Chomsky'ego, każdy z języków naturalnych ma skończoną liczbę reguł i stosując te reguły, można stworzyć wszystkie zdania w danym języku (gramatyka generatywna). Ponadto dzieci ludzkie niezależnie od rasy i zróżnicowania genotypowego potrafią nauczyć się każdego języka, czyli gramatyka generatywna ma charakter uniwersalny (Chomsky, 1963). Bardzo spektakularnym dowodem na genetyczne podłoże zjawisk językowych jest występowanie jednostki chorobowej zwanej dysfazją (Gopnik, 1990; Gopnik i Crago, 1991). Jest to choroba dziedziczna wywoływana przez gen dominujący nie sprzężony z płcią. Po raz pierwszy opisana została w angielskojęzycznej rodzinie i objawia się zaburzeniami fleksji. Chorzy nie umieją nauczyć się reguły tworzenia czasu przeszłego przez dodanie cząstki *ed*, ani nie umieją tworzyć liczby mnogiej przez dodanie cząstki *s*. Umieją natomiast poprawnie używać form czasu przeszłego dla czasowników nieregularnych. Dla poprawnego użycia formy czasownika regularnego w czasie przeszłym muszą zapamiętać formę dla konkretnego czasownika tak jak dla czasownika nieregularnego (Paradis i Gopnik, 1997). Pacjenci ci nie umieją utworzyć liczby mnogiej jeśli pokaże się im jakiś pojedynczy przedmiot o nowej dla nich nazwie, a następnie pokaże większą liczbę tych przedmiotów. Warto też podkreślić fakt, że podobne

problemy występują przy pisaniu. Przy czym osoby te mają na ogół normalny poziom inteligencji. Co więcej, np. jedna z osób dotknięta tym zaburzeniem, jest wysokiej klasy specjalistą od silników rakietowych. Wadę tę stwierdzono także w innych językach, takich jak: francuski, grecki, niemiecki, włoski, szwedzki oraz fiński, japoński i turecki (Gopnik, 1999). Warto podkreślić, że np. czas przeszły w tych językach tworzy się inaczej niż w angielskim, ale problem pozostaje. Świadczy to o wspólnym podłożu neuronalnym dla wszystkich języków naturalnych. W związku z tym, że odczytano już informacje genetyczne genomu ludzkiego, jest tylko kwestią czasu (Penchaszadeh, 1999; http://www.science.doe.gov/ober/hug_top.html), kiedy zostanie zlokalizowany i zsekwencjonowany gen odpowiedzialny za dysfazję genetyczną. Poznamy wtedy także produkt tego genu. To nie tylko początek lingwistyki genetycznej (albo genetyki lingwistycznej) – jest to początek lingwistyki molekularnej.

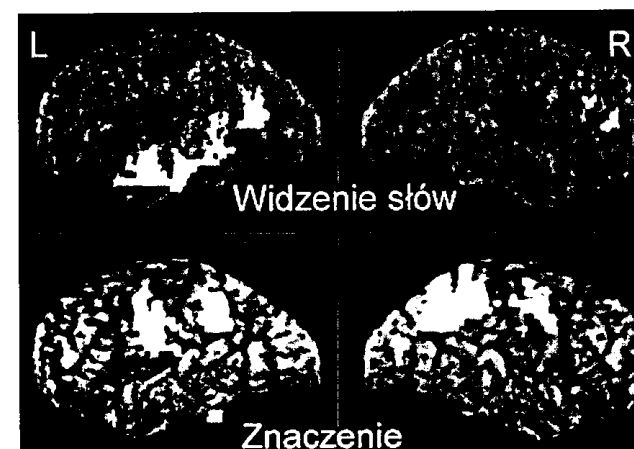
O genetycznych podstawach języka świadczy także spontaniczne powstawanie w określonych warunkach języków typu pidgin, a następnie ich przekształcanie w języki kreolskie (Thomason i Kaufman, 1988; Mufwene, 1999, 2001). Osoby porozumiewające się w wykształconych językach kreolskich stosują ściśle reguły gramatyczne. Dzieci, które po raz pierwszy stosują te reguły to drugie pokolenie emigrantów. Nie mają one podręczników, z których mogłyby nauczyć się tych reguł – a jednak je stosują (Arends, 1989; Bickerton, 1999). Kreolski język nowomelanezyjski powstał praktycznie na naszych oczach (Keesing, 1988). Innym językiem kreolskim – językiem indonezyjskim – porozumiewa się spora część świata (Baker i Corne, 1986; Muysken i Norval, 1986). Wykształciła się w tym języku literatura i jest on w pełni ukształtowanym językiem z punktu widzenia językoznawczego. Zarówno nauki o języku, jak i nauki biologiczne dostarczają dowodów na istnienie narządu mowy (Geschwind, 1970; Bickerton, 1984). Interesujące wydaje się udzielenie odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób narząd mowy powstał w toku ewolucji? Kuszące jest spojrzenie na otaczającą rzeczywistość (także spojrzenie na język) w perspektywie koncepcji funkcjonowania świata przedstawionej przez Darwina i Wallace'a. W 1859 roku Karol Darwin w swym dziele *O pochodzeniu gatunków* stwierdził: "Biologia bez ewolucji nie ma sensu" (Darwin, 1859). Takie ewolucyjne spojrzenie przejawia się we wszystkich częściach mojej pracy. Miało ono znaczenie przy doborze literatury na temat współczesnych osiągnięć dotyczących pamięci, jak i w planowaniu eksperymentów, które miały na celu zbadanie pamięci deklaratywnej, a ściślej pamięci werbalnej. Przy wyciąganiu wniosków z doświadczeń oraz tworzeniu modeli pamięci, wyznaczeniu dwóch zmiennych pamięci czy proponowaniu podstaw komórkowych spełniających te zmienne kierowałem się przeświadczeniem, że muszą być zgodne z założeniami teorii ewolucji (Gorzelańczyk, 2000). Zgodnie z poglądami Jamesa Marka Baldwina (tzw. efekt Baldwina) procesy uczenia się wpływają na zwiększenie szans przeżycia, ewolucja kulturowa może zmienić naturalną (Baldwin, 1896). Koncepcja ta rozwinęła się, co odzwierciedlone jest w licznych publikacjach dotyczących kultury, języka i biologii, a zwłaszcza ewolucji (Arita i Suzuki, 2000; Bala et al., 1996; Batali i Grundy, 1996; Behera i Nanjundiah, 1995; Belew, 1990). Już w XIX wieku wielki fizjolog francuski Fournié stwierdził, że język jest jedynym oknem, przez które fizjolog może oglądać życie mózgu. Pogląd ten nie stracił na aktualności. Zwolennikami takiego traktowania języka byli też Lashley i

Young (Lashley, 1972). Sądzę, że przyrodnicy zbyt mało uwagi poświęcają zjawiskom językowym, a reprezentanci nauk lingwistycznych nie w pełni wykorzystują możliwości badawcze współczesnego warsztatu przyrodników. Spoglądanie na problemy badawcze z perspektywy tylko jednej, arbitralnie wydzielonej dyscypliny naukowej powoduje osłabienie tej dyscypliny. Po integracji, która zaszła pomiędzy dziedzinami przyrodniczymi (biochemia, biofizyka, bioelektronika, chemia fizyczna), dochodzi do ujednoczenia nauki pomiędzy naukami humanistycznymi i przyrodniczymi. Mimo trudności rysują się możliwości przerzucenia pomostu pomiędzy naukami przyrodniczymi a naukami o języku. Pamięć werbalna jest domeną nie tylko ludzi, ale stwierdzana jest także u współcześnie żyjących naczelnych (Hixson, 1998). Choć drogi ewolucyjne współcześnie żyjących małp człekokształtnych i człowieka rozeszły się około 5 – 7 milionów lat temu, to wiele cech związanych z zachowaniem i funkcjonowaniem układu nerwowego jest nam wspólnych (Zihlman et al., 1978). Według różnych ocen 95 do 99% materiału genetycznego człowieka i szympansa są wspólne, a człowiek i szympansa są bliżej spokrewnieni niż goryl i szympansa (Merenson, 1988; Moyzis, 1991). Przyjmując założenia teorii ewolucji język jest częścią naszego fenotypu. Powstanie języka jako dwuklasowego systemu porozumiewania się można przesunąć znacząco w czasie (Kay et al., 1998) być może do czasów australopiteków (Johanson i Edgar, 1996). Wiadomo, że *Homo sapiens neandertalensis* miał pełną możliwość anatomiczną do produkowania opozycji głoskowych, tak jak człowiek współczesny (Brace et al., 1979). *Homo habilis* (Leakey et al., 1964; Angela, 1993), podobny do australopiteków (Clarke, 1998; Asfaw et al., 1999) pierwszy gatunek ludzki sprzed około 2,5 mln lat miał już najprawdopodobniej ośrodek mowy Brocka. *Homo habilis* wytwarzał narzędzia, pojemność jego czaszki dochodziła do 800 cm³, przy wzroście około 130 cm (Johanson et al., 1987). Niestety, poza *Homo sapiens*, przedstawiciele rodzaju *Homo*, jak np. *Homo erectus* wyginęli (Brown et al., 1985) a ich możliwości językowe nie pozostawiły śladów kopalnych, co powoduje, że niektórzy naukowcy wątpią w ewolucyjne pochodzenie języka. Trafnie sytuację tę skomentował Steven Pinker w swojej książce *The Language Instinct*, zauważając, że nie podaje się w wątpliwość, iż trąba u słonia powstała w wyniku ewolucji, a przecież brak na to dowodów kopalnych (Pinker, 1995). Jednym z istotnych elementów, który umożliwił rozwój języka, jest dobrze funkcjonująca pamięć. Wśród naczelnych stwierdza się możliwości językowe. Znany jest przykład gorylicy Koko, która opanowała około 800 symboli – pojęć (Patterson, 1978, 1980, 1981a, 1981b). A przecież nie jest to nam najbliższy gatunek. Szympansy mają te możliwości językowe dużo bardziej rozwinięte niż goryle. Doświadczenia porównujące zdolności rozpoznawania języka u dorosłych szympansov bonobo (*Pan paniscus*) i dwuletnich dzieci *Homo sapiens* dowodzą, że możliwości językowe są porównywalne. Dorosłe szympansy rozpoznawały składnię próśb lepiej niż dzieci. Dzieci wykazywały większą sprawność w rozpoznawaniu tych zdań, które bardziej obciążały pamięć krótkotrwałą (Greenfield i Savage-Rumbaugh, 1993; Savage-Rumbaugh et al., 1993). Co więcej, ewolucja języka i pamięci jest najprawdopodobniej ściśle związana z ewolucją świadomości (Eccles, 1977, 1992). Najogólniej, pamięć to zdolność do przechowywania w układzie nerwowym informacji w postaci śladów pamięciowych – engramów. Engram to zmiana w układzie

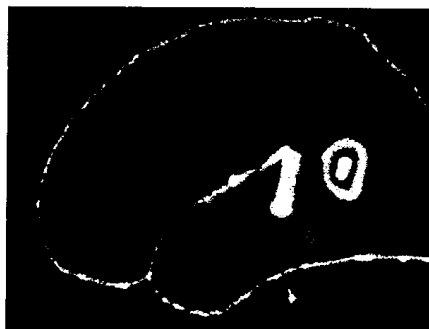
nerwowym, wywołana jego pobudzeniem przez bodźce zewnętrzne lub wewnętrzne i będąca reprezentacją tego pobudzenia możliwą do odczytania. Engramy, niezależnie od tego, jaka jest ich natura materialna, zgromadzone są w układzie nerwowym. Pamięć ze względu na czas jej trwania dzielimy na krótkotrwałą, średniotrwałą i długotrwałą. Pamięć trwałą dzielimy natomiast na deklaratywną i niedeklaratywną. W ramach pamięci deklaratywnej wyróżnia się pamięć epizodyczną i semantyczną. Pamięć niedeklaratywna to pamięć motoryczna oraz warunkowanie klasyczne i instrumentalne. Szczególnie rozwiniętą pamięć niedeklaratywną – motoryczną możemy obserwować u sportowców. Zachwycają wyczyny Michaela Jordana, Alberta Tomby czy Andrzeja Gołoty. Sterowanie ich ruchami jest precyzyjne, choć w wykonywanie tych ruchów nie jest bezpośrednio zaangażowana świadomość. Pamięć motoryczna zlokalizowana jest między innymi w mózdku. Dla mnie interesujący był inny rodzaj pamięci długotrwałej – pamięć deklaratywna. W pamięci wyróżniono jej fazy. Pierwszą fazą jest zapamiętywanie, gdy doznania przekształcane są w engramy. Utrzymywanie engramów w układzie nerwowym to faza przechowywania. Przywoływanie engramu z pamięci to faza odtwarzania. W moich eksperymentach badana była właśnie ta faza, bo tylko wtedy, gdy dana informacja została odtworzona, można być pewnym, że dany engram dla tej informacji istnieje. Oczywiście brak odtworzenia informacji nie jest dowodem na brak engramu. Engramy mają swoje podłoże materialne i wywodzą się ewolucyjnie najprawdopodobniej od warunkowania. Jak wspominałem wcześniej, zapamiętywanie materiału leksykalnego wiąże się z obciążeniem pamięci deklaratywnej. Pamięć deklaratywna jest jednym z rodzajów pamięci opisowej. Pamięć deklaratywna to pamięć krótko- i długotrwałą doznań, o których można opowiedzieć (stad pamięć opisowa). Pamięć deklaratywna obejmuje pamięć epizodyczną (episodic memory) i pamięć semantyczną. Pamięć epizodyczna to pamięć zdarzeń, które zaszły w określonym czasie i miejscu. Pamięć semantyczna (semantic memory) to pamięć znaczenia słów, praw, pojęć, reguł, kategorii, twierdzeń. W ramach tego rodzaju pamięci mieści się też pojęcie – pamięć werbalna. Właśnie to ten rodzaj pamięci był badany w moich eksperymentach. Strukturą układu nerwowego związaną szczególnie z pamięcią deklaratywną jest hipokamp. Blisko hipokampa znajdują się ciała migdałowe związane z przetwarzaniem emocji. Jest to struktura układu nerwowego odpowiedzialna np. za pamięć strachu. Pamięć zdarzeń (epizodyczna) dłużej jest możliwa do odtworzenia niż pamięć semantyczna. Co prawda niektórzy badacze twierdzą, że pamięć epizodyczna może utrzymywać się w układzie nerwowym bez powtórzeń, ale bardziej prawdopodobne wydaje się, że wszystkie rodzaje pamięci deklaratywnej wymagają powtarzania. Powtarzanie jest podstawą uczenia się materiału leksykalnego. Informacje, których nie powtarzamy, zacierają się w naszej pamięci. Twierdzą, że gdybyśmy nie powtarzali swojego imienia i nazwiska czy daty urodzenia, to po jakimś czasie nie moglibyśmy ich odtworzyć. Istotny jest też dobór informacji. Powstanie niektórych engramów może być niekorzystne dla ich posiadacza i wpływać na złą ocenę sytuacji, co może zmienić możliwości przystosowawcze. Części układu nerwowego związane ze zjawiskami pamięciowymi u człowieka i innych ssaków wykazują homologię. W moich eksperymentach badałem proces zapamiętywania związany z przyswajaniem materiału leksykalnego. W korze nerwowej człowieka wyróżniono obszary związane ze

zjawiskami językowymi. Hipokamp – struktura związana z pamięcią werbalną – ma połączenia z poszczególnymi obszarami kory. Zmiany zachodzące w hipokampie w trakcie procesu zapamiętywania wpływają na zmiany w korze mózgowej. To właśnie zjawiskami w hipokampie jestem szczególnie zainteresowany w związku z proponowanym modelem funkcjonowania synapsy zapamiętującej. Warto zwrócić uwagę, że tzw. fluencja językowa związana jest głównie z hipokampem.

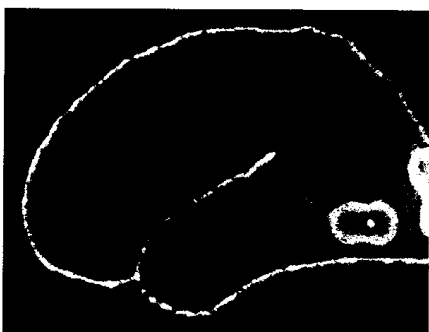
Poszerzyła się nasza wiedza na temat tego, co dzieje się w układzie nerwowym w czasie przetwarzania informacji językowych. Związane to jest z badaniem mózgu za pomocą metod obrazowania, np. za pomocą pozytonowej tomografii emisyjnej (PET). Stwierdzono, że inne obszary kory mózgowej pobudzane są w czasie widzenia słów i w czasie rozpoznawania ich znaczenia (ryc. 1).



Ryc. 1. Aktywność mózgu w czasie widzenia słów i rozpoznawania znaczenia słów



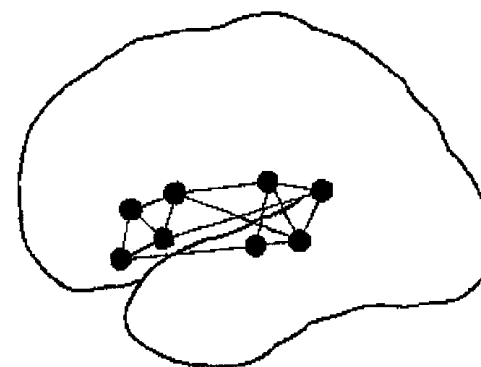
słyszenie wyrazów



widzenie wyrazów

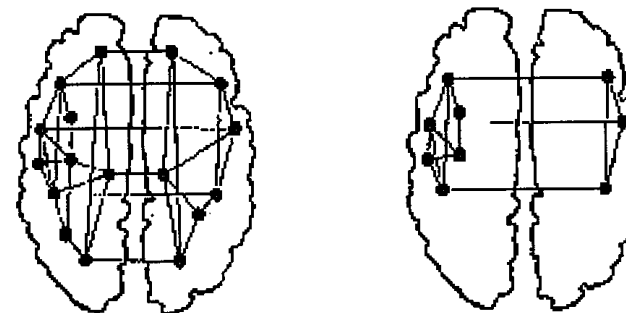
Ryc. 2. Charakterystyczne obszary pobudzane są w trakcie słyszenia i widzenia wyrazów (Fiez et al., 1995).

Stwierdzono, że w czasie artykulacji mamy do czynienia z określoną konstelacją pobudzeń w korze nerwowej. Mówimy o obrazie fonologicznym słowa (ryc. 3).



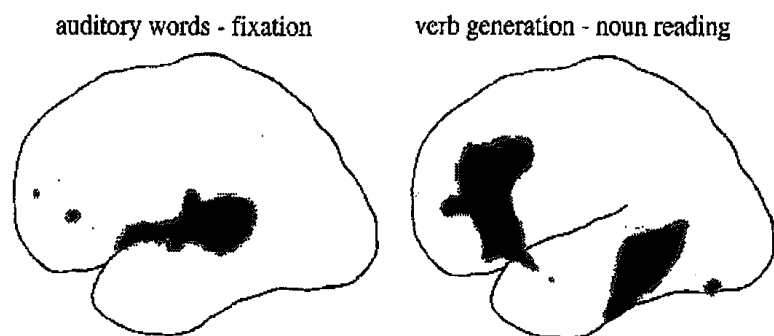
Ryc. 3. Obraz fonologiczny słowa

Inna też jest konstelacja pobudzeń w korze nerwowej dla formy fonologicznej słowa (także logatomów) w porównaniu z pobudzeniami w czasie generacji słów w kontekście, gdy ujawnia się jego funkcja w postaci lewostronnej lateralizacji (Pulvermüller i Mohr, 1996) (ryc. 4).



Ryc. 4. Rozpoznawanie fonologiczne słowa oraz znaczenia słowa

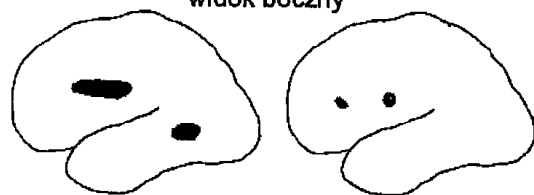
Słowa wywołujące silne wzrokowe skojarzenia (vision words) zgromadzone są w korze w okolicy bruzdy Sylwiusza oraz obszarach kory wzrokowej, słowa przypominające o jednym z ruchów własnego ciała (action word), mogą być zgromadzone też w obszarach motorycznych kory. Wiele (nie wszystkie) z rzeczowników konkretnych można zaliczyć do vision words, a wiele czasowników można zaliczyć do action words.



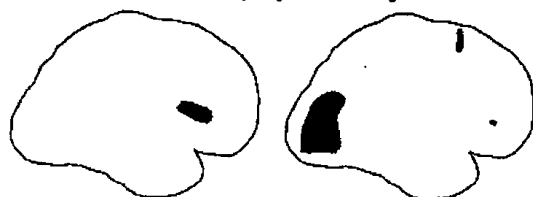
Ryc. 5. Aktywność mózgu w czasie słuchania słów oraz mówienia czasowników

Przedstawianie słów mówionych prowadzi do zwiększonego przepływu krwi w obszarach około bruzdy Sylwiusza. Generowanie czasownika może aktywować dodatkowo obszary kory przedczołowej (prefrontal cortex) oraz w środkowym zakręcie skroniowym (middle temporal gyrus) (Fiez et al., 1996) (ryc. 5).

nazwy narzędzi nazwy zwierząt
widok boczny

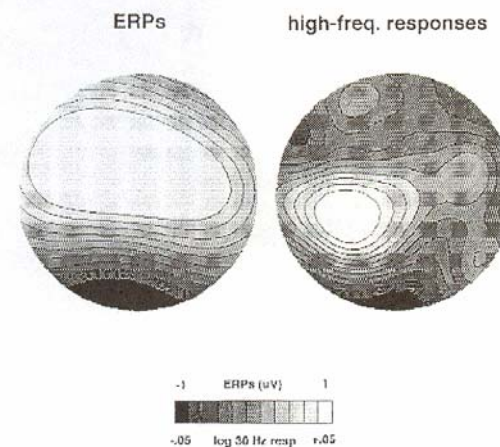


widok przyśrodkowy



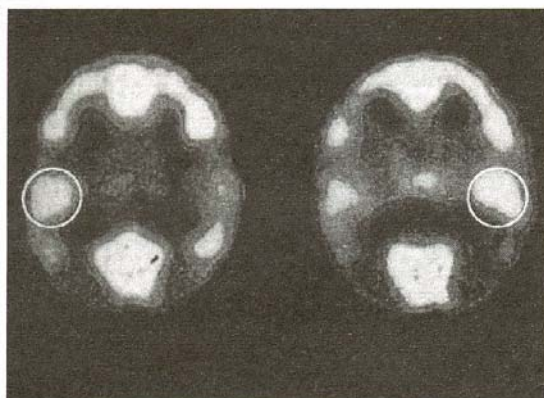
Ryc. 6. Aktywność mózgowia w czasie nazywania narzędzi i zwierząt

W lewej korze potylicznej stwierdza się wzmożony metabolizm podczas nazywania zwierząt. W lewej korze przedmotorycznej (premotor cortex) blisko reprezentacji korowej ręki i w środkowym zakręcie skroniowym aktywność metaboliczna jest większa podczas nazywania narzędzi (ryc. 6) (Martin et al., 1996; Damasio et al., 1996).



Ryc. 7. Aktywność elektryczna mózgu przy przetwarzaniu słów (opis w tekście)

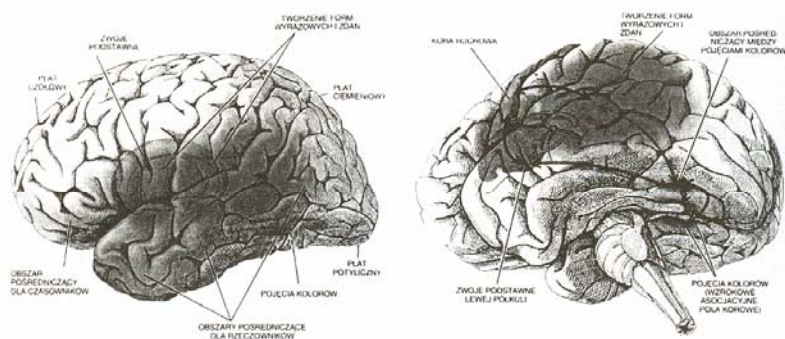
Przetwarzaniu „action words” (action verbs) i „vision words” (concrete noun) {wyobrażenia} słów (konkretnych rzeczowników) towarzyszą znacząco różne odpowiedzi elektryczne w korze mózgowej. Pokazano mapy różnicowe (rzeczowniki minus czasowniki). Wielkie koło przedstawia głowę widzianą od szczytu (przód głowy jest u góry) (ryc. 7) (Pulvermüller et al., 1996). Język i muzyka mają wspólne ewolucyjne pochodzenie. Stwierdzono, że aktywność językowa związana jest z tymi samymi obszarami, przy czym dla języka jest to lewa a dla muzyki prawa półkula.



Mowa

Muzyka

Ryc. 8. Aktywność mózgu dla mowy i muzyki (patrz <http://www.sfn.org/briefings/>)



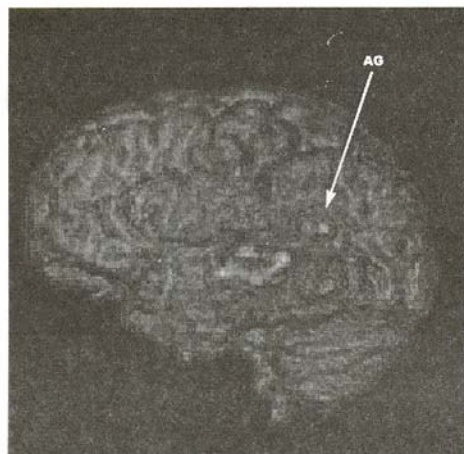
Ryc. 9. Obszary kory odpowiedzialne za przetwarzanie różnych części mowy

Wyszczególnione obszary kory mózgowej odpowiedzialne za przetwarzanie czasowników, tworzenie form wyrazowych i zdań, obszary pośredniczące dla rzeczowników oraz związane z pojęciami kolorów (Damasio i Tranel, 1993; Daniele et al., 1994) (ryc. 9).

Podczas konwersacji przetwarzanie danych jest bardzo sprawne i zależy między innymi od komunikacji pomiędzy ośrodkami czuciowym i ruchowym mowy. Ośrodki te łączy szczególnie silnie rozwinięty u człowieka pęczek łukowaty.

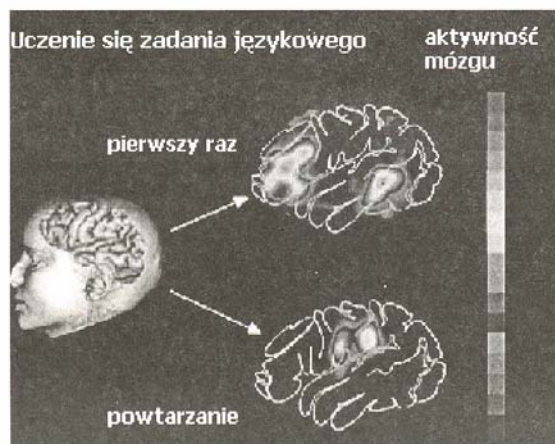
Znaczna ilość informacji dotyczących roli układu nerwowego dla zjawisk językowych pochodzi z danych klinicznych (Łuria, 1947; Jakobson, 1955, 1956, 1964, 1970). Lezje dotyczące poszczególnych pól mózgu mają określone skutki w postaci zaburzeń językowych. Tak uszkodzenie płata potylicznego wywołuje trudności w rozpoznawaniu: znaków, symboli, słów pisanych. W uszkodzeniach płata skroniowego dochodzi do afazji Wernickego (przy uszkodzeniu lewej półkuli) i słowotoku (gdy uszkodzenie dotyczy prawej półkuli). Z kolei uszkodzenie płata ciemieniowego wywołuje dyskalkulię oraz anomię (niezdolność do nazwania obiektu), agrafię (uszkodzenie lewego zakrętu kąтового), dysleksję (problemy z czytaniem).

Natomiast uszkodzenie płata czołowego prowadzi do afazji Brocka (lewa półkula) oraz trudności w zrozumieniu dowcipów (tylna część prawego płata czołowego). Ponadto stwierdzono, że przy uszkodzeniu lewego płata skroniowego występują zaburzenia w nazywaniu słów dotyczące konkretnych pojęć (rzeczowników – przedmiotów, osób, zwierząt, jedzenia, narzędzi), a przy uszkodzeniu lewego płata kory przedczołowej, dolnej części zakrętu czołowego i kory przedruchowej dochodzi do zaburzeń językowych związanych ze słowami określającymi działanie (czasowniki). Ponadto stwierdzono, nieodległą lokalizację korową dla podobnych kategorii pojęć (np. narzędzi mechanicznych i sztuców). Wiadomo, że lezje przedniej części kory dolnoskroniowej i dolnej części zakrętu skroniowego powodują problemy z nazywaniem zwierząt, a lezje tylnej i bocznej części kory skroniowej oraz zakrętu nadbrzeźnego powodują problemy z nazywaniem narzędzi. Ponadto kodowanie pojęć, jak i nazw dla znanych osób lub przedmiotów zlokalizowane jest z przodu w stosunku do regionów odpowiedzialnych za kodowanie nazw i koncepcji ogólnych. Współczesne badania obrazujące pracę układu nerwowego umożliwiają lokalizację aktywności związaną nawet z pojedynczymi słowami (ryc. 10) (<http://www.sfn.org/briefings/>).



Ryc. 10. Aktywność (angular gyrus) w czasie czytania słowa pig (<http://www.sfn.org/briefings/>)

Wiadomo też, że inne obszary mózgu aktywowane są dla nowych zadań językowych i dla zadań, które są powtarzane (ryc. 11) (<http://www.sfn.org/briefings/>).



Ryc. 11. Aktywność mózgu podczas uczenia się zadania językowego

Jak wiemy *repetitio mater studiorum est*. Ewolucyjne i neurofizjologiczne podejście do przyswajania materiału leksykalnego (Gorzelańczyk i Nowakowski, 1999) było teoretyczną podstawą do opracowania praktycznego algorytmu optymalizującego odstępy między powtórkami (Gorzelańczyk et al., 1995; Woźniak i Gorzelańczyk, 1992; Woźniak et al., 1995). Funkcja optymalnego interwału została przedstawiona jako macierz OF

$$I(EF,1)=OF(EF,1) \quad (1)$$

$$I(EF,R)=I(EF,R-1)*OF(EF,R) \quad (2)$$

EF - współczynnik wyznaczający kategorie trudności jednostek (easiness factor)

I(EF,R) - interwał, wyrażany w dniach, przed R-tą powtórką, dla której współczynnik wyznaczający kategorie trudności jednostek (easiness factor) został ustalony na EF.

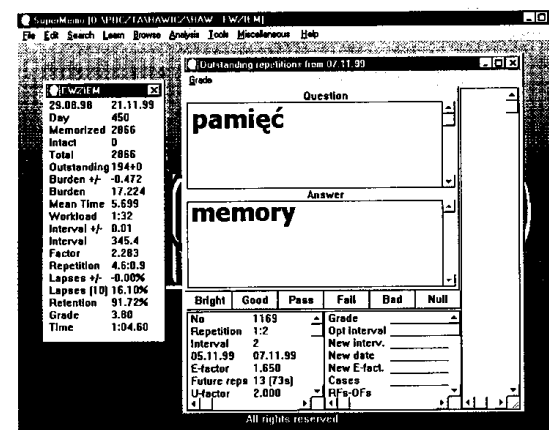
OPTYMALNE WSPÓŁCZYNNIKI (OFs) przed eksperymentem													
R\EF	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
1	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50
3	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50
4	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50

Tabela 1. Z góry ustalona macierz optymalnych współczynników (EF - easiness factor, R - numer powtórki).

OPTYMALNE WSPÓLCZYNNIKI (OFs) – po eksperymencie													
R/EF	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.5	
1	5.56	11.3	12.7	12.7	11.6	9.27	7.68	6.64	6.93	7.30	10.9	10.8	9.88
2	1.54	2.07	2.27	2.46	3.24	2.71	2.77	3.10	3.30	3.77	4.16	4.19	4.05
3	1.20	1.27	1.14	1.35	1.41	1.56	1.77	1.97	2.27	2.22	2.09	2.19	2.30
4	1.22	1.25	1.26	1.41	1.47	1.52	1.65	1.76	1.81	1.87	1.88	2.04	2.17
5	1.22	1.30	1.28	1.32	1.43	1.49	1.60	1.60	1.65	1.69	1.67	1.83	2.01
6	1.24	1.27	1.28	1.33	1.39	1.48	1.69	1.79	1.82	2.33	2.25	2.33	2.23
7	1.27	1.27	1.28	1.34	1.41	1.56	1.68	1.97	1.99	1.98	2.18	2.11	2.09
8	1.28	1.29	1.31	1.34	1.41	1.53	1.65	1.90	1.92	1.95	1.98	1.98	2.00
9	1.32	1.34	1.38	1.44	1.57	1.56	1.66	1.95	1.83	1.85	1.88	1.90	1.95
10	1.35	1.41	1.46	1.53	1.64	1.61	1.67	1.79	1.71	1.76	1.80	1.85	1.91
11	1.40	1.38	1.39	1.43	1.51	1.67	1.57	1.62	1.65	1.70	1.76	1.82	1.89
12	1.32	1.36	1.33	1.36	1.41	1.45	1.50	1.55	1.61	1.67	1.74	1.81	1.88
13	1.23	1.26	1.28	1.31	1.35	1.40	1.46	1.52	1.59	1.66	1.73	1.81	1.88
14	1.20	1.22	1.24	1.27	1.31	1.37	1.44	1.51	1.58	1.66	1.73	1.81	1.88
15	1.20	1.20	1.21	1.25	1.29	1.36	1.43	1.51	1.58	1.66	1.73	1.81	1.88
16	1.20	1.20	1.21	1.23	1.29	1.36	1.43	1.51	1.58	1.66	1.73	1.81	1.88
17	1.20	1.20	1.20	1.23	1.29	1.36	1.43	1.51	1.58	1.66	1.73	1.81	1.88
18	1.20	1.20	1.20	1.23	1.29	1.36	1.43	1.51	1.58	1.66	1.73	1.81	1.88
19	1.20	1.20	1.20	1.23	1.29	1.36	1.43	1.51	1.58	1.66	1.73	1.81	1.88
20	1.20	1.20	1.20	1.23	1.29	1.36	1.43	1.51	1.58	1.66	1.73	1.81	1.88

Tabela 2. Macierz optymalnych współczynników w przebiegu eksperymentu prezentacja pytania

próba odpowiedzi na pytanie
 porównanie odpowiedzi z prawidłową
 samoocena w skali od 0 do 5 punktów (0 – bardzo źle, 5 – bardzo dobrze)



Ryc. 12. Widok interfejsu programu z zaimplementowanym algorytmem optymalizującym odstępy między powtórkami.

W badaniach zastosowano algorytm optymalizujący odstępy między powtórkami. Na podstawie badań wyciągnięto wnioski możliwe do zastosowania w glottodydaktyce, a zwłaszcza w nauczaniu materiału leksykalnego (Gorzelańczyk et al., 1999) jak i słownictwa specjalistycznego (Gorzelańczyk i Renz, 1998). Wnioski te są następujące:

1. Kluczem do efektywnego uczenia jest minimalizacja liczby powtórek koniecznych do utrzymania wiedzy w pamięci.
2. Algorytm optymalizuje proces uczenia się poprzez aproksymację optymalnych interwałów dla poszczególnych, niezależnych jednostek wiedzy.
3. Wiedza zapamiętywana metodą optymalizacji interwałów między powtórkami musi być podzielona na możliwie najmniejsze części nazywane jednostkami.
4. Podczas stosowania algorytmu optymalizującego nie można zapomnieć, że jakość uczenia się zależy od wyboru materiału nauczania i sposobu podziału tego materiału na jednostki.

W moich badaniach nie znaleziono zależności pomiędzy parametrami procesu uczenia się a testem Wechslera (Wechsler, 1981) dla polskiej populacji (Brzeziński et al., 1993).

test/parametry	Last	I.S.	Burden	Grade	Lapses	Cases	Retention	DayRep	Interval	Factor
podobieństwa	0.251435	0.115108	0.186151	0.357474	0.192339	0.044872	0.217379	0.446996	0.33504	0.02327
słownik	0.19587	0.447874	0.085428	0.201719	0.274271	0.3069	0.261952	0.245754	0.109395	0.360766
pozadkiowania obrazków	0.469928	0.007164	0.280348	0.355465	0.104795	0.0405	0.101342	0.325604	0.232347	0.172744
rozumienie	0.158112	0.32479	0.1063	0.219757	0.237604	0.255267	0.205431	0.0492	0.10988	0.219496
arytmetyka	0.158216	0.220544	0.003081	0.067041	0.293845	0.280389	0.172424	0.093783	0.138667	0.139241
powtarzanie cyf.	0.118939	0.03909	0.260202	0.08776	0.098316	0.034617	0.255651	0.050837	0.252497	0.11774
wiadomości	0.303862	0.243793	0.080728	0.048178	0.143129	0.203255	0.161296	0.182687	0.119038	0.046969
braki w obrazkach	0.246656	0.087238	0.285121	0.239839	0.053011	0.02366	0.01551	0.209288	0.159637	0.026145
testy bez słowa	0.287654	0.126439	0.2887	0.242132	0.079844	0.056562	0.008464	0.03229	0.072185	0.058815
testy słowne	0.068362	0.263983	0.14222	0.089241	0.145248	0.10665	0.267287	0.006614	0.0153	0.198578
IQ	0.042247	0.125142	0.171178	0.065187	0.158327	0.147416	0.025184	0.065028	0.029696	0.156907
symbole cyf.	0.005454	0.198295	0.003	0.06796	0.014984	0.176467	0.088343	0.154987	0.188677	0.118531
klocki	0.212143	0.000299	0.106088	0.040137	0.04751	0.139224	0.066777	0.000828	0.003613	0.105972
układanki	0.007805	0.051645	0.17139	0.065381	0.103362	0.114531	0.052283	0.013961	0.054225	0.041374
Pracieliter współczynnik	0.179763	0.160815	0.15501	0.153376	0.139042	0.137879	0.135664	0.134133	0.130028	0.127611
Maksymalna korelacja	0.469928	0.447874	0.2887	0.357474	0.293845	0.3069	0.267287	0.446996	0.33504	0.360766

Tabela 2. Zależność pomiędzy parametrami pamięci osób zapamiętujących słownictwo specjalistyczne i poszczególnymi podestami testu Wechslera – bezwzględne wartości; Wszystkie rzędy i kolumny zostały posortowane dla najwyższych średnich (największe korelacje na górze po lewej stronie).

Wyznaczono dwie zmienne pamięci długotrwałej: R i S, które mają następujące cechy (Gorzelańczyk i Woźniak, 2000):

- 1) R może zależeć od prawdopodobieństwa przypomnienia konkretnego engramu, zapominanie można rozumieć jako spadek R;
- 2) R może osiągać wysoką wartość po pierwszej powtórcie i spadać szybko w ciągu dni;
- 3) S określa wielkość spadku R (im większa stabilność pamięci, tym wolniejszy spadek R);
- 4) z każdym powtórzeniem, gdy S staje się większe, R spada z wolniejszym tempem (stabilność pamięci wzrasta z właściwym (skutecznym) powtórzeniem);
- 5) S może osiągnąć wysoką wartość tylko po dużej ilości powtórzeń (stabilność pamięci jest pozytywnie sprzężona z intensywnością treningu);
- 6) S nie może się zmieniać (znacząco) w trakcie interwału między powtórzeniami;
- 7) jeśli wartość R jest wysoka, powtórzenia nie wpływają znacząco na S (spacing effect);
- 8) R i S wzrastają tylko jako skutek prawidłowej (efektywnej) powtórki (np. powtórzenie, które ma miejsce po wystarczająco długim interwale);

- 9) jeśli wysokie poziomy R zapobiegają wzrostowi stabilności, to dwie zmienne pamięci długotrwałej (R i S) wystarczają do obliczenia optymalnej przerwy między powtórkami, ale także efektu przerwy (spacing effect).

Przedstawione podejście proponuje zbliżenie pomiędzy sobą bardzo różnych dziedzin, takich jak biologia, fizjologia, neurologia, ewolucjonizm, psychologia, psycholingwistyka, neurolingwistyka i cybernetyka. Ewolucyjne i biologiczne podejście (Gorzelańczyk i Nowakowski, 1999) do zagadnień związanych z pamięcią, świadomością i językiem (Woźniak i Gorzelańczyk, 2000) umożliwia lepsze zrozumienie zjawisk zachodzących w trakcie uczenia się języka, w tym w przyswajaniu materiału leksykalnego (Gorzelańczyk et al., 1999; Gorzelańczyk, 2000).

Bibliografia

- Angela, P. & P. (1993): The extraordinary story of human origins. Buffalo NY: Prometheus Books
- Arends, Jacques. 1989. Syntactic developments in Sranan: Creolization as a gradual process. Doctoral thesis, University of Nijmegen.
- Arita, T., and Suzuki, R. (2000). Interactions between learning and evolution: The outstanding strategy generated by the Baldwin effect. In Proceedings of Artificial Life VII, pp. 196-205, MIT Press.
- Asfaw B., White T.D., Lovejoy C.O., Latimer B., Simpson S., and Suwa G. (1999): Australopithecus garhi: a new species of early hominid from Ethiopia. *Science*, 284:629-35.
- Baker, Philip and Chris Corne. 1986. Universals, substrata and the Indian Ocean creoles. In Muysken and Smith, eds., 163-83.
- Bala, J., De Jong, K., Huang, J., Vafaei, H., and Wechsler, H. (1996). Using learning to facilitate the evolution of features for recognizing visual concepts. *Evolutionary Computation*, 4 (3), 297-311.
- Baldwin, J.M. (1896). A new factor in evolution. *American Naturalist*, 30, 441-451.
- Batali, J. and Grundy, W.N. (1996). Modeling the evolution of motivation. *Evolutionary Computation*, 4 (3), 235-270.
- Behera, N., and Nanjundiah, V. (1995). An investigation into the role of phenotypic plasticity in evolution. *Journal of Theoretical Biology*, 172, 225-234.
- Belew, R.K. (1990). Evolution, learning and culture: computational metaphors for adaptive search. *Complex Systems*, 4, 11-49.
- Bickerton, Derek. 1984. The language bioprogram hypothesis. *Behavioral and Brain Sciences* 7.173-221.
- Bickerton, Derek. 1999. How to acquire language without positive evidence: What acquisitionists can learn from creoles. In Michel DeGraff, ed., 49-74
- Brace C.L., Nelson H., Korn N., and Brace M.L. (1979): Atlas of human evolution. Ed. 2. Holt, Rinehart and Winston.
- Brown F., Harris J., Leakey R.E., and Walker A.C. (1985): Early Homo erectus skeleton from west lake Turkana, Kenya. *Nature*, 316:788-92.
- Brzeziński J., Gaula M., Homowska E., Machowski A., Zakrzewska M. Skala inteligencji Wechslera dla dorosłych – wersja zrewidowana. Pracownia Testów psychologicznych Polskiego Towarzystwa Psychologicznego, 1991.
- Chomsky, N. (1963). Formal properties of grammars. In Handbook of mathematical psychology. Volume 2, eds. Luce, R.D., Bush, R.R. & Galanter, E., pp. 323-418. New York, London: Wiley.
- Clarke R.J. (1998): First ever discovery of a well-preserved skull and associated skeleton of Australopithecus. *South African Journal of Science*, 94:460-4.
- Damasio, A.R. & Tranel, D. (1993). Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 90, 4957-4960.
- Damasio, H., Grabowski, T.J., Tranel, D., Hichwa, R.D. & Damasio, A.R. (1996). A neural basis for lexical retrieval. *Nature* 380, 499-505.

- Daniele, A., Giustolisi, L., Silveri, M.C., Colosimo, C. & Gainotti, G. (1994). Evidence for a possible neuroanatomical basis for lexical processing of nouns and verbs. *Neuropsychologia* 32, 1325-1341.
- Darwin, Charles (1859), *The Origin of Species* (New York: Avenel Books, 1979 reprint of the 1968 Penguin edition).
- Eccles J. C. Evolution of consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1992, 15, 89(16), 7320-4.
- Eccles J. C. Evolution of the brain in relation to the development of the self-conscious mind. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1977, 299, 161-79.
- Fiez, J.A., Raichle, M.E., Balota, D.A., Tallal, P., Petersen, S.E. (1996). PET activation of posterior temporal regions during auditory word presentation and verb generation. *Cerebral Cortex* 6, 1-10.
- Fiez, J.A., Raichle, M.E., Miezin, F.M., Petersen, S.E., Tallal, P. & Katz, W.F. (1995). PET studies of auditory and phonological processing: effects of stimulus characteristics and task demands. *Journal of Cognitive Neuroscience* 7, 357-375.
- Geschwind, N. (1970). The organization of language and the brain. *Science* 170, 940-944.
- Gopnik M, Crago M.D. Familial aggregation of a developmental language disorder. *Cognition*. 1991 Apr;39(1):1-50.
- Gopnik M. Cross-Linguistic Evidence for Genetic Dysphasia *Folia Phoniatica et Logopaedica* 1999, 51, 1-2.
- Gopnik, M. (1990) Feature-blind grammar and dysphasia, *Nature*, 344, p.715.
- Gorzelańczyk E. J., Nowakowski P. Pamięć, świadomość i biologiczne podłoże pochodzenia języka. *Investigationes Linguisticae*, 1999, 7, 161-172.
- Gorzelańczyk E. J., Renz J. Ilustrowany słownik fizyczny dla kandydatów na akademie medyczne i studia przyrodnicze z bazą danych do programu SuperMemo, 1998, 2000, Oficyna Wydawnicza Medsystem, Poznań.
- Gorzelańczyk E. J., Woźniak P. A., Schneider Z. Poszukiwanie obiektów i parametrów modelu procesów molekularnych będących podłożem pamięci deklaratywnej. *Modelowanie Systemów Biologicznych*, 1995, 325-329, Kraków.
- Gorzelańczyk E. J., Woźniak P. Hipotetyczne biologiczne odpowiedniki dwóch zmiennych pamięci – konceptualny model pamięci długotrwałej. *Modelowanie Systemów Biologicznych*, 2000, 197-202.
- Gorzelańczyk E. J., Woźniak P., Nowakowski P. Możliwości wykorzystania oryginalnego algorytmu optymalizacji odstępów między powtórkami w glottodydaktyce i psycholingwistyce. *Investigationes Linguisticae*, 1999, 6, 85-95.
- Gorzelańczyk E.J. Pamięć, świadomość, język. Zastosowanie algorytmu optymalizującego odstęp między powtórkami w glottodydaktyce, 2000, Oficyna Wydawnicza Medsystem, Poznań.
- Greenfield P. M., Savage-Rumbaugh E. S. Comparing communicative competence in child and chimp: the pragmatics of repetition. *Journal of Child Language*, 1993, 20(1), 1-26.
- Hixson, M.D. (1998) Ape language research: a review and behavioral perspective. *The Analysis of Verbal Behavior* 15: 17-39.
- http://www.science.doe.gov/ober/hug_top.html (Human Genome Program)
- <http://www.sfn.org/briefings/> – Brain briefings
- Jakobson, R. 1956 Two aspects of language and two types of aphasic disturbances. In R. Jakobson, R. and M Halle. 1956 *Fundamentals of Language*. The Hague: Mouton
- Jakobson, R. 1964. Towards a linguistic typology of aphasic impairments. *Disorders of language* ed. by A.V.S.deReuck and M. O'Connor Boston: Little, Brown 21-41.
- Jakobson, R. 1970. Toward a linguistic classification of aphasic impairments. *Selected Writings II*. The Hague: Mouton.
- Jakobson, R. and M. Halle. (1956), *Fundamentals of Language* 1956. Mouton: The Netherlands.
- Jakobson, Roman. 1955 Aphasia as a linguistic problem. in *On Expressive Language*. H. Werner ed Worcester, MA: Clark University Press 69- 81.
- Johanson D.C. and Edgar B. (1996): From Lucy to language. New York: Simon and Schuster.
- Johanson D.C., Masao F.T., Eck G.G., White T.D., Walter R.C., Kimbel W.H. et al. (1987): New partial skeleton of *Homo habilis* from Olduvai gorge, Tanzania. *Nature*, 327:205-9.

- Kay, R.F.; Cartmill, M.; Balow, M. The hypoglossal canal and the origin of human vocal behavior *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA* (1998) Vol. 95 (no. 9) pp. 5417-5419.
- Keesing, Roger M. 1988. *Melanesian Pidgin and the Oceanic substrate*. Stanford: Stanford University Press.
- Lashley K.S. The problem of serial order in behaviour. W: H. Blumenthal (red.) *Language and Psychology*. J. Wiley. New York.
- Leakey L.S.B., Tobias P.V., and Napier J.R. (1964): A new species of the genus *Homo* from Olduvai gorge. *Nature*, 202:7-10.
- Luria, A.R. 1947 *Traumatic Aphasia*. Mouton: The Hague reprinted in translation 1970.
- Martin, A., Wiggs, C.L., Ungerleider, L.G. & Haxby, J.V. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature* 379, 649-652.
- Mereson, Amy (1988), "Monkeying Around With the Relatives," *Discover*, March, pp. 26-27.
- Moyzis, Robert K. (1991), "The Human Telomere," *Scientific American*, 265(2): 48-55.
- Mufwene, Salikoko S. 1999. On the language bioprogram hypothesis: Hints from Tazie. In Michel DeGraff, ed., 95-127.
- Mufwene, Salikoko S. 2001. *The ecology of language evolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Muysken, Pieter, and Norval Smith, eds. 1986. *Substrata versus universals in creole genesis*. Amsterdam: John Benjamins.
- Paradis, M. & Gopnik, M. (1997) Compensatory strategies in genetic dysphasia: Declarative memory. *Journal of Neurolinguistics*, 10: 173-185.
- Patterson, F. "Can an Ape Create a Sentence? Some Affirmative Evidence." *Science*, 1981, 211, 86-87.
- Patterson, F. "In Search of Man: Experiments in Primate Communication." *The Michigan Quarterly Review*, Winter 1980, 19 (1), 95-114.
- Patterson, F. and Linden E. *The Education of Koko*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1981.
- Patterson, F. "The Gestures of a Gorilla: Language Acquisition in Another Pongid." *Brain and Language*, 1978, 5, 72-97.
- Penchaszadeh, VB (1999): Delivery of genetic services in developing countries. In : Khoury M, Burke W, Thompson E (Eds). *Genetics and Public Health in the 21st Century*. Oxford University Press, New York, In Press, 1999.
- Pinker Steven – *The Language Instinct*, Penguin, London, 1994.
- Pulvermüller, F. & Mohr, B. (1996). The concept of transcortical cell assemblies: a key to the understanding of cortical lateralization and interhemispheric interaction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 20, 557-566.
- Pulvermüller, F., Eulitz, C., Pantev, C., Mohr, B., Feige, B., Lutzenberger, W., Elbert, T. & Birbaumer, N. (1996a). High-frequency cortical responses reflect lexical processing: an MEG study. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 98, 76-85.
- Savage-Rumbaugh E. S., Murphy J., Sevcik R. A., Brakke K. E., Williams S. L., Rumbaugh D. M. Language comprehension in ape and child. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 1993, 58(3-4), 1-222.
- Thomason, Sarah G., and Terrence Kaufman. 1988. *Language contact, creolization, and genetic linguistics*. Berkeley: University of California Press.
- Thomason, Sarah G., and Terrence Kaufman. 1988. *Language contact, creolization, and genetic linguistics*. Berkeley: University of California Press.
- Wechsler D. *Historical Review: The Psychometric Tradition*. *Developing the Wechsler Adult Intelligence Scale*. *Contemporary Educational Psychology*, 1981, 2, 82-85.
- Woźniak P. A., Gorzelańczyk E.J. Optimization of repetition spacing in the practice of learning *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 1994, 54, 59-62.
- Woźniak P., Gorzelańczyk E. J. – Scheduling of repetitions in paired-associate learning. *Acta Neurobiologiae Experimentalis* 52, 1992, 189.
- Woźniak P., Gorzelańczyk E. J. Modern hypermedia systems encompassing the ability to adapt to the properties of human memory and cognition. *Gottodidactica*, 2000, 53-62.
- Zihlman A.L., Cronin J.E., Cramer D.L., and Sarich V.M. (1978): Pygmy chimpanzee as a possible prototype for the common ancestor of humans, chimpanzees and gorillas. *Nature*, 275:744-5.