

RĘCZNOŚĆ, PRAKSJA I JĘZYK: NOWE SPOJRZENIE NA DELIKATNĄ TRIADĘ*

Grzegorz Króliczak, Mikołaj Buchwald, Weronika Potok,
Łukasz Przybylski

Institut Psychologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Institute of Psychology, Adam Mickiewicz University in Poznan

HANDEDNESS, PRAXIS AND LANGUAGE: A TRICKY TRIAD REVISITED

Summary. People typically show right-hand dominance in spontaneous performance of small daily tasks and left-hemisphere dominance in the control of complex manual actions and language. If these behaviors are linked by common cerebral specialization then they should be organized similarly in the brain, regardless of handedness. Because most of the studies on these relationships were focused on right-handers and rare cases of people with mirror-reversed lateralization of functions, the strengths of their relationships still remain unclear. Based on data from 63 individuals (27 right-handers, 15 ambidextrous, and 21 left-handers) studied with functional magnetic resonance imaging (fMRI) in this work we show that the relationships between handedness and praxis, and handedness and language are substantially weaker than a direct relationship between praxis and language. These results further support the idea that hand preference is controlled by the brain relatively independently from higher order manual functions and the skills underlying language use.

Key words: laterality indices, fMRI activity, regions-of-interest

Wprowadzenie

Jedną z najbardziej uwydatniających się cech ludzkiego mózgu jest lateralizacja funkcjonalna, a przynajmniej zlateralizowanie i relatywnie odmienne zlokalizowanie kilku – do niedawna uważanych za przysługujące tylko ludziom – funkcji, takich jak język, korzystanie z abstrakcyjnych gestów oraz umiejętność tworzenia i wy-

* Podziękowania: Prace te były wsparte przez grant *Maestro* 2011/02/A/HS6/00174 przyznany Grzegorzowi Króliczakowi przez Narodowe Centrum Nauki.

Adres do korespondencji: Grzegorz Króliczak, e-mail, krolgreg@amu.edu.pl;
krol.greg@gmail.com

korzystywania narzędzi (np. Toga, Thompson, 2003; Frey, 2008; Corballis, 2017). W życiu codziennym jednym z najbardziej dramatycznych przejawów lateralizacji jest selektywny zanik jakiejś funkcji po wylewie krwi, czy też udarze ograniczonym tylko do jednej z półkul mózgowych. W interesującym nas tu przypadku chodzi najczęściej o półkulę lewą i zaburzenia kontroli języka (afazję) oraz problemy z wyuczonymi umiejętnościami manualnymi (apraksję), które mimo współwystępowania nawet w najbardziej nieoczekiwanych przypadkach (Fischer i in., 1991; Meador i in., 1999), często mogą się pojawić z osobna (Goodglass, Kaplan, 1963; Margolin, 1980; Papagno, Della Sala, Basso, 1993), w coraz to bardziej odmiennych konfiguracjach, szczególnie z uwagi na ręczność badanych pacjentów (Heilman i in., 1973; Delis, Knight, Simpson, 1983; Borod i in., 1985; por. Junque, Litvan, Vendrell, 1986).

Nierzadkie współwystępowanie niektórych z tych na pozór odmiennych, ale jednak pokrewnych zaburzeń było już wcześniej bezpośrednią inspiracją do przeprowadzenia prac przy użyciu funkcjonalnego obrazowania rezonansem magnetycznym (fMRI) w celu poszukiwania wspólnej specjalizacji korowej wybranych funkcji mózgu (Kroliczak, Piper, Frey, 2011). Chodziło o procesy leżące u podłoża lateralizacji języka, w formie prostego generowania pojedynczych słów i dwóch rodzajów wyuczonych zdolności manualnych (praksji), a mianowicie pantomimy użycia narzędzi (tzw. gestów tranzytywnych), a także posiadających znaczenie bez pośrednictwa (domniemanych) przedmiotów, czyli symbolicznych ruchów dłoni (tzw. gestów intranzytywnych). Otrzymane rezultaty zostały wkrótce wsparte przez raport o zbliżonym celu (Vingerhoets i in., 2013), a także celu pokrewnym (Cai, Van der Haegen, Brysbaert, 2013) i stało się jasne, że do dogłębnego zrozumienia tych zjawisk konieczne będą niebawem bardziej wyrafinowane badania na większą skalę, lub przynajmniej prace na większych próbkach osób, uwzględniające ponadto większą zmienność w preferencjach ręki (Willems i in., 2014; Haberland, Corballis, 2015).

Kolejnym ważnym punktem zwrotnym na drodze do zrozumienia zależności pomiędzy neuronalnym podłożem praksji i języka, a zarazem względnej niezależności łączących je procesów od mechanizmów korowych mogących odpowiadać za preferencję ręki, było wskazanie niezwykle subtelnych, ale istotnych korelacji pomiędzy lateralizacją pierwszych dwóch ze wspomnianych funkcji z asymetriami strukturalnymi w obrębie kory wyspy (Biduła, Kroliczak, 2015). Jest ona bardzo silna u osób leworęcznych, dość słaba (by nie powiedzieć ulotna) u osób praworęcznych, ale utrzymuje się na istotnym poziomie w analizie niezależnej od ręczności osób badanych. Wreszcie całkiem niedawnym, ale krytycznym krokiem umożliwiającym nowe spojrzenie na ową „delikatną triadę”, jaką stanowią ręczność, praksja i język, było dogłębne zbadanie zjawiska samej nietypowej lateralizacji języka, bez względu na ręczność osób badanych (Biduła i in., 2017).

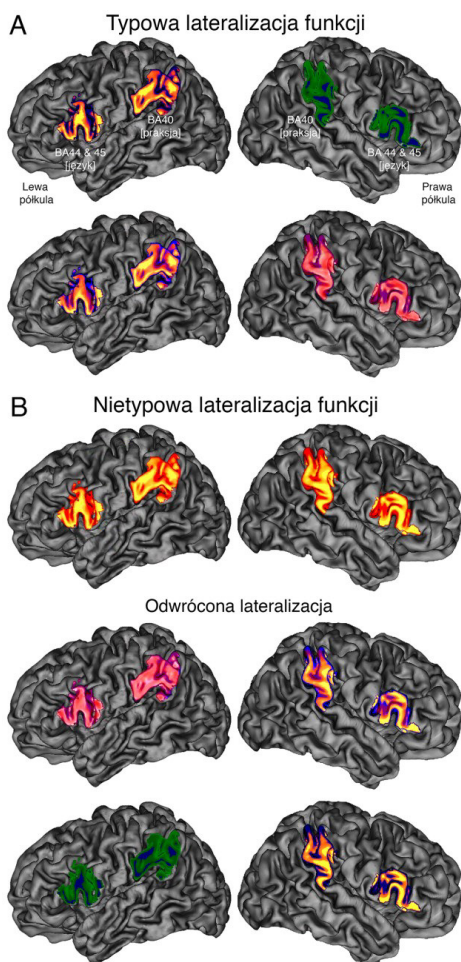
Niniejszy raport dotyczy tej samej próbki osób, którą badali Biduła i współpracownicy (2017). Jednakże obecne analizy skupiają się tylko i wyłącznie na porównaniach indeksów lateralizacji uzyskanych z siły aktywności mózgu w wybranych obszarach zainteresowań z lewej i prawej półkuli, podczas gdy uczestnicy bezgłośnie

generowali tak dużo słów jak to możliwe (w tzw. teście na biegłość werbalną) oraz symulowali ruchy użycia narzędzi (zadanie testujące aspekt prakcji; por. Przybylski, Kroliczak, 2017). Co ważniejsze, zbadaliśmy również, czy tak wyliczone wskaźniki lateralizacji tych dwóch funkcji korelują istotnie z indeksami ręczności otrzymanymi z Edynburskiego kwestionariusza lateralizacji preferencji ręki (EHI; Oldfield, 1971).

Jeśli prakcja i język zależą od wspólnej specjalizacji korowej (tj. podobnie zorganizowanego procesu; Kroliczak, Piper, Frey, 2011; Vingerhoets i in., 2013; patrz także Kubiak, Kroliczak, 2016), wówczas towarzysząca im siła aktywności mózgu w wybranych obszarach zainteresowań powinna być podobnie zlateralizowana oraz wysoce skorelowana. Hipotezę tę, a konkretnie kilka wariantów kolateralizacji prakcji i języka, w tym możliwe przypadki nietypowe, przedstawia ilustracja 1. Ponieważ ręczność i lateralizacja prakcji nie zdają się zawsze iść ze sobą w parze (gdyż większość osób leworęcznych wykazuje lewostronnie lub względnie obustronnie, a nie prawostronnie, zlateralizowaną kontrolę wyuczonych zdolności manualnych, nawet tych wykonywanych ręką lewą; Frey i in., 2005; Kroliczak, Piper, Frey, 2011; 2016), zależność pomiędzy Edynburskim indeksem lateralizacji preferencji ręki (EHI) a neuronalnym indeksem lateralizacji prakcji nie powinna być istotna, a przynajmniej nie tak znacząco silna. Podobnie jeśli język wyewoluował z prakcji (Corballis, 2003; Arbib, 2005), a jego podłoże neuronalne ma luźniejszy związek z mechanizmami odpowiedzialnymi za kontrolę dominacji ręki, czy też, jak twierdzą inni, ręczność i język to dwa ontogenetycznie niezależne, złożone fenotypy behawioralne (Schmitz i in., 2017), to zależność między EHI a lateralizacją języka również nie powinna być istotna, a przynajmniej powinna być znacząco słabsza niż bezpośredni związek pomiędzy prakcją a językiem.

Metody

Wszyscy biorący w tym badaniu udział uczestnicy zostali opisani dość szczegółowo w pracy Biduły i współpracowników (2017), gdzie zaprezentowano również test na biegłość werbalną (por. Kroliczak, Piper, Frey, 2011). Mówiąc w skrócie, w eksperymencie fMRI z planem blokowym uczestnicy generowali tak dużo słów jak to możliwe, zaczynających się na pięć wybranych liter (na które ludzie najczęściej, spontanicznie generują słowa w języku polskim). Jeśli chodzi o zadanie testujące prakcję, to zostało ono dokładnie opisane w pracy Przybylskiego i Króliczaka (2017), w której przedstawiono jedynie wyniki 20 osób praworęcznych z próbki opisanej później przez Bidułę i współpracowników (2017). W eksperymencie tym, ponownie wykorzystującym plan blokowy, w reakcji na obrazek narzędzia uczestnicy szybko pokazywali, jak takie narzędzie się chwyta, a następnie jak się je używa (symulując 2-3 charakterystyczne ruchy „manipulacyjne”). W zacytowanych tu pracach z Laboratorium Badania Działań i Poznania czytelnik znajdzie także wszystkie niezbędne informacje dotyczące parametrów skanowania, zastosowanych narzędzi badawczych oraz standardowych wyników.



Ilustracja 1. Obszary zainteresowań i przykłady lateralizacji praksji i języka. (A) Typowa, lewostronna lateralizacja praksji w obszarze Brodmanna 40 [BA 40] oraz towarzysząca jej lateralizacja języka w obszarze Brodmanna 44 i 45. Interesujące nas tu obszary są wyróżnione na kolorowo: ciepłe barwy oznaczają istotny wkład do badanej funkcji, a im jaśniejsza barwa (np. kolor żółty) tym większy wkład; zimne barwy oznaczają brak wkładu (zielony) lub nawet wyhamowywanie działania podpodziału danego pola funkcjonalnego (ciemnoniebieski). (B) Nietypowa lateralizacja funkcji polegająca na zbalansowanym wkładzie obszarów z obu półkul lub odwróceniu lateralizacji typowej. W przypadku skrajnego odwrócenia funkcji aktywność obszarów ogranicza się tylko do prawej półkuli.

Źródło: opracowanie własne.

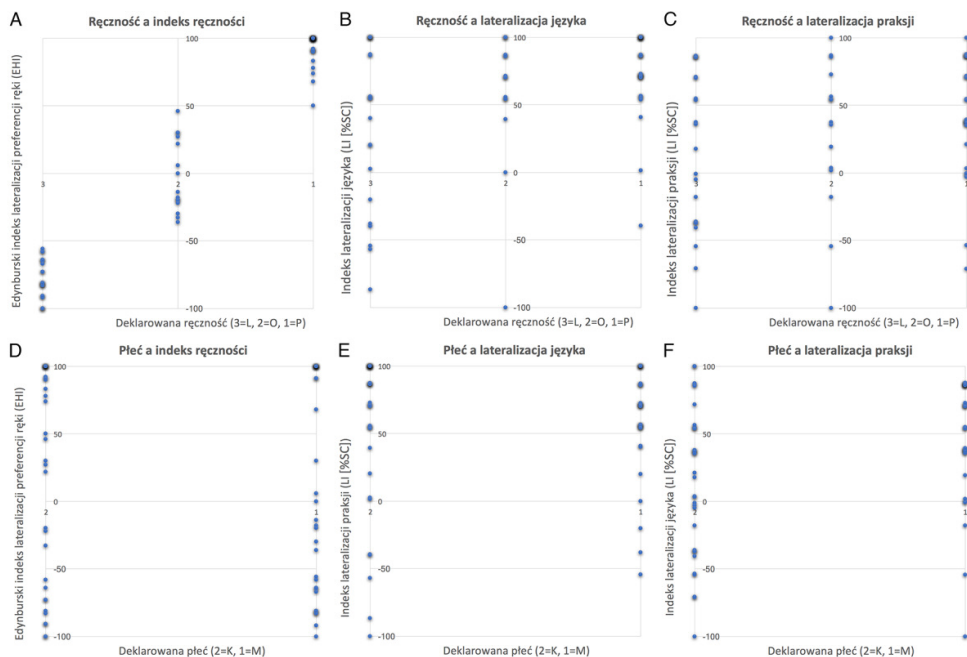
Oryginalne, a przynajmniej kluczowe dla niniejszego raportu jest wykorzystanie w analizach bardzo informatywnych indeksów lateralizacji opartych na sile aktywności mózgu w wybranych obszarach zainteresowań (ROIs). Te były dwa, oczywiście w parze, gdyż zlokalizowane zostały w prawej i lewej półkuli: (1) pola Brodmanna [BA] 44-45, obejmujące łącznie tzw. obszar Broki, w którym testowano sygnały językowe, oraz (2) BA 40, obejmujące zakręt nadbrzeżny (a konkretniej – jego podpodziały PF i PFm), w którym testowano sygnały związane z prakcją. Te odpowiednio sprogowane obszary zainteresowań pochodziły z atlasu cytoarchitektonicznego zaimplementowanego w programie FSL, użytym do analizy danych neuroobrazowych. Mówiąc w skrócie, indeksy lateralizacji mierzone były na sześciu (6) zstępujących progach odcięcia, na których porównywano procent siły zmiany sygnału (z ang. %SC) skorelowanej z zadaniem między sparowanymi (analogicznymi) obszarami z lewej i prawej półkuli, w znormalizowanym, ale uprzednio niesprogowanym obrazie aktywności mózgu. Otrzymane u każdej z osób wyniki, osobne dla każdego z zadań, następnie uśredniano w celu uzyskania reprezentatywnego indeksu lateralizacji (LI). Jest to w rzeczywistości druga, znacznie mniej popularna z metod, którą wcześniej z powodzeniem wykorzystał pierwszy autor (Kroliczak, Piper, Frey, 2011), zainspirowany m.in. podejściem, jakie preferował Chlebus i współpracownicy (2007).

Podobnie jak dla indeksów lateralizacji odnoszących się do ręczności, wartość (+) 100 oznacza typową (tu: tj. w przypadku aktywności mózgu – lewostronną), a –100 nietypową (tu: prawostronną) organizację funkcji. Choć w przypadku wyników behawioralnych za nietypowe zwykło się już uważać wartości $LI < 50$, przy czym te z przedziału $-50 < LI < 50$ oznaczają zwykle zbalansowaną ręczność (brak preferencji ręki) czy też względnie równomierny wkład obu półkul w realizowane zadanie, dla wyników fMRI bardziej rozsądne wydaje się przyjęcie równomiernych progów, tzn. takich, kiedy wyniki między 33 a –33 oznaczają zbalansowany wkład obu półkul w realizację zadania, zaś między –33 a –100 – przewagę prawej półkuli (Kroliczak, Piper, Frey, 2011; Biduła i in., 2017).

Wyniki

Ilustracja 2 pokazuje kluczowe charakterystyki osób badanych ($N = 63$, 27 osób praworęcznych, 15 – oburęcznych i 21 – leworęcznych), poczynając od deklarowanej ręczności, ich bardziej formalnego ujęcia w postaci indeksów z Edynburskiego kwestionariusza lateralizacji preferencji ręki (EHI) i ich wzajemnych relacji do siebie (panel A), odniesienia deklarowanej ręczności do uzyskanych indeksów lateralizacji języka (panel B) i prakcji (panel C), oraz ich podziały, poczynając od EHI LI, ze względu na płeć (panele D-F). Zaledwie 13 osób miało według wykorzystanej tu miary LI (z %SC) nietypową, tj. obustronną (6 osób) lub prawostronną (7 osób) organizację języka, przy czym tylko jedna osoba – oburęczna – wykazała aktywność wyłącznie w prawej półkuli (por. panel B). Zdecydowanie więcej, bo aż 24 osoby (na 63, w tym 36 dobranych

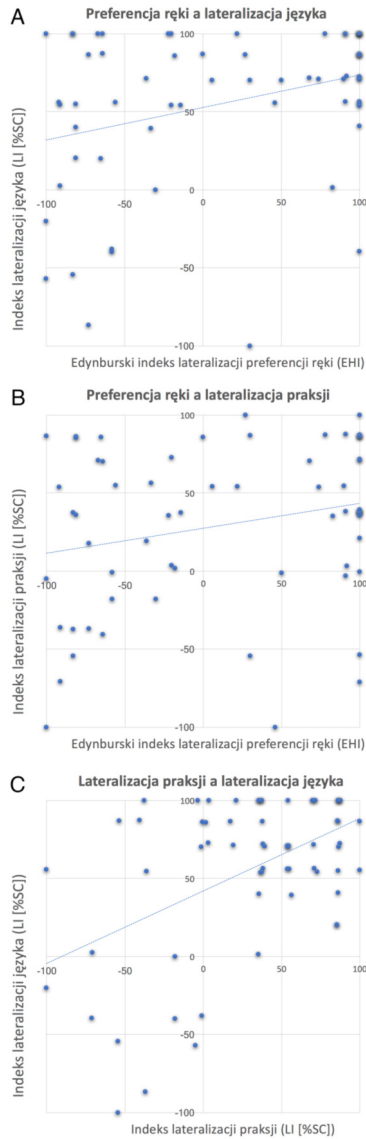
celowo) miały nietypową organizację praksji (13 zbalansowaną i 11 prawostronną), przy czym jedynie u 2 osób (oburęcznej i leworęcznej) zaobserwowano wyłącznie aktywność prawopółkulową. Zgodnie z oczekiwaniami (por. Knecht i in., 2000) 11 z nich stanowiły osoby leworęczne. Jednak, co równie ciekawe, aż 6 z nich to osoby oburęczne (których było w tym badaniu najmniej), a 7 – osoby praworęczne. Dla obu badanych funkcji najwięcej przypadków nietypowej ich organizacji zaobserwowano wśród osób leworęcznych, natomiast całkiem podobny ich rozkład odnotowano ze względu na płeć osób badanych (panel E i F).



Ilustracja 2. Charakterystyki opisowe i funkcjonalne badanych grup przedstawione w formie graficznej. Kolejne panele (A-F) pokazują najbardziej interesujące nas tu cechy i ich wzajemne relacje. Ogólny opis zawartości tej ilustracji znajduje się w tekście. LI = indeks lateralizacji wyprowadzony z procentu zmiany sygnału [%SC] w obszarze zainteresowań, L = leworęczni, O = oburęczni, P = praworęczni; K = kobiety, M = mężczyźni.

Źródło: opracowanie własne.

Ilustracja 3 pokazuje związki pomiędzy poszczególnymi, krytycznymi elementami badanej triady. Panel A odwzorowuje zależność pomiędzy preferencją ręki (wyrażoną w EHI LI) a indeksem lateralizacji języka (LI języka wyprowadzonym z %SC w BA 44-45). Co ciekawe, jest to zależność istotna ($r = 0,321$, $p < 0,01$; dla współczynnika korelacji Pearsona przy teście dwustronnym).



Ilustracja 3. Bezpośrednie zależności pomiędzy krytycznymi indeksami lateralizacji. (A) Istotna zależność pomiędzy indeksem lateralizacji preferencji ręki a indeksem lateralizacji języka. (B) Trend w kierunku istotności pomiędzy indeksem lateralizacji preferencji ręki a indeksem lateralizacji prakcji. (C) Istotna i znacząco silniejsza zależność pomiędzy indeksem lateralizacji prakcji a indeksem lateralizacji języka.

Źródło: opracowanie własne.

Panel B ilustruje natomiast zależność pomiędzy preferencją ręki (EHI LI) a indeksem lateralizacji prakcji (LI prakcji wyprobowanym tym razem z %SC w BA 40). Jak się okazuje, zależność ta jest nieistotna, choć widać dość wyraźny trend w kierunku istotności ($r = 0,235$, $p < 0,064$). Panel C pokazuje natomiast bezpośrednią zależność pomiędzy lateralizacją prakcji i języka. Związek ten jest nie tylko istotny ($r = 0,482$, $p < 0,001$), ale także zdecydowanie silniejszy niż którykolwiek ze związków testowanych wcześniej.

Dyskusja

Uzyskane tu wyniki dostarczają jeszcze bardziej przekonujących danych wspierających hipotezę, że organizacja języka oraz reprezentacje prakcji są ze sobą ściśle powiązane w korze mózgowej (Kroliczak, Piper, Frey, 2011; Vingerhoets i in., 2013). Większa doniosłość obecnych rezultatów wynika stąd, że testowano ludzi o odmiennych preferencjach manualnych (tzn. ogromnych różnicach w świadomie wyrażanej skłonności do wykorzystywania rąk w zadaniach dnia codziennego), włączając w to także osoby oburęczne, a sam test prakcji obejmował symulowany chwyt i manipulację narzędziami na podstawie wskazówki obrazkowej (a nie lingwistycznej; por. Kroliczak, Piper, Frey, 2011). Innymi słowy, testując zdrowe osoby prawo-, lewo- i oburęczne, u których widać ogromną, ale naturalną zmienność w lateralizacji tych dwóch funkcji w mózgu, udało się wykazać, że znajomość aktywności neuronalnej w dolnej korze czołowej w trakcie realizacji zadania językowego pozwala niejako przewidywać wzór aktywności neuronów w dolnym płaciku ciemieniowym w trakcie symulacji chwytu i pantomimy użycia narzędzi. Ponieważ równocześnie zaobserwowano znacznie słabszy związek pomiędzy lateralizacją języka a ręcznością oraz odnotowano niemal brak związku pomiędzy lateralizacją prakcji a ręcznością, wynik ten jeszcze dobitniej wskazuje na wspólną korową specjalizację, która musi leżeć u podłoża prakcji i języka (por. Bradshaw, Nettleton, 1982; Greenfield, 1991; Rizzolatti, Arbib, 1998; Corballis, 2003; Arbib, 2005). Mogła się ona niejako oddzielić w swej ewolucji od, zapewne bardziej podstawowych, a u osób z wyraźną preferencją ręki zazwyczaj kontralateralnych, mechanizmów korowych, które odpowiadają za prostą kontrolę kinetyczną ruchów palców i dłoni (Corballis, 2017; patrz także Schmitz i in., 2017). W tym miejscu warto też przypomnieć badania, które sugerują, że nawet osoby leworęczne znacznie częściej i całkiem spontanicznie wykorzystują rękę prawą w naturalnym chwytaniu (Gonzalez, Ganel, Goodale, 2006). Tych kilka ostatnich wniosków może się wydawać szczególnie kontrowersyjnych, czy nieintuicyjnych, stąd też mowa o „delikatnej triadzie” (Vingerhoets, 2014).

Sama lateralizacja prakcji i języka u osób leworęcznych to również kwestia dość kontrowersyjna i, przed wyrażeniem zdecydowanych poglądów na ten temat, warto zaznajomić się z najbardziej rozległymi analizami tego zjawiska, jakie przeprowadził do tej pory Goldenberg (2013a). Ich wyniki oraz interpretacja, wsparte wcześniejszymi obserwacjami i przemyśleniami, znalazły ostatecznie wyraz w hipotezie moż-

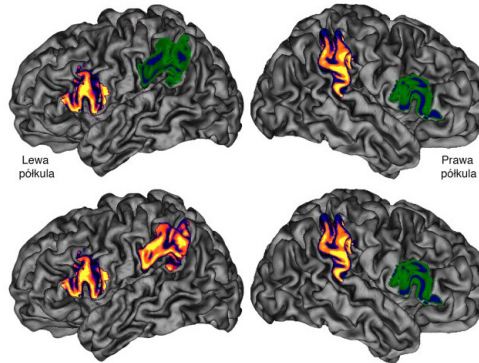
liwości przetasowywania asymetrycznych funkcji mózgu, takich jak język i prakcja (które, przypomnijmy, są zazwyczaj lewostronnie uorganizowane, nawet u większości osób leworęcznych). Takie przetasowanie może ostatecznie prowadzić do ich dość przypadkowego rozkładu w ramach poszczególnych półkul mózgowych (Goldenberg, 2013b). Co więcej, wskazując na dość rzadkie, ale przekonujące przypadki występowania apraksji bez afazji i odwrotnie, Goldenberg dochodzi również do przekonania, że związki między nimi nie są tak naprawdę obligatoryjne.

Zdecydowanie inny jest pogląd Vingerhoetsa (Vingerhoets i in., 2013), który w swym komentarzu na temat książki Goldenberga elegancko, ale dość zdecydowanie przeciwstawia się wyżej wymienionym tezom (Vingerhoets, 2014). Uzyskane w niniejszej pracy wyniki są zgodne nie tylko z hipotezą wspólnej specjalizacji funkcjonalnej dla prakcji i języka (Kroliczak, Piper, Frey, 2011) oraz ich rozdzielności z ręcznością (Corballis, 2017; Schmitz i in., 2017), ale łącznie z wcześniejszą pracą pierwszego autora (Kroliczak, Piper, Frey, 2011) pokazują także wiele przypadków nietypowych ich związków (a niekiedy ich braku). Te ostatnie, przedstawione w modelowej postaci na ilustracji 4 niemal we wszystkich możliwych, a przynajmniej głównych, kombinacjach ich dysocjacji, w połączeniu ze swą niewielką liczebnością, zdają się sugerować zaledwie istnienie względnie małych odstępstw od ogólnej reguły, tj. fundamentalnego związku między prakcją a językiem.

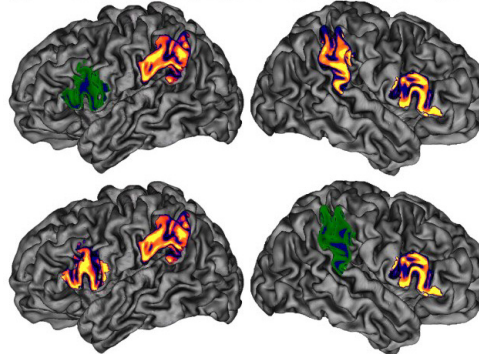
Niektóre ze wzorów częściowej dysocjacji (czy rozdzielności) przedstawionych na ilustracji 4 zdają się ponadto świadczyć o wkroczeniu do gry jeszcze innej reguły. Mianowicie związek między językiem a prakcją może stracić nieco na istotności szczególnie wówczas, gdy oddolne mechanizmy uwikłane w prostą kontrolę dominacji ręki zostają za bardzo zintegrowane z wysokopoziomowymi mechanizmami prakcji. Na rzecz tej tezy zdają się świadczyć stosunkowo liczne przypadki względnie obustronnej reprezentacji prakcji, szczególnie u osób lewo- i oburęcznych (u których byłoby to jeszcze bardziej naturalne; por. Króliczak, 2013).

Tymczasem rzadkość występowania skrajnie nietypowych przypadków lateralizacji języka, tj. niezależnych od lateralizacji prakcji, zdaje się świadczyć o ogromnych kosztach związanych z formowaniem jego reprezentacji bez podbudowy w formie prakcji. Choć to ostatnie stwierdzenie stanowi dość daleko posuniętą spekulację, jest ona oczywiście spójna nie tylko z naszymi dotychczasowymi przekonaniem, ale także wnioskami, do jakich dochodzi Vingerhoets (2014). Wydaje się zatem, że pogłębiona analiza naszych obecnych rezultatów, w połączeniu ze zrozumieniem wcześniejszych wyników dotyczących samego języka (Biduła i in., 2017), szczególnie analiz przypadków nietypowych, a wszystko to wsparte wnioskami, jakie już udało się nam wyprowadzić w celu napisania niniejszego artykułu, mogą stać się pożywką dla dalszych prac badawczych przynajmniej na kolejną dekadę.

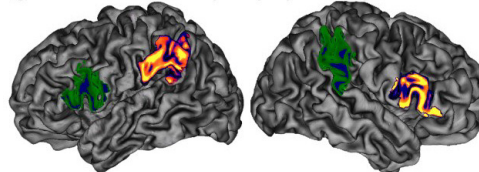
A Typowa dysocjacja funkcji u leworęcznych
Blizsze związki praksj z dominacją ręki



B Rzadsza dysocjacja funkcji u leworęcznych



C Rzadka dysocjacja funkcji



Ilustracja 4. Przykłady możliwych dysocjacji pomiędzy prakcją a językiem u osób leworęcznych. (A) Dysocjacja typowa. Obejmuje ona bliższe związki praksj z mechanizmami dominacji ręki, czyli wyłączny lub większy wkład prawej półkuli. (B) Dysocjacja mniej typowa (rzadsza). Obejmuje ona całkowite lub częściowe odwrócenie lateralizacji języka, przy zachowaniu związków z prakcją (czy to w nietypowej – prawej, czy też lewej półkuli). (C) Dysocjacja najmniej typowa (bardzo rzadka). Obejmuje ona skrajne zlateralizowanie języka do prawej półkuli, przy zachowanej typowej lewostronnej lateralizacji praksj.

Źródło: opracowanie własne.

Literatura

- Arbib, M.A. (2005). From monkey-like action recognition to human language: an evolutionary framework for neurolinguistics. *Behavioral and Brain Sciences*, 28 (2), 105-124; discussion 125-167.
- Biduła, S.P., Kroliczak, G. (2015). Structural asymmetry of the insula is linked to the lateralization of gesture and language. *European Journal of Neuroscience*, 41 (11), 1438-1447, doi: 10.1111/ejn.12888
- Biduła, S.P., Przybylski, L., Pawlak, M.A., Kroliczak, G. (2017). Unique neural characteristics of atypical lateralization of language in healthy individuals. *Frontiers in Neuroscience*, 11 (525), 1-21, doi: 10.3389/fnins.2017.00525
- Borod, J.C., Carper, M., Naeser, M., Goodglass, H. (1985). Left-handed and right-handed aphasics with left hemisphere lesions compared on nonverbal performance measures. *Cortex*, 21 (1), 81-90.
- Bradshaw, J.L., Nettleton, N.C. (1982). Language lateralization to the dominant hemisphere: Tool use, gesture and language in hominid evolution. *Current Psychological Reviews*, 2 (2), 171-192.
- Cai, Q., Van der Haegen, L., Brysbaert, M. (2013). Complementary hemispheric specialization for language production and visuospatial attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110 (4), E322-330, doi: 10.1073/pnas.1212956110
- Chlebus, P., Mikl, M., Brazdil, M., Pazourkova, M., Krupa, P., Rektor, I. (2007). fMRI evaluation of hemispheric language dominance using various methods of laterality index calculation. *Experimental Brain Research*, 179 (3), 365-374.
- Corballis, M.C. (2003). From mouth to hand: gesture, speech, and the evolution of right-handedness. *Behavioral and Brain Sciences*, 26 (2), 199-208; discussion 208-160.
- Corballis, M.C. (2017). The Evolution of Lateralized Brain Circuits. *Frontiers in Psychology*, 8, 1021, doi: 10.3389/fpsyg.2017.01021
- Delis, D.C., Knight, R.T., Simpson, G. (1983). Reversed hemispheric organization in a left-hander. *Neuropsychologia*, 21 (1), 13-24.
- Fischer, R.S., Alexander, M.P., Gabriel, C., Gould, E., Milione, J. (1991). Reversed lateralization of cognitive functions in right handers. Exceptions to classical aphasiology. *Brain*, 114, 245-261.
- Frey, S.H. (2008). Tool use, communicative gesture and cerebral asymmetries in the modern human brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, Biological Sciences*, 363 (1499), 1951-1957, doi: 10.1098/rstb.2008.0008
- Frey, S.H., Funnell, M.G., Gerry, V.E., Gazzaniga, M.S. (2005). A dissociation between the representation of tool-use skills and hand dominance: insights from left- and right-handed callosotomy patients. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17 (2), 262-272, doi: 10.1162/0898929053124974
- Goldenberg, G. (2013a). Apraxia in left-handers. *Brain*, 136, 2592-2601, doi: 10.1093/brain/awt181

- Goldenberg, G. (2013b). *Apraxia: The cognitive side of motor control*. Oxford: Oxford University Press, doi: 10.1093/acprof:oso/9780199591510.001.0001
- Gonzalez, C.L., Ganel, T., Goodale, M.A. (2006). Hemispheric specialization for the visual control of action is independent of handedness. *Journal of Neurophysiology*, 95 (6), 3496-3501, doi: 10.1152/jn.01187.2005
- Goodglass, H., Kaplan, E. (1963). Disturbance of gesture and pantomime in aphasia. *Brain*, 86, 703-720, doi: 10.1093/brain/86.4.703
- Greenfield, P.M. (1991). Language, tools and brain: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequential behavior. *Behavioral and Brain Sciences*, 14 (4), 531-551, doi: 10.1017/S0140525X00071235
- Haberling, S.I., Corballis, M.C. (2015). Cerebellar asymmetry, cortical asymmetry and handedness: Two independent networks. *Laterality*, 1-18, doi: 10.1080/1357650X.2015.1110161
- Heilman, K.M., Coyle, J.M., Gonyea, E.F., Geschwind, N. (1973). Apraxia and agraphia in a left-hander. *Brain*, 96 (1), 21-28.
- Junque, C., Litvan, I., Vendrell, P. (1986). Does reversed laterality really exist in dextrals? A case study. *Neuropsychologia*, 24 (2), 241-254.
- Knecht, S., Dräger, B., Deppe, M., Bobe, L., Lohmann, H., Flöel, A., Ringelstein, E.B., Henningsen, H. (2000). Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans. *Brain*, 123, 2512-2518, doi: 10.1093/brain/123.12.2512
- Kroliczak, G., Piper, B.J., Frey, S.H. (2011). Atypical lateralization of language predicts cerebral asymmetries in parietal gesture representations. *Neuropsychologia*, 49 (7), 1698-1702, doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.044
- Kroliczak, G., Piper, B.J., Frey, S.H. (2016). Specialization of the left supramarginal gyrus for hand-independent praxis representation is not related to hand dominance. *Neuropsychologia*, 93 (Pt B), 501-512, doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.03.023
- Króliczak, G. (2013). Praxis in left-handers. *Kultura i Edukacja (Cult. Educ.)*, 6 (99), 5-31.
- Kubiak, A., Kroliczak, G. (2016). Left extrastriate body area is sensitive to the meaning of symbolic gesture: evidence from fMRI repetition suppression. *Scientific Reports*, 6, 31064, doi: 10.1038/srep31064
- Margolin, D.I. (1980). Right hemisphere dominance for praxis and left hemisphere dominance for speech in a left-hander. *Neuropsychologia*, 18 (6), 715-719.
- Meador, K.J., Loring, D.W., Lee, K., Hughes, M., Lee, G., Nichols, M., Heilman, K.M. (1999). Cerebral lateralization: relationship of language and ideomotor praxis. *Neurology*, 53 (9), 2028-2031, doi: 10.1212/WNL.53.9.2028
- Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113, doi: 10.1016/0028-3932(71)90067-4
- Papagno, C., Della Sala, S., Basso, A. (1993). Ideomotor apraxia without aphasia and aphasia without apraxia: the anatomical support for a double dissociation. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 56 (3), 286-289.

- Przybylski, L., Kroliczak, G. (2017). Planning functional grasps of simple tools invokes the hand-independent praxis representation network: an fMRI study. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 23 (2), 108-120, doi: 10.1017/S1355617716001120
- Rizzolatti, G., Arbib, M.A. (1998). Language within our grasp. *Trends in Neurosciences*, 21 (5), 188-194.
- Schmitz, J., Lor, S., Klose, R., Gunturkun, O., Ocklenburg, S. (2017). The Functional Genetics of Handedness and Language Lateralization: Insights from Gene Ontology, Pathway and Disease Association Analyses. *Frontiers in Psychology*, 8, 1144, doi: 10.3389/fpsyg.2017.01144
- Toga, A.W., Thompson, P.M. (2003). Mapping brain asymmetry. *Nature Reviews Neuroscience*, 4 (1), 37-48, doi: 10.1038/nrn1009
- Vingerhoets, G. (2014). Praxis, language, and handedness: a tricky triad. *Cortex*, 57, 294-296; discussion 306-298, doi: 10.1016/j.cortex.2014.01.019
- Vingerhoets, G., Alderweireldt, A.S., Vandemaele, P., Cai, Q., Van der Haegen, L., Brysbaert, M., Achten, E. (2013). Praxis and language are linked: evidence from co-lateralization in individuals with atypical language dominance. *Cortex*, 49 (1), 172-183, doi: 10.1016/j.cortex.2011.11.003
- Willems, R.M., Van der Haegen, L., Fisher, S.E., Francks, C. (2014). On the other hand: including left-handers in cognitive neuroscience and neurogenetics. *Nature Reviews Neuroscience*, 15 (3), 193-201, doi: 10.1038/nrn3679

Streszczenie. Ludzie najczęściej wykazują dominację prawej ręki w spontanicznym wykonywaniu drobnych codziennych czynności oraz dominację lewej półkuli w kontroli złożonych działań manualnych i w posługiwaniu się językiem. Jeśli te zachowania łączy wspólna specjalizacja w korze mózgowej, to powinny one być podobnie zorganizowane w mózgu bez względu na ręczność. Ponieważ większość dotychczasowych badań nad tymi zależnościami skupiała się na osobach praworęcznych i rzadkich przypadkach osób ze zwierciadlane odwrotną lateralizacją funkcji, siła tych zależności nadal pozostaje niejasna. Na przykładzie danych pochodzących od 63 osób (27 praworęcznych, 15 oburęcznych i 21 leworęcznych) przebadanych za pomocą funkcjonalnego obrazowania rezonansem magnetycznym (fMRI) wykazujemy, że zależność między ręcznością a prakcją oraz ręcznością a językiem jest znacząco słabsza niż bezpośrednia zależność pomiędzy prakcją a językiem. Wyniki te wspierają ideę, że preferencja ręki jest kontrolowana przez mózg względnie niezależnie od funkcji manualnych wyższego rzędu i zdolności do używania języka.

Słowa kluczowe: wskaźniki lateralizacji, aktywność fMRI, obszary zainteresowania

Data wpłynięcia: 15.12.2017

Data wpłynięcia po poprawkach: 4.01.2018

Data zatwierdzenia tekstu do druku: 18.01.2018