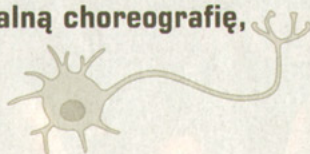


FIZJOLOGIA MÓZGU

Taniec Z NEURONAMI

Wykorzystując najnowsze techniki badawcze, zobrazowano złożoną neuronalną choreografię, na której opiera się taniec



Steven Brown i Lawrence M. Parsons



W SKRÓCIE

- Taniec to dla człowieka jeden z podstawowych środków ekspresji. Wyewoluował prawdopodobnie równoległe wraz z graniem na instrumentach jako komplementarny sposób generowania rytmu.
- Mózg tańczącego pracuje na wysokich obrotach. Jeden jego obszar tworzy obraz położenia ciała w przestrzeni, uczestnicząc w kierowaniu ruchami. Inny działa jak metronom, pozwalając dostosować kroki do rytmu.
- Bezwiedne przytupywanie w takt muzyki odzwierciedla ludzki instynkt taneczny. Pojawia się, gdy pewne ośrodki podkorowe komunikują się z pominięciem wyższych piętér drogi słuchowej.

Poczucie rytmu jest dla nas czymś tak naturalnym, że często dajemy mu wyraz niemal nieświadomie: słysząc muzykę, bezwiednie przytupujemy lub kołyszymy się do taktu. Wszystko wskazuje, że ta zdolność to ewolucyjna nowość. Nie mają jej pozostałe ssaki, a prawdopodobnie także żadne inne zwierzęta. Na tej skłonności do podświadomej zabawy opiera się taniec – złożony zestaw zgranych z rytmem kroków, obrotów i ekspresyjnych gestów. Wykonywany zespołowo jest chyba najdokładniej zsynchronizowaną aktywnością grupową, wymagającą koordynacji w czasie i przestrzeni w stopniu w zasadzie niespotykanym w innych sytuacjach społecznych.

Mimo że taniec jest dla człowieka tak ważnym sposobem wyrażania emocji, neurobiolodzy nie poświęcali mu dotąd zbyt wiele uwagi. Dopiero ostatnio, stosując nowoczesne techniki obrazowania czynnościowego, przeprowadzili pierwsze badania mózgu tancerzy amatorskich i zawodowych. Miały one wyjaśnić

m.in., jak tańczący orientują się w przestrzeni, jak udaje im się zsynchronizować kroki z muzyką oraz na jakiej zasadzie w ogóle uczą się złożonych sekwencji uporządkowanych ruchów. Dzięki tym wynikom uzyskaliśmy wgląd w skomplikowane, skoordynowane działanie ośrodków mózgu niezbędne do wykonania nawet najprostszego tanecznego kroku.

Złap rytm

Neurobiolodzy od dawna badali izolowane ruchy, na przykład kiwanie stopą czy stukanie palcami. Dzięki temu wiemy, jak mózg koordynuje takie proste czynności. Podskoki na jednej nodze – nawet bez równoczesnego klepania się po głowie – wymagają od układu czuciowo-ruchowego mózgu obliczeń związanych z orientacją przestrzenną, utrzymaniem równowagi, oceną zamiaru, przebiegiem w czasie i jeszcze wieloma innymi szczegółami. W uproszczeniu obszar zwany tylną korą ciemieniową (położony z tyłu mózgu) przekłada informację wzrokową



na rozkazy ruchowe, wysyłając impulsy dalej, do planujących ruchy obszarów w korze przed-ruchowej i w dodatkowym polu ruchowym [ramka na następnej stronie]. Z nich sygnały biegną do pierwotnej kory ruchowej, a ta wytwarza impulsy nerwowe wysyłane do rdzenia kręgowego i dalej do mięśni, powodujące ich skurcz.

Równocześnie receptory czuciowe w mięśniach przekazują do mózgu informację zwrotną o położeniu ciała. Wędruje ona z rdzenia kręgowego do kory mózgu. Dociera także do obwodów podkorowych w mózdzku (tylnodolnej części mózgu) i w jądrach podstawnych (położonych w głębi mózgu), które m.in. na jej podstawie aktualizują polecenia motoryczne i doprecyzowują je. Nadal jednak nie wiemy, czy te same mechanizmy odpowiadają za kontrolę ruchów tak złożonych i pięknych, jak chociażby kręcenie piruetu.

Poszukując odpowiedzi na to pytanie wraz z Michaeliem J. Martinezem z Univeristy of Texas Health Science Center w San Antonio

przeprowadziliśmy pierwsze czynnościowe badania obrazowe mózgu podczas wykonywania ruchów tanecznych przez miłośników tanga. Skanowaliśmy mózgi pięciu tancerzy i pięciu tancerek w aparacie do emisyjnej tomografii pozytonowej (PET). Metoda ta pozwala na rejestrację zmian przepływu krwi*. Jego zwiększenie w jakimś obszarze mózgu interpretuje się jako oznakę podwyższenia aktywności położonych tam neuronów.

Badani leżeli na plecach w komorze skanera, mieli unieruchomioną głowę, ale mogli poruszać nogami i przesuwać stopy po nachylonej płycie [ramka na stronie 47]. Na początek poprosiliśmy o wykonanie tzw. kwadratu (pochodzącego z salidy, wyjściowego kroku tanga argentyńskiego) do rytmu instrumentalnej muzyki odbieranej przez słuchawki. Następnie wykonywaliśmy skan, gdy badani napinali mięśnie w takt muzyki, nie przesuując nóg. Zarejestrowaliśmy tym samym obraz podstawowej aktywności mózgu wywołanej samym

TANIEC to najbardziej zsynchronizowana forma ludzkiej aktywności. Naukowcy dociekają nie tylko jak, lecz także dlaczego tańczymy.

PÓJŚ W TANGO

W doświadczeniach opisanych w grudniu 2007 roku Gammon M. Earhart i Madeleine E. Hackney z Washington University School of Medicine w St. Louis wykazali, że tańczenie tanga usprawnia ruchowo pacjentów cierpiących na chorobę Parkinsona. Jest ona wynikiem stopniowego niszczenia neuronów w jądrach podstawnych, co blokuje drogę sygnałom skierowanym do kory ruchowej. Objawia się to drżeniem i sztywnością mięśni oraz wielką trudnością w rozpoczęciu zaplanowanego ruchu, czasami wręcz długotrwałym zastygnięciem zamiast jego wykonania.

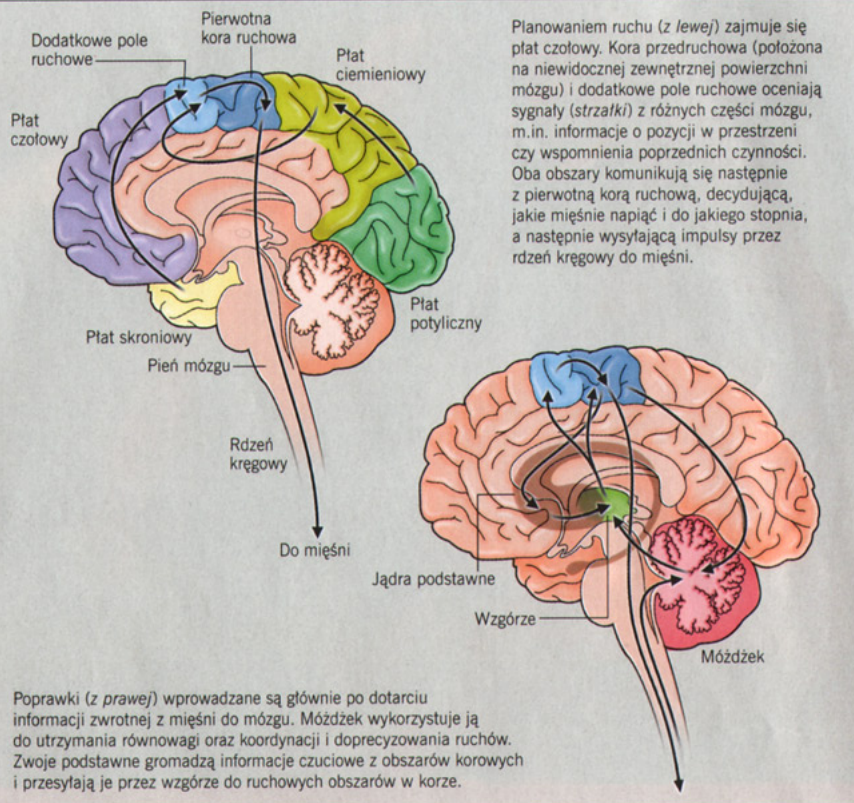
Badacze odkryli, że po 20 lekcjach tanga częstość takich zastygnięć malała. W porównaniu z osobami, które się gimnastykowały, tancerze lepiej utrzymywali równowagę i osiągnęli lepsze wyniki w teście „Wstań i pójdz”, pozwalającym ocenić ryzyko upadku.



PODSTAWY

RUCH W MÓZGU

Aby ustalić, które obszary mózgu kontrolują taniec, badacze muszą najpierw wiedzieć, jak mózg kieruje wykonywaniem świadomych ruchów. Oto bardzo uproszczony schemat.



napinaniem mięśni. Odjęcie jej od aktywności zarejestrowanej podczas „tańca” miało pozwolić na namierzenie obszarów mózgu, które odpowiadają za przemieszczanie nóg w przestrzeni i ich poruszenia według określonego wzorca.

Zgodnie z oczekiwaniami, takie porównanie wyeliminowało większość podstawowych ośrodków ruchowych mózgu. Pozostała jednak część płata ciemieniowego, związana u ludzi i innych ssaków z percepcją przestrzeni i orientacją w niej. W tańcu rozpoznanie przestrzeni odbywa się przede wszystkim kinestetycznie: człowiek zna położenie swojego tułowia i kończyn, nawet mając zamknięte oczy, dzięki tzw. receptorom czucia głębokiego. Rejestrują one obrót każdego stawu oraz napięcie poszczególnych mięśni i przekazują te informacje do mózgu, który na tej podstawie odtwarza szczegółową mapę ułożenia ciała. Zauważyliśmy przede wszystkim dużą aktywność przedklinka, części płata ciemieniowego

przylegającej do obszaru, w którym powstaje kinestetyczna reprezentacja nóg. Uważamy, że przedklinek tworzy mapę kinestetyczną pozwalającą śledzić położenie ciała w przestrzeni i nawigować w niej podczas przemieszczania się. Gdy tańczysz walca czy po prostu idziesz przed siebie, przedklinek „wykreśla” linię twojego ruchu z „egocentrycznego” punktu widzenia – ze środka twojego ciała.

Następnie poprosiliśmy badanych o wykonanie kroków tanga bez podkładu muzycznego, zarejestrowaliśmy obraz aktywności mózgu i porównaliśmy z obrazami uzyskanymi wcześniej podczas markowania tańca. Mieliśmy nadzieję, że – eliminując obszary jednakowo aktywne w obu przypadkach – odkryjemy ośrodki odpowiedzialne za synchronizację ruchów z muzyką. Rzeczywiście na obrazie różnicowym niemal wszystkie ośrodki ruchowe zniknęły. Widoczna pozostała przede wszystkim ta część mózdzka, która odbiera sygnały z rdzenia kręgowego: przednia część robaka.

TAMI TOLPA; PETER McBRIDE Aurora Photos (tancerze)

Chociaż obszar ten był aktywny w obu przypadkach, to jednak przepływ krwi okazał się większy podczas tańczenia w rytm muzyki niż w kompletnej ciszy.

Wyniki te, choć wstępne, przemawiają za hipotezą, że robak mózdzku jest czymś w rodzaju dyrygenta, który nadzoruje informację z wielu obszarów mózgu, by pomagać w koordynowaniu złożonych czynności [patrz: James M. Bower i Lawrence M. Parsons „Mały wielki mózdzek”; *Świat Nauki*, wrzesień 2003]. Mózdzek jako całość spełnia wszystkie kryteria dobrego nerwowego metronomu: odbiera sygnały z korowych obwodów słuchowych, wzrokowych i somatosensorycznych (co jest niezbędne, aby zgrywać ruchy z różnorodnymi bodźcami, od dźwięków, poprzez błyski światła, aż po dźwięk), a także mieści czuciowo-ruchową reprezentację całego ciała i może w dużym stopniu zmieniać tempo swojej aktywności.

Nasza druga analiza nieoczekiwanie rzuciła także nieco światła na naturalną ludzką skłonność do nieświadomego przytupywania w takt muzyki. Porównując obrazy zarejestrowane podczas tańca przy muzyce i w ciszy, odkryliśmy, że jedno z niższych pięter szlaku słuchowego, podkorowa struktura zwana cia-

O AUTORACH



Steven Brown (z lewej) kieruje pracownią NeuroArts na Wydziale Psychologii, Neurobiologii i Biologii Behawioralnej w McMaster University w Ontario. W badaniach skupia się na neurologicznym podłożu ludzkiej komunikacji, w tym mowy, muzyki, gestów, tańca i emocji. **Lawrence M. Parsons** (z prawej) wykłada na Wydziale Psychologii w University of Sheffield w Wielkiej Brytanii, bada zaś czynności mózdzku oraz neurobiologię gry w duecie, dochodzenia do głosu w konwersacji i wnioskowania dedukcyjnego.

łem kolankowatym przyśrodkowym (MGN – medial geniculate nucleus), była aktywna tylko w pierwszym przypadku. Z początku założyliśmy, że wynika to jedynie z obecności bodźca dźwiękowego, czyli muzyki. Ale dodatkowe doświadczenie pozwoliło wykluczyć tę interpretację: kiedy badani słuchali muzyki, nie poruszając nogami, nie wykrywaliśmy zmian w przepływie krwi przez MGN.

Doszliśmy zatem do wniosku, że aktywność MGN wiąże się nie tyle ze słuchaniem, ile właśnie z synchronizacją. To pozwoliło nam sformułować hipotezę, że do nieświadomego zaangażowania w zabawę z rytmem dochodzi, gdy nerwowa informacja słuchowa trafia bezpośrednio do domniemych obwodów słuchowych i taktujących w mózdzku, z pominięciem wyższych ośrodków słuchowych w korze.

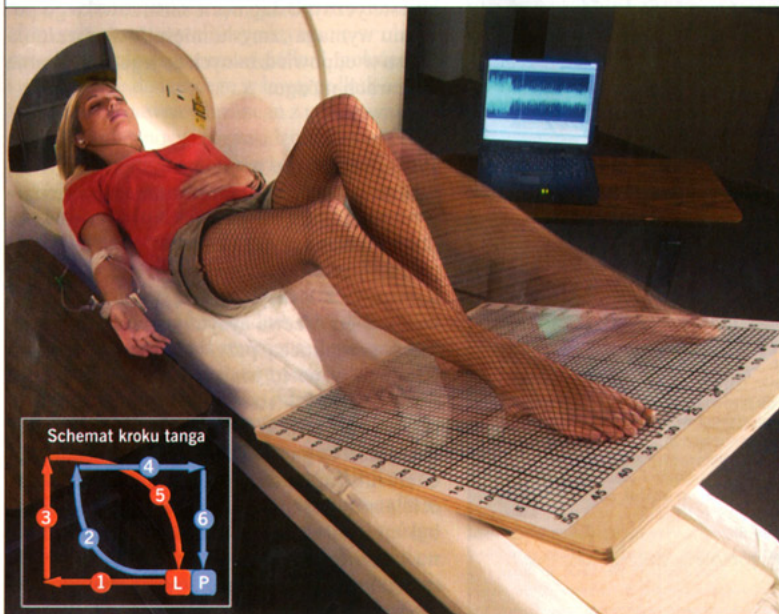
Podpatrując gwiazdy

Inne części mózgu zaangażowane są w obserwowanie i uczenie się ruchów tanecznych. Beatriz Calvo-Merino i Patrick Haggard z University College London oraz ich współpracownicy badali, czy jakieś konkretne obszary mózgu aktywują się, gdy człowiek widzi taniec, który sam doskonale zna. Innymi słowy, czy

SCHEMAT DOŚWIADCZENIA

PRZEBIERANIE NOGAMI

Aby znaleźć obszary mózgu odgrywające ważną rolę w tańcu, naukowcy za pomocą techniki PET uzyskiwali obrazy pracy mózgu amatorów tańczących tango. Badani mieli głowę unieruchomioną w aparacie, ale mogli poruszać nogami po nachylonym podłożu w takt odbieranej przez słuchawki muzyki.



W jednym z tych doświadczeń dokonywano obrazowania w dwóch odmiennych sytuacjach: kiedy tancerze napinali mięśnie w takt muzyki, ale nie poruszali nogami, oraz kiedy wykonywali klasyczny krok tanga zwany kwadratem (*wstawka*), także w rytm melodii. Po odjęciu aktywności mózgu wywołanej kurczeniem się mięśni, „podświetlona” została część płata ciemieniowego zwana przedklinkiem (*dolny skan*).

ZA ZGODĄ STEVENA BROWNA (Brown), ZA ZGODĄ LAWRENCE'A M. PARSONSA (Parsons); osoba w skanerze PET; LUCY READING-IKKANDA (ilustracja); „THE NEURAL BASIS OF DANCE”; STEVEN BROWN I IN., CEREBRAL CORTEX, TOM 16, NR 8, 2006 (obrazy mózgu)



TANEczNA RÓWNOWAGA

Roger W. Simmons z San Diego State University odkrył, że zawodowi tancerze baletu klasycznego odzyskują równowagę po krótszym niż przeciętni ludzie czasie. W miarę jak mózg opanowuje umiejętność tańca, zapewne uczy się także szybciej aktualizować informację z mięśni i stawów.

jakieś obszary mózgu są pobudzane, gdy baletnica ogląda balet, a nie, dajmy na to, capoeirę (afrobrazylijską sztukę walki stylizowaną na taniec, wykonywaną przy muzyce).

Za pomocą czynnościowego rezonansu magnetycznego (fMRI) zbadano więc grupę tancerzy baletowych, adeptów capoeiry oraz osób nie tańczących. Wszyscy oglądali trzysekundowe nieme nagrania baletu lub capoeiry. Okazało się, że własne doświadczenia wyrażają się głównie w obrazie kory przedruchowej; tam aktywność wzrastała tylko podczas oglądania tego, co badany sam umiał wykonać. Kolejne eksperymenty wskazały możliwe wyjaśnienie tego zjawiska. Naukowcy odkryli, że gdy ludzie obserwują innych wykonujących proste ruchy, aktywują się obszary kory przedruchowej zaangażowane w ich realizację, tak jakby trenowały je „na sucho”. To zapewne wspomaga uczenie się i rozumienie nowych czynności.

W następnych badaniach Calvo-Merino wraz ze swoim zespołem zarejestrowała obrazy mózgowi zawodowych tancerek i tancerzy podczas oglądania mężczyzn i kobiet wykonujących typowe dla swojej płci kroki baletowe. Także tym razem największą aktywność kory przedruchowej odnotowano u panów obser-

wujących typowo męskie figury i u pań oglądających te charakterystyczne dla kobiet.

Zdolność do przewięczenia sekwencji ruchów w wyobraźni jest istotna w ich opanowaniu. W 2006 roku zespół Emily S. Cross i Scotta T. Graftona z Dartmouth College postanowił sprawdzić, czy obwody imitujące w mózgu aktywują się podczas nauki. W ciągu trwającego kilka tygodni eksperymentu grupa tancerzy uczyła się skomplikowanego nowoczesnego tańca i co 7 dni była badana za pomocą fMRI. W czasie neuroobrazowania każdy oglądał pięciosekundowy film ukazujący albo kroki, których właśnie się uczył, albo zupełnie inne. Po każdym filmie tancerz oceniał, jak dobrze potrafiłby powtórzyć obejrzaną sekwencję. Wyniki potwierdziły informację, które wcześniej otrzymała Calvo-Merino z zespołem. Aktywność w korze przedruchowej wzrastała w czasie nauki i dobrze korelowała z samoocenną zdolności odtęczenia danej sekwencji.

Z obu doświadczeń wynika, że uczenie się złożonych czynności aktywuje nie tylko bezpośrednio układ motoryczny mózgu niezbędny do kontroli napięcia mięśni, lecz także system planowania ruchów, dysponujący informacjami o zdolności ciała do wykonania danego manewru. Im większe doświadczenie w zakresie danej sekwencji ruchowej, tym łatwiej wyobrazić sobie jej przebieg, a prawdopodobnie także – wykonać.

Badania nasze pokazują jednak, że zdolność do wyobrażenia sobie sekwencji tanecznej – czy serwisu tenisowego albo uderzenia golfowego – nie ma charakteru wyłącznie wzrokowego, jak mogłoby się wydawać, ale również kinestetyczny. Osiągnięcie mistrzowskiego poziomu wymaga „zmysłu mięśni”, wyobrażenia ruchu w odpowiedzialnych za jego planowanie obszarach mózgu.

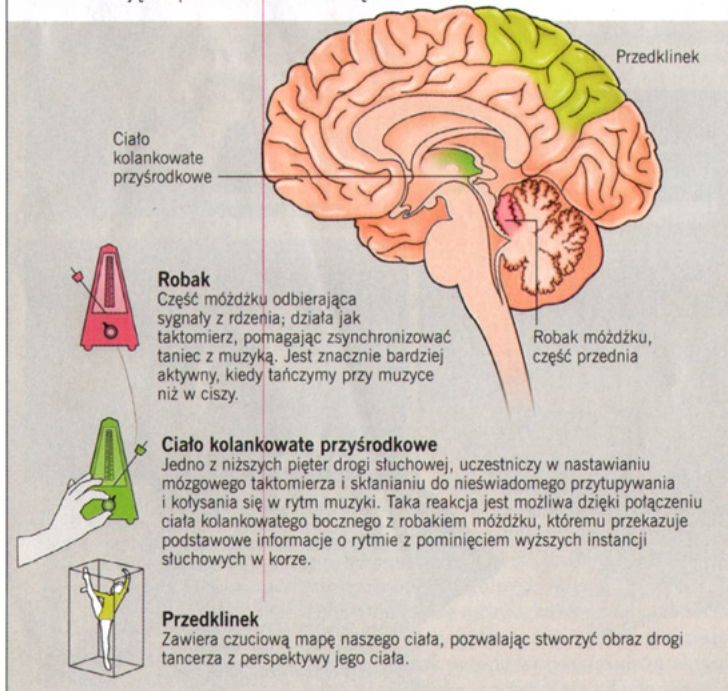
Od grzechotek do języka

Prawdopodobnie pytaniem najbardziej nurtującym neurobiologa jest to, dlaczego ludzie w ogóle tańczą. Z pewnością aktywność ta jest blisko związana z muzyką; w wielu przypadkach tańczący generują dźwięki. Azteccy danczantes z Meksyku noszą na nogach ozdoby z nasion drzewa ayoyotl, tzw. chachayotes, które grzechoczą przy każdym poruszeniu. Również w wielu innych kulturach tancerze zdobią ciało lub strój hałaśliwymi przedmiotami – od paciorków po specjalne podeszwy w butach. Często także klaszczą, strzelają palcami lub tupią. Stworzyliśmy więc hipotezę „cielesnej perkusji”, zgodnie z którą taniec był metodą wytwarzania dźwięków, a granie na instrumentach, zwłaszcza perkusyjnych, ewoluowało równoległe z nim jako komplementarny sposób generowania rytmu. Pierw-

WYNIKI

UMYSŁOWA CHOREOGRAFIA

Autorzy wskazali obszary mózgu, które podczas tańca odgrywają ważną rolę, choć nie kontrolują bezpośrednio skurczu mięśni.





AZTECCY DANZANTES w Meksyku noszą na nogach ozdoby obszyte nasionami chachayotes (szczegół) grzechoczącymi przy każdym kroku. W wielu kulturach tancerze dekorują ciało lub strój przedmiotami wydającymi dźwięki. Taniec i muzyka prawdopodobnie powstawały równocześnie jako sposoby generowania rytmu. W przeciwieństwie do muzyki taniec ma ogromny potencjał reprezentacyjny i naśladowczy, co sugeruje, że mógł być wczesną formą języka.

sze instrumenty perkusyjne mogły zresztą być elementami tanecznych strojów, jak azteckie chachayotes.

Taniec jednak, inaczej niż muzyka, daje ogromne możliwości naśladowania i przedstawiania. Mógłby zatem być poprzednikiem mowy. W pewnym sensie jest przecież rodzajem wyrazistego języka gestów. Warto wspomnieć, że podczas wszystkich naszych doświadczeń ruchowych obserwowaliśmy aktywację w obszarze płata czołowego prawej półkuli, położonym symetrycznie do leżącego w lewej półkuli ośrodka Broki, od dawna wiązane z generowaniem mowy. Niedawno przeprowadzone badania wykazały, że zawiera ono także reprezentację rąk.

Wyniki te wspierają jedną z teorii ewolucji języka, zgodnie z którą był on początkowo systemem gestów, zanim przybrał formę artikulowanych dźwięków. Nasze badania jako jedno z pierwszych wykazały zaś, że taniec aktywuje prawopółkulowy odpowiednik ośrodka Broki, co przemawia za tezą uznającą taniec za formę komunikacji reprezentacyjnej.

Jaką rolę w tańcu może odgrywać ten odpowiednik ośrodka Broki? Jak się okazuje, nie ma bezpośredniego związku z mową. W 2003 roku zespół Marca Iacoboniego z University of California w Los Angeles za pomocą magnetycznej przeszczaskowej stymulacji mózgu zakłócał działanie ośrodka Broki lub jego drugostronnego odpowiednika. W obu przypadkach utrudniało to odtworzenie oglądanych

ruchów palców prawej ręki. Grupa Iacoboniego wynioskowała, że obszar ten odpowiada za naśladownictwo, kluczowe dla uczenia się przez podpatrywanie i dla rozwoju kultury. My mamy inną hipotezę. Chociaż w naszych badaniach nie chodziło o imitację, to jednak i tańczenie tanga, i powtórzenie ruchu palców wymaga od mózgu odtworzenia w odpowiedniej kolejności serii wzajemnie powiązanych ruchów. Podczas gdy ośrodek Broki pomaga złożyć słowa i frazy w łańcuch wypowiedzi, jego odpowiednik może służyć do łączenia elementarnych ruchów w ich płynne sekwencje.

Mamy nadzieję, że przyszłe badania neuroobrazujące dadzą nam lepszy wgląd w mózgo-we mechanizmy dotyczące tańca i jego ewolucji, tak ściśle związane z rozwojem mowy i muzyki. Postrzegamy bowiem taniec jako połączenie reprezentacyjnej komunikatywności języka i rytmiczności muzyki. Dzięki temu możemy nie tylko opowiadać całe historie ruchami ciała, lecz także robić to w synchronizacji z innymi ludźmi, budując i wzmacniając więzy społeczne.

* To, co obrazuje PET, zależy od zastosowanego znacznika. Autorzy w swoich badaniach używali wody zawierającej izotop tlenu ¹⁵O. Można jednak stosować rozmaite inne znaczniki, na przykład związki podlegające wychwytywi i przemianom metabolicznym w aktywnych komórkach. Daje to o wiele większe możliwości obrazowania niż fMRI, które w wariantcie najczęściej stosowanym w badaniach mózgu rzeczywiście ogranicza się do wykazywania zmian przepływu krwi w poszczególnych obszarach.

JEŚLI CHCESZ WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Seeing or Doing? Influence of Visual and Motor Familiarity in Action Observation. Beatriz Calvo-Merino, Daniel E. Glaser, Julie Grèzes, Richard E. Passingham i Patrick Haggard; *Current Biology*, tom 16, nr 19, s. 1905–1910; 10 X 2006.

The Neural Basis of Human Dance. Steven Brown, Michael J. Martinez i Lawrence M. Parsons; *Cerebral Cortex*, tom 16, nr 8, s. 1157–1167; VIII/2006.

Building a Motor Simulation De Novo: Observation of Dance by Dancers. Emily S. Cross, Antonia F. de C. Hamilton i Scott T. Grafton; *Neuroimage*, tom 31, nr 3, s. 1257–1267; 1 VII 2006.

Action Observation and Acquired Motor Skills: An fMRI Study with Expert Dancers. Beatriz Calvo-Merino, Daniel E. Glaser, Julie Grèzes, Richard E. Passingham i Patrick Haggard; *Cerebral Cortex*, tom 15, nr 8, s. 1243–1249; VIII/2005.

KEVIN FLEMING Corbis (tańczący); DAVID McNEW Getty Images (szczegół)