

## Abstract

The functional organisation of the human brain is influenced both by innate mechanisms and individual experience. Spoken language processing, an evolutionary old skill, occurs in a neural network universal for different languages. On the other hand, reading is a skill that appeared in human evolution quite late and thus is an excellent example of neural plasticity connected to learning a new skill. Additionally, reading can be performed using not only vision but also touch. Braille alphabet is a script used by the blind population for reading using the sense of touch. Blindness enables us to see which aspects of the neuronal organisation are fixed and which change with altered experience.

The current thesis focuses on the plastic changes in the organisation of the neural language network following visual deprivation. Three studies were conducted. The first focused on mapping the spoken and reading neural networks in the blind population and comparing them to the organisation of language processing in the sighted. Speech-reading convergence – a phenomenon thought to be universal in print reading was also tested for the first time in the blind population. The results of Study 1 revealed that speech-reading convergence was present in the blind subjects, but in different areas. It was found in the ventral occipitotemporal cortex (vOT), instead of the perisylvian regions. In the blind group, the vOT was active not only during reading, as in the sighted, but also during speech processing. The temporal cortex, which is involved in phonological processing in the sighted population, was disengaged during Braille reading.

Thus, in Study 2, the vOT engagement in phonological processing was studied in the blind and the sighted. The blind subjects activated the left vOT during auditory phonological processing to a larger extent than the sighted subjects. However, this activation seemed not to be phonology specific. In the blind, the left vOT presented a similar activation during linguistic processing as other regions of the language network. The results of the second experiment suggest that the vOT plays a more general role in language processing in the blind population due to changed input to this structure arising from visual deprivation.

Study 3 tested the differences in the cognitive correlates of print and Braille reading. Additionally, the relationship between literacy-related skills and age was studied using a cross-sectional design. The results of the third experiment indicate that the change in the modality used for reading introduces some alterations to the cognitive mechanisms of reading. Limits of the tactile modality - lower processing speed and the sequential nature of the processing augment the importance of the haptic factors for Braille reading and may cause minor deficits in some domains. On the other hand, different demands induced by the changed modality strengthen phonological skills and short-term memory. Yet, the developmental trajectory of literacy skills remains unchanged in the blind, as there were no differences in the correlations with age between the groups.

Research presented in the thesis demonstrates that visual deprivation influences the functional organisation of both evolutionary old (spoken language) and newly learned skills (reading) on the neural and behavioural levels. Results underline the importance of individual experience for the organisation of specialised neural networks and are in line with the pluripotent cortex hypothesis of neural plasticity.

## Streszczenie

Na funkcjonalną organizację ludzkiego mózgu wpływ mają zarówno wrodzone mechanizmy rozwojowe, jak i indywidualne doświadczenie. Przetwarzanie języka mówionego, umiejętność, która w toku ewolucji gatunku ludzkiego pojawiła się dość wcześnie, angażuje sieć neuronalną, która jest uniwersalna dla użytkowników bardzo zróżnicowanych języków. Język można przetwarzać także w formie pisanej. Czytanie jest zdolnością poznawczą stosunkowo nową w ludzkiej filogenezie, pozwala więc na obserwację neuronalnej plastyczności związanej z nabywaniem nowych umiejętności. Ponadto, czytanie jest możliwe nie tylko z wykorzystaniem zmysłu wzroku, lecz także za pomocą dotyku. Alfabet Braille'a jest systemem pisma używanym przez osoby niewidome do czytania dotykowego. Badanie osób niewidomych umożliwia sprawdzenie, które aspekty organizacji funkcjonalnej mózgu są stałe, a które ulegają zmianom pod wpływem indywidualnego doświadczenia. Niniejsza praca skupia się na plastycznych zmianach w organizacji mózgowej sieci przetwarzającej język wywołanych utratą wzroku. Przeprowadzono trzy badania. Pierwsze miało na celu zbadanie organizacji sieci językowej przetwarzającej mowę i pismo u osób niewidomych oraz porównanie jej do organizacji sieci językowej u osób widzących. Pokrywanie się sieci przetwarzającej język mówiony oraz pisany - zjawisko uważane za uniwersalne dla czytania wzrokowego, zostało po raz pierwszy zbadane w populacji niewidomej. Wykazano, że pokrywanie się sieci związanej z językiem mówionym i pisanym można zaobserwować również u osób niewidomych, jednak w innych obszarach niż u osób widzących. Pokazano, że to brzuszna kora potyliczno-skroniowa jest miejscem przetwarzającym zarówno mowę, jak i pismo u osób niewidomych, zamiast obszarów perisylnialnych, w których obserwuje się to zjawisko u osób widzących. Obszary skroniowe, które u osób widzących wiążane są z przetwarzaniem fonologicznym, nie były zaangażowane w równym stopniu w czytanie brajlem, co w czytanie wzrokowe.

W związku z tym, drugie badanie skupiło się na analizie zaangażowania brzusznej kory potyliczno-skroniowej w przetwarzanie fonologiczne bodźców słuchowych u osób niewidomych i widzących. Mimo iż, stwierdzono większe zaangażowanie tej struktury w przetwarzanie fonologiczne u osób niewidomych niż widzących, aktywacja nie okazała się być specyficznie związana z przetwarzaniem fonologicznym. U osób niewidomych, lewa brzuszna kora potyliczno-skroniowa aktywowana była w czasie przetwarzania językowego w sposób podobny do innych obszarów, klasycznie zaliczanych do sieci językowej. Wyniki drugiego badania sugerują, że u osób niewidomych brzuszna kora potyliczno-skroniowa pełni w przetwarzaniu językowym rolę mniej specyficznie związaną z czytaniem niż u osób widzących. Może to być związane ze zmianą natury informacji sensorycznej, która dociera do tego obszaru wskutek wczesnej utraty wzroku.

Badanie trzecie analizowało różnice w poznawczych korelatach czytania wzrokowego i dotykowego. Dodatkowo, związek umiejętności istotnych dla czytania z wiekiem został zbadany w schemacie badania poprzecznego. Wyniki badania trzeciego wskazują, że zmiana zmysłu używanego do czytania wprowadza pewne zmiany do poznawczych mechanizmów związanych z tym procesem. Ograniczenia związane z wolniejszym tempem oraz sekwencyjną naturą przetwarzania dotykowego podnoszą

znaczenie czynników dotykowych dla czytania brajlem, a także mogą powodować nieznaczne deficyty w innych obszarach. Z drugiej strony, zmiana modalności zmienia wymagania nakładane na system poznawczy przetwarzający pismo, co może prowadzić do podniesienia poziomu umiejętności fonologicznych oraz wzmocnienia pamięci krótkotrwałej. Nie znaleziono różnic międzygrupowych w korelacjach między umiejętnościami związanymi z czytaniem a wiekiem, co sugeruje, że trajektoria rozwoju tych umiejętności pozostaje niezmienną u osób niewidomych.

Badania przedstawione w niniejszej pracy pokazują, że wczesna utrata wzroku wpływa zarówno na organizację funkcjonalnej sieci mózgowej, jak i behawioralną charakterystykę umiejętności filogenetycznie starych (przetwarzanie mowy) oraz nowych (czytanie). Wyniki opisane w rozprawie podkreślają znaczenie indywidualnego doświadczenia na organizację wyspecjalizowanych sieci neuronalnych i są zgodne z hipotezą o wielopotencjalności kory, dotyczącą między-zmysłowej plastyczności mózgu.