

Alicja M. Olszewska

**Piano training as a model for studying
the dynamics of experience-dependent neuroplasticity**

PhD Thesis

Completed in the Laboratory of Brain Imaging
of the Nencki Institute of Experimental Biology
Polish Academy of Sciences

SUPERVISOR

Prof. Artur Marchewka, Ph.D., D.Sc.

Auxiliary supervisor

Dr. Aleksandra M. Herman, Ph.D., D.Sc.

Warsaw, 2024

This research was funded by the National Science Center Grant 2018/30/E/HS6/00206

Streszczenie w języku polskim

Nabywanie nowych umiejętności, takich jak gra na pianinie, wiąże się z procesami plastyczności mózgu, prowadzącymi do jego funkcjonalnej reorganizacji. Dotychczasowe badania sugerują, że nauka gry na instrumencie wpływa na przetwarzanie dźwięków poprzez adaptacje w sieci słuchowej mózgu, oraz może prowadzić do zmian w sieci motorycznej i obszarach integracji słuchowo-ruchowej. Jednakże wnioski te opierają się głównie na badaniach przekrojowych lub krótkich badaniach podłużnych i analizach typu "przed-po", co uniemożliwia badanie dynamicznej natury neuroplastyczności mózgu.

Niniejszy projekt unikatowo łączył podejścia podłużne i przekrojowe aby zbadać zmiany aktywności mózgu u początkujących dorosłych pianistów uczących się gry przez 26 tygodni. Dzięki wielokrotnym pomiarom podczas treningu możliwe było przybliżenie przebiegu tych zmian w czasie. Dodatkowo, naturalistyczne podejście do procesu nauki oraz zadań eksperymentalnych i liczne warunki kontrolne pomogły wyizolować efekty swoiste dla procesu uczenia się.

Badanie 1 skupiało się na zmianach w przetwarzaniu słuchowym, porównując początkujących pianistów z pasywną grupą kontrolną. Wyniki zadania w skanerze rezonansu magnetycznego pokazały brak wpływu treningu na neuronalne podstawy słuchania muzyki. W behawioralnym zadaniu pamięci roboczej (tonalnej), nie zaobserwowano efektu przeniesienia z treningu muzycznego na zadanie poznawcze związane z pamięcią tonalną. Ze względu na brak statystycznie istotnych efektów analiz w czasie, nie można omówić dynamiki zmian związanych z treningiem w zakresie przetwarzania słuchowego.

Badanie 2 miało na celu zrozumienie adaptacji związanych z treningiem muzycznym w obrębie układu motorycznego i interakcji słuchowo-ruchowych w grupie początkujących pianistów. Pierwsze zadanie polegało na sekwencyjnym wciskaniu klawiszy na pianinie w trzech warunkach o rosnących wymaganiach koordynacji oburęcznej. Wykazało ono złożone i dynamiczne zmiany aktywności mózgu w sieci motorycznej korowo-mózdkowej i obszarach integracji słuchowo-ruchowej. Zmiany te były zależne od etapu treningu i wymagań zadania. Drugie zadanie polegało na grze na pianinie w naturalny sposób. Jego wyniki wykazały spadek aktywności mózgu w sieciach motorycznych korowo-mózdkowej i korowo-prążkowiowej, oraz w obszarach integracji słuchowo-ruchowej. Wskazuje to na optymalizację procesów wspierających

wykonywanie sekwencji ruchów, i przesunięcie zaangażowania neuronalnego z obszarów odpowiedzialnych za uwagę przestrzenną na zautomatyzowany ruch, zgodnie z badaniami nad uczeniem się sekwencji ruchowych.

Badanie 3 łączyło podejścia podłużne i przekrojowe porównując aktywność mózgu początkujących pianistów przed i po treningu z wykwalifikowanymi muzykami. Zadanie polegające na naciskaniu klawiszy pianina pokazało zwiększoną aktywność w obszarach integracji słuchowo-ruchowej u początkujących pianistów przed treningiem. Wyniki sugerują, że po treningu podobne sieci mózgowe leżały u podstaw wykonywania zadania w obu grupach, ponieważ nie było już istotnych różnic w aktywności mózgu pomiędzy grupami. Jednakże w zadaniu pamięci tonalnej muzycy osiągnęli lepsze wyniki niż początkujący zarówno przed, jak i po treningu. To sugeruje, że trening muzyczny nie prowadzi do efektu przeniesienia na domenę poznawczą związaną z przetwarzaniem dźwięków.

Przedstawione wyniki niezależnych eksperymentów pokazują, że nauka gry na pianinie skutkuje funkcjonalną reorganizacją mózgu głównie w sieci motorycznej i obszarach integracji słuchowo-ruchowej, przy ograniczonym wpływie na przetwarzanie słuchowe. Obszary motoryczne i integracji słuchowo-ruchowej wykazują znaczne i dynamiczne adaptacje w odpowiedzi na trening. Obserwowana złożoność adaptacji podkreśla wagę naturalistycznego podejścia do treningu w warunkach eksperymentalnych i projektów podłużnych z wielokrotnymi pomiarami, aby uchwycić złożoność plastyczności mózgu podczas nauki umiejętności, które wymagają skoordynowanej aktywności wielu układów mózgu.

Słowa kluczowe:

neuromuzykologia, neuroplastyczność, integracja słuchowo-ruchowa, trening muzyczny, nauka gry na instrumencie muzycznym

Abstract

Training-related neuroplasticity is a phenomenon where the brain undergoes reorganisation to support the acquisition of a new skill. Existing research suggests that musical training influences how the brain processes sound through adaptations in the auditory network, and might lead to adaptations in the motor network and auditory-motor integration. However, many studies rely on cross-sectional designs, or longitudinal approaches limited to "before-after" designs, potentially missing the dynamic nature of the neuroplastic processes hinted at by studies on motor learning. Finally, most research has focused only on auditory adaptations.

The current project combines longitudinal and cross-sectional approaches in three studies to investigate the changes in brain activation of novice adult pianists undergoing a naturalistic piano training for twenty-six weeks. By employing multiple measurements during training, it approximates the time-course of these changes. Additionally, the ecological tasks and multiple control measures help to isolate training-related effects from other phenomena such as task repetition.

Study 1 focuses on changes in auditory processing by comparing the novice pianists with a passive control group. Using a music listening fMRI task, it shows no effects of training on the neural correlates of listening to music. In a tonal working memory behavioural task, no transfer effects occurred to a cognitive task of tonal working memory during piano training. Due to a lack of significant effects in time, it is impossible to discuss the dynamics of training-related changes in the auditory domain.

In Study 2, I investigate training-related adaptations within the motor system and auditory-motor interactions with the use of two fMRI tasks in the group of novice pianists. The first task involves sequential pressing of keys on an MRI-compatible piano in three conditions of increasing bimanual demands. It shows complex and dynamic training-related changes in brain activation in the cortico-cerebellar motor network and auditory-motor integration areas, depending on the stage of the training and task demands. The second fMRI task encompasses the naturalistic music playing paradigm. Its outcomes include overall decreases in brain activation in the cortico-cerebellar and cortico-striatal motor networks, as well as auditory-motor integrative

areas. These findings are indicative of an optimisation processes and shift from spatial attention to automated movement, in line with studies on motor learning.

Study 3 combines longitudinal and cross-sectional approaches to compare novice pianists before and after training with trained musicians. The piano key pressing fMRI task shows increased activation in auditory-motor integrative areas for the novices before training. After training, the findings suggest that similar brain networks underlie task execution regardless of expertise, as there are no more differences between the groups. However, musicians outperformed novices both before and after training in the tonal working memory task, suggesting no transfer effects occur from musical training to a cognitive domain related to auditory processing.

These three studies show that the neuroplastic processes related to piano training affect mostly the motor networks and auditory-motor integration with limited impact on auditory processing. The motor and auditory-motor integration networks demonstrate substantial and dynamic adaptations in response to piano training. The complexity of the observed adaptations emphasises the importance of ecologically valid training paradigms and longitudinal designs with multiple measurements to capture the intricacies of brain plasticity during real-world skill learning, which relies on coordinated involvement of multiple brain systems.

Keywords:

neuromusicology, neuroplasticity, auditory-motor integration, musical training, learning to play a musical instrument