



n° 425 – 03 April 2025

[Cogn Neurodyn](#) 2025 Dec;19(1):6 Epub 2025 Jan 3

EEG-based cross-subject passive music pitch perception using deep learning models

[Meng Q, Tian L, Liu G, Zhang X](#)

School of Integrated Circuits, Shandong University, 1500 Shunhua Road, Jinan, Shandong 250101 China

Pitch plays an essential role in music perception and forms the fundamental component of melodic interpretation. However, objectively detecting and decoding brain responses to musical pitch perception across subjects remains to be explored. In this study, we employed electroencephalography (EEG) as an objective measure to obtain the neural responses of musical pitch perception. The EEG signals from 34 subjects under hearing violin sounds at pitches G3 and B6 were collected with an efficient passive Go/No-Go paradigm. The lightweight modified EEGNet model was proposed for EEG-based pitch classification. Specifically, within-subject modeling with the modified EEGNet model was performed to construct individually optimized models. Subsequently, based on the within-subject model pool, a classifier ensemble (CE) method was adopted to construct the cross-subject model. Additionally, we analyzed the optimal time window of brain decoding for pitch perception in the EEG data and discussed the interpretability of these models. The experiment results show that the modified EEGNet model achieved an average classification accuracy of 77% for within-subject modeling, significantly outperforming other compared methods. Meanwhile, the proposed CE method achieved an average accuracy of 74% for cross-subject modeling, significantly exceeding the chance-level accuracy of 50%. Furthermore, we found that the optimal EEG data window for the pitch perception lies 0.4 to 0.9 s onset. These promising results demonstrate that the proposed methods can be effectively used in the objective assessment of pitch perception and have generalization ability in cross-subject modeling.

L'altezza (pitch) svolge un ruolo essenziale nella percezione musicale e costituisce la componente fondamentale dell'interpretazione melodica. Tuttavia, la rilevazione e la decodifica oggettiva delle risposte cerebrali alla percezione dell'altezza musicale nei diversi soggetti non è ancora stata esplorata. In questo studio gli Autori hanno utilizzato l'elettroencefalogramma (EEG) come misura oggettiva per ottenere le risposte neurali della percezione dell'altezza musicale. I segnali EEG di 34 soggetti che

ascoltavano suoni di violino alle altezze G3 e B6 sono stati raccolti con un efficiente paradigma Go/No-Go passivo. Per la classificazione dell'altezza basata sull'EEG è stato proposto un modello EEGNet leggero e modificato. In particolare, è stata eseguita una modellazione intra-soggetto con il modello EEGNet modificato per costruire modelli ottimizzati individualmente. Successivamente, sulla base del pool di modelli intra-soggetto, è stato adottato un metodo di ensemble di classificatori (CE) per costruire il modello inter-soggetti. Inoltre, gli Autori hanno analizzato la finestra temporale ottimale di decodifica cerebrale per la percezione del pitch nei dati EEG e hanno discusso l'interpretabilità di questi modelli. I risultati degli esperimenti mostrano che il modello EEGNet modificato ha raggiunto un'accuratezza media di classificazione del 77% per la modellazione intra-soggetto, superando in modo significativo gli altri metodi confrontati. Nel frattempo, il metodo CE proposto ha raggiunto un'accuratezza media del 74% per la modellazione inter-soggetti, superando significativamente l'accuratezza del livello casuale del 50%. Gli Autori hanno poi scoperto che la finestra di dati EEG ottimale per la percezione del pitch è compresa tra 0,4 e 0,9 s di onset. Questi risultati promettenti dimostrano che i metodi proposti possono essere utilizzati efficacemente nella valutazione oggettiva della percezione del pitch e hanno una capacità di generalizzazione nella modellazione tra soggetti.

Hum Brain Mapp 2025 Apr 1;46(5):e70199

Temporal structure of music improves the cortical encoding of speech

Fernández-Merino L^{1,2}, Lizarazu M¹, Molinaro N^{1,3}, Kalashnikova M^{1,3}

1 Basque Center on Cognition, Brain and Language, San Sebastian, Spain; 2 University of the Basque Country (Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea), San Sebastian, Spain; 3 Ikerbasque, Basque Foundation for Science, Bilbao, Spain

Long- and short-term musical training has been proposed to improve the efficiency of cortical tracking of speech, which refers to the synchronization of brain oscillations and the acoustic temporal structure of external stimuli. Here, we study how musical sequences with different rhythm structures can guide the temporal dynamics of auditory oscillations synchronized with the speech envelope. For this purpose, we investigated the effects of prior exposure to rhythmically structured musical sequences on cortical tracking of speech in Basque-Spanish bilingual adults (Experiment 1; N = 33, 22 female, Mean age = 25 years). We presented participants with sentences in Basque and Spanish preceded by musical sequences that differed in their rhythmical structure. The rhythmical structure of the musical sequences was created to (1) reflect and match the syllabic structure of the sentences, (2) reflect a regular rhythm but not match the syllabic structure of the sentences, and (3) follow an irregular rhythm. Participants' brain responses were recorded using electroencephalography, and speech-brain coherence in the delta and theta bands was calculated. Results showed stronger speech-brain coherence in the delta band in the first condition, but only for Spanish stimuli. A follow-up experiment including a subset of the initial sample (Experiment 2; N = 20) was conducted to investigate whether language-specific stimuli properties influenced the Basque results. Similar to Experiment 1, we found stronger speech-brain coherence in the delta and theta bands when the sentences were preceded by musical sequences that matched their syllabic structure. These results suggest that not only the regularity in music is crucial for influencing cortical tracking of speech, but so is adjusting this regularity to optimally reflect the rhythmic characteristics of listeners' native language(s). Despite finding some language-specific differences across frequencies, we showed that rhythm, inherent in musical signals, guides the adaptation of brain oscillations, by adapting the temporal dynamics of the oscillatory activity to the rhythmic scaffolding of the musical signal.

L'addestramento musicale a lungo e breve termine è stato proposto per migliorare l'efficienza del tracking corticale del linguaggio, che si riferisce alla sincronizzazione delle oscillazioni cerebrali e della struttura temporale acustica degli stimoli esterni. Qui gli Autori esaminano come sequenze musicali con diverse strutture ritmiche possano guidare la dinamica temporale delle oscillazioni uditive sincronizzate con l'involuppo del linguaggio. A tal fine, studiano gli effetti di una precedente esposizione a sequenze musicali strutturate ritmicamente sul tracciamento corticale del linguaggio in adulti bilingui basco-spagnoli (Esperimento 1; N = 33, 22 donne, età media = 25 anni). Gli Autori hanno presentato ai partecipanti frasi in basco e spagnolo precedute da sequenze musicali che differivano per la loro struttura ritmica. La struttura ritmica delle sequenze musicali è stata creata in modo da: (1) riflettere e

corrispondere alla struttura sillabica delle frasi, (2) riflettere un ritmo regolare ma non corrispondere alla struttura sillabica delle frasi e (3) seguire un ritmo irregolare. Le risposte cerebrali dei partecipanti sono state registrate con l'elettroencefalogramma ed è stata calcolata la coerenza tra linguaggio e cervello nelle bande delta e theta. I risultati hanno mostrato una maggiore coerenza fonetica nella banda delta nella prima condizione, ma solo per gli stimoli in spagnolo. È stato condotto un esperimento di follow-up con un sottoinsieme del campione iniziale (Esperimento 2; N = 20) per verificare se le proprietà degli stimoli specifici della lingua influenzassero i risultati del basco. Analogamente all'Esperimento 1, gli Autori hanno riscontrato una maggiore coerenza linguaggio-cervello nelle bande delta e theta quando le frasi erano precedute da sequenze musicali che corrispondevano alla loro struttura sillabica. Questi risultati suggeriscono la crucialità non solo della regolarità della musica per influenzare il tracciamento corticale del linguaggio, ma anche dell'adattamento di questa regolarità, per riflettere in modo ottimale le caratteristiche ritmiche della lingua madre degli ascoltatori. Nonostante il riscontro di alcune differenze specifiche della lingua tra le frequenze, gli Autori hanno dimostrato che il ritmo, insito nei segnali musicali, guida l'adattamento delle oscillazioni cerebrali, adeguando le dinamiche temporali dell'attività oscillatoria all'impalcatura ritmica del segnale musicale.

Review Nat Rev Neurosci 2025 Mar 18

Musical neurodynamics

Harding EE^{1,2}, Kim JC³, Demos AP⁴, Roman IR⁵, Tichko P³, Palmer C⁶, Large EW^{3,7}

1 Department of Otorhinolaryngology/Head and Neck Surgery, University Medical Center Groningen, University of Groningen, Groningen, The Netherlands; 2 Center for Language and Cognition, University of Groningen, Groningen, The Netherlands; 3 Department of Psychological Sciences, University of Connecticut, Storrs, CT, USA; 4 Department of Psychology, University of Illinois Chicago, Chicago, IL, USA; 5 School of Electronic Engineering and Computer Science, Queen Mary University of London, London, UK; 6 Department of Psychology, McGill University, Montreal, Quebec, Canada; 7 Department of Physics, University of Connecticut, Storrs, CT, USA. edward.large@uconn.edu

A great deal of research in the neuroscience of music suggests that neural oscillations synchronize with musical stimuli. Although neural synchronization is a well-studied mechanism underpinning expectation, it has even more far-reaching implications for music. In this Perspective, we survey the literature on the neuroscience of music, including pitch, harmony, melody, tonality, rhythm, metre, groove and affect. We describe how fundamental dynamical principles based on known neural mechanisms can explain basic aspects of music perception and performance, as summarized in neural resonance theory. Building on principles such as resonance, stability, attunement and strong anticipation, we propose that people anticipate musical events not through predictive neural models, but because brain-body dynamics physically embody musical structure. The interaction of certain kinds of sounds with ongoing pattern-forming dynamics results in patterns of perception, action and coordination that we collectively experience as music. Statistically universal structures may have arisen in music because they correspond to stable states of complex, pattern-forming dynamical systems. This analysis of empirical findings from the perspective of neurodynamic principles sheds new light on the neuroscience of music and what makes music powerful.

Molte ricerche nelle neuroscienze della musica suggeriscono che le oscillazioni neurali si sincronizzano con gli stimoli musicali. Sebbene la sincronizzazione neurale sia un meccanismo ben studiato alla base dell'aspettativa, essa ha implicazioni ancora più ampie per la musica. In questa prospettiva, gli Autori esaminano la letteratura sulle neuroscienze della musica, tra cui l'intonazione, l'armonia, la melodia, la tonalità, il ritmo, il metro, il groove e l'affetto. Descrivono come i principi dinamici fondamentali, basati su meccanismi neurali noti, possano spiegare gli aspetti fondamentali della percezione e dell'esecuzione musicale, riassunti nella teoria della risonanza neurale. Gli Autori si basano su principi quali risonanza, stabilità, sintonia e forte anticipazione e propongono che le persone anticipino gli eventi musicali non attraverso modelli neurali predittivi, ma per il fatto che le dinamiche cervello-corpo incarnano fisicamente la struttura musicale. L'interazione di certi tipi di suoni con dinamiche di formazione di modelli in corso dà luogo a schemi di percezione, azione e coordinazione che

sperimentiamo collettivamente come musica. Le strutture statisticamente universali possono essere sorte nella musica perché corrispondono a stati stabili di sistemi dinamici complessi che formano modelli. Questa analisi dei risultati empirici dalla prospettiva dei principi neurodinamici getta nuova luce sulle neuroscienze della musica e su ciò che rende la musica potente.

Behav Brain Res 2025 Mar 13:485:115539

Music boosts the recovery of attention after mental fatigue in healthy young male subjects: A human auditory event-related potential study

Wang Z¹, Xu W¹, Zhang C², Zhang C¹, Liu Y^{1,3}, Chen P¹, Han G¹, Wang L¹

1 Beijing Institute of Basic Medical Sciences, Beijing 100850, China; 2 Southern Medical Branch of PLA General Hospital, Beijing 100071, China; 3 Air Force Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China. genchenghan@163.com; wanglb@bmi.ac.cn

Daily life faces continuous cognitive tasks. Several methods could lessen cognitive fatigue including music. To find out how music functions in recovering cognitive fatigue, twenty-seven participants were randomly assigned to the rest group (N = 12) and the music group (N = 15). To evaluate the effects of Mozart K488 music on attention function after a continuous cognitively demanding task. Participants completed subjective questionnaires and the contingent negative variation (CNV) task before fatigue, after fatigue, and after the rest/musical intervention. EEG and ECG data were also collected during the experiment. The results showed that 5 min of Mozart K488 music resulted in improved CNV task performance in the musical intervention group. For EEG data, recoveries of the initial CNV and terminal CNV amplitude in Cz and CPz electrodes were observed and compared with the values after Mental Fatigue, which music increased the iCNV and tCNV. Alpha-ERD was lower after listening to music than after resting. Moreover, during music playing, compared to other brain regions the EEG alpha power of participants was significantly high in the central frontal region. This study demonstrates a short-term musical intervention can effectively boost the recovery of attention after Mental Fatigue.

La vita quotidiana è caratterizzata da continui compiti cognitivi. Diversi metodi potrebbero ridurre l'affaticamento cognitivo, tra cui la musica. Per scoprire come la musica funziona nel recupero della fatica cognitiva, ventisette partecipanti sono stati randomizzati al gruppo di riposo (N = 12) e al gruppo di musica (N = 15), con l'obiettivo di valutare gli effetti della musica di Mozart K488 sulla funzione di attenzione dopo un compito cognitivo continuo. I partecipanti hanno completato questionari soggettivi e il compito di variazione negativa contingente (CNV) prima della fatica, dopo la fatica e dopo l'intervento di riposo/musica. Durante l'esperimento sono stati raccolti anche dati EEG ed ECG. I risultati hanno mostrato che 5 minuti di musica di Mozart K488 hanno migliorato le prestazioni del compito CNV nel gruppo di intervento musicale. Per quanto riguarda i dati EEG, sono stati osservati i recuperi dell'ampiezza della CNV iniziale e della CNV terminale negli elettrodi Cz e CPz e sono stati confrontati con i valori dopo la fatica mentale, osservando che la musica ha aumentato la iCNV e la tCNV. L'alfa-ERD è risultata più bassa dopo l'ascolto della musica rispetto al riposo. Inoltre, durante l'ascolto della musica, rispetto ad altre regioni cerebrali, la potenza EEG alfa dei partecipanti era significativamente elevata nella regione frontale centrale. Questo studio dimostra che un intervento musicale a breve termine può efficacemente favorire il recupero dell'attenzione dopo la fatica mentale.

The Pierfranco and Luisa Mariani Foundation

Since its beginnings in 1985, the Mariani Foundation has established itself as a leading organization in the field of paediatric neurology by organizing a variety of advanced courses, providing research grants, and supporting specialized care. The Foundation works in close cooperation with major public healthcare institutions, complementing their scientific programs and other activities. In 2009 it became the first private entity in Italy to join the founding members of the National Neurologic Institute "Carlo Besta" in Milan. In addition to its services, the Foundation aims, through its continuing medical education courses and publications, to spread knowledge in the field of paediatric neurology in order to help treat or alleviate a large number of paediatric neurologic disorders.

In the year 2000, the Mariani Foundation has added a new and important dimension to its activities: fostering the study of the multiple links between the neurosciences and music, including music education and early intervention. This significant commitment has inspired the series of "Neurosciences and Music" conferences, held in Venice (2002), Leipzig (2005), Montreal (2008), Edinburgh (2011), Dijon (2014), Boston (2017), Aarhus (2021) and Helsinki (2024). All these meetings have led to the publication of major volumes in the Annals of the New York Academy of Sciences.

"Neuromusic News"

Direttore responsabile Luisa Bonora

Pubblicazione periodica. Registrazione n. 318 Tribunale di Milano del 10-06-2011

Edited by Fondazione Mariani

Contributors: Luisa Lopez, Giuliano Avanzini, Maria Majno and Barbara Bernardini

Editorial coordinator: Renata Brizzi

For further information: neuromusic@fondazione-mariani.org