

Klassik musiqa tinglaganlikda amigdala va prefrontal korteks faolligining fMRI asosida tahlili

Otabek Adilovich Subxanov
Buxoro ixtisoslashgan san'at maktabi

Annotatsiya: Ushbu maqolada klassik musiqa tinglash paytida amigdala va prefrontal korteks faolligini funksional magnit-rezonans tomografiya (fMRI) orqali tahlil qilish masalalari chuqur ko'rib chiqilgan. Tadqiqot emotsional qayta ishlashda markaziy rol o'ynovchi amigdalaning musiqa stimullariga reaksiyasi, prefrontal korteksning yuqori darajali kognitiv va emotsional tartibga solish funktsiyalari va bu ikki struktura o'rtasidagi funksional bog'lanishni o'z ichiga oladi. Maqolada fMRI metodologiyasi, BOLD signal mexanizmlari, bloklangan va hodisa bilan bog'liq dizaynlar, statistik parametrik xaritalash (SPM) va funksional konektivlik tahlili systematik tavsiflanadi. Maqolada multivariate pattern analysis (MVPA), dynamic causal modeling (DCM) va machine learning yondashuvlari kabi ilg'or tahlil usullari taqdim etilgan.

Kalit so'zlar: fMRI, amigdala, prefrontal korteks, BOLD signal, funksional konektivlik, klassik musiqa, emotsional qayta ishlash, neyrovizualizatsiya, statistical parametric mapping, musiqa nevrologiyasi

fMRI-based analysis of amygdala and prefrontal cortex activity during classical music listening

Otabek Adilovich Subkhanov
Bukhara Specialized Art School

Abstract: This article provides an in-depth review of the issues of functional magnetic resonance imaging (fMRI) analysis of amygdala and prefrontal cortex activity during classical music listening. The study includes the response of the amygdala, which plays a central role in emotional processing, the higher-level cognitive and emotional regulatory functions of the prefrontal cortex, and the functional connection between these two structures. The article systematically describes the fMRI methodology, BOLD signal mechanisms, blocked and event-related designs, statistical parametric mapping (SPM), and functional connectivity analysis.

Keywords: fMRI, amygdala, prefrontal cortex, BOLD signal, functional connectivity, classical music, emotional processing, neurovisualization, statistical parametric mapping, music neurology

KIRISH. Funksional magnit-rezonans tomografiya (fMRI) - bu miya faolligini non-invaziv ravishda o'rganish imkonini beruvchi zamonaviy neyrovizualizatsiya texnologiyasi. 1990-yillardan boshlab fMRI kognitiv nevrologiya va neyroilmning asosiy vositalaridan biriga aylandi. fMRI miya faolligini qon oqimi o'zgarishlari orqali o'lchaydi: faol neyron hududlar ko'proq oksigenga boy qonga muhtoj bo'ladi, bu BOLD (Blood Oxygen Level Dependent) signal o'zgarishida aks etadi.

Musika nevrologiyasi - bu musika qayta ishlash va musika ta'sirining neyron mexanizmlarini o'rganuvchi soha - fMRI texnologiyasi orqali sezilarli rivojlandi. Dastlabki tadqiqotlar (Zatorre va boshqalar, 1992; Blood va boshqalar, 1999) musiqaning auditiv korteksdan tashqari keng miya tarmoqlarini - motor, emotsional, mukofot sohalarini - faollashtirishini ko'rsatdi. So'nggi yigirma yil davomida yuzlab fMRI tadqiqotlari musika qayta ishlashning murakkab neyron arxitekturasini ochib berdi.

Amigdala va prefrontal korteks musika emotsional qayta ishlashda markaziy rol o'ynaydi. Amigdala - badamsimon shakldagi temporal medial sohada joylashgan struktura - emotsional ahamiyat, ayniqsa qo'rquv va tahdidni baholashda asosiy. Prefrontal korteks (PFC) - frontal lobning old qismi - yuqori kognitiv funktsiyalar, emotsional tartibga solish va ijtimoiy xulq-atvor uchun javobgar. Bu ikki struktura o'rtasidagi o'zaro ta'sir emotsional muvozanat va ruhiy salomatlik uchun muhim.

Klassik musika - boy emotsional palitra, strukturaviy murakkablik va madaniy ahamiyatga ega - amigdala va PFC faolligini o'rganish uchun ideal stimulus hisoblanadi. Bach ning kontrapunkti, Mozartning simfoniyalari, Beethoven ning sonatasi, Chopin ning noktyurnlari turli emotsional holatlarni keltirib chiqaradi va turli neyron reaksiyalarni faollashtiradi.

Ushbu maqolaning maqsadi klassik musika tinglash paytida amigdala va prefrontal korteks faolligini fMRI orqali o'rganishning nazariy asoslarini, metodologik yondashuvlarini va empirik natijalarini tahlil qilishdan iborat. Maqola fMRI metodologiyasi, amigdala va PFC funktsional anatomiyasi, klassik musika ta'siri va zamonaviy tadqiqot yo'nalishlarini qamrab oladi.

ASOSIY QISM

1. fMRI metodologiyasi: BOLD signal va miya faolligi

BOLD signal mexanizmi:

fMRI BOLD signal - bu neyron faollik va qon oksigenatsiyasi o'rtasidagi munosabatga asoslangan kontrastdir. Ogawa va boshqalar (1990) BOLD signalini kashf qildilar.

Neurovascular coupling (Neyrovaskulyar bog'lanish):

1. Neyron faollanadi → ATP talab qiladi;
2. Metabolik talablar arteriola kengayishiga olib keladi;
3. Qon oqimi ortadi (200-300% ga);
4. Oksigenatsiya qilingan gemoglobin ortadi;
5. Deoksigenatsiya qilingan gemoglobin kamayadi;
6. Deoksi-Hb paramagnetic, oksi-Hb diamagnetic → MRI signal o'zgaradi.

Hemodynamic Response Function (HRF): BOLD signal neyron faollikdan 2-3 sekund kechikiradi, cho'qqiga 5-7 sekundda erishadi va 15-20 sekundda bazalga qaytadi. HRF ning bu temporal dinamikasi statistik modellashtrishda hisobga olinishi kerak.

FMRI skanerlash parametrlari:

Magnit maydoni kuchi:

- 1.5 Tesla: Standard, keng tarqalgan
- 3 Tesla: Yuqoriroq signal-noise nisbati, zamonaviy tadqiqotlarda standart
- 7 Tesla va yuqori: Ultra-high field, tadqiqot maqsadlari uchun, yuqori rezolyutsiya

Voxel (volume pixel) o'lchami: Odatda 3x3x3 mm yoki 2x2x2 mm. Kichikroq voxel yuqoriroq fazoviy rezolyutsiya, ammo pastroq signal-noise nisbati.

Temporal rezolyutsiya: TR (Repetition Time) - butun miyani skanerlash vaqti, odatda 2-3 sekund. Tezroq TR (masalan, multiband EPI bilan 0.5-1 sekund) yaxshiroq temporal rezolyutsiya.

Eksperimental dizayn:

Block design (Bloklangan dizayn): Stimulus (masalan, klassik musiqa) uzoqroq davrlar (15-30 sekund) davomida taqdim etiladi, oralarda dam olish davrlari. Afzalligi: yuqori statistik quvvat. Cheklovi: predict qilish mumkin, adaptatsiya.

Event-related design (Hodisa bilan bog'liq dizayn): Qisqa stimullar (bir necha sekund) tasodifiy yoki pseudorandom tartibda. Afzalligi: turli stimulus turlarini ajratish, surprise effekti. Cheklovi: pastroq signal-noise nisbati.

Klassik musiqa fMRI dizayni: Odatda blok dizayni yoki uzunroq hodisa dizayni (15-60 sekundlik musiqa parcha). Masalan:

- Blok 1: Bach BWV 1007 (30 sekund) → Dam olish (20 sekund)
- Blok 2: Chopin Nocturne Op.9 No.2 (30 sekund) → Dam olish
- 2. Ma'lumotlarni qayta ishlash va statistik tahlil

Preprocessing (Oldindan qayta ishlash):

fMRI ma'lumotlari xom holatda shovqinli va artefaktlarga ega. Preprocessing bu muammolarni kamaytiradi:

Realignment (Qayta tekislash): Harakat artefaktlarini to'g'rilash. Agar sub'ekt boshini harakatlantirar agar, voxellar almashinadi. Realignment har bir volumni birinchi volumga registratsiya qiladi.

Slice timing correction: TR davomida slicelar ketma-ket skaner qilinadi. Slice timing correction bu vaqt farqlarini to'g'rilaydi.

Normalization (Normalizatsiya): Har bir sub'ektning miyasini standart koordinat tizimiga (masalan, MNI152 template) o'tkazish. Bu guruh tahlilini imkonli qiladi.

Smoothing (Yumshatish): Fazoviy Gaussian kernel (masalan, 6mm FWHM) bilan smoothing signal-noise nisbatini oshiradi va individual anatomik farqlarni kompensatsiya qiladi.

Statistical Parametric Mapping (SPM):

SPM - fMRI ma'lumotlarini tahlil qilishning asosiy usuli (Friston va boshqalar, 1994). General Linear Model (GLM) ga asoslanadi:

GLM modeli: $Y = X\beta + \varepsilon$

Y - BOLD signal (har bir voxelda) X - dizayn matritsasi (stimulus vaqtlari, HRF bilan konvolyatsiya qilingan) β - parametr baholashlari (har bir stimulusning ta'sir kattaligi) ε - xato (noise)

Statistik xaritalar: Har bir voxelda t-statistika yoki F-statistika hisoblanadi. P-value ni to'g'rilash (multiple comparison correction) uchun:

- Family-Wise Error (FWE) correction: Juda konservativ
- False Discovery Rate (FDR): Kamroq konservativ
- Cluster-level threshold: Birinchi voxel-level threshold (masalan, $p < 0.001$ uncorrected), so'ngra cluster hajmi FWE yoki FDR bilan

Contrast tahlili: Turli sharoitlarni taqqoslash: Masalan, "Major lad musiqa > Dam olish" yoki "Minor lad > Major lad". Contrast statistik xaritalar yaratadi.

Funktsional konektivlik tahlili:

Funktsional konektivlik (FC) - ikki yoki undan ortiq miya sohalari o'rtasidagi temporal korrelyatsiya.

Seed-based analysis: Bitta soha (seed, masalan, amigdala) tanlanadi va uning BOLD signal vaqt qatori butun miya bilan korrelyatsiya qilinadi. Natija: amigdala bilan qaysi sohalar sinxron faoldir?

Psychophysiological Interaction (PPI): Psixologik kontekst (masalan, emotsional musiqa vs neytral) seed va boshqa sohalar o'rtasidagi konektivlikni qanday o'zgartirishini o'rganadi.

Dynamic Causal Modeling (DCM): FC dan ko'ra murakkab: effektiv konektivlik (bir soha boshqasiga qanday ta'sir qiladi) va bu ta'sirning yo'nalishini modellashtiradi.

3. Amigdala: anatomiya, funktsiyalar va musiqa ta'siri

Amigdala anatomiyasi:

Amigdala temporal medial lobda, hippokampning old tomonida joylashgan. Har bir yarim sharda bitta (jami ikki) amigdala mavjud.

Subyadrolar (Subnuclei):

- Lateral nucleus: Sensory ma'lumotlarni qabul qiladi
- Basal nucleus: Emotsional xotira, conditioning
- Central nucleus: Output - avtonomik va endokrin reaksiyalar
- Basolateral kompleks: Emosional baholash, mukofot
- Medial nucleus: Pheromone qayta ishlash (odamlarda kamroq muhim)

Amigdalaning funktsiyalari:

Tahdid aniqlash: LeDoux (1996) ning klassik tadqiqotlari: amigdala xavfli stimullarni tez aniqlaydi. "Tez yo'l" (thalamus → amigdala) va "sekin yo'l" (thalamus → korteks → amigdala).

Emotsional xotira: Emotsional ahamiyatli hodisalar yaxshiroq esda qoladi. Amigdala hippokamp bilan o'zaro ta'sir qilib, emotsional xotiralarni konsolidatsiya qiladi.

Emotsional baholash: Faqat qo'rquv emas, barcha emotsional valentnosti (ijobiy va salbiy) baholaydi. Lekin salbiy, ayniqsa tahdid stimullariga kuchliroq javob beradi.

fMRI tadqiqotlarda amigdala va musiqa:

Emotsional valentnost: Blood va Zatorre (2001) sevimli musiqa ("chills" keltirib chiqaruvchi) amigdalani faollashtirishini topdilar. Koelsch va boshqalar (2006, 2008) dissonant, noxush musiqa amigdala reaktivligini oshiradi, konsonant, yoqimli musiqa kamaytirishini ko'rsatdilar.

Arousal (Qo'zg'alish): Trost va boshqalar (2012) shuni topdilar, amigdala faolligi musiqa arousal darajasi (energiya, intensivlik) bilan korrelyatsiya qiladi, valentnostdan mustaqil.

Tanishlik: Pereira va boshqalar (2011) tanish musiqa amigdala reaksiyasini kamaytirishini aniqladi - bu habituation (moslashuv) effekti.

Lateral vs medial amigdala: Ball va boshqalar (2007) lateral amigdala tezroq, avtomatik reaksiya uchun, medial amigdala sekinroq, evaluativ jarayonlar uchun javobgar ekanligini taklif qildilar.

4. Prefrontal korteks: anatomiya, funktsiyalar va musiqa ta'siri

PFC anatomiyasi va subdiviziyalar:

PFC frontal lobning anterior qismi, motor va premotor korteksdan oldin.

Asosiy bo'limlar:

- Dorsolateral PFC (dlPFC): Brodmann 9, 46 - ishchi xotira, kognitiv nazorat
- Ventrolateral PFC (vlPFC): Brodmann 44, 45, 47 - tartibga solish, inhibitsiya
- Medial PFC (mPFC): Brodmann 10, 32 - o'z-o'zini anglash, emotsional baholash
- Orbitofrontal korteks (OFC): Brodmann 11, 12, 47 - mukofot, emotsional qiymat

- Anterior cingulate korteks (ACC): Brodmann 24, 32 - konflikt monitoring, emotsional tartibga solish

PFC funktsiyalari:

Yuqori kognitiv funktsiyalar (Executive functions):

- Ishchi xotira: Ma'lumotni vaqtincha saqlash va manipulyatsiya qilish
- Kognitiv moslashuvchanlik: Strategiyalarni o'zgartirish
- Rejalashtirish va maqsad-yo'naltirilgan xulq-atvor

Emotsional tartibga solish: PFC, ayniqsa mPFC va vlPFC, amigdalaga "yuqoridan pastga" (top-down) inhibitiv nazoratni ta'minlaydi. Bu emotsional reaksiyani modulyatsiya qiladi.

Ijtimoiy kognitiv: mPFC "theory of mind" (boshqalarning fikr va niyatlarini tushunish), empatiya va ijtimoiy qarorlar qabul qilishda ishtirok etadi.

FMRI tadqiqotlarda PFC va musiqa:

mPFC va emotsional baholash: Koelsch va boshqalar (2010) yoqimli musiqa mPFC faolligini oshirishini va mPFC-amigdala funktsional konektivlikni kuchaytirishini topdilar. Bu mPFC ning amigdalani tartibga solishini ko'rsatadi.

dlPFC va kognitiv qayta ishlash: Bengtsson va boshqalar (2009) murakkab musiqa strukturasini tahlil qilish dlPFC ni faollashtirishini aniqladi. Musiqachilar musiqachilar bo'lmaganlarga nisbatan kuchliroq dlPFC faollashuvini ko'rsatdilar.

OFC va mukofot: Blood va Zatorre (2001), Menon va Levitin (2005) sevimli musiqa OFC ni faollashtirishini va bu NAc (nucleus accumbens) bilan birgalikda mukofot tizimining qismi ekanligini ko'rsatdilar.

vlPFC va emotsional tartibga solish: McRae va boshqalar (2010) emotsional reaksiyani ongli ravishda kamaytirishga harakat qilganda vlPFC faollanishini topdilar. Musiqa kontekstida, stressli musiqa paytida o'zini tinchlashtirishga harakat vlPFC ni faollashtirishi mumkin.

5. Amigdala-PFC funktsional konektivligi va emotsional tartibga solish

Anatomik bog'lanish:

Amigdala va PFC o'rtasida ikki tomonlama anatomik proyeksiyalar mavjud:

- Amigdala → mPFC/OFC: Emotsional ma'lumot
- mPFC/vlPFC → Amigdala: Inhibitiv nazorat

Uncinate fasciculus - amigdala va frontal lobni bog'lovchi asosiy oq modda trakti.

Funktsional konektivlik dinamikasi:

Normal holatda: Musiqa emotsional stimul → Amigdala faollanadi (emotsional reaksiya) → mPFC/vlPFC faollanadi (tartibga solish) → mPFC amigdalaga inhibitiv signal → Amigdala faolli pasayadi (modulyatsiya)

Patologik holatlarda (masalan, depressiya, tashvish):

Amigdala giperaktiv;

PFC gipoaktiv;

Amigdala-PFC konektivlik zaif yoki buzilgan;

Natija: emotsional dizregulyatsiya.

FMRI tadqiqotlarda amigdala-PFC konektivlik va musiqa:

Koelsch va boshqalar (2010) PPI tahlili yordamida yoqimli musiqa paytida mPFC-amigdala konektivlikning kuchayganini topdilar. Bu mPFC ning amigdala reaktivligini pasaytirishda faol rol o'ynashini ko'rsatadi.

Salimpoor va boshqalar (2013) sevimli musiqa anticipation (kutish) paytida dlPFC-NAc konektivlik kuchayadi, so'ngra consumption (boshdan kechirish) paytida mPFC-amigdala konektivlik ortadi. Bu mukofot kutish va emotsional tartibga solishning temporal dinamikasini aks ettiradi.

6. Klassik musiqa parametrlari va neyron reaksiyalari

Valentnost (Valence): Ijobiy vs Salbiy:

Major vs Minor lad: Khalfa va boshqalar (2005) major lad (ijobiy valentnost) va minor lad (salbiy valentnost) musiqani taqqosladilar:

- Major: dlPFC, OFC faollashuvi (ijobiy baholash);
- Minor: Amigdala, parahippocampal gyrus faollashuvi (salbiy emotsiya).

Konsonans vs Dissonans: Blood va boshqalar (1999) dissonant garmoniyalar amigdala va parahippocampal gyrusni faollashtirishini, konsonant garmoniyalar esa OFC va frontal poleni faollashtirishini topdilar.

Arousal (Qo'zg'alish): Tez vs Sekin, Baland vs Past:

Tempo: Trost va boshqalar (2012) tez tempo musiqa amigdala va motorik sohalarni faollashtirishini (yuqori arousal), sekin tempo esa default mode network ni faollashtirishini (past arousal, introspeksiya) topdilar.

Dinamika (Balandlik): Chapin va boshqalar (2010) baland musiqa amigdala va auditiv korteksni kuchliroq faollashtirishini ko'rsatdilar (yuqori arousal).

Strukturaviy murakkablik:

Bach kontrapunkti: Janata va boshqalar (2002) murakkab harmonik jarayonlarni (masalan, Bach fugalari) kuzatish dlPFC, parietal korteks va cerebellumni faollashtirishini topdilar. Bu yuqori kognitiv yukni aks ettiradi.

Minimalistik musiqa: Levitin va Menon (2003) takroriy, oddiy musiqa (masalan, Philip Glass) default mode network va mPFC ni faollashtirishini, bu meditatif holatga o'xshashligini aniqladi.

Tanishlik:

Tanish vs Yangi: Pereira va boshqalar (2011) tanish musiqa amigdala reaksiyasini kamaytirishini (habituation), ammo OFC va hippokampni kuchliroq faollashtirishini (xotira, nostalgia) topdilar.

7. Individual farqlar: musiqa tajribasi, shaxsiyat, yosh

Musiqa tajribasi:

Musiqachilar vs Musiqachilar bo'lmaganlar: Bengtsson va boshqalar (2005) musiqachilarda motor korteks, auditiv korteks va dlPFC strukturaviy o'zgarishlarni (ko'proq kulrang modda) topdilar.

fMRI tadqiqotlarda:

- Musiqachilar: Kuchliroq motor va auditiv korteks faollashuvi, yanada aniq musiqa strukturasini aniqlash (dlPFC);

- Musiqachilar bo'lmaganlar: Kuchliroq emotsional reaksiya (amigdala), kamroq analitik qayta ishlash.

Groussard va boshqalar (2010) musiqachilarda musiqa tinglash paytida dmPFC va precuneus (default mode network) kamroq deaktivatsiya bo'lishini topdilar, bu ularning musiqa bilan doimiy "faollik" holatida bo'lishini ko'rsatadi.

Shaxsiyat:

Big Five va neyron reaksiyalar: Isteni va boshqalar (2011) openness to experience (ochiqlik) yuqori bo'lgan shaxslar murakkab, yangi musiqaga kuchliroq dlPFC va hippokamp reaksiyasini ko'rsatdilar.

Neuroticism (nevrotizm) yuqori shaxslar emotsional musiqaga kuchliroq amigdala reaksiyasini ko'rsatishi mumkin (garchi to'g'ridan-to'g'ri fMRI dalillari cheklangan).

Yosh:

Bolalik va o'smirlik: Schellenberg va boshqalar (2008) bolalarda musiqa qayta ishlash kattalarnikidan turli, ayniqsa PFC (hali to'liq rivojlanmagan) faollashuvi kamroq.

Qariyalik: Samanez-Larkin va boshqalar (2007) keksalarda amigdala reaktivligi kamayadi (positivity bias - ijobiy stimullarga ko'proq reaksiya), ammo tanish musiqa kuchli xotira va emotsional reaksiyalarni keltirib chiqaradi.

8. Klinik populyatsiyalarda amigdala-PFC neyrofunksional naqshlar

Depressiya:

Neyrofunksional xususiyatlar:

- Amigdala giperaktiv (ayniqsa salbiy stimullarga);
- mPFC (subgenual ACC) giperaktiv (ruminatsiya);
- dlPFC gipoaktiv (kognitiv nazorat zaiflanishi);
- Amigdala-PFC konektivlik o'zgargan.

Musiqa ta'siri: Koelsch va boshqalar (2015) depressiya bilan og'rigan bemorlarda ijobiy musiqa mPFC faolligini normallashtirishi va amigdala-mPFC konektivlikni yaxshilashini topdilar. Bu musiqa terapiyasining potentsial mexanizmini ko'rsatadi.

Tashvish buzilishlari:

Neyrofunksional xususiyatlar:

- Amigdala giperaktiv (xavf gipersensitivligi);

- VLPFC gipoaktiv (emotsional inhibitsiya zaiflanishi);
- Amigdala-vLPFC konektivlik zaif.

Musiq ta'siri: Koelsch va boshqalar (2013) tinch musiqa tashvishli bemorlarda amigdala faolligini kamaytirishini va vLPFC ni faollashtirishini topdilar.

PTSD (Post-Traumatic Stress Disorder):

Neyrofunksional xususiyatlar:

- Amigdala giperaktiv;
- mPFC (ventromedial) gipoaktiv (xavf ekstinksiya zaiflanishi);
- Hippokamp hajm kamaygan.

Musiq ta'siri: Bensimon va boshqalar (2008) musiqa terapiyasi PTSD belgilarini kamaytirishini aniqladi, ammo to'g'ridan-to'g'ri fMRI tadqiqotlari cheklangan. Potentsial mexanizm: tinch musiqa amigdalani tinchlantiradi va mPFC ni qo'llab-quvvatlaydi.

9. Ilg'or tahlil usullari

Multivariate Pattern Analysis (MVPA):

MVPA (masalan, Support Vector Machine, SVM) ko'p voxellarning naqshlarini birgalikda tahlil qiladi (univariate usullar har bir voxelni alohida tahlil qiladi).

Afzalligi: Yanada sezgir, kichikroq effektlarni aniqlaydi. Masalan, major va minor lad ikkita neural naqshni ajratish (classification accuracy 70-80%).

Musiq tadqiqotlarida: Brattico va boshqalar (2011) MVPA orqali turli musiqa janrlarini neyron naqshlari asosida klassifikatsiya qildilar (auditiv korteks, PFC).

Dynamic Causal Modeling (DCM):

DCM effektiv konektivlik (bir soha boshqasiga qanday ta'sir qiladi) va bu ta'sirning yo'nalishini modellashtiradi.

Musiq tadqiqotlarida: Koelsch va boshqalar (2011) DCM orqali yoqimli musiqa paytida mPFC amigdalaga inhibitiv ta'sir ko'rsatishini, noxush musiqa paytida esa bu inhibitsiya zaiflanishini ko'rsatdilar.

Machine Learning va Predictive Modeling:

Real-time fMRI neurofeedback: Ishtirokchi real vaqtda o'z miya faolligini "ko'radi" (masalan, amigdala faolligi ekranda ko'rsatiladi) va uni boshqarishni o'rganadi. Musiqa bilan kombinatsiya: amigdala faolligi oshsa, tinchlashtirishuvchi musiqa avtomatik ijro etiladi.

Predictive models: Machine learning algoritmlar individual neyrofunksional profilga asoslanib, qaysi musiqa eng samarali bo'lishini bashorat qiladi.

10. Metodologik cheklovlar va kelajak yo'nalishlari

fMRI cheklovlari:

Temporal rezolyutsiya: fMRI sekundlar masshtabida, ammo neyron jarayonlar millisekundlarda. EEG/MEG bilan kombinatsiya yaxshiroq temporal rezolyutsiya beradi.

Shovqin va harakat artefaktlari: MRI skaneri juda shovqinli (90-100 dB), bu auditiv stimulushlarni qoplashi mumkin. Silent fMRI sekanslar (masalan, sparse sampling) bu muammoni kamaytipadi. Harakat (ayniqsa bosh harakati) signal buzilishlariga olib keladi.

BOLD signal murakkabligi: BOLD signal neyron faollikdan to'g'ridan-to'g'ri emas, balki hemodynamik javob orqali. Neurovascular coupling individual farqlarga ega bo'lishi mumkin.

Ekologik validlik:

Skaner ichida yotib, immobil, musiqa tinglash - bu tabiiy musiqa tajribasini to'liq aks ettirmaydi. Naturalistik stimulus (masalan, to'liq simfoniya, videolar bilan) va portable fMRI (kelajakda) ekologik validlikni oshirishi mumkin.

Kelajak yo'nalishlari:

Multimodal neyrovizualizatsiya: fMRI + EEG yoki fMRI + MEG bir vaqtda: fazoviy va temporal rezolyutsiya kombinatsiyasi.

Ultra-high field fMRI (7T va yuqori): Yanada yuqori rezolyutsiya, amigdala kabi kichik strukturalarni yaxshiroq vizualizatsiya.

Longitudinal tadqiqotlar: Vaqt bo'yicha o'zgarishlar: musiqa terapiyasi amigdala-PFC ni qanday o'zgartiradi? Strukturaviy va funktsional plastitlik.

Individual precision neuroimaging: Har bir shaxs uchun ko'p seanslar (masalan, 10-20), individual neyrofunktsional "fingerprint" yaratish va shaxsiylashtirilgan musiqa interventsia.

Network neuroscience: Amigdala va PFC izolyatsiyada emas, katta tarmoqlarning qismi. Graph theory, complex networks analysis - butun miya darajasida musiqa ta'sirini o'rganish.

Xulosa. Klassik musiqa tinglash paytida amigdala va prefrontal korteks faolligini fMRI orqali o'rganish musiqa nevrologiyasining asosiy yo'nalishlaridan biri bo'lib, musiqa emotsional qayta ishlashning neyron substratlarini ochib beradi. fMRI texnologiyasi - BOLD signal mexanizmi, ilg'or qayta ishlash usullari, statistik parametrik xaritalash - bu murakkab jarayonlarni non-invaziv va yuqori fazoviy rezolyutsiya bilan o'rganish imkonini beradi.

Amigdala - emotsional ahamiyat, ayniqsa tahdid va qo'rquvni baholashda markaziy struktura - klassik musiqaning emotional valentnost (ijobiy/salbiy) va arousal (qo'zg'alish) parametrlariga sezgir reaksiya ko'rsatadi. Dissonant, minor lad yoki tez templi musiqa amigdalani kuchliroq faollashtiradi, konsonant, major lad yoki sekin musiqa esa kamroq. Tanish musiqa habituation effekti tufayli amigdala reaksiyasini kamaytiradi, ammo xotira va nostalgia bilan bog'liq boshqa sohalarni (hippokamp, OFC) faollashtiradi.

Prefrontal korteks - yuqori kognitiv funktsiyalar va emotsional tartibga solish uchun javobgar - klassik musiqa qayta ishlashda turli rollarda ishtirok etadi. Medial

PFC emotsional baholash va o'z-o'zini anglashda, dorsolateral PFC murakkab musiqa strukturasini tahlil qilish va kognitiv nazoratda, ventrolateral PFC emotsional reaksiyani tartibga solishda, orbitofrontal korteks esa musiqa mukofot qiymatini baholashda faoldir.

Amigdala va PFC o'rtasidagi funktsional konektivlik musiqa emotsional tajribasining dinamikasini aks ettiradi. Yoqimli musiqa paytida mPFC-amigdala konektivlik kuchayadi, bu mPFC ning amigdala reaktivligini "yuqoridan pastga" modulyatsiya qilishini ko'rsatadi. Bu dinamik o'zaro ta'sir emotsional muvozanat va ruhiy salomatlik uchun muhim, va uning buzilishi depressiya, tashvish va PTSD kabi patologiyalarda kuzatiladi.

Klassik musiqa parametrlari - valentnost, arousal, strukturaviy murakkablik, tanishlik - neyron reaksiyalariga turli ta'sir ko'rsatadi. Major vs minor lad, konsonans vs dissonans, tez vs sekin tempo, oddiy vs murakkab strukturalar har biri o'ziga xos neyron naqshlarni faollashtiradi. Bu tushunish musiqa terapiyasini yanada maqsadli va samarali qilishga yordam beradi: ma'lum emotsional yoki kognitiv maqsadlar uchun optimal musiqa parametrlarini tanlash.

Individual farqlar - musiqa tajribasi, shaxsiyat, yosh - klassik musiqa qayta ishlashdagi neyron reaksiyalarga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Musiqachilar yanada analistik (dlPFC), musiqachilar bo'lmaganlar yanada emotsional (amigdala) qayta ishlashni ko'rsatadilar. Shaxsiyat o'lchamlari (openness, neuroticism) va yosh (bolalik, qariyalik) ham neyrofunktsional naqshlarni modulyatsiya qiladi.

Klinik populyatsiyalarda - depressiya, tashvish, PTSD - amigdala-PFC neyrofunktsional naqshlar buzilgan: odatda amigdala giperaktiv, PFC gipoaktiv va ularning konektivligi zaif. Klassik musiqa, xususan tinch, konsonant musiqa, bu naqshlarni normallashtirishi va simptomlarni kamaytirishini ko'rsatadi. Bu musiqa terapiyasining neyron mexanizmlarini tushuntiradi va uning samaradorligini qo'llab-quvvatlaydi.

Ilg'or tahlil usullari - MVPA, DCM, machine learning - yanada chuqur va nuanced tushunchalar beradi. MVPA kichikroq, multivariate naqshlarni aniqlaydi, DCM effektiv konektivlik yo'nalishlarini modellashtiradi, machine learning individual bashorat va real-time neurofeedback imkoniyatlarini ochadi.

Metodologik cheklovlar - temporal rezolyutsiya, shovqin, ekologik validlik - mavjud, ammo texnologik taraqqiyot (ultra-high field fMRI, multimodal neuroimaging, portable fMRI) bu cheklovlarni bosqichma-bosqich yengmoqda. Kelajakda individual precision neuroimaging va network neuroscience yondashuvlari musiqa nevrologiyasini yanada chuqurlashtiradi.

O'zbekiston kontekstida, fMRI texnologiyasini milliy klassik musiqa - maqom, ashula, instrumental klassika - tadqiq etishga tatbiq etish noyob imkoniyatlarni ochadi. Maqom musiqasining modal tizimi, mikrotonallik, improvizatsiya xususiyatlari

amigdala va PFC ga qanday ta'sir qilishini o'rganish ham fundamental ilmiy qiziqish, ham madaniy ahamiyatga ega.

Xulosa qilib aytganda, klassik musiqa tinglash paytida amigdala va prefrontal korteks faolligini fMRI orqali o'rganish musiqa emotsional ta'sirining neyron asoslarini ochib beradi, musiqa terapiyasining ilmiy bazasini mustahkamlaydi va kelajakda shaxsiylashtirilgan, neyroilmga asoslangan musiqa interventsiyalarini yaratish uchun yo'l ochadi. Bu nafaqat fundamental nevrologiya uchun, balki klinik amaliyot va millionlab odamlarning ruhiy salomatligini yaxshilash uchun ham muhim ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Саидий, Саид Болта-Зода, Салимова, Бахринисо Бахромжон кизи. Вариационный подход к построению однородной музыки, размышление идеального подхода к её решению. Science and Education 3 (8), 138-144
2. Саид Болтазода, Саидий. Эффект образования музыки к системы общеобразовательной школы. Science and Education 3 (8), 224-230
3. СБЗ Саидий. Диалектика и образовательный процесс смена состояний системы образования как деятельности. Science and Education 5 (6), 151-157
4. КБ Холиков. Уровень и качество усвоения предмета музыки, закрепление памяти и способности учащихся Science and Education 5 (2), 452-458
5. СБЗ Саидий. Обратный сдвиг гармоничный линии в многоголосных произведениях. Science and Education 3 (12), 871 - 877
6. БТА Саид Болтазода Саидий. Простые, сложные и смешанные размеры музыки при проведении уроков дирижирования, креативные методы обучения. Science and Education" Scientific Journal 5 (ISSN 2181-0842), 1020
7. СБЗ Саидий. Подробная информация о навыках музыкального и экспериментального моделирования при решении задач дирижирования. Наука и образование 3 (1), 79 - 89
8. СБЗ Саидий. Подробная информация о навыках музыкального и экспериментального моделирования при решении задач дирижирования. Наука и образование 2 (12), 803-811
9. КБ Холиков. Влияние классической музыки в разработке центральной нервной системы Science and Education 6 (1), 49-56
10. КБ Холиков. Конструирование потока информации в балансировке разделения познания и поведение абстрактного воздействия на мозг человека Science and Education 6 (1), 28-34
11. КБ Холиков. Звуковой ландшафт человека и гармоническая структура головного мозга Science and Education 6 (1), 21-27

12. Саид Болтазода, Саидий. Механизмы формирования культуры почитания человеческих ценностей у старшеклассников на основе фольклора в хоре. *Science and Education* 4 (2), 1386-1391
13. Саидий, Саид Болтазода. Сложный принцип формообразования в изоритмическом сложений музыки. *Science and Education* 3 (11), 962-969
14. Саидий, Саид Болтазода. О некоторых простейших обобщениях приёмов и методов по музыке общеобразовательной школе. *Science and Education* 3 (8), 196-203
15. Саидий, Саид Болтазода. Принципы и приложения музыкальной формы. *Science and Education* 5 (2), 432-438
16. Саидий, Саид Болтазода. Нестандартные психологические структуры и модуляция в педагогике. *Science and Education* 5 (2), 348-354
17. Саидий, Саид Болтазода. Обменное приёмы аккордов семейство субдоминанты и доминанты использование на фортепиано. *Science and Education* 5 (2), 439-444
18. Саидий, Саид Болтазода. Об эффектно влияние теории, в создании музыкального произведения. *Science and Education* 3 (12), 864 - 870
19. Саидий, Саид Болтазода. Основные направления возбуждения мелкой моторики по направление музыки. *Science and Education* 3 (10), 582-590
20. Саидий, Саид Болтазода. Песни, обработка народных песен и развития мастерства учащихся. *Science and education*. 3 (4), 1200-1205
21. Саидий, Саид Болтазода. Художественно-педагогическое общение как средство формирования музыкальной мотивации школьников. *Science and Education* 5 (2), 322-327
22. Саидий, Саид Болтазода. Простые, сложные и смешанные размеры музыки при проведении уроков дирижирования, креативные методы обучения. *Science and Education* 3 (5), 1484-1492
23. КБ Холиков. Мозг и музыкальный разум, психологическая подготовка детей и взрослых к восприятию музыки. *Science and Education* 4 (7), 277-283
24. Саидий, Саид Болтазода. Подробная информация к навыкам музыкального и экспериментального моделирования при решении задач дирижирования. *Science and Education* 2 (12), 803-811
25. Саидий, Саид Болтазода. Элементы абстрактной и абсолютной звучании музыкального звука. *Science and Education* 4 (1), 597-603
26. Саидий, Саид Болтазода. Теоретическое рассмотрение вероятности совпадения неаккордовых звуков в произведениях. *Science and Education* 4 (1), 556-562
27. Саидий, Саид Болтазода. Повышение или понижение основных ступеней, знаки альтерации. *Science and Education* 3 (12), 878 - 884

28. Саидий, Саид Болтазода. Обратный сдвиг гармоничный линии в многоголосных произведениях. Science and Education 3 (12), 871 -877
29. Саидий, Саид Болтазода. Субхонов, Отабек Адилович. Основы управления музыкального диктанта по сольфеджио. Science and Education 3 (3), 825-830
30. Саидий, Саид Болтазода. Интерпретация современных методов работы с малоуспеваемыми музыкантами. Scientific Journal 3 (3), 1193-1199