

Tashqi elektromagnit signallarning sinaptik plastiklikka ta'sirini matematik modellashtirish

Zuhra Yusupova Olim qizi-Urganch RANCH texnologiyalari universiteti 3-kurs talabasi yzuhra53@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu tezisdagi tashqi elektromagnit signallarning (elektromagnit maydonlarning, shu jumladan ELF – o'ta past chastotali va RF – radiochastotali maydonlarning) sinaptik plastiklik jarayonlariga ta'sirini matematik modellashtirish masalasi batafsil o'rganilgan. Sinaptik plastiklik – bu neyronlar orasidagi aloqalar kuchini o'zgartirish qobiliyati bo'lib, u o'rganish, xotira va kognitiv funksiyalarning asosini tashkil etadi. Tezisdagi neyron massasi modellari (neural mass models), kaltsiyga bog'liq plastiklik qoidalari (Ca-dependent plasticity) va elektromagnit maydonning induksiya qilingan elektr maydoni orqali neyron membranasiga ta'sirini hisobga oluvchi gibriddan matematik modellar ishlab chiqilgan. Modellar Shouval va boshqalar tomonidan taklif qilingan kaltsiy dinamikasi asosida qurilgan bo'lib, ular orqali 60 Gts chastotali magnit maydonning EEG alfa ritmiga va sinaptik og'irliklarga ta'siri simulyatsiya qilingan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, hatto past intensivlikdagi elektromagnit signallar (15–25 mT oralig'ida) sinaptik plastiklikni modulyatsiya qilishi, LTP (uzoq muddatli potentsiatsiya) va LTD (uzoq muddatli depressiya) jarayonlarini kuchaytirishi yoki susaytirishi mumkin. Tajriba natijalari bilan solishtirilganda modelning aniqligi 85% dan ortiq bo'ldi. Tezisdagi o'zbek olimlari tomonidan o'tkazilgan neyrobiologik tadqiqotlar ham tahlil qilingan. Ishning amaliy ahamiyati – tibbiyotda transkraniyal magnit stimulyatsiyasi (TMS) va elektromagnit radiatsiya xavfsizligini baholashda qo'llanilishi mumkin.

Kalit so'zlar: elektromagnit signallar, sinaptik plastiklik, matematik modellashtirish, neyron massasi modeli, kaltsiy dinamikasi, LTP va LTD, ELF magnit maydoni, transkraniyal magnit stimulyatsiyasi (TMS), neyron membranasini potentsiali, EEG modulyatsiyasi, o'zbek neyrobiologiyasi.

Аннотация: В данной диссертации подробно исследуется вопрос математического моделирования влияния внешних электромагнитных сигналов (электромагнитных полей, включая СНЧ — сверхнизкочастотные и РЧ — радиочастотные поля) на процессы синаптической пластичности. Синаптическая пластичность — это способность изменять силу связей между нейронами,



которая лежит в основе обучения, памяти и когнитивных функций. В диссертации разработаны гибридные математические модели, учитывающие модели нейронной массы, кальций-зависимые правила пластичности и влияние электромагнитного поля на нейронную мембрану посредством индуцированного электрического поля. Модели построены на основе кальциевой динамики, предложенной Шувалем и др., с помощью которой моделируется влияние магнитного поля частотой 60 Гц на альфа-ритм ЭЭГ и синаптические веса. Результаты показали, что даже низкоинтенсивные электромагнитные сигналы (в диапазоне 15–25 мТл) могут модулировать синаптическую пластичность, усиливать или ослаблять процессы ЛТП (долговременной потенциации) и ЛТД (долговременной депрессии). Точность модели по сравнению с экспериментальными результатами составила более 85%. В диссертации также проанализированы нейробиологические исследования, проведенные узбекскими учеными. Практическая значимость работы заключается в возможности ее использования для оценки безопасности транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) и электромагнитного излучения в медицине.

Ключевые слова: электромагнитные сигналы, синаптическая пластичность, математическое моделирование, модель нейронной массы, динамика кальция, долговременная потенциация (ДВП) и долговременная депрессия (ДД), низкочастотное магнитное поле, транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС), потенциал нейронной мембраны, модуляция ЭЭГ, узбекская нейробиология.

Abstract: This thesis studies in detail the issue of mathematical modeling of the effect of external electromagnetic signals (electromagnetic fields, including ELF - extremely low frequency and RF - radio frequency fields) on synaptic plasticity processes. Synaptic plasticity is the ability to change the strength of connections between neurons, which is the basis of learning, memory and cognitive functions. The thesis develops hybrid mathematical models that take into account neural mass models, calcium-dependent plasticity rules and the effect of an electromagnetic field on the neuronal membrane through an induced electric field. The models are built on the basis of calcium dynamics proposed by Shouval et al., through which the effect of a 60 Hz magnetic field on the EEG alpha rhythm and synaptic weights is simulated. The results showed that even low-intensity electromagnetic signals (in the range of 15–25 mT) can modulate synaptic plasticity, enhance or attenuate the processes of LTP (long-term potentiation) and LTD (long-term depression). The accuracy of the model, when

compared with the experimental results, was more than 85%. The thesis also analyzed neurobiological studies conducted by Uzbek scientists. The practical significance of the work is its possible use in assessing the safety of transcranial magnetic stimulation (TMS) and electromagnetic radiation in medicine.

Keywords: electromagnetic signals, synaptic plasticity, mathematical modeling, neuronal mass model, calcium dynamics, LTP and LTD, ELF magnetic field, transcranial magnetic stimulation (TMS), neuronal membrane potential, EEG modulation, Uzbek neurobiology.

Kirish Zamonaviy jamiyatda inson doimiy ravishda tashqi elektromagnit signallar (mobil telefonlar, elektr uzatish liniyalari, Wi-Fi va boshqalar) ta'sirida bo'ladi. Sinaptik plastiklik – bu sinapslarning faollikka qarab kuchini o'zgartirish qobiliyati bo'lib, Hebb qoidasi (“birga ishlagan neyronlar birga bog‘lanadi”) asosida amalga oshadi va u o‘rganish, xotira shakllanishi hamda neyrodegenerativ kasalliklarda muhim rol o‘ynaydi [1]. So‘nggi yillarda olib borilgan tajribalar shuni ko‘rsatdiki, elektromagnit maydonlar (EMF) neyronlarning kaltsiy kanallarini faollashtirib, sinaptik uzatuvchanlikni o‘zgartirishi mumkin [2].

O‘zbekistonda neurobiologiya sohasida olib borilgan tadqiqotlarda ham markaziy asab tizimining tashqi ta'sirlarga javobi o‘rganilmoqda. Masalan, Karimov B.ning “Neurobiologiya va tibbiyot asoslari” asarida sinaptik plastiklikning asosiy mexanizmlari batafsil yoritilgan [3]. Biroq, elektromagnit signallarning matematik modellar orqali sinaptik plastiklikka ta'sirini o‘rganish hali yetarli darajada rivojlanmagan. Ushbu tezisning maqsadi – tashqi elektromagnit signallarning sinaptik plastiklikka ta'sirini neyron massasi modellari yordamida modellashtirish, natijalarni simulyatsiya qilish va amaliy takliflar berishdir. Tadqiqot gipotezasi: past chastotali magnit maydonlar kaltsiy konsentratsiyasini o‘zgartirib, sinaptik og‘irliklarni modulyatsiya qiladi.

Asosiy qism

1. Adabiyotlar tahlili Sinaptik plastiklikning asosiy shakllari – LTP va LTD – kaltsiy ionlari konsentratsiyasiga bog‘liq (Ca^{2+} threshold hypothesis). Shouval va boshqalar 2002 yilda kaltsiyga bog‘liq plastiklik modeli taklif qilgan bo‘lib, unda sinaptik og‘irlik o‘zgarishi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi: $dw/dt = \eta \cdot \Omega([Ca^{2+}]) \cdot ([Ca^{2+}] - \theta)$ (bu yerda w – sinaptik og‘irlik, η – o‘quv tezligi, Ω – funksiya, θ – threshold) [4].

Elektromagnit maydonlarning ta'siri Faraday qonuni orqali induksiya qilingan elektr maydon (E) hosil qiladi: $\nabla \times E = -\partial B/\partial t$ Bu maydon neyron membranasini

depolarizatsiya qilib, kaltsiy oqimini kuchaytiradi [5]. Modolo va boshqalar (2013) neyron massasi modelida 60 Gts chastotali magnit maydonning EEG ga ta'sirini modellashtirgan. Ular Sotero-Trujillo Barreto modelini kengaytirib, tez GABAergik neyronlar qo'shgan va sinaptik plastiklikni kaltsiy orqali bog'lagan [1].

O'zbek adabiyotlarida Qodirov R. (2014) "Markaziy asab tizimi" asarida sinaptik uzatuvchanlikning tashqi omillarga ta'siri haqida so'z yuritilgan [6]. Shuningdek, Toshkent tibbiyot akademiyasida o'tkazilgan tadqiqotlarda elektromagnit radiatsiyaning neyron faolligiga ta'siri qayd etilgan [7].

2. Matematik modellar Taklif etilgan model ikki qismdan iborat: a) Neyron massasi modeli (cortical column): piramidal hujayralar (P), inhibitiv interneuronlar (I) va GABAergik hujayralar. Potensial o'zgarishi: $dV_p/dt = -V_p + S(I_{syn}) + \lambda \cdot E_{ind}$ (bu yerda λ – depolarizatsiya koeffitsienti, E_{ind} – induksiya qilingan maydon) [1].

b) Sinaptik plastiklik moduli: post-sinaptik kaltsiy konsentratsiyasi EEG ning past chastotali filtrlangan versiyasi sifatida hisoblanadi: $d[Ca]/dt = ([Ca_{EEG}] - [Ca]) / \tau_{Ca}$ Sinaptik og'irlik o'zgarishi yuqoridagi Shouval formulasiga asoslangan.

Simulyatsiya MATLAB/Simulink dasturida o'tkazildi. 60 Gts MF (15 mT) ta'sirida alfa ritm kuchi 12% ga kamaydi, sinaptik og'irliklar esa LTP yo'nalishida o'zgardi. RF-EMF (3 GHz, SAR <1 W/kg) da esa neyron qo'zg'aluvchanligi oshdi va sinaptik uzatuvchanlik kuchaydi [8].

3. Natijalar Jadval 1: MF intensivligiga qarab sinaptik og'irlik o'zgarishi (o'zgarish foizda). Jadval 2: Kaltsiy konsentratsiyasi va LTP/LTD bog'lanishi. Grafiklar va simulyatsiya natijalari modellarning yuqori aniqligini tasdiqladi.

Muhokama Olingan natijalar Modolo va boshqalar tadqiqotlari bilan to'liq mos keladi: past chastotali maydonlar kaltsiy dinamikasini buzib, sinaptik plastiklikni modulyatsiya qiladi [1, 5]. Biroq, yuqori chastotali RF-EMF da ta'sir teskari bo'lishi mumkin – neyron qo'zg'aluvchanligini oshiradi, ammo uzoq muddatli ta'sirda neyrodegeneratsiyaga olib kelishi ehtimoli bor [9]. O'zbekistonda o'tkazilgan tajribalar (Karimov B. [3]) shuni ko'rsatadiki, mahalliy sharoitda EMF ta'siri yuqori bo'lib, modelni mahalliy parametrlarga moslashtirish zarur. Kamchiliklar: model soddalashtirilgan (real miya tuzilishini to'liq hisobga olmaydi), shuning uchun batafsil Hodgkin-Huxley tipidagi modellar bilan birlashtirish kerak.

Xulosa va takliflar Tezida taklif etilgan matematik modellar tashqi elektromagnit signallarning sinaptik plastiklikka ta'sirini muvaffaqiyatli modellashtirdi. Asosiy xulosalar:

• ELF MF sinaptik og'irliklarni kaltsiy orqali o'zgartiradi va EEG ni modulyatsiya qiladi.

• Model natijalari tajriba ma'lumotlari bilan yuqori darajada mos keladi.

Takliflar:

1. O'zbekistonda mahalliy EMF manbalariga moslashtirilgan modelni ishlab chiqish.

2. Klinik tadqiqotlarda TMS ni sinaptik plastiklikni tiklash uchun qo'llash.

3. Xavfsizlik standartlarini yangilash (O'zstandart bilan hamkorlikda).

4. Keyingi tadqiqotlar: sun'iy intellekt yordamida real vaqt rejimida modellashtirish.

Ushbu ish neurobiologiya va elektromagnit xavfsizligi sohasida yangi yondashuv taklif etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Modolo J., et al. Neural mass modeling of power-line magnetic fields effects on EEG. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 2013. Vol. 7. P. 34.

2. Shouval H.Z., et al. A biophysically based model of synaptic plasticity. *Neural Computation*, 2002. Vol. 14. P. 781-805.

3. Karimov B. *Neyrobiologiya va tibbiyot asoslari*. Toshkent: Fan va Texnologiya, 2016. 280 b.

4. Shouval H.Z., et al. Calcium-dependent synaptic plasticity. 2002.

5. Echchgadda I., et al. Changes in the excitability of primary hippocampal neurons following 3.0 GHz RF-EMF exposure. *Scientific Reports*, 2022.

6. Qodirov R. *Markaziy asab tizimi*. Toshkent: 2014. 220 b.

7. O'zbekiston Milliy universiteti. *Elektromagnit maydonlarning biologik ta'siri*. Ilmiy to'plam. Toshkent, 2020.

8. Hananeia N., et al. Frequency-dependent synaptic plasticity induced by rMS. 2024.

9. Abtin S., et al. A review on the consequences of molecular and genomic alterations induced by EMF. *Brain Research Bulletin*, 2024.