

УДК 576.78

**МАРКАЗИЙ НЕРВ ТИЗИМИ ВА ҲАЁТИЙ МУҲИМ ОРГАНЛАР
ЎЗАРО БОҒЛИҚ ФАОЛИЯТИНИ РЕГУЛЯТОР МЕХАНИЗМЛАРИНИ
МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШТИРИШ**

Шухрат Юлдашович ИСРОИЛОВ

Таянч докторант

Рақамли технологиялар

ва сунъий интеллектни ривожлантириш

илмий-тадқиқот институти

Тошкент, Ўзбекистон

i.shuha84@gmail.com

Аннотация

Ушбу мақолада регуляторика усулларига асосланган ҳолда кечикувчи типдаги чизиксиз функционал-дифференциал тенглама ёрдамида миянинг асосий ҳаётий муҳим органлар билан ўзаро боғлиқ фаолиятининг математик ва компьютер модели ишлаб чиқилган.

Таянч сўзлар: марказий нерв тизими, математик модел, функционал-дифференциал тенгламалар, регуляторика, динамик хаос, тирик тизимлар.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРНЫХ
МЕХАНИЗМОВ ИНТЕРАКТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ И ЖИЗНЕННО ВАЖНЫХ
ОРГАНОВ**

Шухрат Юлдашович ИСРОИЛОВ

Базовый докторант

Научно-исследовательский

институт развития цифровых

технологий и искусственного интеллекта

Ташкент, Узбекистан

i.shuha84@gmail.com

Аннотация

В данной работе на основе методов регуляции разработана математическая и компьютерная модель взаимодействия головного мозга с основными жизненно важными органами с использованием нелинейного функционально-дифференциального уравнения запаздывающего типа.

Ключевые слова: центральная нервная система, математическая модель, функционально-дифференциальные уравнения, регуляторика, динамический хаос, живые системы.

Инсоннинг кўплаб функцияларининг нормал ишлаши марказий нерв тизими (МНТ) ҳолатига боғлиқ, кўзгалиш тарқалишининг регулятор механизмларининг бузилиши кўплаб ўлик хавфли патологияларнинг пайдо бўлиши учун сабабчи бўлиши мумкин. Кўплаб беморларда муҳим ҳаётий

органларнинг шикастланиши марказий нерв тизимидаги бузилишлар билан параллел равишда юзага келади [6, 8, 10]. Ушбу нейропатогенез маълумотларни тушуниш ҳали етарли эмас. Математик ва компьютер моделлаштириш башорат қилиш қобилиятига эгаллиги, кўриб чиқилаётган жараённинг асосий режимларини симуляция қилишга, ишлашнинг регулятор механизмлари ва қонуниятларини аниқлашга имкон беради. МНТ нерв тебранишлари, ритмик нерв фаолиятига хосдир, бу одатда нерв ансамбилларининг тебраниш фаолияти натижасида ҳосил бўлади [1]. Кечикувчи типдаги функционал дифференциал тенгламалар асосида моделлаштиришда моделлаштирилган тизим ечимларнинг тебраниш ҳолати мавжуд бўлишига туғма мойилликка эга [2, 5]. Ушбу тенгламалар регуляция тизимидаги кечикувчи муносабатларни ҳисобга олишга имкон берганлиги сабабли, МНТ да қўзғалиш тарқалишининг регулятор механизмларини моделлаштириш учун улардан фойдаланиш энг мақбулдир.

Тирик тизимларни норма ва аномал ҳолатларда функционал фаоллигини бошқариш ва назорат қилишнинг илмий асосланган усулларини ишлаб чиқишда математик моделлаштириш усуллари ва ҳисоб тажриба воситаларини қўллаш тирик тизимлар фаолияти қонуниятларини миқдор жиҳатдан таҳлил қилиш имконини беради. Марказий нерв тизими ва инсоннинг асосий ҳаётий органлари ўзаро боғлиқ фаолияти регуляторикасини (регулятор механизмлар фаолиятини) тадқиқ қилиш учун Б.Н.Хидиров томонидан таклиф этилган «*OrAsta*» концепцияси асосида биологик ва математик модел тузамиз [4]. Тирик тизимларнинг ўз-ўзини бошқарувини кўпинча ўз-ўзини идора қилиш, регуляция, регулятор механизмлар, улар фаолиятининг умумий қонуниятларини ўрганувчи фан эса *регуляторика* деб аталади. Регулятор тизимлари моделларининг умумий хусусияти маълум муҳитда ишлайдиган ва ташқи таъсирга жавоб беришга қодир бўлган элементлар мажмуаси ҳаракатларини миқдорий таҳлил қилиш бўлгани учун, улар **OR** (*operator-regulator*) – маълум бир характердаги сигналларни сезиш ва синтез қилишга қодир бўлган регулятор тизимининг

элементлари тушунчалари орқали кўриб чиқилиши мумкин, ва *ASTA* (*active system with time average*) – қайта алоқа асосида элементларнинг ўзаро боғлиқлиги амалга ошириладиган регулятор тизимининг сигнал муҳити, ўртача вақт h (сигналларнинг пайдо бўлган вақтдан бошлаб (ёки уларнинг маҳсулотларининг) элементларнинг фаоллигига таъсир қилишигача ўтган вақт) билан амалга оширилади [3]. **OR** *ASTA* билан биргаликда **ORASTA**-регулятор тизимини ташкил қилади.

Тирик тизимлар регуляторикасини моделлаштириш усулидан фойдаланиб [2], марказий нерв тизими ва асосий ҳаётий органлар ўзаро боғлиқ фаолияти регуляторикаси учун қуйидаги функционал-дифференциал тенгламалар тизимини ишлаб чиқамиз [1]:

$$\begin{aligned}
 \frac{dX_1(t)}{dt} &= \frac{a_1 X_1(t-h) X_2(t-h) X_3(t-h) X_4(t-h) X_5(t-h) X_6(t-h) X_7(t-h)}{1 + X_1^2(t-h) X_2^2(t-h) X_3^2(t-h) X_4^2(t-h) X_5^2(t-h) X_6^2(t-h) X_7^2(t-h)} - b_1 X_1(t); \\
 \frac{dX_2(t)}{dt} &= \frac{a_2 X_1(t-h) X_2(t-h)}{1 + X_1^2(t-h) X_2^2(t-h)} - b_2 X_2(t); \\
 \frac{dX_3(t)}{dt} &= \frac{a_3 X_1(t-h) X_3(t-h)}{1 + X_1^2(t-h) X_3^2(t-h)} - b_3 X_3(t); \\
 \frac{dX_4(t)}{dt} &= \frac{a_4 X_1(t-h) X_4(t-h)}{1 + X_1^2(t-h) X_4^2(t-h)} - b_4 X_4(t); \\
 \frac{dX_5(t)}{dt} &= \frac{a_5 X_1(t-h) X_5(t-h)}{1 + X_1^2(t-h) X_5^2(t-h)} - b_5 X_5(t); \\
 \frac{dX_6(t)}{dt} &= \frac{a_6 X_1(t-h) X_6(t-h)}{1 + X_1^2(t-h) X_6^2(t-h)} - b_6 X_6(t); \\
 \frac{dX_7(t)}{dt} &= \frac{a_7 X_1(t-h) X_7(t-h)}{1 + X_1^2(t-h) X_7^2(t-h)} - b_7 X_7(t),
 \end{aligned} \tag{1}$$

бошланғич шартлар $X_1(t) = \gamma_1(t); X_2(t) = \gamma_2(t); X_3(t) = \gamma_3(t); X_4(t) = \gamma_4(t); X_5(t) = \gamma_5(t);$
 $X_6(t) = \gamma_6(t); X_7(t) = \gamma_7(t); t \in [0; h],$

бу ерда $X_1(t), X_2(t), X_3(t), X_4(t), X_5(t), X_6(t), X_7(t)$ - асосий ҳаётий органлар: мия, юрак, ўпка, жигар, талок, буйраклар ва тери фаолиятини мос равишда ифодалайдиган катталиклар; $\{a\}, \{b\}$ коэффициентлар - мос равишда

асосий ҳаётӣ органларнинг фаолиятининг ўсиши ва пасайишини ифодалайди; h – вақт параметри (қайта алоқа даври ўртача вақти). Тенгламалар тизими барча коэффициентларнинг қийматлари мусбат, бу кечикувчи типдаги ишлаб чиқилган нозизиқли функционал-дифференциал тенгламалар тизимига биологик асосли - манфий бўлмаган ечимларни беради.

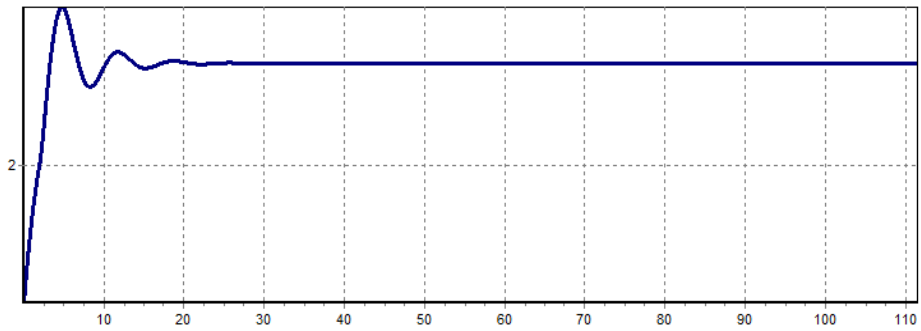
Марказий нерв тизими ва асосий ҳаётӣ органлар ўзаро боғлиқ фаолияти регулятор механизмларини ифодаловчи (1) тенгламалар тизимига редукция усули ва масштаблаштириш амалларини қўллаймиз. Натижада марказий нерв тизими ва асосий ҳаётӣ муҳим органлар ўзаро боғлиқ фаолияти регулятор механизмлари тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади [7]:

$$\frac{1}{h} \frac{dZ(\theta)}{dt} = \frac{a_1 Z^5(\theta-1) \sqrt{G(AZ^6(\theta-1) - BZ^5(\theta-1) + CZ^4(\theta-1) - DZ^3(\theta-1) + EZ^2(\theta-1) - FZ(\theta-1) + G)}}{GZ^{10}(\theta-1) + AZ^6(\theta-1) - BZ^5(\theta-1) + CZ^4(\theta-1) - DZ^3(\theta-1) + EZ^2(\theta-1) - FZ(\theta-1) + G} - b_1 Z(\theta) \quad (2)$$

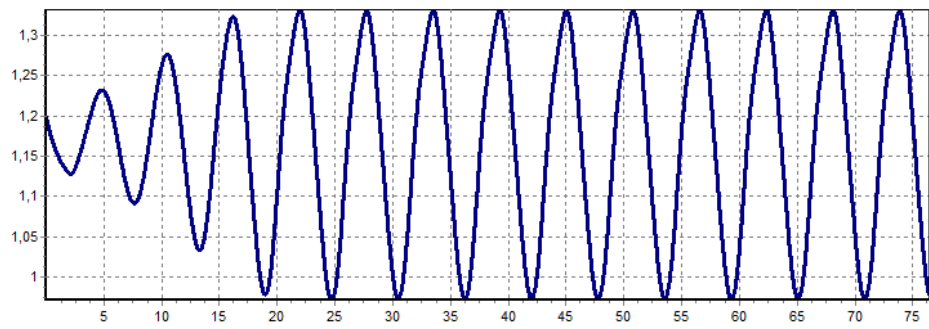
$$X(t) = \gamma(t); \quad t \in [0; h],$$

бу ерда $Z(\theta)$ - марказий нерв тизими ва асосий ҳаётӣ органлар ўзаро боғлиқ фаолияти фаоллигини ифодаловчи катталиқ; a_1, b_1 - коэффициентлар - мос равишда марказий нерв тизими фаоллигининг ўсиши ва пасайиши кесатгичларини ифодалайди; A, B, C, D, E, F, G - номанфий параметрлар.

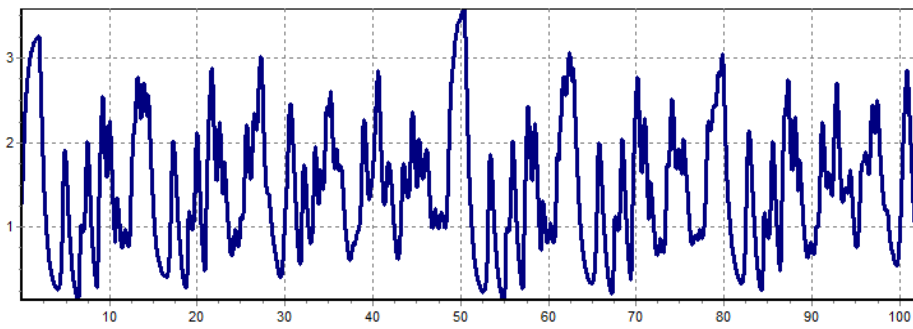
Марказий нерв тизими ва асосий ҳаётӣ органлар ўзаро боғлиқ фаолияти регулятор механизмларини ҳисобий таҳлил қилиш учун дастур ишлаб чиқилди. (2) тенглама ечимларини таҳлил қилиш қуйидаги фаолият режимлари мавжудлигини кўрсатади: стационар ҳолат, даврий тебранма ҳолат, тартибсиз тебранишлар - детерминистик хаос, кескин ҳолатли ўзгаришлар - “қора ўрама” эффекти (1 ва 4- расмлар).



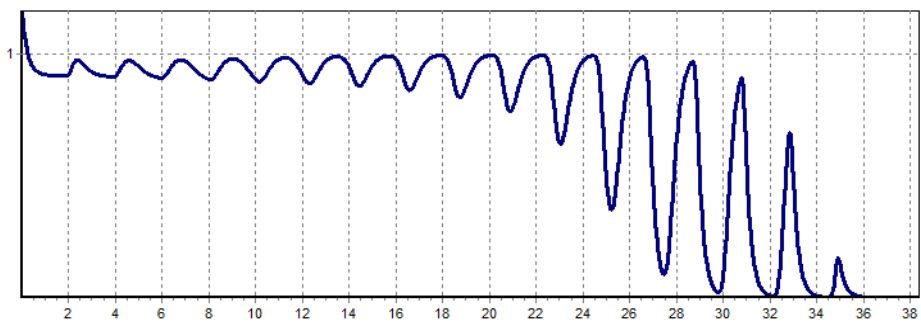
1- расм. (2) Тенгламанинг стационар ечими.



2- расм. (2) Тенгламанинг даврий тебранма ечими.



3- расм. (2) Тенгламанинг нотурғун тебранма (хаос) ечими.



4- расм. (2) Тенгламанинг “қора-ўрама” ечими.

(2) тенглама ечимларини компьютерда сонли тадқиқ қилишнинг самарали усулларида бири Ламерея диаграммаси бўлиб, ушбу усул динамик хаос режимининг хаотиклик даражасини баҳолаш имконини беради. Ламерея диаграммасини тузиш учун тенгламанинг дискрет кўринишдаги тенгламасидан фойдаланилади. Тенгламада $1/h$ нинг жуда кичик қийматларида тенгламанинг чап томони 0 га тенг бўлади. У ҳолда қуйидаги функционал тенгламага эга бўламиз:

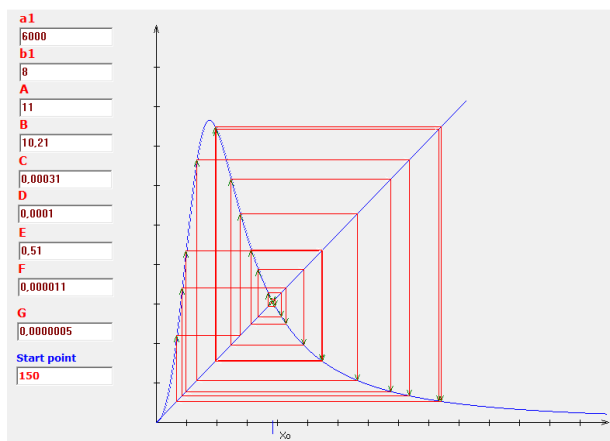
$$Z(\theta) = \frac{a_1 Z^5(\theta-1) \sqrt{G(AZ^6(\theta-1) - BZ^5(\theta-1) + CZ^4(\theta-1) - DZ^3(\theta-1) + EZ^2(\theta-1) - FZ(\theta-1) + G)}}{b_1 (GZ^{10}(\theta-1) + AZ^6(\theta-1) - BZ^5(\theta-1) + CZ^4(\theta-1) - DZ^3(\theta-1) + EZ^2(\theta-1) - FZ(\theta-1) + G)}$$

(3)

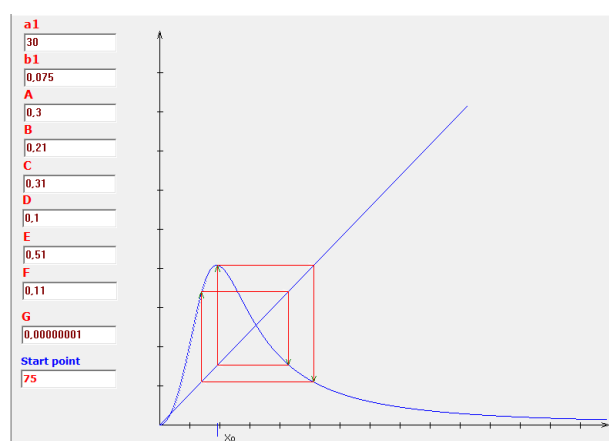
(3) тенгламадан қуйидагича кўринишдаги дискрет тенгламага эга бўламиз:

$$Z_{i+1} = \frac{a_1 Z_i^5 \sqrt{G(AZ_i^6 - BZ_i^5 + CZ_i^4 - DZ_i^3 + EZ_i^2 - FZ_i + G)}}{b_1 (GZ_i^{10} + AZ_i^6 - BZ_i^5 + CZ_i^4 - DZ_i^3 + EZ_i^2 - FZ_i + G)} \quad (4)$$

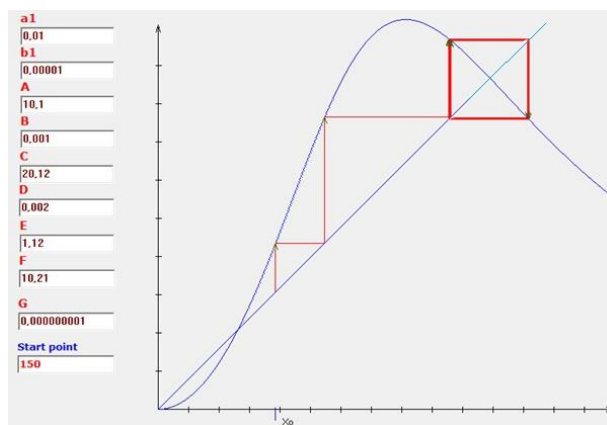
Ламерея диаграммасини қуриш дастуридан олинган натижалар асосида (4) тенглама ечимларини сонли таҳлил қилиш учун ҳисоблаш тажрибалари олиб борилди. Олинган натижаларга кўра, марказий нерв тизими ва асосий ҳаётий муҳим органлар ўзаро боғлиқ фаолияти регулятор механизмлари параметрларининг турли қийматларида стационар, регуляр даврий тебранма, динамик хаос – нерегуляр тебранма ва «қора ўрама» режимлари мавжудлиги кузатилди.



а)



б)



в)

5- расм. (4) Тенглама ечимларининг хоссаларини ифодаловчи Ламерея диаграммаси.

Биологик тизим фаолиятини аномал соҳадан нормал фаолият соҳасига олиб чиқишда Ляпунов курсаткичини компьютарда таҳлил қилиш жуда қўл келиши маълум. Нормал ва динамик хаос режимларида марказий нерв тизими ҳолатини турғунлигини баҳолаш учун Ляпунов кўрсаткичини ҳисоблаш усулидан фойдаланиш мумкин. Ушбу усулни қўллашда ҳам (4) дискрет кўринишидаги тенгламадан фойдаланамиз. Ляпунов кўрсаткичи қиймати қуйидаги ифода ёрдамида ҳисобланади:

$$\lambda(z_0) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \ln \left| \frac{dF(z_i)}{dt} \right| \quad (5)$$

Бу ерда $\lambda(z_0)$ - дискрет тенгламанинг z_0 даги Ляпунов кўрсаткичи, z_0 - дискрет тенгламанинг дастлабки қиймати, $F(z_i)$ - дискрет тенгламанинг i - итерациядаги ҳосиласи, N - итерациялар сони.

Дискрет аналог (4) тенглама асосида Ляпунов курсаткичи ва “r-windows”ларни аниқлаш учун дастурий таъминот ишлаб чиқилди. Ушбу дастурий таъминотдан фойдаланиб марказий нерв тизими ва ҳаётий муҳим органлар ўзаро боғлиқ фаолияти регуляторикаси динамик хаос режимини таҳлил қилиш ва ундаги мавжуд “r-windows”лар сони аниқланади. Динамик хаос соҳасида аниқланган кичик соғлом соҳалар, яъни “r-windows”лар ёрдамида тизимни соғлом соҳага олиб чиқиш мумкин ва бу билан тизимни нобуд бўлишдан сақлаб қолинади.



6- rasim. Lyapunov kўrsatgichi qiymati va "r-windows"lar soni.

Shunday qilib, dinamik kaos soxasini ŷrganişning eng qulay usuli Lyapunov kўrsatgichi dinamikasini xisoblashdir. Diskret tenglamalar eki bir ŷlchovli haritalar regulyator parametrlarini taxlil kiliş uchun samarali vosita xisoblanadi. Tadqiqotlarimiz shuni kўrsatdiki, dinamik kaos soxasida muntazam davriy tebranişlarğa ("r-windows") ega kichik soxalar, yʻni regulyator tizimlarining normal tebranişlarğa ega bŷlgan soxalari mavjud. Ularining soni, xajmi va joylashuvi xar bir regulyator tizim uchun ŷziga xos bŷladi.

Xulosa qilib shuni aytiş mumkin, markaziy nerv tizimi va asosiy xaetiy organlar ŷzaro boqliq faoliatini matematik modellashiriş va sonli usullarini ishlab chiқиş uşbu soxada samarali natijalarğa olib kelişi mumkin. Markaziy nerv tizimi va asosiy xaetiy muxim organlar ŷzaro boqliq faoliatini regulyatorikasining matematik modeli miqdoriy tadqiqotlar natijalari shuni kўrsatadiki, tizimlar vaqtga boqliq bŷlgan munosabatlarini xisobga olgan holda, tebranuvchi jaraenlarining buziлиши asosida amalga oşiriladigan regulyator mexanizmlarini iŷq kiliş natijasida kelib chiқadigan dinamik kasalliklar pайdo bŷlishining asosiy

конунларини самарали текширишга имкон беради. Ишлаб чиқилган математик модел тирик тизимларда, хусусан марказий нерв тизими ва асосий ҳаётий органлар ўзаро боғлиқ фаолиятида нормал ва патологик ҳолатларни олдиндан башорат қилиш ва ташҳис қўйиш имконини беради. Ушбу ишлаб чиқилган модел қайта алоқа вақтини ҳисобга олганлиги билан бошқа моделлардан фарқ қилади.

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Исроилов Ш.Ю. Инсон мияси ва турли органлар ўртасидаги ўзаро боғлиқ фаолиятнинг регулятор механизмларини математик моделлаштириш. //Современное состояние и перспективы применения цифровых технологий и искусственного интеллекта в управлении доклады республиканской научно-технической конференции. – Ташкент, 6-7 сентября 2021. – С. 136-142.

2. Хидиров Б.Н. Избранные работы по математическому моделированию регуляторики живых систем. – Москва: Ижевск, 2014. – 304 с.

3. Хидирова М.Б. Математические модели возбудимых сред. – Тошкент: Фан ва технология, 2015. – 180 с.

4. Хидиров Б.Н., Сайдалиева М.М., Хидирова М.Б. Регуляторика живых систем: монография. – Ташкент: Фан ва технология, 2014. – 136 с.

5. Хидирова М.Б. О решениях функционально-дифференциального уравнения регуляторики живых систем //Вестник Московского университета, 2004. №1. – С. 50-52.

6. Asadi-Pooya AA, Simani L. Central nervous system manifestations of COVID-19: A systematic review. *J Neurol Sci.* 2020;413:116832. doi:10.1016/j.jns.2020.116832

7. Shukhrat, "Mathematical Modeling of Regulatory Mechanisms for the Distribution of Excitation in the Central Nervous System," 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670341.

8. Korálnik IJ, Tyler KL. COVID-19: A Global Threat to the Nervous System. *Ann Neurol.* 2020;88(1):1-11. doi:10.1002/ana.25807

9. Lu N, Xing DQ, Sheng T, Lu W. Sheng Li Xue Bao. The mechanism and function of hippocampal neural oscillation. *Acta Physiologica Sinica*, October 25, 2017, 69(5): 647–656 DOI: 10.13294/j.aps.2017.0052 <http://www.actaps.com.cn>

10. Neishaboori A, Moshrefiaraghi D, Mohamed Ali K, Toloui A, Yousefifard M, Hosseini M. Central Nervous System Complications in COVID-19 Patients; a Systematic Review and Meta-Analysis based on Current Evidence. *Arch Acad Emerg Med*. 2020