

**BIOLOGIK PERESPEKIVLAR VA NEUROMODULYATSIYA: ELEKTRIK
STIMULYATSIYA VA BOSHQA MUOLAJALAR ORQALI MIYA FAOLIYATINI
O'ZGARTIRISH IMKONIYATLARI****Egamnazarova Shahnoza Tursunbayevna****Qo'qon Universiteti Andijon filiali****Davolash ishi yo'nalishi 24-04-guruh talabasi****shahnozaegamnazarova77@gmail.com****Mamazulunov Nurmuhammad Xusanboy o'g'li****Biologik kimyo va farmatsevtika kafedrası o'qituvchisi****<https://doi.org/10.5281/zenodo.17774060>****Annotatsiya**

Ushbu maqola biologik perspektivalar nuqtai nazaridan neuromodulyatsiya jarayonini, xususan elektrik stimulyatsiya, magnit stimulyatsiya, invaziv va noinvaziv aralashuvlar orqali miya faoliyatini nazorat qilish hamda o'zgartirish imkoniyatlarini batafsil tahlil qiladi. Neuromodulyatsiya neyron tarmoqlarning elektr yoki kimyoviy faolligini o'zgartiruvchi, qayta sozlovchi va funksional darajada tartibga soluvchi jarayon bo'lib, u zamonaviy biotibbiyot, neyrotexnologiya va kognitiv fanlarda keskin o'sayotgan tadqiqot yo'nalishlaridan biridir. Maqolada miya plastiklik mexanizmlari, sinaptik kuchayish va pasayish, ion kanallari faoliyati, neyrotransmitterlar dinamikasi kabi asosiy biologik jarayonlar neuromodulyatsiya usullariga qanday javob berishi chuqur yoritiladi. Shuningdek, transkraniyal to'g'ri tok stimulyatsiyasi (tDCS), transkraniyal magnit stimulyatsiya (TMS), vagus nervi stimulyatsiyasi (VNS), chuqur miya stimulyatsiyasi (DBS) va optogenetik yondashuvlarning ilmiy asoslari, klinik qo'llanishi va xavfsizlik masalalari keng muhokama qilinadi. Tadqiqot neuromodulyatsiya texnologiyalarining depressiya, Parkinson kasalligi, epilepsiya, og'riq sindromlari, kognitiv pasayish, reabilitatsiya hamda o'rganish jarayonlariga ta'siri bo'yicha kuzatuvlar va ilmiy dalillarni birlashtiradi. Maqolada, shuningdek, ushbu texnologiyalarning kelajakdagi istiqbollari, ularning axborotni qayta ishlash, xotirani mustahkamlash, neyropsixologik buzilishlarni davolash, shuningdek, sog'lom insonlarda kognitiv imkoniyatlarni oshirish (neuroenhancement) bo'yicha potensial imkoniyatlarini tahlil qiladi. Neuromodulyatsiya metodlarining samaradorligi, cheklovlari va etik masalalari alohida ko'rib chiqilib, ushbu sohaning zamonaviy biologik va klinik rivojlanish yo'nalishlariga ilmiy baho beriladi. Mazkur maqola biotibbiyot, nevrologiya, neyrotexnologiya va psixofiziologiya sohasida faoliyat yuritayotgan tadqiqotchilar uchun dolzarb ilmiy manba bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar

Neuromodulyatsiya, elektrik stimulyatsiya, tDCS, TMS, DBS, vagus nervi stimulyatsiyasi, optogenetika, sinaptik plastiklik, neyron tarmoqlar, miya faoliyatini modulyatsiya qilish, neyrotexnologiya, kognitiv funksiyalar.

Kirish

So'nggi yillarda neuromodulyatsiya biologiya, tibbiyot va neyrotexnologiya sohalarining eng tez rivojlanayotgan yo'nalishlaridan biriga aylandi. Miya faoliyatini elektr, magnit, kimyoviy yoki optik stimulyatsiya orqali o'zgartirish imkoniyati insonning sog'lig'i, kognitiv qobiliyatlari va psixonevrologik holatini boshqarish bo'yicha yangi ufqlarni ochmoqda. Neuromodulyatsiya jarayoni neyron tarmoqlar faoliyatining tabiiy yoki sun'iy tarzda tartibga solinishini anglatib, sinaptik uzatish, neyrotransmitterlar balansini o'zgartirish, neyroplastiklik mexanizmlarini faollashtirish kabi fundamental biologik jarayonlarga tayanadi. Zamonaviy

neyrofiziologiya shuni ko'rsatadiki, miya elektr faolligini modulyatsiya qilish orqali funksional zonalar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni kuchaytirish yoki susaytirish mumkin. Bu yondashuv nafaqat patologik jarayonlarni davolash, balki sog'lom shaxslarda kognitiv jarayonlarni yaxshilash xotira, e'tibor, o'rganish tezligi, qaror qabul qilish mexanizmlarini optimallashtirish imkonini ham beradi. Shuningdek, elektr stimulyatsiya orqali neyronlarning qo'zg'aluvchanligini oshirish yoki kamaytirish klinik amaliyotda depressiya, Parkinson kasalligi, epilepsiya, surunkali og'riq sindromlari, insultdan keyingi rehabilitatsiya va boshqa ko'plab holatlarda samarali natija bergani aniqlangan. Neuromodulyatsiyaning noinvaziv usullariga transkraniyal to'g'ri tok stimulyatsiyasi (tDCS) va transkraniyal magnit stimulyatsiya (TMS) - xavfsizligi, shikast yetkazmaydigan tabiati va yuqori klinik moslashuvchanligi bilan ajralib turadi. Invaziv texnologiyalar chuqur miya stimulyatsiyasi (DBS) va vagus nervi stimulyatsiyasi (VNS) esa og'ir nevrologik va psixik kasalliklarni boshqarishda o'zining yuqori samaradorligi bilan tanilgan. Shuningdek, optogenetika kabi ilg'or yondashuvlar neyronlarni yoritish orqali molekulyar darajada boshqarish imkonini yaratib, kelajak neuromodulyatsiya texnologiyalariga ilmiy asos bo'lmoqda. Ushbu maqola neuromodulyatsiyaning biologik asoslari va klinik imkoniyatlarini keng yoritadi, miya tarmoqlarining elektr va funksional reorganizatsiyasiga oid mexanizmlarni tahlil qiladi, shuningdek, elektr stimulyatsiya va boshqa ilg'or neuromodulyator usullarning hozirgi ilmiy-tadqiqot va amaliy qo'llanishdagi o'rni, afzalliklari hamda cheklovlarini ilmiy nuqtai nazardan baholaydi. Mazkur mavzu nafaqat nevrologlar va biotibbiyot mutaxassislari, balki neyropsixologiya, rehabilitatsiya, biofizika hamda neyrotehnologiya bilan shug'ullanuvchi tadqiqotchilar uchun ham dolzarb ilmiy ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlarning tahlili

Neuromodulyatsiya bo'yicha ilmiy izlanishlar so'nggi o'n yilliklarda sezilarli darajada kengaydi. Dastlabki tadqiqotlarda miya elektr faolligini o'zgartirish nazariy jihatdan mumkin ekani qayd etilgan bo'lsa, bugungi kunga kelib ushbu yondashuvning klinik va neyrohujayraviy asoslari aniq tajribalar bilan tasdiqlangan. Quyida neuromodulyatsiya usullari, ularning biologik ta'sir mexanizmlari va klinik samaradorligiga oid asosiy ilmiy adabiyotlarning tahlili keltiriladi.

Elektrik stimulyatsiya va miya plastiklik mexanizmlari

Ko'plab tadqiqotchilar miya elektr stimulyatsiyasi sinaptik plastiklikni kuchaytirishi, neyronlar o'rtasidagi uzatishni mustahkamlashi va yangi neyron aloqalarini shakllantirishga yordam berishini ta'kidlaydi. Hebb tamoyiliga asoslangan holda, Pascual-Leone va boshqalar tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlar elektr va magnit stimulyatsiya natijasida kortikal qo'zg'aluvchanlik o'zgarishi vaqtinchalik emas, balki uzoq davom etishi mumkinligini ko'rsatadi. Bu esa neuromodulyatsiya jarayonida uzoq muddatli kuchayish (LTP) va uzoq muddatli susayish (LTD) mexanizmlari ishtirok etishini tasdiqlaydi. Eksperimental neyrobiologiya bo'yicha tadqiqotlar ion kanallari faolligi, glutamat va GABA balansidagi o'zgarishlar, kaltsiy oqimining kuchayishi tDCS kabi usullarning asosiy biologik targ'ibot mexanizmlari ekanini ko'rsatadi.

Transkraniyal to'g'ri tok stimulyatsiyasi (tDCS) bo'yicha adabiyotlar

tDCS — eng ko'p o'rganilgan noinvaziv usullardan biri bo'lib, adabiyotlarda uning kognitiv jarayonlarga, xotiraga, e'tibor jarayonlariga va rehabilitatsiyaga ta'siri keng yoritilgan. Nitsche & Paulus tomonidan o'tkazilgan fundamental tadqiqotlar tDCS anod stimulyatsiyasi neyron

qo'zg'aluvchanligini oshirishi, katod stimulyatsiyasi esa pasaytirishini ilmiy jihatdan tasdiqlaydi. Klinik amaliyot bo'yicha adabiyotlar (masalan, Fregni va hamkorlari) depressiya, insultdan keyingi rehabilitatsiya va surunkali og'riqni davolashda tDCSning sezilarli klinik foydasini ko'rsatadi. Pedagogik nevrologiya yo'nalishidagi tadqiqotlar tDCS o'quv jarayonlarida xotira mustahkamlanishi va yangi ma'lumotlarni o'zlashtirish tezligini oshirishi mumkinligini ta'kidlaydi. Shunga qaramay, adabiyotlarda tDCSning individual farqlarga sezgirligi, stimulyatsiya parametrlari o'zgaruvchanligi hamda uzoq muddatli ta'sir bo'yicha yetarlicha aniq xulosalarning yo'qligi qayd etiladi.

Transkraniyal magnit stimulyatsiya (TMS) bo'yicha ilmiy manbalar

TMS - kuchli magnit impulsar orqali kortikal neyronlarning qo'zg'aluvchanligini o'zgartiruvchi usul sifatida keng adabiyotlarda yoritilgan. George va boshqalar tomonidan olib borilgan klinik tadqiqotlar TMSni og'ir depressiyani davolashda samarali usul sifatida FDA tomonidan tasdiqlanishiga asos yaratgan. Adabiyotlarda yuqori chastotali TMS kortikal faollikni oshirishi, past chastotali TMS esa aksincha, faollikni pasaytirishi qayd etilgan. O'rganish va xotira jarayonlarini yaxshilash bo'yicha o'tkazilgan laboratoriya tajribalari TMS tarmoq faoliyatiga tizimli ta'sir ko'rsatishini ko'rsatadi. Shu bilan birga, ba'zi manbalarda TMSning turli shaxslarda turlicha samarasi, parametr tanlashdagi muammolar va standart protokollarning yetarli darajada ishlab chiqilmagani ta'kidlanadi.

Chuqur miya stimulyatsiyasi (DBS) bo'yicha adabiyotlar

Invaziv neuromodulyatsiya bo'yicha eng ko'p o'rganilgan texnologiyalardan biri — DBS hisoblanadi. Benabid tomonidan 1980–1990-yillarda o'tkazilgan kashfiyotlar DBSning Parkinson kasalligida motor simptomlarni sezilarli kamaytirishini ko'rsatdi. Keyingi adabiyotlarda DBS ruhiy kasalliklar, obsesiv-kompulsiv buzilish va epilepsiyada ham ijobiy klinik natijalar berishi tasdiqlangan. Neyrofiziologik tadqiqotlar DBS yuqori chastotali stimulyatsiya orqali patogeneza sabab bo'lgan neyron ritmlarini "tartibga solishi" mumkinligini ta'kidlaydi. Adabiyotlarda DBSning kamchiliklariga jarrohlik xavfi, qurilmaga bog'liqlik, stimulyator sozlamalarini doimiy tanlash zarurati ham keng muhokama qilinadi.

Asosiy qism

Miya inson tanasining eng murakkab va adaptiv organidir. Uning faoliyati neyronlar tarmoqlari va sinaptik bog'lanishlar orqali tartibga solinadi. Neuromodulyatsiya — bu tashqi vositalar yordamida neyron tarmoqlarining ishlashini optimallashtirish jarayonidir. U, asosan, neyron membrana potensialini boshqarish, sinaptik signal uzatilishini o'zgartirish va tarmoq ritmlarini normallashtirish orqali amalga oshiriladi. Neuromodulyatsiya biologik jarayonlarga ta'sir qiladi. Neyronlar faolligi - stimulyatsiya natijasida neyronlar depolarizatsiya yoki giperpolarizatsiya qiladi, bu esa signal uzatilish qobiliyatini oshiradi yoki kamaytiradi. Sinaptik plastiklik - uzoq muddatli kuchayish (LTP) va uzoq muddatli susayish (LTD) orqali neyron tarmoqlari qayta tashkil topadi, bu esa o'rganish va xotira jarayonlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Neyrotransmitter tizimi - dopamin, glutamat, GABA va serotonin darajasining o'zgarishi emotsiyalar, motivatsiya va kognitiv jarayonlarni boshqaradi. Tarmoqlar sinxronizatsiyasi - patologik ritmlar masalan, Parkinson kasalligida beta ritmlari pasayadi, bu esa neyron tarmoqlarining normal ishlashini ta'minlab beradi. Shu bilan birga, neuromodulyatsiya usullari individual farqlarga sezgir bo'lib, inson miyasi har bir shaxsda o'ziga xos javob beradi. Shu sababli, stimulyatsiya protokollarini shaxsga moslashtirish muhim ahamiyatga ega.

Elektrik stimulyatsiya usullari

Elektrik stimulyatsiya - miya faoliyatini modulyatsiya qilishning eng ommabop va keng tadqiq etilgan usullaridan biridir. U asosan kortikal neyronlar faoliyatini o'zgartirishga qaratilgan bo'lib, kognitiv, motor va emotsional jarayonlarni boshqarishda qo'llaniladi. Elektrik stimulyatsiya usullari ikki asosiy turga bo'linadi: transkranial to'g'ridan-to'g'ri tok stimulyatsiyasi (tDCS) va transkranial takroriy magnit stimulyatsiyasi (rTMS). Har ikkala usul ham noinvaziv bo'lib, bemor va tadqiqot ishtirokchilari uchun xavfsiz hisoblanadi.

Transkranial to'g'ridan-to'g'ri tok stimulyatsiyasi (tDCS)

tDCS - bu bosh miya yuzasiga qo'yilgan elektrodlar orqali zaif va doimiy tok yuborish usuli. Tok kuchi odatda 1–2 mA oralig'ida bo'ladi va stimulyatsiya davomiyligi 10–30 daqiqa atrofida bo'ladi. Mexanizmi tDCS kortikal neyronlar membrana potensialini boshqaradi:

- **Anod stimulyatsiya** - neyronlarni depolarizatsiya qilib, ularning faolligini oshiradi.
- **Katod stimulyatsiya** - neyronlarni giperpolarizatsiya qilib, faolligini kamaytiradi.

Bu mexanizm orqali tDCS neyronlar tarmoqlaridagi signal uzatilishini va sinaptik plastikli kni o'zgartiradi. Natijada, o'rganish jarayoni, xotira va diqqatning samaradorligi oshadi. Klinik qo'llanilishi tDCS turli psixologik va nevrologik holatlarda qo'llaniladi. Kognitiv funksiyalari xotira, diqqat va o'rganish jarayonlarini yaxshilaydi. Emotsional holatda depressiya va kayfiyat buzilishlarini kamaytirib beradi. Motor tiklanishda insultdan keyingi motor faoliyatni tezlashtirib beradi. tDCSning afzalliklariga noinvaziv, arzon, oson sozlanadi va xavfsizdir. Cheklovlariga individual javob farqlari mavjud, ta'siri qisqa muddatli va uzoq muddatli samaradorligi cheklangandir.

Transkranial takroriy magnit stimulyatsiyasi (rTMS)

rTMS magnit maydon yordamida kortikal neyronlarning faoliyatini boshqaradi. Elektrodlar o'rniga magnit spiral ishlatiladi, u bosh miya yuzasidan o'tib, neyronlarni stimulyatsiya qiladi. Mexanizmlariga yuqori chastotali stimulyatsiya (≥ 5 Hz) – kortikal faollikni oshiradi. Past chastotali stimulyatsiya (≤ 1 Hz) – kortikal faollikni kamaytiradi. rTMS orqali neyron tarmoqlarining ritmlari va sinaptik faolligi modulyatsiya qilinadi, bu esa kognitiv va emotsional jarayonlarga bevosita ta'sir qiladi. Klinik qo'llanilishi rTMS ko'plab klinik holatlarda samaralidir. Antidepressiv terapiya sifatida keng qo'llaniladi. Insultdan keyingi reabilitatsiya jarayonida qo'llaniladi. Kognitiv jarayonlarda diqqat va xotirani yaxshilashda yordam beradi. rTMSning afzalliklariga noinvaziv, aniq joyga ta'sir qiladi, uzoq muddatli stimulyatsiya protokollariga mos keladi. Cheklovlariga individual javob sezgirli gi mavjud, uzoq muddatli ta'sirlar bo'yicha ma'lumotlar cheklangan, apparat qimmat va professional nazorat talab qiladi.

tDCS va rTMSning solishtirma tahlili

Parametr	tDCS	rTMS
Invazivlik	Yo'q	Yo'q
Tok/magnit maydon	Doimiy past tok	Takroriy magnit impulslar
Ta'sir mexanizmi	Membrana potensialini o'zgartirish	Kortikal ritm va faollikni boshqarish
Qo'llanish sohasi	Kognitiv, depressiya, motor	Kognitiv, depressiya, motor
Afzalliklar	Arzon, xavfsiz	Aniq, uzoq muddatli ta'sir

Cheklovlar	Qisqa muddatli, shaxsiy farqlar	Qimmat, individual javob farqi
------------	---------------------------------	--------------------------------

Invaziv neuromodulyatsiya usullari

Invaziv neuromodulyatsiya usullari - bu miya yoki periferik nerv tizimiga bevosita ta'sir qilish orqali uning faoliyatini boshqarish texnologiyalari. Ushbu usullar noinvaziv stimulyatsiyadan farqli ravishda jarrohlik aralashuvini talab qiladi, ammo ko'pincha yuqori samaradorlik va aniq ta'sir bilan ajralib turadi. Asosiy invaziv usullar qatoriga chuqur miya stimulyatsiyasi (DBS) va vagus nervi stimulyatsiyasi (VNS) kiradi.

Chuqur miya stimulyatsiyasi (DBS)

Chuqur miya stimulyatsiyasi bu miya ichidagi aniq tuzilmaga implantatsiya qilingan elektrodlar orqali elektr impuls yuborish usulidir. Ushbu usul asosan patologik neyron ritmlarini kamaytirish, motor va kognitiv jarayonlarni yaxshilash uchun ishlatiladi. Mexanizmi DBS neyronlarning patologik faolligini boshqaradi. Elektr impulslar orqali patologik ritmlar bosiladi. Tarmoqlar sinxronizatsiyasi normallasadi. Sinaptik plastiklik va neurotransmitter darajalari modulatsiya qilinadi. Bu jarayon Parkinson kasalligi, tremor, epilepsiya va obsesiv-kompulsiv buzilish kabi kasalliklarda simptomlarni sezilarli kamaytiradi. Klinik qo'llanilishi DBS ko'plab nevrologik va psixiatrik holatlarda qo'llaniladi. Parkinson kasalligi: tremor, rigidlik va motor sustligi simptomlarini kamaytiradi. Tremor: esansial tremor va boshqa titroq holatlarda samaralidir. Epilepsiyada xuruj chastotasini kamaytiradi. Obsesiv-kompulsiv buzilish (OCD) obsesif va kompulsiv xatti-harakatlarni pasaytiradi. Afzalliklariga yuqori klinik samaradorlik. Maqsadga aniq ta'sir qiladi. Motor va kognitiv jarayonlarni sezilarli yaxshilaydi. Cheklovlariga jarrohlik aralashuvi va invazivlik. Elektrodni moslashtirish zarurati. Operatsion xavf va infeksiyalardir.

Vagus nervi stimulyatsiyasi (VNS)

Vagus nervi stimulyatsiyasi - bu vagus nervi orqali miya faoliyatini modulyatsiya qilish usuli. Vagus nervi markaziy nerv tizimi bilan bevosita bog'liq bo'lib, limbik tizim, avtonom nerv tizimi va neurotransmitterlar faoliyatini boshqaradi. Mexanizmlariga VNS vagus nervini stimulyatsiya qilish orqali. Limbik tizimni faollashtiradi. Norepinefrin va asetilxolin tizimini stimulyatsiya qiladi. Neyron ritmlarini normallashtiradi va patologik faollikni kamaytiradi. Klinik qo'llanilishi VNS turli kasalliklarda samaralidir. Epilepsiyada xurujlarni sezilarli kamaytiradi. Depressiyada antidepressiv terapiya sifatida qo'llanadi. Avtonom buzilishlarda yurak tezligi, qon bosimi va stress javoblarini boshqarishda yordam beradi. Afzalliklariga katta miya tuzilmalariga ta'sir qilmasdan simptomlarni kamaytirib beradi. Doimiy stimulyatsiya orqali uzoq muddatli foyda beradi. Cheklovlariga jarrohlik aralashuvi talab qilinadi. Individual javob farqlari mavjuddir. Elektrod implantatsiyasi va stimulyator sozlamalari murakkablik yaratadi. Invaziv neuromodulyatsiya usullari yuqori samaradorlikka ega bo'lsa-da, ularning invazivligi va individual moslashuv talablari cheklov sifatida qolmoqda. Shu sababli, tadqiqotlarda jarrohlik xavfini kamaytirish va minimal invaziv texnologiyalarni ishlab chiqish kerakdir. Stimulyatsiya parametrlarini shaxsga moslashtirish. Yangi neyroimaging va real vaqtda monitoring usullarini qo'llashga qaratilgandir. Kelajakda DBS va VNSning kombinatsiyalangan protokollari, ilg'or algoritmlar va sun'iy intellekt yordamida stimulyatsiya samaradorligini oshirish istiqbollari mavjuddir.

Optogenetika va ilg'or texnologiyalar

Optogenetika - bu neyronlarni genetik modifikatsiya yordamida yorug'lik bilan boshqarish texnologiyasi. Ushbu yondashuv ilmiy tadqiqotlarda yangi inqilob sifatida qaraladi, chunki u neyron faolligini millisekund darajasida aniq boshqarish imkonini beradi. Mexanizmlariga optogenetik usullarda neyronlar maxsus genetik vositalar yordamida fotoreseptorlar bilan jihozlanadi. Ushbu fotoreseptorlar yorug'lik bilan stimulyatsiya qilinganda, faollashtiruvchi kanallar (ChR2) – neyronlarni depolarizatsiya qilib, ularning faolligini oshiradi. Boshqaruvchi kanallar (NpHR, Arch) – neyronlarni giperpolarizatsiya qilib, faolligini kamaytiradi. Bu mexanizm orqali tadqiqotchilar neyron tarmoqlarining dinamikasini va patologik ritmlarni aniq modulyatsiya qilishi mumkin. Optogenetika hozircha asosan hayvon modellari va preklinik tadqiqotlarda qo'llaniladi, ammo uning istiqbollari juda kattadir. Xotira va o'rganish jarayonlarida neyron tarmoqlarining faolligini aniq boshqarish orqali xotira jarayonlarini optimallashtirish. Emotsional javoblarda qo'rquv, stress va mukofot tizimi faoliyatini modulyatsiya qilish. Patologik ritmlarda epilepsiya yoki Parkinson kasalligida patologik ritmlarni kamaytirib berish kabilar kutilmoqda. Hozirgi kunda insonlarda klinik qo'llanilishi cheklangan bo'lsa-da, optogenetika tadqiqotlari kelajakda individualizatsiyalangan neuromodulyatsiya protokollarini ishlab chiqishga imkon beradi. Afzalliklarig neyron faoliyatini millisekund darajasida boshqarish. Patologik tarmoqlarni aniq va doimiy modulyatsiya qilish imkoniyati. Tadqiqot va kelajak klinik protokollar uchun yuqori istiqboldir. Cheklovlariga hozircha insonlarda klinik qo'llanilishi cheklangan. Genetik modifikatsiya va yorug'lik stimulyatsiyasi xavfsizlik va etik masalalarni talab qiladi. Jarrohlik va invaziv implantatsiya zarur bo'lishi mumkin. Optogenetika bilan bir qatorda, boshqa ilg'or texnologiyalar ham neuromodulyatsiya sohasini rivojlantirmoqdadir.

- Real vaqt monitoring: neyroimaging va elektrofiziologiya yordamida stimulyatsiya samaradorligini baholash.
- Sun'iy intellekt asosidagi protokollar: stimulyatsiya parametrlarini individual moslashtirish.
- Kombinatsiyalangan usullar: DBS, VNS va optogenetik stimulyatsiyani birlashtirish orqali yuqori samaradorlik.

Bu texnologiyalar miya faoliyatini boshqarish va nevrologik hamda psixiatrik kasalliklarni davolashda yangi davrni ochadi.

Neuromodulyatsiyaning klinik va ilmiy natijalari

Neuromodulyatsiya usullari - noinvaziv (tDCS, rTMS) va invaziv (DBS, VNS) stimulyatsiyalar, shuningdek optogenetika kabi ilg'or texnologiyalar inson miyasi faoliyatini boshqarish, patologik jarayonlarni kamaytirish va kognitiv, emotsional hamda motor funksiyalarni yaxshilashda samarali vosita sifatida tadqiq qilinmoqda. Ushbu bo'limda ushbu usullarning klinik qo'llanilishi va ilmiy natijalari tahlil qilinadi.

Kognitiv funksiyalarga ta'siri

Kognitiv jarayonlar - diqqat, xotira, o'rganish va ijodiy fikrlashni o'z ichiga oladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, tDCS korteksning frontal va temporal qismlariga anod stimulyatsiya orqali xotira va diqqat samaradorligini oshiradi. Masalan, prefrontal kortekska anod stimulyatsiya o'tkazilgan tadqiqotlarda ish xotirasi va vazifalarni tez va samarali bajarish qobiliyati sezilarli yaxshilangan. rTMS yuqori chastotali stimulyatsiya orqali kognitiv jarayonlarni optimallashtiradi, ayniqsa, depressiya va stress holatidagi bemorlarda diqqat va xotira samaradorligini oshiradi.

DBS va VNS shuningdek kognitiv funksiyalarga ta'sir ko'rsatadi, masalan, VNS limbik tizimni faollashtirib, o'rganish va xotira jarayonlarini yaxshilaydi. Kognitiv natijalarning individual farqlari mavjudligi sababli, stimulyatsiya protokollarini shaxsga moslashtirish zarur.

Emotsional va ruhiy holatga ta'siri

Neuromodulyatsiya ruhiy holatni boshqarishda ham samaralidir. Depressiya: rTMS va tDCS prefrontal korteksning faolligini oshirib, kayfiyatni yaxshilaydi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, rTMSni yuqori chastotada qo'llash bemorlarning depressiya simptomlarini sezilarli kamaytiradi. Stress va xavotir: VNS va DBS limbik tizimni modulyatsiya qilib, stress javobini kamaytiradi va emotsional barqarorlikni oshiradi. Motivatsiya va mukofot tizimi: optogenetika tadqiqotlari hayvon modellari asosida motivatsiya va mukofot tizimini aniq boshqarish imkoniyatini ko'rsatmoqda. Shu bilan birga, ruhiy holatga ta'sir ko'rsatishda individual farqlar muhim bo'lib, har bir bemorning neyrofiziologik xususiyatlari hisobga olinadi.

Motor funksiyalarga ta'siri

Motor tizimni stimulyatsiya orqali tiklash va yaxshilash sohasida ko'plab tadqiqotlar olib borilgandir. tDCS insultdan keyingi reabilitatsiyada motor faollikni oshiradi. Anod stimulyatsiya jarohatlangan korteksga qo'llanganda, bemorlarning qo'l va oyoq mushaklarini boshqarish qobiliyati yaxshilangan. rTMS yuqori chastotali stimulyatsiya motor tizimni faollashtiradi va insultdan keyingi tiklanish jarayonini tezlashtiradi. DBS Parkinson kasalligi va tremorda motor simptomlarni kamaytiradi, masalan, titroq, rigidlik va harakat sekinligini sezilarli pasaytiradi. Motor natijalar individual va kasallik bosqichiga qarab farq qiladi, shuning uchun stimulyatsiya parametrlarini optimallashtirish zarur. DBS Parkinson kasalligida beta ritmlarini pasaytiradi va motor tarmoqlar sinxronizatsiyasini normallashtiradi. VNS limbik va avtonom tizimni boshqarib, epileptik xurujlarni kamaytiradi. rTMS va optogenetika kortikal va subkortikal tarmoqlar faolligini aniq modulyatsiya qiladi, bu esa nevrologik va psixiatrik holatlarda simptomlarni kamaytiradi. Bu natijalar ko'rsatadiki, neuromodulyatsiya miya tarmoqlarini qayta tashkil etish va patologik jarayonlarni boshqarishda samarali vosita bo'lib xizmat qiladi. So'nggi o'n yilliklarda olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki: tDCS va rTMS insonlarda kognitiv va motor natijalarni yaxshilashda samarador. DBS Parkinson, tremor va OCD kabi kasalliklarda yuqori klinik samaradorlik ko'rsatadi. VNS epilepsiya va depressiya terapiyasida qo'shimcha samarali vosita sifatida ishlatiladi. Optogenetika preklinik tadqiqotlarda yuqori aniqlik va individual modulyatsiya imkoniyatini ko'rsatdi, kelajakda insonlarda klinik qo'llanilishi istiqbollidir. Stimulyatsiya natijalari shaxsiy neyrofiziologik xususiyatlar, stimulyatsiya parametrlari va patologik holatga qarab o'zgaradi. Shu sababli individualizatsiyalangan stimulyatsiya protokollari ishlab chiqish muhimdir.

Neuromodulyatsiya usullarini solishtirma tahlili

<i>Usul</i>	<i>Invazivlik</i>	<i>Klinik samaradorlik</i>	<i>Xavsizlik</i>	<i>Qo'llanish sohasi</i>
tDCS	Yo'q	O'rta	Yuqori	Kognitiv jarayonlar, depressiya
rTMS	Yo'q	Yuqori	Yuqori	Depressiya, motor tiklanish

DBS	Ha	Juda yuqori	O'rta	Parkinson, tremor, OCD
VNS	Ha	Yuqori	O'rta	Epilepsiya, depressiya
Optogenetika	Ha (preklinik)	Yuqori (hayvon)	Belgilanmagan	Kelajak klinik texnologiya

Xulosa

Neuromodulyatsiya usullarining inson miyasi faoliyatiga ta'sirini keng qamrovli tahlil qildi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, turli stimulyatsiya texnologiyalari - tDCS, rTMS, DBS, VNS va optogenetika o'ziga xos imkoniyatlar va cheklovlarga egadir. Noinvaziv usullar, masalan tDCS va rTMS, kognitiv va motor jarayonlarni qo'llab-quvvatlash, shuningdek ruhiy holatni yaxshilashda samarali ekanligi aniqlandi. Shu bilan birga, invaziv yondashuvlar - DBS va VNS - murakkab nevrologik va psixiatrik holatlarda sezilarli natija beradi, ammo ularning qo'llanilishi jarrohlik aralashuvi va individual moslashuv talab qiladi. Optogenetika esa preklinik tadqiqotlarda yuqori aniqlik bilan neyron faolligini boshqarish imkoniyatini ko'rsatib, kelajakda individualizatsiyalangan terapiyalar uchun istiqbollar yaratadi. Neuromodulyatsiya natijalari shuni ko'rsatadiki, miya faoliyatini boshqarish va patologik holatlarni yengillashtirish uchun ushbu usullar bir-birini to'ldiradi. Har bir bemorning fiziologik xususiyatlarini hisobga olish va stimulyatsiya parametrlarini moslashtirish natijalarni yanada samarali qiladi. Turli stimulyatsiya usullarining samaradorligini solishtiruvchi keng ko'lamli klinik tadqiqotlar o'tkazish kerak. Minimal invaziv texnologiyalarni rivojlantirish va xavfsizlikni oshirishga e'tibor qaratish kerakdir. Optogenetika va ilg'or algoritmik yondashuvlarni insonlarda tadqiq qilishni davom ettirish zarur. Stimulyatsiya protokollarini individual xususiyatlar va patologik holatlarga moslashtirish kerak. Elektr, magnit va genetik yondashuvlarni kombinatsiyalash orqali samaradorlikni oshirish kerak. Umuman olganda, neuromodulyatsiya inson miyasi faoliyatini boshqarish, kognitiv va motor jarayonlarni yaxshilash hamda nevrologik kasalliklarni davolashda yangi imkoniyatlar ochmoqda. Shu bilan birga, kelajak tadqiqotlari individual yondashuv va xavfsizlikni birinchi o'ringa qo'yishi zarurdir.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Nitsche, M.A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. The Journal of Physiology, 527(Pt 3), 633-639.
2. Lefaucheur, J.P., et al. (2020). Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). Clinical Neurophysiology, 131(2), 474-528.
3. Benabid, A.L., et al. (2009). Deep brain stimulation of the subthalamic nucleus for the treatment of Parkinson's disease. The Lancet Neurology, 8(1), 67-81.
4. Groves, D.A., & Brown, V.J. (2005). Vagus nerve stimulation: A review of its applications and potential mechanisms that mediate its clinical effects. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 29(3), 493-500.
5. Deisseroth, K. (2011). Optogenetics. Nature Methods, 8(1), 26-29.
6. George, M.S., et al. (2000). Daily repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS)

improves mood in depression. *NeuroReport*, 11(3), 653–657.

7. Dayan, E., & Cohen, L.G. (2011). Neuroplasticity subserving motor skill learning. *Neuron*, 72(3), 443–454.
8. Herrington, T.M., et al. (2016). Mechanisms of deep brain stimulation. *Journal of Neurophysiology*, 115(1), 19–36.
9. Kraus, T., et al. (2007). BOLD fMRI deactivation of limbic and temporal brain structures and mood enhancing effect by transcutaneous vagus nerve stimulation. *Journal of Neural Transmission*, 114(11), 1485–1493.
10. Paulus, W. (2011). Transcranial electrical stimulation (tES–tDCS; tRNS, tACS) methods. *Neuropsychological Rehabilitation*, 21(5), 602–617.
11. Lozano, A.M., et al. (2019). Deep brain stimulation: Current challenges and future directions. *Nature Reviews Neurology*, 15(3), 148–160.
12. Kim, C.K., Adhikari, A., & Deisseroth, K. (2017). Integration of optogenetics with complementary methodologies in systems neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(4), 222–235.