

УДК 612.831

I. М. Кофан, Г. С. Петров, В. П. Ляшенко
Дніпропетровський національний університет

ДИНАМІКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ПРИ АКТИВАЦІЇ СЕНСОРНОГО АПАРАТА ПІВКОЛОВИХ КАНАЛІВ

Для оцінки динаміки електричної активності головного мозку проводився запис ЕЕГ у фоновому режимі (при закритих очах обстежуваних) і при пред'явленні аферентних подразників у виді стимуляції півколових каналів і світлової стимуляції (відкриття очей). Виявлено залежність між амплітудою і частотою мозкових ритмів у стані відносного фізіологічного спокою та при подразненні вестибулярних і зорових рецепторів.

For an estimation of dynamics of electrical activity of human brain the EEG record was carried out in a background regime (conducted at closed eyes of inspected persons) and at superposition of afferent irritant agents by the way of stimulations of semicircular channels and light stimulation (eye discovering). The relation between amplitude and frequency of cerebral rhythms in condition of relative physiological rest and at boring of vestibular and visual receptors was revealed.

Однією з найважливіших сенсорних систем, тісно пов'язаних з руховим апаратом, вважається система рецепції з лабіринтів (півколових каналів і отолітів), яка забезпечує орієнтацію організму в полі тяжіння. Питання про роль вестибулярного контролю в здійсненні довільних рухів, незважаючи на значну історію його вивчення, залишається одним із актуальних.

Сучасний підхід до розкриття мозкових механізмів процесів сприйняття і переробки сенсорної інформації передбачає використання об'єктивних показників, що відбивають функціонування ЦНС, зокрема аналізу біоелектричної активності різних коркових ділянок великих півкуль [8].

Реєстрація ЕЕГ є єдиним методом безпосереднього і безупинного спостереження за роботою мозку в процесі різної діяльності людини, що не вносить при цьому ніяких перекручувань у досліджувану активність [4]. В ЕЕГ, зареєстрованій з поверхні, знаходять свій відбиток системні процеси, що протікають у корі: перебудови ритмічної активності окремих зон і їхнього взаємозв'язку під час будь-якої діяльності.

З позиції класичної нейрофізіології, синхронізація і десинхронізація на ЕЕГ є об'єктивним корелятом діяльності висхідних активуючих систем ретикулярної формації стовбура мозку [3]. Анатомічно розрізняють не тільки активуючі системи (ретикулярна формація нижніх відділів моста та довгастий мозок і таламічні ядра), але і деактивуючі (передній мозок і таламічні ядра) [2]. Прояв впливу активуючих систем на ЕЕГ трактується як десинхронізація, деактивуючих – як синхронізація.

Таким чином, інтеграція перелічених вище впливів на біоелектричну активність мозку може оцінюватися за допомогою аналізу амплітуди мозкових біоритмів, і зокрема α -ритму. З огляду на це, ми проаналізували динаміку параметрів α -активності (також реєстрували β -ритм) у обстежуваних у контролі (розслаблений стан, закриті очі) і у всіх режимах реєстрації (розслаблене пильнування і реакція активації півколових каналів).

Матеріали і методи

Запис і аналіз ЕЕГ проводили за допомогою комп'ютеризованої енцефалографічної програми ДХ-2000 (м. Харків, Україна). Використовували стандартну методику реєстрації ЕЕГ з розташуванням відвідних електродів за системою Юнга

(модифікований варіант системи "10-20"). Зміни в ЕЕГ оцінювали за допомогою візуального аналізу кривих, визначаючи наявність осередків домінуючої активності, переважання тієї або іншої активності у певних кіркових зонах, наявність реакції перебудови біострумів у відповідь на зорову або вестибулярну активацію, а також проводили аналіз амплітуди і частотного спектра з застосуванням ЕОМ.

При вивченні впливу вестибулярної активації на біоелектричну активність мозку ми застосовували методику, засновану на загальновідомому положенні про те, що адекватним подразником рецепторів півколових каналів є кутове прискорення [7]. Кутові прискорення одержували, використовуючи повороти й обертання голови обстежуваними навколо своєї осі [5]. Обстеження проводили за таких умов. У першому випадку – обстежуваному пропонувалося зробити двадцять рівномірних маятникових поворотів голови вправо і вліво зі швидкістю один поворот на секунду (в такт з роботою метронома) і різкими зупинками у плечових суглобах і у вихідному положенні. У даному випадку створювалися умови для переважної активації рецепторів горизонтального каналу. У другому випадку – обстежуваний робив двадцять нахилів голови у фронтальній площині (вправо і вліво), що є необхідною умовою для переважного подразнення рецепторів вертикального каналу. В третьому випадку – обстежуваний робив двадцять нахилів голови вперед і назад з метою стимуляції рецепторів сагітального каналу. В четвертому випадку – обстежуваний обертав головою навколо своєї осі (двадцять обертальних рухів), чим створювалася активація рецепторів всіх трьох каналів. Дослідження проводилися як із відкритими, так і з закритими очима (для виключення зорового коригуючого контролю).

Результати та їх обговорення

Аналіз ЕЕГ із функціональними пробами (світлова стимуляція і реакція активації півколових каналів) дозволили виявити такі закономірності. До реакції активації у обстежуваних спостерігався нормальний α -ритм частотою $9,59 \pm 0,05$ Hz, середньою амплітудою $26,69 \pm 3,65$ мкВ, причому він домінував на фоновій кривій. Фонову α -активність можна було оцінити як середньовольтну. Більшість α -хвиль мали дезорганізовану форму. Відносна частка повільних хвиль із середньою амплітудою $19,10 \pm 0,52$ мкВ не перевищувала 11,3% кількості всіх коливань. Частка β -ритму складала не більше 8,5%, а середня амплітуда цього компонента дорівнювала $23,74 \pm 2,72$ мкВ. Топічна картина розподілу ЕЕГ-активності характеризувалася наявністю максимально високої щільності модульованої α -активності в потиличних ділянках, меншою амплітудою цієї складової в лобових ділянках та найбільш низькою α -активністю в тім'яних і центральних ділянках кори. Повільні хвилі розподілялися дифузно.

При відкриванні очей спостерігалася достовірне зниження амплітуди α -ритму, середня амплітуда даного ритму при цьому складала $17,63 \pm 1,41$ мкВ (феномен активації). Діапазон найбільших відхилень зареєстрований нами при регуляції α -ритму, що можна пояснити найбільшою виразністю даного ритму в більшості людей і гарної спроможності реагувати на рівень активації. Аналіз томограм показав, що регуляція α -ритму легше усього здійснюється від потиличних ділянок. Включення потиличних відділів кори показано також і в процесі організації і регуляції рухів і цілком може бути пояснене тим, що саме зір при формуванні рухових навичок є головною ланкою. Проте, найбільше цікавим, на наш погляд, є той факт, що ефект відкритих очей не обмежився тільки структурами зорового аналізатора, а поширився також і на інші відділи кори головного мозку. Так, зміни, відображені на томограмі при відкритих очах, були замічені також у лобовій зоні і, у меншому ступені, у скроневій. Цей факт

свідчить про те, що зорова активація впливає на мозок у цілому і викликає перебудову мозкової активності як у структурах зорового аналізатора, так і в структурах інших аналізаторних і асоціативних систем кори головного мозку.

Не можна, проте, ототожнювати реакцію депресії α -ритму з загальним збудженням кори. Вона відбиває лише факт робочої десинхронізації нейронів кори, в результаті якої можуть розвинутиися як збудження, так і гальмування [1; 2]. При дії аферентних подразнень десинхронізація поряд зі зміною збудливості охоплює кіркові ділянки навіть у тому випадку, якщо вони позбавлені оперативним шляхом прямих зв'язків із нижчерозташованими відділами мозку (кіркова ірадіація) [2].

Зміни в ЕЕГ при адекватному подразненні лабіринтів носять дифузійний характер, але можуть бути більш виражені в потиличній, лобовій або скроневій частках. Але по змінах фоновой електричної активності не можна судити про локалізацію в корі певної сенсорної проекції. Ці зміни говорять, в основному, про неспецифічні зв'язки кори з підкірковими утвореннями. Функціональні зміни кори, викликані вестибулярними подразненнями, призводять до порушення кірково-підкіркових співвідношень, що у свою чергу змінює картину ЕЕГ.

Порівнюючи кількісні дані змін в електричній активності мозку зауважимо, що як при ізольованому подразненні каналів, так і при одночасній їхній стимуляції спостерігалось збільшення амплітуди α -ритму в порівнянні з контролем (без активації, закриті очі), що, можливо, є наслідком збільшення за таких умов тону синхронізуючих верхньостовбурних структур. Така ж картина спостерігалася і при відкритих очах, але в даному випадку збільшення амплітуди було менш значним. З нативних записів ЕЕГ і з комп'ютерної обробки по щільності ритмів видно, що тета-ритм збільшує щільність дифузно, стирається градація між α -ритмом, включається нижній стовбур ретикулярної формації. Також треба відмітити, що в скроневих відведеннях спостерігалось перезбудження. Частота α -ритму при відкриванні очей достовірно зменшилася в порівнянні з контролем і склала $9,32 \pm 0,07$ Hz (у контролі складала $9,59 \pm 0,05$ Hz).

При подразненні рецепторів півколових каналів і закритих очах спостерігалось зменшення частоти основних ритмів ЕЕГ у порівнянні з контролем, а в експериментальній ситуації з відкритими очима достовірно збільшення частоти. Причому в ситуації при відкритих очах обстежуваних зміни в частоті були виражені більше, ніж при закритих очах.

Розглядаючи зміни β -ритму відзначимо, що він превалює в скроневих і лобових ділянках. При відкритих очах спостерігалось зменшення амплітуди цього ритму до $18,73 \pm 1,06$ мкВ, що можна пояснити реакцією перебудови біоритмів на зорову активацію. При стимуляції рецепторів півколових каналів відбувалося збільшення амплітуди даного ритму як при закритих очах, так і при відкритих (у порівнянні з контрольними даними при закритих і відкритих очах відповідно), що свідчить про підвищення процесів дезорганізації співвідношень «кора-підкірка».

Що стосується повільних хвиль, то відзначимо, що при активації рецепторів півколових каналів їхні частотно-амплітудні характеристики істотно не змінювалися.

Таким чином, дані зміни в ЕЕГ при стимуляції рецепторів півколових каналів дозволяють нам припустити, що за даних умов, цілком ймовірно, посилюється тонус неспецифічних синхронізуючих (гальмівних) механізмів стовбура мозку. Відомо, що структури стовбура відповідають гальмівною активністю тільки у випадку повторних впливів регулярних потоків сенсорних імпульсів. У даному випадку можна припустити, що повороти й обертання головою призводять до порушення нервового балансу у бік переваження синхронізуючих впливів, тому що являють собою ритмічні впливи і викликають різке зростання притоку аферентної імпульсації.

Високоамплітудні ритмічні електричні коливання, які записуються з кори, є наслідком синхронної діяльності значного числа нервових клітин, що мають однакову лабільність й утворюють певні просторові системи в корі головного мозку. Чим обширніші такі системи і чим більша кількість нейронів бере в них участь, тим із більшої території кори і тим із більшою амплітудою повинні записуватися синхронізуючі ритми. В основі виникнення цієї синхронної активності можуть лежати, крім синаптичних, також і впливи один на одного сусідніх нейронів за допомогою електричних полів [4].

Результати проведених досліджень показують, що є розходження при відведенні електричної активності від різних ділянок кори мозку.

Так, якщо розглядати α -ритм, слід зауважити, що при закритих очах обстежуваних найбільші зміни відбулися під 7 електродам, який вважається скроневим, а найменші – під 13 та 14 електродами (зоровими). Мінімальна амплітуда реєструвалася при сумісному подразненні всіх каналів.

При відкритих очах найбільші зміни відбулися також під 7 електродам, який вважається скроневим. Найменші зміни зареєстровані в тих же умовах під 13, 14 електродами, де розташована зорова кіркова зона. У цій області спостерігається максимальна синхронізація і вплинути на синхронну активність клітин кори аналізатора складніше.

Слід зазначити, що як сумісна стимуляція рецепторів півколових каналів, так і поодинокі подразнення каналів в умовах зорової активації викликали збільшення амплітуди ритму практично в усіх ділянках кори мозку, що може бути пов'язано з реакцією активації.

β -ритм – це високочастотний ритм. При закритих очах обстежуваних високі значення амплітуди ритму реєструвалися під 1, 11, 13 та 14 електродами; а найменші – під 5, 7, які вважаються руховими, та 9, 10 електродами, які вважаються сенсорними.

При відкритих очах амплітуда ритму зменшувалася в порівнянні з закритими очима, а мінімальні величини також залишалися під 9 та 10 електродами, а найбільші – під 12, 13 електродами. Слід зробити акцент на 12 електроді, тому що він є задньоскроневим, і при закритих очах амплітуда ритму під ним була значно нижчою (це пояснюється реакцією на вестибулярну активацію).

Зміни амплітуди β -ритму схожі зі змінами амплітуди α -ритму, що пояснюється також реакцією активації при сенсорних подразниках. Слід зауважити, що під 1 та 6 електродами в умовах одночасної стимуляції рецепторів всіх півколових каналів спостерігалася протилежна картина. Так, під 1 електродам за даних умов при закритих очах амплітуда була меншою, ніж при відкритих, тоді як під 6 електродам все відбувалось навпаки. Але слід відзначити більш виражене збільшення амплітуди при включенні аналізатора (вестибулярна стимуляція) в умовах зорової активації.

Оскільки задні відділи скроневої долі є так званими асоціативними полями кори і найбільш тісно пов'язані з ретикуло-таламічною неспецифічною системою, переважні зміни ЕЕГ на подразнення лабіринтів повинні відзначатися саме в цих ділянках, що і знайшло своє підтвердження в наших експериментах.

Таким чином, аналіз змін частотних та амплітудних характеристик ЕЕГ показав, що вони, ймовірно, пов'язані з відображенням аферентної імпульсації від зорових рецепторів та різних півколових каналів до різних структур головного мозку. Причому відзначимо, що зміни параметрів основних ритмів ЕЕГ при активації вестибулярної та зорової систем не залежать від віку, а пов'язані з індивідуальною настройкою кірково-підкіркових зв'язків, у першу чергу ретикулярної формації та кори, які підтримують

гомеостатичну рівновагу кіркових відділів мозку [1]. Так, активація зорової системи викликає реакцію перебудови біоритмів, а саме: зниження амплітуди α -ритму, що може бути пов'язано з підсиленням активності десинхронізуючих утворень (ретиккулярної формації нижніх відділів моста та довгастого мозку). Деякі автори вважають, що викликана десинхронізація ЕЕГ у діапазоні α - і β -ритмів виступає як характеристика рівня активності кіркових областей при обробці сенсорної інформації та підготовці до рухів, тоді як викликана синхронізація ЕЕГ у тому ж діапазоні, можливо, є корелятом деактивації кори [6]. При стимуляції рецепторів півколових каналів амплітуда α -ритму зростала. Це дозволяє нам припустити, що за даних умов, з усією вірогідністю, підсилюється тонус неспецифічних синхронізуючих утворень нижнього стовбура мозку (передній мозок та таламічні ядра). Цей факт досить парадоксальний, оскільки відомо, що зорова активація викликає посилення десинхронізуючих впливів на кіркові нейрони, але може бути пояснений тим, що в умовах активації півколових каналів при відкритих очах обстежуваних синхронізація викликана структурами, що відповідають як за зір, так і за вестибулярну інформацію, а при закритих очах спостерігається варіант сумачії гальмівних потенціалів.

Бібліографічні посилання

1. Гнездицкий В. В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. – Таганрог: Изд-во Таганрог. гос. радиотехн. ун-та, 1997.
2. Зенков Л. Р. Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1996.
3. Зенков Л. Р. Функциональная диагностика нервных болезней / Л. Р. Зенков, М. А. Ронкин. – М.: Мир, 1990.
4. Каплан А. Я. Топографическая вариативность спектральных паттернов ЭЭГ / А. Я. Каплан, Ал. А. Фингелькурц, Ан. А. Фингелькурц, В. А. Ермолаев // Физиология человека. – 1999. – Т. 25, № 2. – С. 21–29.
5. Клименко Д. И. Хронические заболевания вестибулярного и слухового анализаторов. – Днепропетровск, 1997.
6. Пономарев В. А. Десинхронизация и синхронизация ЭЭГ подростков, вызванные стимулами, запускающими или запрещающими сенсомоторную реакцию. Сообщение 1. Влияние модальности стимулов / В. А. Пономарев, О. В. Кропотова, Ю. Д. Кропотов // Физиология человека. – 1999. – Т. 25, № 6. – С. 15.
7. Солдатов И. Б. Лекции по оториноларингологии. – М.: Медицина, 1994. – С. 40–56.
8. Begleiter H. Event-related potentials differentiate priming and recognition to familiar and unfamiliar faces / Begleiter H., Porjesz B., Wang W. // EEG and clin. Neurophysiol. – 1995. – Vol. 94. – P. 41.

Надійшла до редколегії 15.02.05