

УДК: 612.821.35

А. Г. Моренко

Волинський національний університет ім. Лесі Українки

ЕЛЕКТРОФІЗИОЛОГІЧНІ КОРЕЛЯТИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СТАНІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ФОНОСТИМУЛЯЦІЄЮ ТА СЛУХОМОТОРНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ У ЧОЛОВІКІВ

У дослідженні взяли участь 104 здорові, праворукі з ведучим правим вухом чоловіки 19–21 року. Аналізували потужність коливань електроенцефалограми у α_1 та α_2 піддіапазонах і амплітудно-частотні характеристики поверхневих м'язів згиначів і розгиначів пальців правої та лівої рук під час фоностимуляції та слухомоторної діяльності. Зміни потужності α_1 активності у чоловіків відображають процеси неспецифічної активації, α_2 – вказують на застосування когнітивних і мнестичних механізмів, контролю з боку кори. Установлені динамічні зсуви лінійно корелюють зі складністю завдань. Відповідно до активаційних процесів у корі формується супраспинальна рухова команда, що визначає кількість включених у діяльність рухових одиниць, частоту та узгодженість їх розрядів.

А. Г. Моренко

Волинський національний університет ім. Лесі Українки

ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ФОНОСТИМУЛЯЦИЕЙ И СЛУХОМОТОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ У МУЖЧИН

В исследовании приняли участие 104 здоровых, праворуких с ведущим правым ухом 19–21-летних мужчины. Анализировали мощность колебаний электроэнцефалограммы в α_1 и α_2 поддиапазонах и амплитудно-частотные характеристики поверхностных мышц сгибателей и разгибателей пальцев правой и левой рук при фоностимуляции и слухомоторной деятельности. Изменения мощности α_1 активности у мужчин отражают процессы неспецифической активации, α_2 – указывают на применение когнитивных и мнестических механизмов, контроля со стороны коры. Установленные динамические сдвиги линейно коррелируют со сложностью заданий. В соответствии с активационными процессами в коре формируется супраспинальная двигательная команда, которая определяет количество включенных в деятельность двигательных единиц, частоту и согласованность их разрядов.

A. G. Morenko

Lesya Ukrainka Volyn National University

ELECTROPHYSIOLOGICAL CORRELATES OF FUNCTIONAL STATE RELATED TO THE AUDITORY STIMULATION AND AUDITORY MOTOR ACTIVITIES OF MEN

The study involved 104 healthy right-handed, 19–21 years old men with the right leading ear. The electroencephalogram oscillation amplitude in α_1 and α_2 subbands and the amplitude-frequency characteristics of the superficial flexor and extensor muscles of fingers of both hands are analyzed during auditory stimulation and auditory motor activities. Changes of the α_1 activity power in men reflect the processes of nonspecific activation, α_2 – indicate the cognitive and mnesic mechanisms of the cortex control.

Established dynamic shifts correlated linearly with complexity of the tasks. In accordance with the activation processes in the cortex supraspinal motor command formed and determined the amount of motor units included in the activity, the frequency and consistency of their discharges.

Вступ

Важливе питання для розуміння і трактування сутності сенсомоторної діяльності людини – виявлення центральних механізмів сприйняття і мануального відтворення людиною акустичних ритмічних стимулів [1; 3–6]. Сучасні літературні дані свідчать про динамічність і пластичність коркових потенціалів у відповідь на звукові подразники (сигнали, мова) залежно від їх складності, а також віку та статі досліджуваних, їх індивідуально-типологічних характеристик і набутого досвіду [3; 4; 9; 13]. Рухові відчуття забезпечують досить точне відображення дійсності, швидкості та послідовності явищ [1; 3; 4; 7; 10; 12] та змінюються залежно від віку [1], рівня фізичної активності і тренуваності [7; 10], фізичного навантаження [6], деяких факторів середовища (температура, професійна шкідливість) або при патології опорно-рухового апарату [12]. Координація сенсорних і моторних процесів полегшує людині вибір правильної стратегії поведінки [1; 3–6]. На думку Лурії [4] комплексна слухомоторна діяльність передбачає як слуховий аналіз ритмічної структури, так і її «перешифрування» на серію послідовних рухів.

Незважаючи на значну кількість праць, присвячених вивченню механізмів слухомоторного координування, залишається ряд питань, щодо яких немає одностайної думки у наукових колах і які потребують уточнень і подальших досліджень. Серед них – комплексне вивчення механізмів коркового забезпечення та низхідної спеціалізованої регуляції нервово-м'язової периферії в умовах перемикання уваги між слуховим сприйняттям і запуском необхідної моторної програми. У контексті даної проблематики виявляється актуальною мета нашого дослідження: виявлення динамічних змін потужності коливань електроенцефалограми в α_1 і α_2 піддіапазонах і амплітудно-частотних особливостей роботи працюючих м'язів в умовах пасивного сприйняття (під час фоностимуляції), а також сприйняття та мануального відтворення ритмічних звукових стимулів (у режимі слухомоторної діяльності) у чоловіків.

Матеріал і методи досліджень

У наших дослідженнях брали участь 104 чоловіки віком 17–21 року. Усі тестовані були здоровими за даними соматичного та психоневрологічного обстеження, мали правобічний профіль мануальної та слухової асиметрії [2]. Показниками інформаційних процесів в умовах адекватного тестування вважали електричну активність кори головного мозку та поверхневих м'язів згиначів і розгиначів пальців правої (ведучої руки). Електричну активність кори головного мозку визначали за показниками електроенцефалографії, працюючих м'язів – електроміограми.

Реєстрацію електроенцефалограми здійснювали за допомогою апаратно-програмного комплексу «Нейрон-Ком», розробленого науково-технічним центром радіоелектронних медичних приладів і технологій «ХАІ-Медика» Національного аерокосмічного університету «ХАІ» (свідоцтво про державну реєстрацію № 6038/2007 від 26.01.2007 р.). Активні електроди розміщували за міжнародною системою 10/20 у дев'ятнадцяти точках голови. Реєстрацію здійснювали монополярно. У функціональних пробах аналізували 40-секундні відрізки часу. Епоха аналізу складала 2 с з 50 % перекриттям. Під час експерименту досліджувані перебували у звуко- та світлонепроникній камері. Для режекції електроенцефалографічних артефактів використовували процедуру ІСА-аналізу. Для кількісного аналізу даних електроенцефалограми викори-

стовували комп'ютерну програму оцінки потужності її коливань у α_1 (8–10 Гц) та α_2 (10,1–13 Гц) піддіапазах. У сучасній літературі показано різну динаміку високочастотного та низькочастотного компонентів α -активності, які відображають активність двох послідовних систем сприйняття – аферентної (bottom-up, знизу догори) та еферентної (top-down, згори донизу) [8; 11; 13].

Як показник функціонального стану працюючих м'язів (поверхневих згиначів (*muscle flexor digitorum superficialis*) і розгиначів (*muscle extensor digitorum*) пальців правої та лівої рук) реєстрували їх електричну активність. Вивчення останньої здійснювали з використанням системи комп'ютерної електроміографії «Нейро-ЕМГ-Мікро» («Нейрософт» Росія, Іваново, 2009, ЄС-Сертифікат відповідності № RQ093102-V). Система реєстрації спонтанної електроміограми складалась із біполярних поверхневих електродів, що відводили потенціали м'яза, посилювача цих сигналів і реєструвального пристрою. Електроди фіксували на шкірі над ділянкою рухової точки м'яза уздовж ходу його м'язових волокон. На шкіру досліджуваного над ліктьовим суглобом накладали поверхневий електрод заземлення. Різницю потенціалів від електродів подавали на вхід посилювача напруги. Верхня смуга пропускання посилювача становила 10 000 Гц, нижня – 2–10 Гц. Швидкість розгортки запису складала 5 мс/см. Як параметри аналізу електроміограми використовували середні амплітуду (мкВ) та частоту (Гц) її коливань.

Під час експерименту досліджувані із закритими очима напівсиділи у кріслах із підголовниками. Передпліччя зафіксовані на підлікотниках. Електроенцефалограму реєстрували у стані функціонального спокою (фон), під час фоностимуляції, слухомоторної діяльності, електроміограму – у стані спокою та в умовах слухомоторної діяльності. Під час фоностимуляції досліджувані лише слухали ритмічні стимули. Згідно з інструкцією не передбачали і стану налаштування до майбутньої рухової діяльності. Тому реєстрацію електроміограми, що показує зміни у роботі м'язів, за цих обставин вважали недоцільною.

Під час фоностимуляції з частотою 2 Гц подавали звукові стимули, що мали тривалість 2 мс, гучність – 55–60 дБ, частотний діапазон – 110 Гц. Як стимули використовували звуки електронної версії барабанного бою (програмне забезпечення Finale 2006). Стимули подавали бінаурально на відстані 1 м від кожного вуха досліджуваного. Слухомоторна діяльність полягала у слуховому сприйнятті та мануальному відтворенні означених звуків [3–6] – піддослідні у відповідь на кожний стимул почергово стискали або розтискали пальці правої, а згодом лівої руки. Протягом однієї проби чоловіки виконували завдання лише однією рукою.

Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою *t*-критерію Стьюдента. Оцінювали значущість відмінностей показників між півкулями кори, між тестами та порівняно зі станом функціонального спокою. Значущі відмінними вважали показники при $p \leq 0,05$. У цьому діапазоні з метою оцінки зростання або зменшення величини відмінностей показників визначали $p \leq 0,001$ і $0,001 < p \leq 0,05$.

Результати та їх обговорення

Результати наших досліджень указують на специфічні риси коркових і м'язових активаційних процесів у чоловіків у стані функціонального спокою, в умовах фоностимуляції та при забезпеченні слухомоторної діяльності за участю пальців обох кистей. У всіх функціональних станах чоловіків спостерігали лобно-потиличний градієнт зростання потужності α_1 та α_2 піддіапазонів електроенцефалограми. Стан функціонального спокою відповідно до класичних уявлень нейроміографії [7] розглядали як фон, вихідний тонус «спокою», що впливає на реалізацію рухових дій. У α_1 піддіапазоні

фіксується правопівкулеве переважання у задніх структурах кори ($p \leq 0,05$) (табл. 1), у α_2 – міжпівкулеві асиметрії не встановлюються (табл. 2).

Таблиця 1

Динаміка потужності (мкВ²) коливань електроенцефалограми в α_1 піддіапазоні у чоловіків

Відведення	Стан спокою	Фоностимуляція	Слухомоторна діяльність правою рукою	Слухомоторна діяльність лівою рукою	
Fz	87,1 ± 7,7	69,7 ± 6,3	72,0 ± 6,5	58,9 ± 4,8	
Cz	122,4 ± 11,1	85,6 ± 8,6	97,2 ± 8,5	84,1 ± 7,2	
Pz	187,9 ± 18,4	95,2 ± 9,0	144,3 ± 14,5	112,4 ± 11,2	
У лівій півкулі	Fp1	59,8 ± 5,0	48,2 ± 4,8	56,9 ± 5,1	46,4 ± 3,3
	F3	81,4 ± 7,2	66,9 ± 7,3	71,8 ± 7,2	54,6 ± 4,6
	F7	53,3 ± 4,5	37,4 ± 4,0	51,5 ± 4,9	40,1 ± 3,0
	T3	60,4 ± 5,6	32,8 ± 2,8	46,6 ± 4,5	40,2 ± 4,3
	C3	109,1 ± 9,9	75,6 ± 7,7	82,0 ± 7,3	70,9 ± 6,2
	T5	74,1 ± 7,6	41,1 ± 3,4	59,1 ± 6,5	49,8 ± 6,4
	P3	155,3 ± 15,5	82,3 ± 7,6	105,0 ± 9,7	97,4 ± 10,3
O1	264,8 ± 27,3	173,2 ± 16,7	192,1 ± 19,7	130,6 ± 13,8	
У правій півкулі	Fp2	59,8 ± 4,9	49,3 ± 4,9	59,9 ± 5,3	48,4 ± 3,5
	F4	81,3 ± 7,1	66,8 ± 6,9	72,7 ± 7,2	56,6 ± 4,6
	F8	54,5 ± 4,8	45,5 ± 5,1	50,2 ± 4,6	42,4 ± 3,1
	T4	59,2 ± 5,8	42,8 ± 4,7	45,2 ± 4,5	37,3 ± 3,2
	C4	114,0 ± 10,8	78,6 ± 6,0	85,0 ± 7,4	72,2 ± 6,2
	T6	90,5* ± 9,7	80,8* ± 7,3	58,0* ± 6,0	50,0 ± 5,6
	P4	184,1* ± 16,7	94,4 ± 9,1	135,0* ± 14,0	110,7* ± 11,2
O2	364,2* ± 40,0	273,9* ± 27,4	256,2* ± 24,8	186,7 ± 19,5	

Примітка: * – значущі міжпівкулеві переважання показників, $p \leq 0,05$.

Реєструються, з одного боку, значно вища потужність коливань електроенцефалограми в α_1 та α_2 піддіапазонах ($p \leq 0,05$, $p \leq 0,001$) (рис. 1, 2), з іншого – нижчі значення середньої амплітуди та вищі величини середньої частоти коливань електроміограми ($p \leq 0,001$) (рис. 3, 4), порівняно з іншими тестовими ситуаціями. Така активність узгоджується з даними [1; 6; 11] про синхронну активність коркових нейронних ансамблів і відображає низькочастотну низхідну імпульсацію до рухових одиниць працюючих м'язів у ході реалізації вихідного тону спокою [7; 12]. Реєструється нижча середня амплітуда м'язів згиначів правої руки порівняно зі згиначами однойменної руки ($p \leq 0,05$) та згиначами лівої руки ($p \leq 0,001$). Подібні відмінності можуть вказувати на більш економічні вихідні умови іннервації м'язів згиначів правої руки у правшів. Аналіз латеральних асиметрій у функціонуванні м'язів розгиначів правої й лівої рук не виявляє відмінностей у стані спокою (табл. 3). Це узгоджується з даними авторів [7; 12] про подібність показників електроміограми однакових м'язів симетричних кінцівок у стані спокою.

Функціональний стан чоловіків, пов'язаний із пасивним сприйняттям звукових стимулів (фоностимуляцією), супроводжується зниженням потужності коливань електроенцефалограми у α_1 і α_2 піддіапазонах порівняно зі станом спокою. Блокування піддіапазонів α -ритму електроенцефалограми багатьма авторами пов'язується з перемиканням уваги людини від внутрішніх до зовнішніх стимулів [1; 4; 8; 10; 11]. Дана закономірність у α_1 піддіапазоні є більш генералізованою та значущою, реєструється у скроневих (зліва – $p \leq 0,001$, справа – $p \leq 0,05$), центральних ($p \leq 0,05$) і тім'яних ($p \leq 0,001$) частках обох півкуль, а також у лівих латеральній лобовій ($p \leq 0,05$) і потиличній ($p \leq 0,05$) ділянках кори (рис. 1: 1–2). Ця динаміка α_1 піддіапазону електроенцефало-

грами відповідно до даних [11; 13] розцінюється нами як свідчення неспецифічної активації кори головного мозку, пов'язаної із сенсорним впливом на організм. Зниження потужності α_2 піддіапазону електроенцефалограми згідно з класичними уявленнями пов'язується з реалізацією мнестичних і когнітивних механізмів обробки інформації [8; 11]. Блокування α_2 піддіапазону електроенцефалограми у нашому дослідженні фіксується більш локально у симетричних латеральних лобових, тім'яних і потиличних відведеннях кори ($p \leq 0,05$) (рис. 2: 1–2). Депресія α_2 активності у латеральних лобових відведеннях, можливо, є свідченням актуалізації когнітивних процесів та слідів пам'яті під час ідентифікації звукових стимулів. Активаційні процеси у парієтально-окципітальних ділянках зумовлюються сенсорно-просторовою уявою, просторовими відображеннями й увагою чоловіків під час фоностимуляції [4; 9].

Таблиця 2

Динаміка потужності (мкВ²) коливань електроенцефалограми в α_2 піддіапазоні у чоловіків

Відведення	Стан спокою	Фоностимуляція	Слухомоторна діяльність правою рукою	Слухомоторна діяльність лівою рукою
Fz	69,9 ± 6,5	68,5 ± 6,0	57,4 ± 5,6	65,3 ± 5,5
Cz	99,7 ± 9,8	97,8 ± 7,0	74,1 ± 6,8	97,0 ± 9,0
Pz	225,1 ± 26,7	154,5 ± 16,4	148,0 ± 13,2	173,0 ± 17,7
У лівій півкулі	Fp1	47,9 ± 3,2	43,7 ± 3,3	43,5 ± 3,3
	F3	66,8 ± 4,4	60,8 ± 5,1	52,6 ± 4,0
	F7	45,9 ± 2,3	35,8 ± 2,7	42,8 ± 4,7
	T3	60,5 ± 4,9	50,6 ± 3,9	37,5 ± 2,8
	C3	100,0 ± 9,4	95,6 ± 9,2	67,3 ± 6,3
	T5	81,2 ± 7,6	85,4 ± 7,7	57,5 ± 5,5
	P3	184,2 ± 18,6	149,9 ± 14,0	119,0 ± 12,0
	O1	399,5 ± 44,9	260,2 ± 24,2	249,1 ± 24,3
У правій півкулі	Fp2	47,5 ± 4,0	43,1 ± 3,2	45,8 ± 4,5
	F4	66,7 ± 6,2	63,7 ± 5,2	55,9 ± 5,4
	F8	45,5 ± 4,0	33,9 ± 2,3	41,8 ± 4,0
	T4	59,4 ± 4,8	49,2 ± 3,8	42,2 ± 4,0
	C4	101,2 ± 9,6	95,5 ± 8,8	79,2 ± 7,9
	T6	95,5 ± 10,6	102,2 ± 6,4	63,2 ± 6,4
	P4	209,5 ± 21,8	136,7 ± 12,9	166,2* ± 16,8
	O2	555,5 ± 74,3	340,2* ± 27,9	405,9* ± 41,0

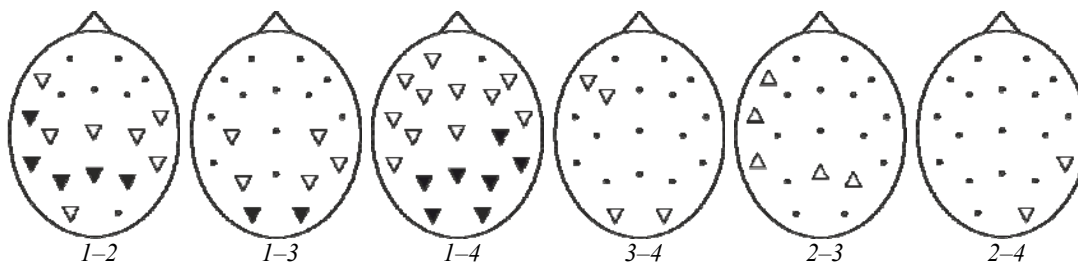


Рис. 1. Зміни потужності коливань електроенцефалограми в діапазоні α_1 ритму під час фоностимуляції та слухомоторної діяльності за участю пальців правої та лівої рук у чоловіків: частки кори головного мозку – див. розділ «Матеріали і методи»; 1 – стан функціонального спокою, 2 – фоностимуляція, 3 і 4 – слухомоторна діяльність за участю пальців відповідно правої й лівої рук; Δ , ∇ – зростання (зниження) показників у другому тесті, $p \leq 0,05$; \blacktriangle , \blacktriangledown – зростання (зниження) показників у другому тесті, $p \leq 0,001$

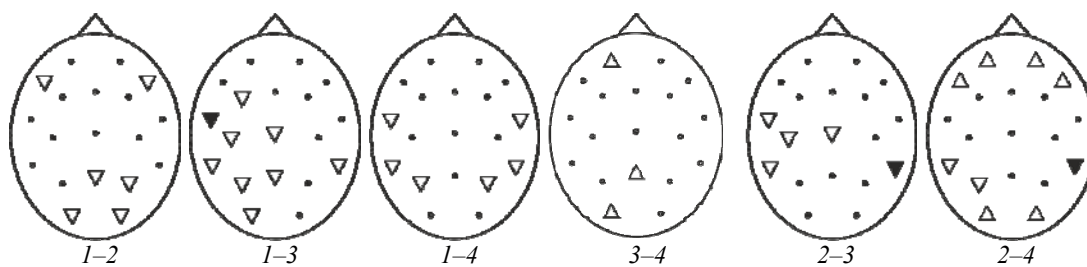


Рис. 2. Зміни потужності коливань електроенцефалограми в діапазоні α_2 ритму під час фоностимуляції та слухомоторної діяльності за участю пальців правої та лівої рук у чоловіків: примітки див. рис. 1

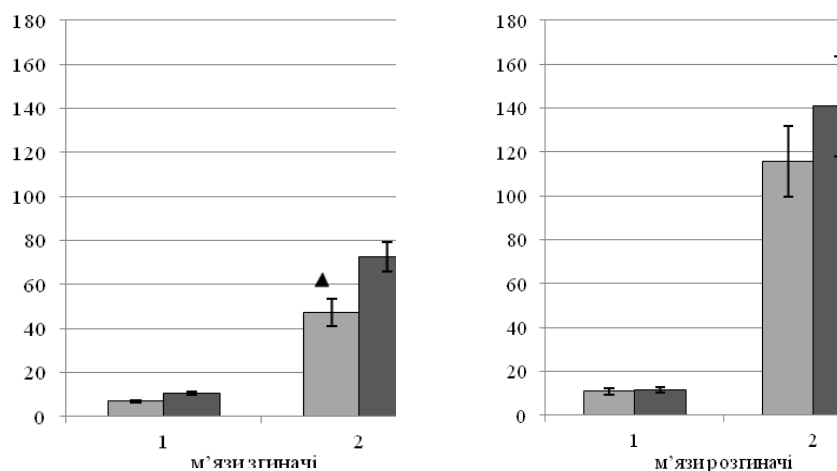


Рис. 3. Динаміка середньої амплітуди коливань електроміограми поверхневих м'язів згиначів і розгиначів пальців кисті у стані функціонального спокою та під час слухомоторної діяльності у чоловіків: 1 – стан функціонального спокою; 2 – слухомоторна діяльність; ▲, ▼ – зростання чи зниження показників електроміограми під час слухомоторної діяльності, порівняно зі станом функціонального спокою, $p \leq 0,001$; □ – права рука; ■ – ліва рука

Активне мануальне відтворення звукових стимулів – реалізація слухомоторної діяльності – за участю пальців правої руки характеризується блокуванням α_1 та α_2 активності електроенцефалограми, порівняно зі станом спокою (рис. 1: 1–3, рис. 2: 1–3). Відповідна динаміка у α_1 піддіапазоні, що простежується у симетричних центральних ($p \leq 0,05$), тім'яних ($p \leq 0,05$), потиличних ($p \leq 0,001$) частках і правій задній скроневій ділянці ($p \leq 0,05$) кори, у α_2 піддіапазоні більш генералізована та відмічається у лівій задній лобовій, скроневих, центральних, тім'яних і потиличних частках з акцентом у лівій півкулі ($p \leq 0,05$). Означена депресія коливань електроенцефалограми у α_1 та α_2 піддіапазонах – характеристика активності кори під час сенсомоторної діяльності [1; 6; 10]. Зсуви здебільшого у центральних і тім'яно-потиличних частках кори указують на використання чоловіками певною мірою автоматизованих стратегій в умовах нескладної моторики [4; 6; 10]. Зниження потужності α_2 активності у задній лобовій і скроневих частках, переважно лівої півкулі, може свідчити про застосування когнітивних і мнестичних механізмів обробки інформації, корелятом яких вважається цей частотний

піддіапазон [11; 13]. Тенденція до нижчої потужності α_2 коливань електроенцефалограми у лівих задніх (тім'яно-потиличних) структурах, порівняно з такими у правій півкулі, пов'язана з домінуванням контрлатеральної півкулі щодо працюючої руки [4; 6]. Корелятом такого блокування піддіапазонів α -ритму електроенцефалограми є зростання середньої амплітуди та зниження середньої частоти коливань електроміограми поверхневих м'язів згиначів і розгиначів пальців правої та лівої рук (рис. 3, 4). На нашу думку та відповідно до даних літератури [7; 12], за умови циклічної моторики це вказує на активацію значної кількості рухових одиниць працюючих м'язів та збільшення синхронізації їх розрядів (зниження частоти зубців електроміограми) відповідно до активувальних низхідних впливів. Це викликає зростання м'язового зусилля та узгодженість роботи рухових одиниць м'язів. Подібна синхронізація мотонейронних впливів зумовлюється специфікою поширення збудження на спинальному рівні, наприклад, коли один інтернейрон створює синаптичну дію на декілька мотонейронів, а також за умови електричних взаємодій між мотонейронами.

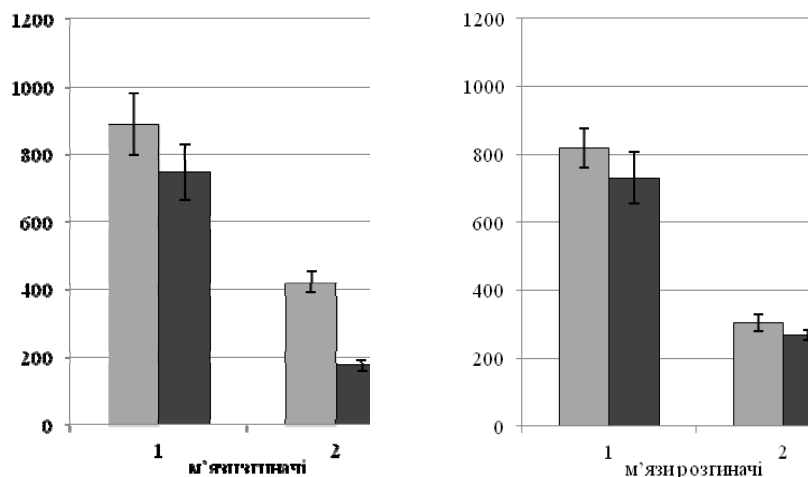


Рис. 4. Динаміка середньої частоти коливань електроміограми поверхневих м'язів згиначів і розгиначів пальців кисті у стані функціонального спокою та під час слухомоторної діяльності у чоловіків: примітки див. рис. 3

Таблиця 3

Середня амплітуда (мкВ) та частота (Гц) коливань електроміограми поверхневих м'язів згиначів і розгиначів пальців правої руки

Характеристика	Група м'язів	Стан функціонального спокою		Слухомоторна діяльність	
		права рука	ліва рука	права рука	ліва рука
Середня амплітуда	згиначі	7,0 ± 0,4	10,5 ± 0,7**	47,4 ± 6,3	72,6 ± 6,5*
	розгиначі	10,9 ± 1,5 [^]	11,5 ± 1,3	115,9 ± 16,2 ^{^^}	140,9 ± 22,7 [^]
Середня частота	згиначі	890,2 ± 92,6	747,1 ± 82,6	424,2 ± 32,3	174,6 ± 15,6**
	розгиначі	818,8 ± 56,7	730,9 ± 76,0	305,1 ± 24,1	268,0 ± 15,0 [^]

Примітки: *, ** – переважання показників електроміограми залежно від латералізації (права або ліва) працюючої руки, відповідно $p \leq 0,05$ та $p \leq 0,001$; [^], ^{^^} – переважання показників електроміограми залежно від функціонального значення м'язів (згиначі або розгиначі), відповідно $p \leq 0,05$ та $p \leq 0,001$.

Слухомоторна діяльність за участю пальців лівої руки для праворуких досліджуваних суб'єктивно складніша, ніж така за участю правої руки. За цих умов

спостерігається вагоме зниження потужності α_1 та α_2 піддіапазонів електроенцефалограми у корі, порівняно зі станом спокою (рис. 1: 1–4, рис. 2: 1–4). Означена закономірність більш значуща та генералізована у α_1 піддіапазоні, фіксується по всьому «скальпу» ($p \leq 0,05$) з акцентом у правих центральній і задній скроневій ділянках ($p \leq 0,001$). У цій частотній смузі у лівій лобовій та симетричних потиличних областях відмічаються нижчі показники порівняно з правою рукою ($p \leq 0,05$) (рис. 1: 3–4). Збільшення поширення у корі й міри блокування α_1 активності може бути пов'язане з посиленням процесів неспецифічної активації та уваги до діяльності під час ускладнення завдання. Посилення активаційних процесів у сенсомоторних ділянках правої півкулі зумовлюється її домінуванням під час здійснення рухів контрлатеральною лівою рукою внаслідок перехрещення нервових шляхів пірамідного тракту. У α_2 піддіапазоні встановлюється більш локальне зниження показників у симетричних скроневих і тім'яних частках кори ($p \leq 0,05$) порівняно зі спокоєм. Дані ділянки топографічно відповідають проєкційним зонам кори, що беруть участь у переробці звукової інформації та орієнтувальній діяльності людини [4; 9; 10]. Посилення їх активації може слугувати критерієм зростання складності сенсорно-просторового відображення рухів лівою рукою у чоловіків. Робота лівою рукою супроводжується вищою потужністю α_2 піддіапазону у лівих передній лобовій і потиличній, сагітальній тім'яній ділянках кори ($p \leq 0,05$) порівняно з правою рукою (рис. 2: 3–4). Відносне посилення синхронізації α_2 активності може бути показником збільшення контролюючої ролі лобних структур, що дозволяє за допомогою «гальмівного фільтра» сфокусувати коркові процеси на виконанні поточного значущого завдання та попередити вплив нерелевантних факторів [8; 11; 13].

Відображення установлених коркових активаційних впливів – посилення закономірностей амплітудно-частотного режиму роботи м'язів, відзначених при роботі правою рукою (див. табл. 3, рис. 3, 4). Відмічається зростання кількості та синхронності функціонування активних рухових одиниць м'язів згиначів. Режим роботи м'язів згиначів правої руки економічніший. У роботі м'язів розгиначів лівої руки не фіксуються достовірні відмінності порівняно з такими правої руки.

Під час слухомоторної діяльності м'язи розгиначі правої ($p \leq 0,001$) та лівої ($p \leq 0,05$) рук відзначались вищою середньою амплітудою коливань електроміограми порівняно зі згиначами (див. табл. 3). Дана закономірність відображає вищий рівень напруженості м'язів розгиначів, а також свідчить про виконання рухів у «фіксованому» режимі за умов їх постійного корегування [7]. Під час виконання завдання лівою рукою установлюється нижча середня частота коливань електроміограми м'язів згиначів порівняно з розгиначами ($p \leq 0,05$). Вища синхронність функціонування, а також менша кількість задіяних рухових одиниць може слугувати критерієм більшої ефективності та узгодженості роботи м'язів згиначів, особливо за умови ускладнення діяльності.

Виконання слухомоторної діяльності за участю правої руки відзначається меншим блокуванням α_1 піддіапазону у лівих латеральній лобовій і скроневих, у сагітальній і правій тім'яних ділянках кори ($p \leq 0,05$), ніж під час фоностимуляції (рис. 1: 2–3). Разом із цим у α_2 піддіапазоні виявляються нижчі показники у скроневій і центральній областях кори, особливо у лівій півкулі ($p \leq 0,05$) (рис. 2: 2–3). Реалізація завдання лівою рукою забезпечується нижчими показниками у α_1 піддіапазоні у правопівкульових задньому скроневому та потиличному відведеннях кори ($p \leq 0,05$) порівняно з фоностимуляцією (рис. 1: 2–4). Фіксується відносно більша депресія і α_2 активності електроенцефалограми у задніх скроневих (зліва – $p \leq 0,05$, справа – $p \leq 0,001$) та лівій тім'яній ($p \leq 0,05$) ділянках (рис. 2: 2–4). Відповідна локалізація посилення активаційних процесів (у центральних і задніх структурах кори), можливо, є свідченням

специфіки мозкового реагування під час слухомоторної діяльності, порівняно з пасивним сприйняттям звукових стимулів. Це виявляється як активацією моторних частин кори, які беруть участь у програмуванні рухів [4; 6], так і ускладненням сенсорно-просторового образу, суб'єктивних уявлень власної діяльності. Разом із тим, відмічається порівняна синхронізація α_2 коливань електроенцефалограми у лобовій і потиличній зонах обох півкуль кори ($p \leq 0,05$), що вказує на посилення коркового контролю та зосередженості чоловіків на внутрішніх процесах під час ускладнення сенсорного завдання [8; 11; 13].

Загалом просторовий розподіл потужності α_1 піддіапазону електроенцефалограми характеризується більшою вираженістю міжпівкульових асиметрій, ніж α_2 піддіапазону (див. табл. 1, 2). Під час роботи правою рукою нижчі показники фіксуються у лівій півкулі. Реалізація завдання лівою рукою відзначається зниженням міжпівкульових відмінностей.

Зміни потужності коливань електроенцефалограми у α_1 піддіапазоні, установлені під час фоностимуляції та слухомоторної діяльності, загалом відображають процеси неспецифічних активаційних процесів у корі, пов'язаних із превалюванням аферентної системи сприйняття та обробки інформації (bottom-up – знизу догори). Локалізація значущих відмінностей у моторних і проєкційних структурах свідчить про певний рівень автоматизованості слухомоторної діяльності за участю правої руки. Установлені динамічні зсуви лінійно корелюють зі складністю завдань. Вони стають вираженішими та поширенішими у корі під час роботи лівою рукою. Депресія α_2 активності крім моторних і проєкційних ділянок розповсюджується на асоціативні та лобові зони кори під час роботи як правою, так і лівою рукою. Це вказує на використання когнітивних і мнестичних механізмів обробки інформації чоловіками за умов даної діяльності. Під час реалізації завдання лівою рукою установлюється порівняне зростання показників у лобових і потиличних ділянках у α_2 піддіапазоні. Означена закономірність може бути пов'язана з реалізацією механізму top-down (згори донизу) в умовах посилення низхідного коркового контролю, більшої зосередженості на внутрішніх процесах чоловіків в умовах суб'єктивного ускладнення завдання. Таким чином, виконання слухомоторної діяльності за участю лівої руки супроводжується посиленням як аферентних, так і еферентних механізмів сприйняття та обробки інформації.

Специфіка амплітудно-частотних параметрів електроміограми відображає та загалом зворотно корелює з виявленими корковими активаційними процесами. Процеси блокування (локальної десинхронізації) піддіапазонів α -ритму електроенцефалограми кори супроводжуються посиленням кількості, синхронності та узгодженості функціонування активних рухових одиниць працюючих м'язів. Ця динаміка посилюється під час роботи лівою рукою. Простежується економічніший режим роботи правої руки, що виявляється у меншій кількості та нижчій синхронності роботи рухових одиниць м'язів цієї руки порівняно з лівою. Відмічається менша кількість активних рухових одиниць на фоні більшої синхронності та узгодженості розрядів мотонейронного апарату м'язів згиначів, особливо лівої руки, порівняно з розгиначами. Це свідчить про більшу ефективність роботи м'язів згиначів, а також певний рівень «фіксованості» та «напруженості» рухів, їх постійне корегування під час реалізації.

Висновки

Простежені закономірності свідчать про функціональну єдність і взаємопов'язаність центральної нервової системи та моторного апарату. Процес організації довільних рухів – функція вищих відділів центральної нервової системи. Зміни

потужності α_1 активності у чоловіків відображають процеси неспецифічної активації, α_2 – вказують на застосування когнітивних і мнестичних механізмів, контролю з боку кори. Установлені динамічні зсуви лінійно корелюють зі складністю завдань. Відповідно до активаційних процесів у корі формується супраспинальна рухова команда, що визначає кількість включених у діяльність рухових одиниць, частоту та узгодженість їх розрядів.

Бібліографічні посилання

1. **Базанова О. М.** Биоуправление в оптимизации психомоторной реактивности. Сообщение 1. Сравнительный анализ биоуправления и обычной исполнительской практики / О. М. Базанова, М. Б. Штарк // Физиол. человека. – 2007. – Т. 33, № 4. – С. 24–32.
2. **Брагина Н. Н.** Левши / Н.Н. Брагина, Т. А. Доброхотова. – М. : Книга ЛТД, 1994. – 232 с.
3. **Каменская В. Г.** Время в процессе отражения и как фактор организации целенаправленных акустико-моторных реакций человека: Автореф. дисс. ... д-ра психол. наук: психология. – СПб., 1995. – 40 с.
4. **Лурья А. Р.** Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга. – М. : Академический Проект, 2000. – 512 с.
5. **Макаренко М. В.** Індивідуально-типологічні властивості вищої нервової діяльності та характер сенсомоторного реагування у студентів з різним рівнем спортивної кваліфікації / М. В. Макаренко, С. К. Голяка // Фізіол. журн. – 2005. – Т. 51, № 4. – С. 70–74.
6. **Моренко А. Г.** Динаміка просторової синхронізації та десинхронізації біопотенціалів електроенцефалограми при змінах темпу виконання слухомоторних координацій людиною / А. Г. Моренко, О. С. Павлович // Фізика живого. – 2010. – Т. 18, № 2. – С. 153–161.
7. **Персон Р. С.** Электромиография в исследованиях человека. – М. : Наука, 1969. – 211 с.
8. **Русалов В. М.** Электрофизиологическое исследование мотивации выбора у человека / В. М. Русалов, М. Н. Русалова, Е. В. Стрельникова // Успехи физиологических наук. – 2002. – Т. 33, № 2. – С. 68–82.
9. **Effects of prior stimulus and prior perception on neural correlates of auditory stream segregation / J. S. Snyder, W. T. Holder, D. M. Weintraub et al. // Psychophysiology. – 2009. – Vol. 46, N 6. – P. 1208–1215.**
10. **Effects of timing and movement uncertainty implicate the temporo-parietal junction in the prediction of forthcoming motor actions / O. Jakobs, L. E. Wang, M. Dafotakis et al. // NeuroImage. – 2009. – Vol. 47, N 2. – P. 667–677.**
11. **Klimesch W.** EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis / W. Klimesch, P. Sauseng, S. Hanslmayr // Brain Res. Rev. – 2007. – Vol. 53. – P. 63–88.
12. **Novel parameters of surface EMG in patients with parkinson's disease and healthy young and old controls / A. I. Meigal, S. Rissanen, M. P. Tarvainen et al. // Journal of Electromyography & Kinesiology. – 2009. – Vol. 18, N 3. – P. 206–213.**
13. **Strüber D.** Necker cube reversals during long-term EEG recordings: Sub-bands of alpha activity // Int. J. Psychophysiol. – 2006. – Vol. 59, N 2. – P. 179–189.

Надійшла до редколегії 26.01.2012