

Б. О. Лобасюк

КАРТУВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ-ВІДНОШЕНЬ АМПЛІТУД І ЧАСТОТ РИТМІВ ЕЛЕКТРОКОРТИКОГРАМ РІЗНИХ РЕГІОНІВ КОРИ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ЩУРА

Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова

Під час ЕЕГ досліджень для візуалізації одержаних даних набув широкого розповсюдження метод картування — спосіб просторово-амплітудного подання інформаційного сигналу в заданій просторовій ділянці.

Топографічне картування ЕЕГ ґрунтується на використанні методів комп'ютерного аналізу із застосуванням алгоритмів обчислення спектральної потужності, цифрової фільтрації, двовимірної інтерполяції. Сьогодні цей метод доступний для більшості сучасних електроенцефалографічних установок [9–11].

Електрична активність, зареєстрована в тих або інших регіонах кори головного мозку і підкіркових структур, поза сумнівом пов'язана, а можливо, і є функцією електричної активності, зареєстрованої в інших регіонах кори головного мозку і підкіркових структур. Провідну роль у роботі мозку мають відігравати динамічні функціональні зв'язки між різними відділами кори і підкіркових структур, тому проблема міжцентрального взаємовідношення біопотенціалів посідає одне з провідних місць [7].

Отже, під час аналізу ЕЕГ одним із важливих є питання про взаємовідношення електричної активності, яка реєструється в різних структурах, і картування цих взаємовідношень.

Препарат “*cerveau isolé*” — «ізолюваного» переднього мозку, в якому відбувається роз'єднання взаємозв'язків структур переднього мозку від

структур каудального стовбура і ромбенефалона, є біологічною моделлю патологічного коматозного стану [6]. Порівняння взаємовідношень електричної активності головного мозку інтактних щурів і препарату «ізолюваного» переднього мозку допомагає зрозуміти механізми електрогенезу.

Застосування з цією метою ідеології двовимірного кореляційного аналізу [2; 3] уявляється вельми корисним, але недостатнім.

Розглядаючи електрогенез мозку як системну категорію, тобто як об'єкт, в якому реалізуються певні властивості, які перебувають у певних заданих відношеннях [8], виникає необхідність вивчити відношення між показниками електрокортикограм (ЕКоГ), зареєстрованих від різних регіонів кори головного мозку. Для розв'язання поставленого завдання, як правило, використовують класичні методи математичної статистики: множинний регресійний і кореляційний методи аналізу [5].

Головні завдання системного підходу — розробка методів аналізу і синтезу об'єктів. Можливим шляхом розв'язання завдання синтезу об'єктів багатовимірного дослідження є геометрична інтерпретація рівнянь множинної лінійної регресії за допомогою поліциклічних мультиграфів [1] — математичної мови, призначеної для формалізованого визначення понять, пов'язаних з аналізом і синтезом структур систем і процесів з метою їх по-

дальшого картування та структурного аналізу. Графи є найабстрактнішою структурою, з якою доводиться стикатися в теорії ЕОМ (computer science). Будь-яка система, що припускає наявність дискретних станів або вузлів і переходів між ними, може бути описана за допомогою графів.

Метою нашої роботи було дослідження зв'язків-відношень між показниками амплітуди і частоти ЕКоГ, зареєстрованими в різних відділах кори головного мозку інтактних щурів (ІМ), і препарату «ізолюваного» переднього мозку (ПМ) за допомогою множинного регресійного і кореляційного методів аналізу і картування цих відношень за допомогою графів.

Матеріали та методи дослідження

У роботі використовували білих щурів лінії Вістар масою 230–270 г, яким під нембуталовим наркозом (40,0 мг/кг, внутрішньочеревинно) імплантували електроди у фронтальні й окципітальні відділи кори головного мозку білатерально. Було поставлено дві серії дослідів. У першій групі досліджували ЕКоГ в умовах вільної поведінки тварин (4 щури, група ІМ), а в другій групі — в умовах препарату ізолюваного мозку (група ПМ).

Препарат «ізолюваного» мозку (4 зразки) готували, перерізаючи стовбур мозку між передніми і задніми горбиками чотиригорбикового тіла (інтерколікулярне перерізування) під нембуталовим наркозом 40,0 мг/кг,



внутрішньочеревинно). Досліди починали через 8–12 год після перерізання.

Запис ЕКоГ на жорсткий диск міні-ЕОМ здійснювали за допомогою аналогово-цифрового перетворювача при частоті дискретизації 256 за 1 с. ЕКоГ реєстрували при постійній частоті 0,3–1,0 с у таких відведеннях:

- 1 — фронтальна кора — потилична кора зліва;
- 2 — фронтальна кора — потилична кора справа;
- 3 — фронтальна кора зліва — фронтальна кора справа;
- 4 — потилична кора зліва — потилична кора справа.

Файли ЕКоГ аналізували після закінчення дослідів за допомогою програми "Analyst 2" за алгоритмом амплітудно-інтервального (напівперіодного) аналізу. Виділяли шість фізіологічних ритмів: гамма-, бета-2, бета-1, альфа, тета і дельта. За кожним із діапазонів визначали такі параметри:

- 1) амплітуда в мікрвольтах;
- 2) частота у герцах;
- 3) індекс-час у відсотках виразності хвиль гамма-, бета-2-, бета-1-, альфа-, тета- і дельта-діапазонах, потужність ритмів.

ЕКоГ реєстрували протягом 30 хв. Показники ЕКоГ визначалися з інтервалом 30 с і усереднювалися за двохвилинний період реєстрації. Під час статистичного аналізу обчислювали середні величини, стандартне (середнє квадратичне) відхилення, помилку середньої величини з інтервалом у 2 хв.

З метою дослідження відношень, які формуються між амплітудами ритмів ЕКоГ, використовували середні величини амплітуд ритмів ЕКоГ за 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 і 30-ту хвилину спостереження.

Формування математичних моделей ЕКоГ проводили за допомогою множинної лінійної

регресії і кореляції [5]. Рівні статистичної значущості були прийняті в межах $P < 0,05$ і $P < 0,1$.

Для формування математичних моделей кожний з безлічі взятих до аналізу показників ЕКоГ (амплітуди і частоти) розглядали як цільову ознаку (Y -ів), а решту аналогічних показників — як впливові змінні (множини X -ів) і методом множинної лінійної регресії визначали орієнтовні впливи. В результаті використаної процедури дістали рівняння множинної лінійної регресії у вигляді

$$Y' = a_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + e,$$

де a_0 — вільний член; коефіцієнти b_1, b_2, \dots, b_n — показники регресії, що відображають ступінь впливу на аналізований показник решти елементів множини: X_1, X_2, \dots, X_n показників; e — похибка, яка відбиває будь-яке коливання Y_1 , не викликане змінами незалежної змінної у моделі.

Адекватність коефіцієнтів регресії оцінювалася за допомогою використання сигмальних відхилень коефіцієнтів регресії, а ефективність регресії в цілому — за допомогою обчислення коефіцієнта множинної лінійної кореляції.

Геометрично рівняння множинної лінійної регресії інтерпретувалися за допомогою поліциклічних мультиграфів [4].

Результати дослідження та їх обговорення

При структурному аналізі поліциклічних мультиграфів, які описують зв'язки-відношення між показниками амплітуд ритмів ЕКоГ, було виявлено, що загальна кількість зв'язків-відношень розрізняється неістотно: 27 у ІМ і 26 — у ПМ (табл. 1). При цьому кількість зв'язків-відношень, верифікованих у гамма-, бета-2-, бета-1-, альфа- і тета-діапазонах в умовах ІМ, становила 25, а ПМ — 17. У ІМ сума позитивних і негативних зв'язків-відношень у вивчених ситуаціях верифікувалася в діапазоні альфа-ритму 7 позитивних і 4 негативних, а у ПМ — у діапазоні дельта-ритму 6 позитивних і 3 негативних.

При множинному лінійному регресійному аналізі показників амплітуд альфа-ритму відведень ЕКоГ ІМ (рис. 1, а) виявлялися статистично значущі двобічні позитивні взаємні впливи між структурами четвертого і другого, четвертого і третього, а також першого і другого відведень. Між показниками структур першого і четвертого, а також другого і третього відведень визначалися двобічні негативні впливи. Від показника амплітуд структур першого відведення визначався односторонній позитивний вплив на показник амплітуди структур третього відведення.

Таблиця 1

Структурний аналіз поліциклічних мультиграфів, які описують зв'язки-відношення між показниками амплітуд ритмів ЕКоГ, зареєстрованих від різних відведень структур мозку

Зв'язки-відношення	Ритми						Усього
	Гамма	Бета-2	Бета-1	Альфа	Тета	Дельта	
Інтактний мозок							
Позитивні	2	3	2	7	4	2	20
Негативні	1		2	4			7
Усього	3	3	4	11	4	2	27
Ізольований мозок							
Позитивні	3	2	1	3	3	6	18
Негативні	1			2	2	3	8
Усього	4	2	1	5	5	9	26



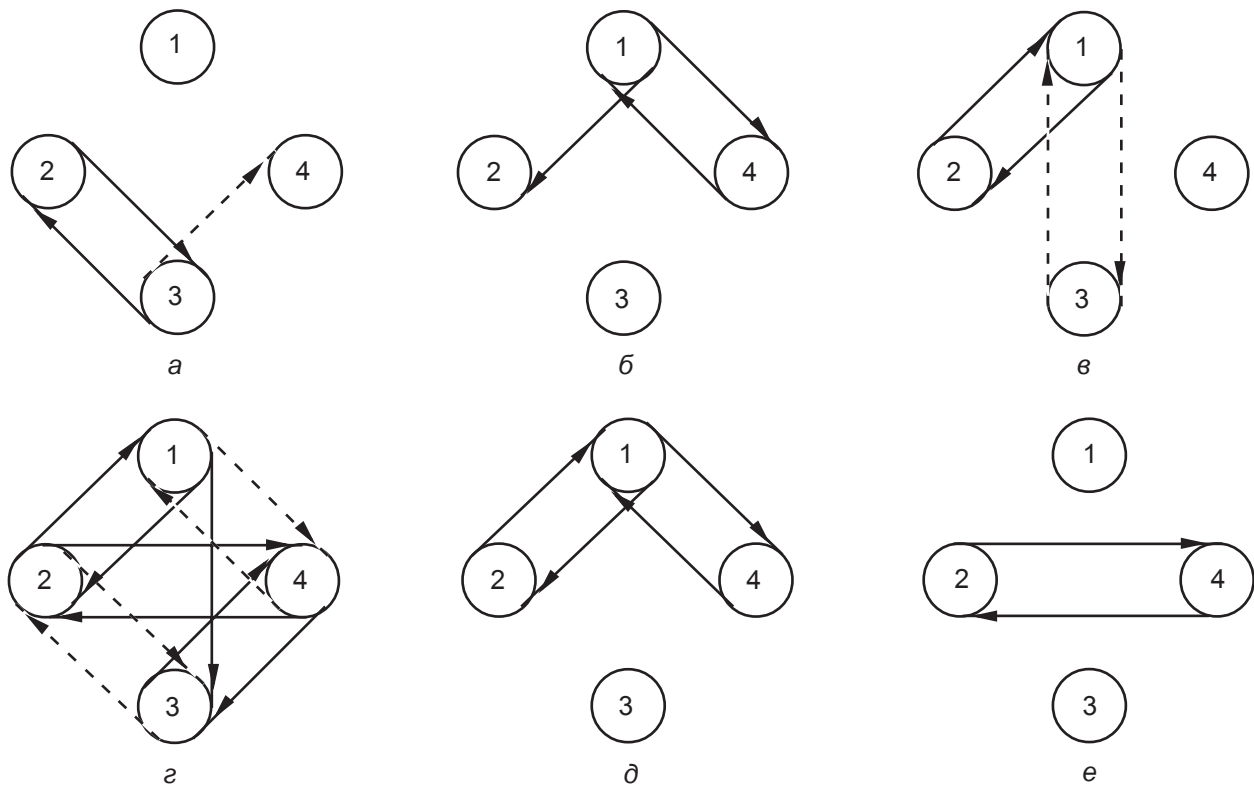


Рис. 1. Поліциклічні мультиграфи, які відбивають зв'язки-відношення між амплітудами ритмів ЕКоГ, зареєстрованих у різних структурах мозку в умовах ІМ: 1 — фронтальна кора — потилична кора зліва; 2 — фронтальна кора — потилична кора справа; 3 — фронтальна кора зліва — фронтальна кора справа; 4 — потилична кора зліва — потилична кора справа; а — гамма-ритм; б — бета-2-ритм; в — бета-1-ритм; г — альфа-ритм; д — тета-ритм; е — дельта-ритм

Між структурами, від яких проводили відведення ЕКоГ ІМ, використані в аналізі, верифікувалися двобічні позитивні та негативні зв'язки-відношення.

При множинному лінійному регресійному аналізі показників амплітуд гамма-, бета-2, бета-1-, тета- і дельта-ритмів ЕКоГ ІМ одне або два відведення від структур ЕКоГ не входили в архітектуру зв'язків-відношень, тобто не були зв'язані з іншими відведеннями орієнтованими впливами (рис. 1, а-е).

При множинному регресійному аналізі показників амплітуд дельта-ритму відведень від структур ЕКоГ ПМ виявлялися статистично значущі двобічні позитивні впливи між показниками амплітуд структур від четвертого і другого, четвертого і першого відведень (рис. 2, е). Від структур першого і другого відведень до третього визначалися позитивні

статистично значущі однобічні зв'язки-відношення. Між структурами першого і другого відведень визначалися негативні, статистично значущі зв'язки-відношення.

При структурному аналізі поліциклічних мультиграфів, які описують зв'язки-відношення між показниками частот ритмів ЕКоГ, було виявлено, що загальна кількість зв'язків-відношень в умовах ІМ дорівнювала 10 (табл. 2). Найбільша кількість зв'язків-відношень виявлялася в діапазоні дельта-ритму: 6 позитивних і 2 негативних. В умовах ПМ усього виявлено 25 зв'язків-відношень. Найбільшу кількість зв'язків-відношень — шість — виявлено в діапазонах гамма- і бета-2-ритмів.

При множинному лінійному регресійному аналізі показників частот дельта-ритму відведень від структур ЕКоГ ІМ виявлялися статистично значущі двобічні позитивні взаємні

впливи між структурами четвертого і другого, а також першого і третього відведень (рис. 3, е). Між показниками структур першого і четвертого відведень визначалися двобічні статистично значущі негативні впливи.

При множинному лінійному регресійному аналізі показників частот гамма-ритму відведень структур ЕКоГ ПМ виявлялися статистично значущі двобічні зв'язки між структурами четвертого і першого, четвертого і другого відведень (рис. 4, а). Показники частот структур першого і третього відведень були охоплені двобічними статистично значущими негативними впливами.

При множинному лінійному регресійному аналізі показників частот бета-2-ритму відведень ЕКоГ структур ПМ виявлялися статистично значущі двобічні зв'язки між структурами першого і другого, першого і четвертого відведень (рис. 4,



Структурний аналіз поліциклічних мультиграфів, які описують зв'язки-відношення між показниками частот ритмів ЕКоГ, зареєстрованих від різних відведень структур мозку

Зв'язки-відношення	Ритми						
	Гамма	Бета-2	Бета-1	Альфа	Тета	Дельта	Усього
Інтактний мозок							
Позитивні						6	6
Негативні	2					2	4
Усього							10
Ізольований мозок							
Позитивні	4	4	2	3	4	4	21
Негативні	2	2					4
Усього	6	6	2	3	4	4	25

а). Показники частот структур другого і четвертого відведень були охоплені двобічними статистично значущими негативними впливами.

Таким чином, при аналізі математичних моделей, що відбивають взаємовідношення між показниками амплітуд і частот ритмів ЕКоГ, вдалося виявити зв'язки-відношення, які формувалися в корі головного мозку щурів між множиною показників амплітуд і частот ритмів ЕКоГ, зареєстрованих у різних структурах мозку. Це, у свою чергу, дозволяє розглядати електрогенез головного мозку як системно організований феномен, як «комплекс взаємодіючих компонентів» [12], в якому проаналізовані показники ЕКоГ — амплітуди і частоти ритмів — взаємодіють один з одним. Раніше було продемонстровано феномен взаємодії показників амплітуд ритмів ЕКоГ у межах одного відведення від структур мозку [4]. Одержані в даній роботі результати підтверджують

припущення про наявність у корі головного мозку гіпотетичних генераторів бета-2-, бета-1-, альфа-, тета- і дельта-ритмів. Виявлені позитивні та негативні зв'язки-відношення між амплітудами і частотами ритмів ЕКоГ, отриманих від різних відведень структур мозку, підтверджують припущення про наявність у межах множини гіпотетичних генераторів ритмів механізмів керування [12], що формують організацію ЕКоГ.

В умовах ІМ виявлено більшу кількість зв'язків-відношень амплітуд ритмів ЕКоГ в альфа-діапазоні, а в умовах ПМ — в дельта-діапазоні. При глибокій комі виявлено зниження когерентності, що поєднується з її патологічним підвищенням в діапазоні низьких частот — дельта-діапазоні. Препарат ізольованого переднього мозку є моделлю патологічного коматозного стану, тому одержані нами результа-

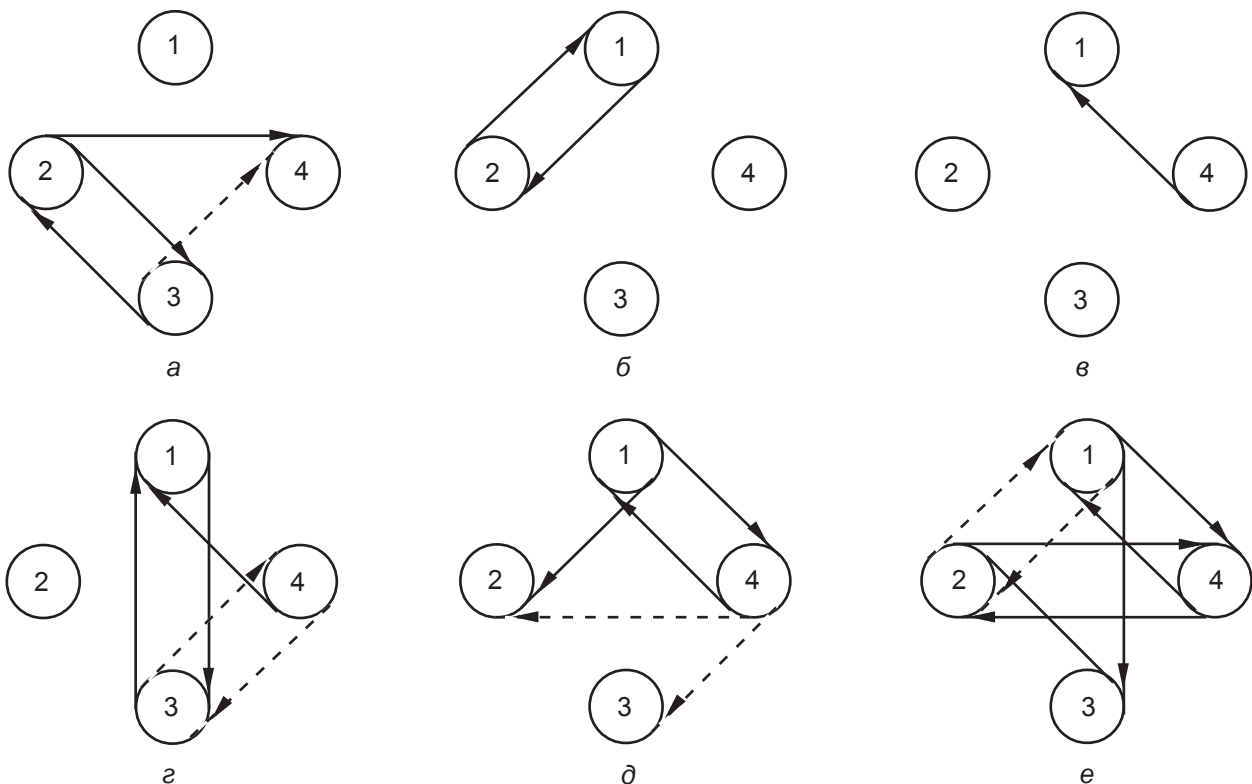


Рис. 2. Поліциклічні мультиграфи, які відбивають зв'язки-відношення між амплітудами ритмів ЕКоГ, зареєстрованих у різних структурах мозку в умовах ПМ
Позначення: як на рис. 1.



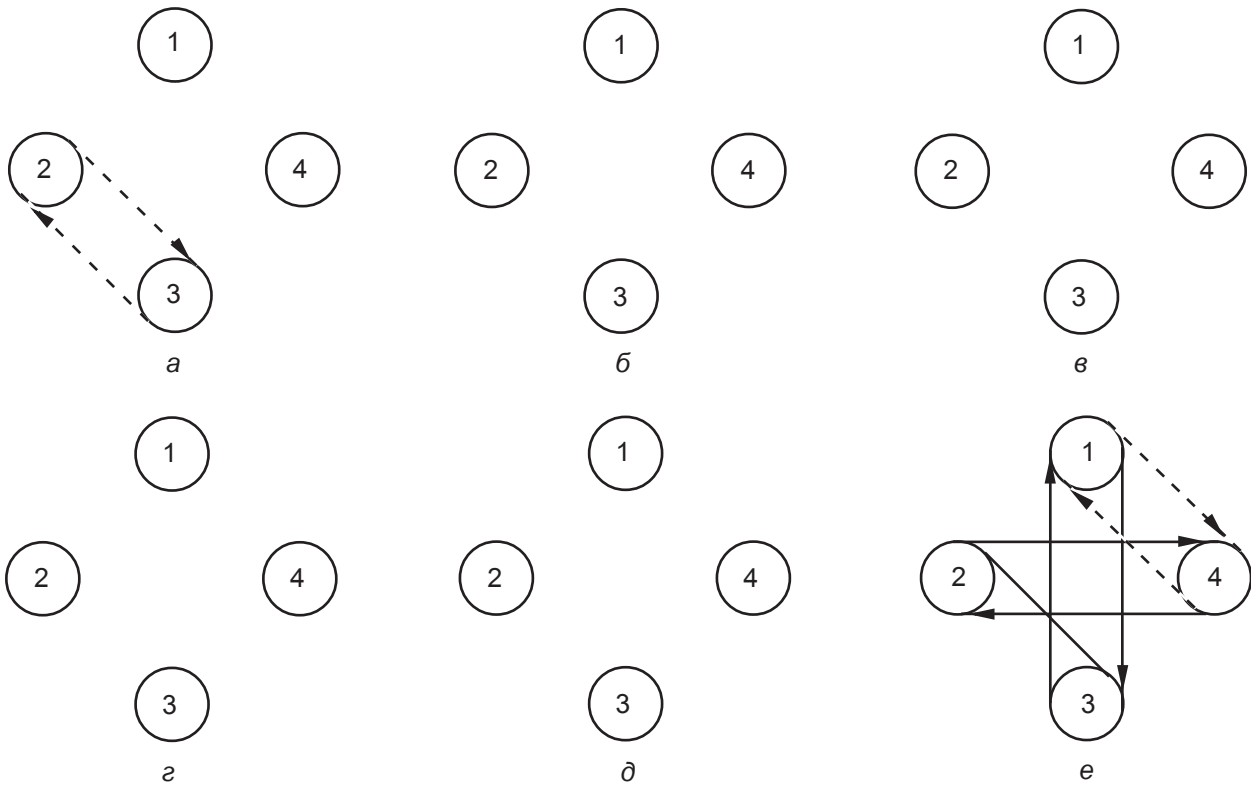


Рис. 3. Поліциклічні мультиграфи, які відбивають зв'язки-відношення між частотами ритмів ЕКоГ, зареєстрованих у різних структурах мозку в умовах ІМ
Позначення: як на рис. 1.

ти можуть корелювати з даними, одержаними в роботі [7].

Слід зазначити, що у вищенаведеній роботі [7] для виявлення зв'язків використовувалося обчислення коефіцієнтів кореляції, тимчасом як в наших дослідженнях зв'язки-відношення верифікуються за допомогою обчислення коефіцієнтів регресії рівнянь множинної лінійної регресії. Проте результати, одержані за допомогою цих двох статистичних прийомів, подібні, що у свою чергу свідчить, з одного боку, про реальність вивченого феномена, а з другого — про коректність використання для виявлення зв'язків-відношень показників ритмів ЕКоГ процедури множинного регресійного аналізу.

Аналізуючи поліциклічні мультиграфи, які описують зв'язки-відношення амплітуд ритмів ЕКоГ в альфа-діапазоні в умовах ІМ і в дельта-діапазоні в умовах ПМ (див. рис. 1, г і рис. 2, е), можна відзначи-

ти, що в обох випадках верифікуються двобічні статистично значущі зв'язки між структурами другого (фронтальна кора — потилична кора справа) і четвертого відведень (потилічна кора зліва — потилична кора справа) і однобічний вплив структур першого відведення (фронтальна кора — потилична кора зліва) на структури третього (фронтальна кора зліва — фронтальна кора справа). Решта зв'язків-відношень в порівнюваних поліциклічних мультиграфах не подібна.

У хворих з осередковими ураженнями в діенцефальних відділах мозку відбувається зсув частотної характеристики ЕЕГ у бік низьких частот [7]. Висловлене припущення, що це свідчить про втрату корою її провідної ролі та перехід до регуляції ЕЕГ з боку філогенетично старих утворень — лімбічної системи.

Можна припустити, що виявлені подібні зв'язки-відно-

шення амплітуд в альфа-діапазоні в умовах ІМ і дельта-діапазоні в умовах ПМ зумовлені нейрональними механізмами, розташованими вище місця інтерколікулярного пересічення стовбура мозку, тимчасом як в організації решти зв'язків-відношень беруть участь стовбурні нейрональні структури, можливо, ретикулярної формації стовбура мозку, розташовані нижче місця інтерколікулярного пересічення.

Виходячи з раніше вказаних припущень про множинність генераторів ритмів ЕКоГ [4; 7], можна припустити, що ретикулярна формація стовбура реорганізує роботу генераторів з діапазону дельта-ритму в діапазон альфа-ритму.

Аналізуючи поліциклічний мультиграф, який описує зв'язки-відношення частот дельта-ритму ЕКоГ, ІМ можна відзначити, що найбільша кількість зв'язків-відношень (як тих, що надходять, так і тих, що витікають) визначалася поблизу



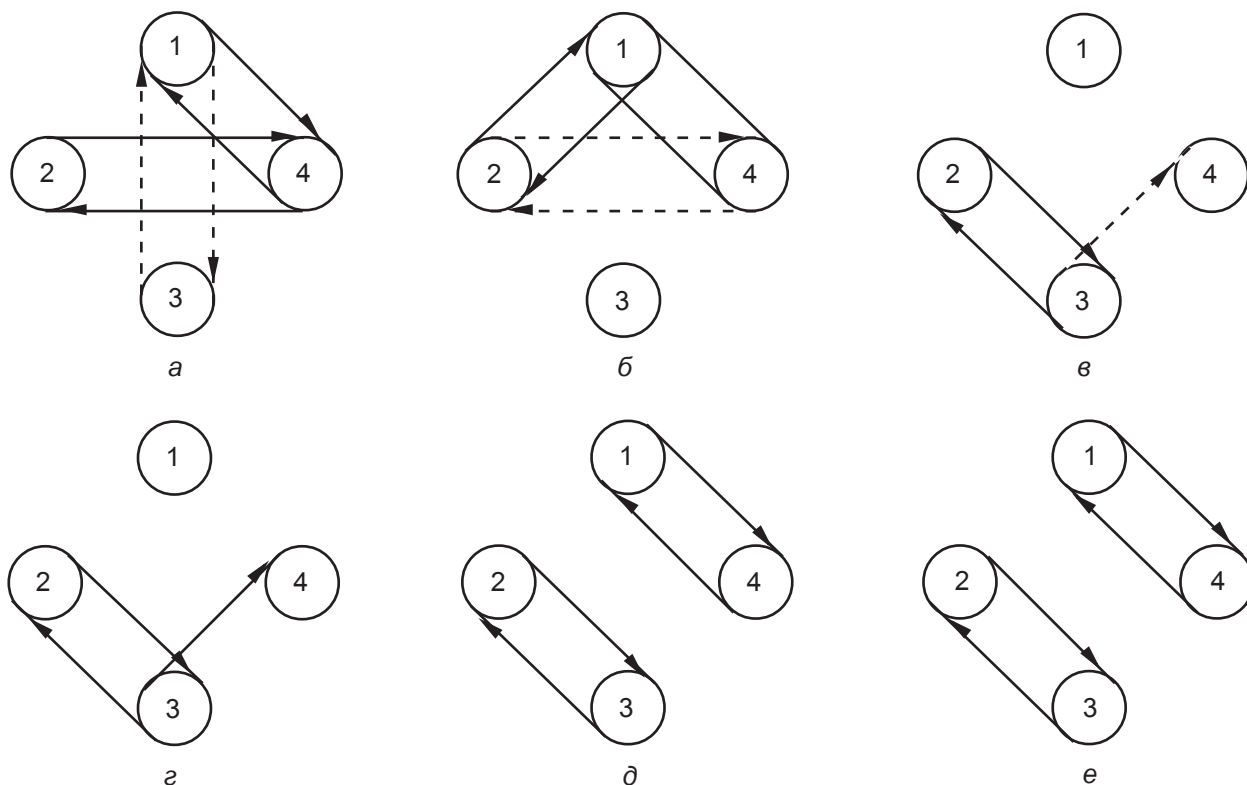


Рис. 4. Поліциклічні мультиграфи, які відбивають зв'язки-відношення між частотами ритмів ЕКОГ, зареєстрованих у різних структурах мозку в умовах ПМ
Позначення: як на рис. 1.

структур четвертого відведення (потилична кора зліва — потилична кора справа). Можна припустити, що потилична ділянка мозку щира відіграє особливу, ритмозадавальну роль в електрогенезі.

Виявлені відмінності між архітектурою зв'язків-відношень амплітуд і частот ритмів ЕКОГ дають підстави висловити припущення про те, що формування частотного спектра і величин амплітуд ритмів ЕКОГ детерміновані діяльністю різних нейрональних структур.

ЛІТЕРАТУРА

1. Евстигнеев В. А., Касьянов В. Н. Теория графов. Алгоритмы обработки деревьев. — Новосибирск: Наука, 1994. — 360 с.
2. Ливанов М. Н. Пространственная организация процессов головного мозга. — М.: Наука, 1972. — 182 с.
3. Ливанов М. Н., Королькова Т. А., Свидерская Н. Е. Пространственная синхронизация биоэлектрической активности коры головного мозга как показатель интеллектуальной ра-

ботоспособности человека // Диагностика и прогнозирование функционального состояния мозга человека / М. Н. Ливанов, В. С. Русинов, П. В. Симонов и др. — М.: Наука, 1988. — С. 7-51.

4. Лобасюк Б. О. Дослідження функціональної міжпівкульової асиметрії мозку як відношень амплітуд ритмів електрокортикограми // Одес. мед. журнал. — 2004. — № 1. — С. 91-94.

5. Мангейм Дж. Б., Рич Р. К. Политология. Методы исследования: Пер. с англ. / Предисл. А. К. Соколова. — М.: Изд-во «Весь Мир», 1997. — 54 с.

6. Начкебия А. Н. Функциональная характеристика переднего мозга "cerveau isolé" препарата: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Тбилиси, 1978. — 25 с.

7. Оценка функционального состояния здорового человека и больных с очаговыми поражениями мозга по параметрам спектрально-корреляционного анализа электроэнцефалограммы на ЭВМ и вызванных потенциалов / М. Н. Ливанов, В. С. Русинов, П. В. Симонов и др. // Диагностика и прогнозирование функционального состояния мозга человека — М.: Наука, 1988. — С. 51-125.

8. Уемов А., Сараева И., Цофнас А. Общая теория систем для гуманитариев. — Wydawnictwo Uniwersitas Rediviva, 2001. — 276 с.

9. Lehmann D. Scalp EEG field topography in human EEG // Electroencephalogr. clin. Neurophysiol. — 1971. — Vol. 31, N 3. — P. 288.

10. Multichannel EEG field analysis: sleep and wakefulness in human / D. Lehmann, M. M. Jacowitz, M. Koukkou, J. M. Madey // Electroencephalogr. clin. Neurophysiol. — 1971. — Vol. 30, N 3. — P. 271.

11. Lehmann D. Principles of spatial analysis // Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. — Vol. 1. Methods of Analysis of Brain Electrical and Magnetic Signals / A. Gevins, A. Remond (Eds.) — Amsterdam: Elsevier, 1987. — P. 309-354.

12. Волкова В. Н., Денисов А. А. Основы теории систем и системного анализа. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. — 512 с.

