 © Авторы статьи / Authors of the article

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА/RADIATION DIAGNOSTICS

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.57 EDN: KDQVAM

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ДЕВОЧЕК-ПОДРОСТКОВ С НОРМАЛЬНЫМ МЕНСТРУАЛЬНЫМ ЦИКЛОМ

Научная статья

Турчинская И.А.[1, *], Штенцель Р.Э.[2], Труфанов А.Г.[3]
[1] ORCID : 0009-0009-7985-6234;
[2] ORCID : 0000-0001-9435-0033;
[3] ORCID : 0000-0003-2905-9287;
[1, 2] Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова, Санкт-Петербург, Российская Федерация
[3] Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (i.turchinskaya[at]mail.ru)

Предложена: 07.02.2024; Принята: 05.03.2024; Опубликована: 18.03.2024

Аннотация

Цель: определение функциональных изменений головного мозга во время нормального менструального цикла у девочек-подростков с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) в состоянии покоя.

Материалы и методы: анализ данных фМРТ головного мозга в состоянии покоя 39 относительно здоровых девочек-подростков в возрасте от 13 до 17 лет (средний возраст 16,3 ±0,7) с регулярным менструальным циклом. Статистический анализ и оценка полученных данных фМРТ покоя проводили при применении плагина CONN v.22a – Functional connectivity toolbox, на базе MATLAB.

Функциональная МРТ покоя позволяет оценить базовую активность мозга в отсутствии определенных сенсорных или когнитивных стимулов и визуализировать рабочие сети, включающие различные участки головного мозга, демонстрирующие синхронные изменения BOLD-сигнала в состоянии покоя. Существует ряд закономерностей изменения BOLD-сигнала, которые можно наблюдать в различные фазы менструального цикла.

Использование фМРТ может помочь в понимании глубоких нейрофизиологических процессов, происходящих в организме девочки-подростка во время нормального менструального цикла, а также открыть новые возможности в диагностике функциональных нарушений головного мозга у девочек-подростков с нарушениями менструального цикла.

Ключевые слова: функциональная МРТ покоя, нормальный менструальный цикл, девочки-подростки, магнитно-резонансная томография, лучевая диагностика.

MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN THE DIAGNOSIS OF FUNCTIONAL BRAIN CHANGES IN TEENAGE GIRLS WITH NORMAL MENSTRUAL CYCLE

Research article

Turchinskaya I.A.[1, *], Shtentsel R.E.[2], Trufanov A.G.[3]
[1] ORCID : 0009-0009-7985-6234;
[2] ORCID : 0000-0001-9435-0033;
[3] ORCID : 0000-0003-2905-9287;
[1, 2] Almazov National Medical Research Centre, Saint-Petersburg, Russian Federation
[3] Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (i.turchinskaya[at]mail.ru)

Suggested: 07.02.2024; Accepted: 05.03.2024; Published: 18.03.2024

Abstract

Objective: to determine functional brain changes during the normal menstrual cycle in teenage girls using resting-state functional magnetic resonance imaging (fMRI).

Materials and Methods: resting brain fMRI data of 39 relatively healthy teenage girls aged 13 to 17 years (average age 16.3 ±0.7) with regular menstrual cycles were analysed. Statistical analysis and evaluation of the obtained resting fMRI data were performed using CONN v.22a – Functional connectivity toolbox plug-in, based on MATLAB.

Resting-state functional MRI allows to evaluate baseline brain activity in the absence of specific sensory or cognitive stimuli and visualize working networks involving different brain areas, demonstrating synchronous changes in BOLD signal at rest. There are a number of patterns of BOLD signal changes that can be observed during different phases of the menstrual cycle.

The use of fMRI may help in understanding the profound neurophysiological processes occurring in the body of adolescent girls during the normal menstrual cycle, as well as open new possibilities in diagnosing functional brain disorders in adolescent girls with menstrual disorders.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Keywords: functional resting-state MRI, normal menstrual cycle, teenage girls, magnetic resonance imaging, radial diagnosis.

Введение

Репродуктивное здоровье детей и подростков в системе общих ценностей формирования здоровья населения занимает одно из ключевых мест, обеспечивая продолжение роста населения страны и человеческого рода в целом.

Индикатором репродуктивного здоровья женщины является менструация. Менструальный цикл (МЦ) (от латинского menstruus – месячный, ежемесячный) – это циклические изменения в организме женщины, преимущественно в звеньях репродуктивной системы, повторяющиеся через определённые промежутки времени и проявляющиеся регулярными маточными кровотечениями – менструациями (menses). Нормальный МЦ является результатом нейрогормональных взаимоотношений между ЦНС, гипоталамусом, гипофизом, яичниками и маткой. Регулярный менструальный цикл устанавливается в течение года после первой менструации (menarche) и сохраняется до 45-52 лет. Для среднеевропейской зоны возраст менархе составляет 12-13 лет [1], [2], [3], [20].

Изучение влияния гормонов на головной мозг во время менструального цикла в настоящее время является популярной областью для исследований при помощи методов нейровизуализации. Нейровизуализация стала предпочтительным инструментом для установления гормональных эффектов в головном мозге [8], [9].

С помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) неоднократно проводились исследования головного мозга в разные фазы менструального цикла, в которых доказывалось, что колебания уровня эндогенных половых стероидов влияют на структуру и функциональную организацию мозга [8], [9].

Однако большинство исследований проводятся у взрослых женщин, упуская из внимания девочек-подростков, у которых менструальный цикл может иметь свои визуализационные особенности в связи с несовершенством регуляции работы гипатоламо-гипофизарно-яичниковой системы.

Именно поэтому целью исследования являлось определение функциональных изменений головного мозга во время регулярного менструального цикла у девочек-подростков путем проведения функциональной МРТ в состоянии покоя.

Методы и принципы исследования

Проведен анализ данных фМРТ головного мозга в покое 39 здоровых девочек-подростков в возрасте от 13 до 17 лет (средний возраст 16,3 ±0,7) с регулярным менструальным циклом. Подтверждение фазы менструального цикла проводилось с помощью индивидуального календаря менструации, представленного пациентками.

МР-исследование проводили двукратно в фолликулярную (с 5-15 день) и лютеиновую (с 15-25 день) фазы менструального цикла соответственно на 1,5 Тл томографе с применением стандартных импульсных последовательностей (T1-WI, T2-WI, TIRM толщина среза – 3,5 мм; MPRAGE толщина среза – 1,2 мм; DWI), последовательностей с прицелом на гипоталамо-гипофизарную зону (толщина среза – 3 мм) и последовательности BOLD для оценки функциональной коннективности головного мозга в состоянии покоя.

Статистический анализ и оценка полученных данных фМРТп проводили при применении плагина CONN v.22a – Functional connectivity toolbox, на базе MATLAB, который позволяет выявить взаимосвязи между различными структурами головного мозга и подтвердить их зоны активации с помощью картирования.

В исследовании использовали анализ оценки низкоуровневой корреляции (ROI-to-ROI – анализ данных на основе выбора зоны интереса для оценки функциональной коннективности с другими зонами) и групповой анализ независимых компонентов (Independent component analysis, ICA), пороговое значение pFDR <0,05.

Предварительная обработка: Функциональные и анатомические данные были предварительно обработаны с использованием гибкого конвейера предварительной обработки, включая перестройку с коррекцией взаимодействия искажений чувствительности, коррекцию времени среза, обнаружение выбросов, прямую сегментацию и нормализацию MNI-пространства, а также сглаживание. Функциональные данные были перестроены с использованием процедуры SPM realign & unwarp [4] где все сканы были привязаны к эталонному изображению (первое сканирование первого сеанса) с использованием метода наименьших квадратов и преобразования с 6 параметрами, и повторно выбраны с использованием b-сплайновой интерполяции для коррекции движения и взаимодействия магнитной восприимчивости. Временное рассогласование между различными фрагментами функциональных данных (полученных в порядке возрастания) было исправлено с помощью процедуры SPM slice-timing correction (STC) [17], используя временную интерполяцию sinc для повторной выборки каждого фрагмента временных рядов до общего среднего времени сбора. Потенциальные снимки с выбросами были идентифицированы с использованием ART [14] как снимки со смещением по кадру более 0,9 мм или глобальными изменениями сигнала выше 5 стандартных отклонений и эталонное изображение было вычислено для каждого объекта путем усреднения всех снимков, исключая выбросы. Функциональные и анатомические данные были нормализованы в стандартном пространстве MNI, сегментированы на классы тканей серого вещества, белого вещества и цереброспинальной жидкости и повторно отобраны до изотропных вокселов размером 2 мм после процедуры прямой нормализации с использованием унифицированного алгоритма сегментации и нормализации SPM [5] с шаблоном карты вероятности ткани IXI-549 по умолчанию. Наконец, функциональные данные были сглажены с использованием пространственной свертки с гауссовым ядром, равным половине максимальной ширины 8 мм (FWHM).

Шумоподавление: кроме того, функциональные данные были шумоизолированы с использованием стандартного конвейера шумоподавления, включая регрессию потенциальных смешивающих эффектов, характеризуемых временными рядами белого вещества (5 компонентов шума CompCor), временными рядами CSF (5 компонентов шума CompCor), параметрами движения и их производными первого порядка (12 факторов) сканирование выбросов (менее 7 факторов), эффекты сеанса и задачи и их производные первого порядка (6 факторов), а также линейные тренды (2

 © Авторы статьи / Authors of the article

фактора) в рамках каждого функционального запуска, затем следует полосовая частотная фильтрация временных рядов [11] в диапазоне от 0,008 Гц до 0,09 Гц. CompCor [7] компоненты шума в белом веществе и ликворе оценивались путем вычисления среднего сигнала BOLD, а также наибольших основных компонентов, ортогональных среднему значению BOLD, параметров движения и сканов выбросов в размытых масках сегментации каждого субъекта. Исходя из количества шумовых терминов, включенных в эту стратегию шумоподавления, эффективные степени свободы сигнала BOLD после шумоподавления варьировали от 125 до 132,8 (в среднем 131,3) у всех испытуемых.

Основные результаты

При проведении анализа на основе выбора зоны интереса для оценки функциональной коннективности с другими зонами (ROI-to-ROI – при условии Difference Follicular> Luteal) было установлено, что в фолликулярную фазу менструального цикла коннективность была повышена между (табл.1., рис 1.):

- височно-затылочной частью средней височной извилины слева и передним отделом средней височной извилины слева;
- нижней лобной извилиной слева и нижней лобной извилиной справа;
- задним отделом средней височной извилины справа и дорсальной сетью внимания (внутритеменной бороздой слева);

И в лютеиновую фазу менструального цикла между (табл.1., рис 1.):

- верхним отделом латеральной затылочной коры справа и верхним отделом латеральной затылочной коры слева;
- верхним отделом латеральной затылочной коры справа и сетью покоя по умолчанию слева;
- сетью покоя по умолчанию справа и сетью покоя по умолчанию слева;
- зрительной корой справа и сетью покоя по умолчанию справа;
- нижней лобной извилиной слева и треугольной частью нижней лобной извилины справа;
- зрительной корой справа и верхним отделом латеральной затылочной коры слева.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 1 - Области повышенной и сниженной (с отрицательной T) коннективности рабочих сетей в фолликулярную фазу по сравнению с лютеиновой

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.57.1

Analysis Unit	Statistic T (7)	p-unc	p-FDR
Lateral Occipital Cortex, superior division Right (sLOC r) - Lateral Occipital Cortex, superior division Left (sLOC l)	-21,20	0,000000	0,001748
Lateral Occipital Cortex, superior division Right - networks Default Mode Lateral Parietal Left (Default Mode LP l)	-13,91	0,000002	0,015666
Middle Temporal Gyrus, temporooccipital part Left (pMTG l) - Middle Temporal Gyrus, anterior division Left (aMTG l)	11,94	0,000007	0,029235
Networks Default Mode Lateral Parietal Right - networks. Default Mode Lateral Parietal Left	-10,86	0,000012	0,041327

© Авторы статьи / Authors of the article

Analysis Unit	Statistic T (7)	p-unc	p-FDR
Networks Visual Lateral Right - networks Default Mode Lateral Parietal Right	-9,92	0,000023	0,049552
networks Language Inferior Frontal Gyrus Left - Inferior Frontal Gyrus, pars triangularis Right	9,73	0,000026	0,049552
networks Visual Lateral Left - Occipital Pole Right (OP r)	-9,65	0,000027	0,049552
networks Default Mode. Lateral parietal Right - Lateral Occipital Cortex, superior division Left (sLOC l)	-9,46	0,000031	0,049552
Middle Temporal Gyrus, posterior division Right – networks Dorsal Attention. Intraparietal sulcus Left (IPS l)	9,35	0,000033	0,0495

 © Авторы статьи / Authors of the article

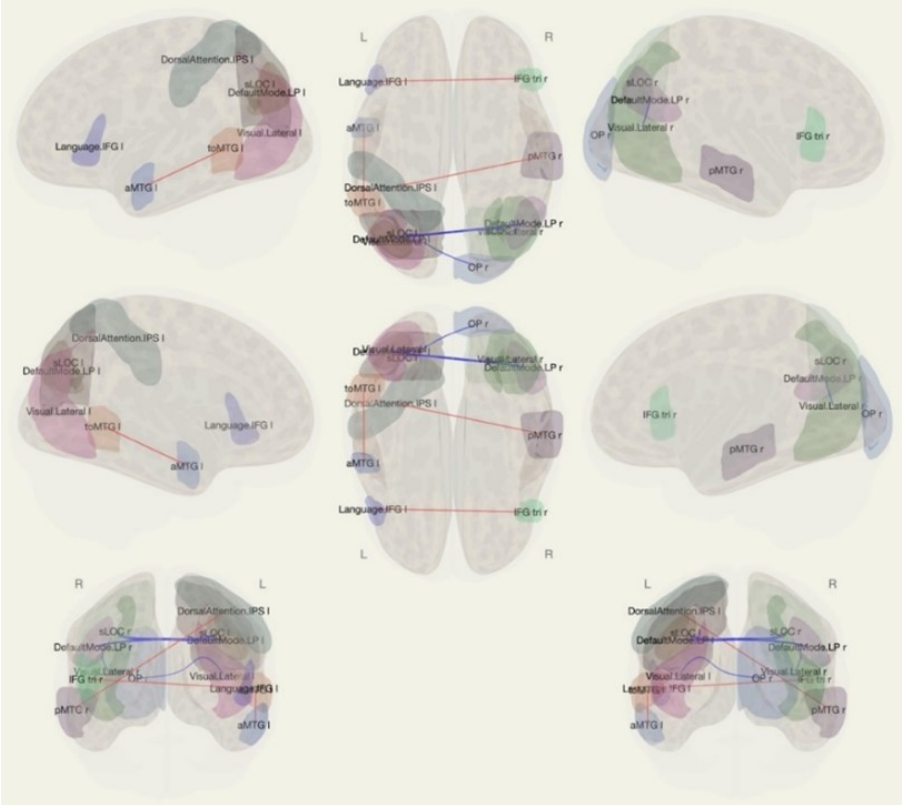

Рисунок 1 - Результаты анализа ROI-to-ROI
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.57.2

Примечание: аббревиатуры, представленные на изображении расшифрованы в таблице; графическое представление результатов, полученных субтракцией функциональных метрик в фолликулярную фазу менструального цикла из данных в лютеиновую фазу менструального цикла; красным отмечены положительные, а синим отрицательные функциональные связи между рабочими сетями головного мозга (p <0,05)

При проведении группового анализа независимых компонентов (Independent component analysis, ICA), использовали 20 независимых компонентов, которые соответствовали определенным сетям покоя. Самая выраженная корреляция независимых компонент наблюдалась с визуальной сетью покоя - ICA 18, 20. При анализе функциональной коннективности визуальной нейросети покоя было установлено, что в фолликулярную фазу менструального цикла повышенная коннективность преимущественно наблюдалась в следующих 3-х кластерах:

Кластер 1 представлен передним и задним отделами надмаргинальной извилины слева, теменной корой слева, постцентральной и угловой извилинами слева.

Кластер 2 представлен передним и задним отделами надмаргинальной извилины справа, прецентральной и постцентральной извилинами справа.

Кластер 3 представлен средней лобной извилиной слева и медиальной лобной извилиной слева (рис. 2).

 © Авторы статьи / Authors of the article

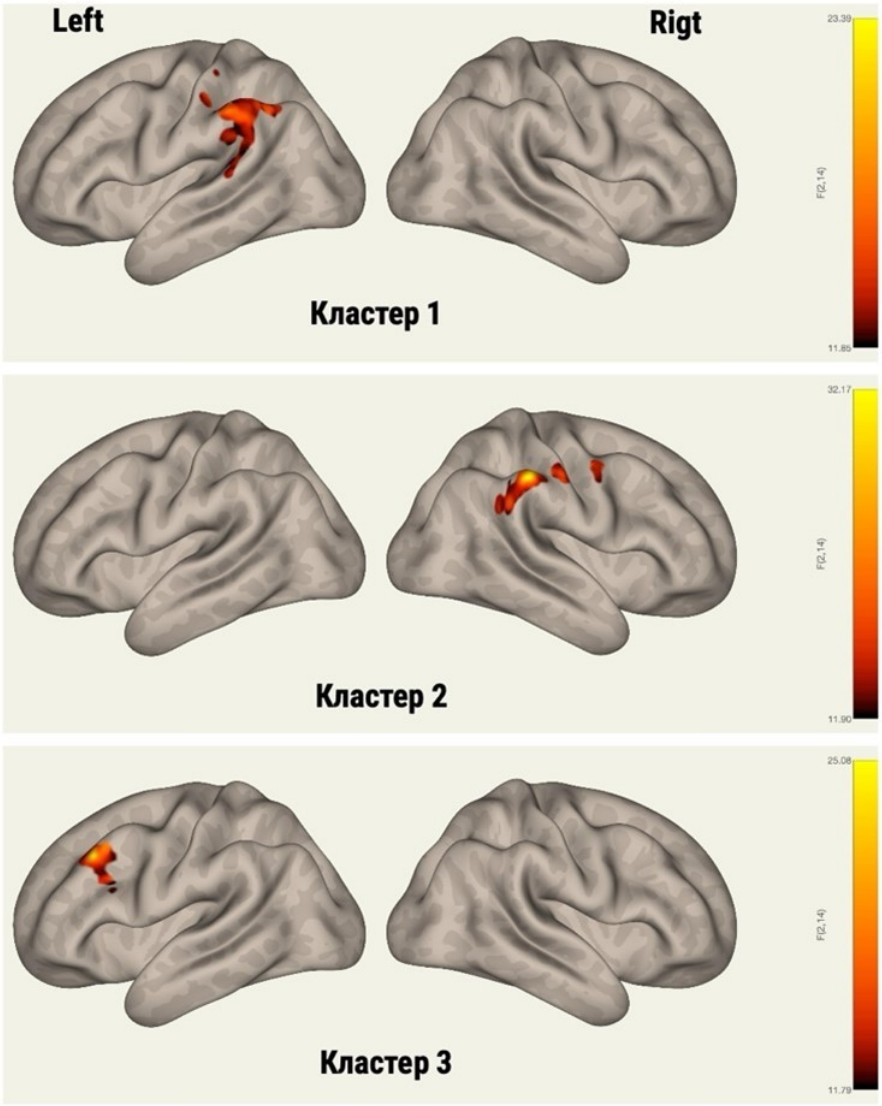

Рисунок 2 - Кластеры головного мозга входящие в состав визуальной сети покоя ()
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.57.3

Примечание: ICA 18, 20; кластер 1 - 296 (49%) вокселей покрывающие 31% переднего отдела супрамаргинальной извилины слева, 193 (32%) вокселя покрывающие 18% заднего отдела супрамаргинальной извилины слева, 37 (6%) вокселей покрывающие 7% теменной коры головного мозга слева, 21 (3%) воксель покрывающие 1% постцентральной извилины слева, 20 (3%) вокселей покрывающие 2% угловой извилины слева, 6 (1%) вокселей покрывающие 1% височного планума слева, 5 вокселей (1%) покрывающие 1% заднего отдела верхней височной извилины слева; кластер 2 - 143 (32%) вокселя покрывающие 18% переднего отдела супрамаргинальной извилины справа, 98 (22%) вокселей покрывающие 3% постцентральной извилины справа, 96 (21%) вокселей покрывающие 8% заднего отдела супрамаргинальной извилины справа; кластер 3 - 207 (87%) вокселей покрывающие 7% медиальной лобной извилины слева, 4 (2%) вокселя покрывающие 1% оперкулярной части нижней лобной извилины слева

Обсуждение

В результате проведенного исследования следует, что одними из наиболее функционально активных сетей головного мозга в фолликулярную и лютеиновую фазы менструального цикла являются: рабочая сеть по умолчанию (Default Mode Network – DMN, сеть «холостого хода» или пассивного режима работы мозга – СПРРМ), зрительная сеть (Visual Network – VN) и дорсальная сеть внимания (Dorsal Attention Network – DAN). Также, исходя из полученных данных, становится понятно, что регуляция менструального цикла осуществляется, в том числе, и с помощью межполушарных взаимодействий. Чтобы глубже понять, какие функциональные процессы головного мозга в состоянии покоя тесно связаны с менструальным циклом, стоит сказать о каждой из вышеописанных сетей более подробно.

Сеть пассивного режима работы мозга – это крупномасштабная сеть мозга, которая включает в себя несколько высокоуровневых когнитивных областей, таких как медиальная префронтальная кора (medial Prefrontal Cortex – mPFC), задняя часть поясной коры (Posterior Cingulyte Cortex – PCC) и задние теменные области (Posterior Temporal

 © Авторы статьи / Authors of the article

Lobe – PTL). DMN в основном известна как сеть, регионы которой демонстрируют активность в покое и деактивируются во время когнитивных целевых задач [13]. Тем не менее DMN также может быть активирована во время высокоуровневых социальных когнитивных задач в подростковом возрасте [15]. Хотя точная функция DMN все еще не полностью понятна, считается, что DMN поддерживает самореферентную деятельность и состоит из регионов, участвующих в различных когнитивных функциях. Регионы в DMN мало связаны у детей в возрасте от 7 до 9 лет, но сильно связаны у взрослых, что указывает на то, что детство и подростковый возраст являются критическими периодами для развития этой ключевой мозговой сети. Особое значение имеет отсутствие передних и задних связей в раннем возрасте. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что DMN способствует умственному исследованию социального и эмоционального содержания. Активность DMN увеличивается во время перспективного восприятия желаний, убеждений и намерений (т.е. теории разума), при запоминании прошлого (например, автобиографическая память) и при планировании будущего. Эти функции предполагают, что DMN может способствовать адаптивному поведению, позволяя создавать, воспроизводить и исследовать сценарии в уме, как для размышлений о прошлых событиях, так и для выведения ожиданий в отношении будущего. Снижение активности в DMN во время усиленной когнитивной обработки может отражать необходимость снижения самореферентной активности мозга, чтобы сосредоточиться на внешней поставленной задаче. Так, например, чрезмерная активность DMN может помочь объяснить общие симптомы при депрессии. Депрессия характеризуется повышенным размышлением или рецидивирующим, рефлексивным и неконтролируемым фокусом на депрессивном настроении и его причинах и последствиях. Депрессия у взрослых среднего возраста неоднократно ассоциировалась с повышенной активностью в DMN что, в свою очередь, связано с отрицательным размышлением [12]. В настоящее время существуют исследования подтверждающие функциональные изменения головного мозга во время предменструального дисфорического расстройства [8], [18], а также различные паттерны нарушения коннективности мозга, связанные с депрессией и нарушением менструального цикла [10], [12], [19].

Зрительная сеть включает в себя боковую (или вторичную) зрительную сеть, медиальную (или первичную) визуальную сеть и затылочную зрительную сеть (пространственную). Боковая зрительная сеть состоит из перистриатной области, боковой и верхней затылочной извилины. Медиальная визуальная сеть включает в себя полосатую и парастриатную части. Затылочная визуальная сеть, участвующая в визуальной обработке более высокого уровня, связанной с орфографией и скрытым чтением, которая включает в себя в основном затылочный полюс (затылочно-теменной узел), медиальные отделы предклинья, задние отделы поясной извилины и лобные доли. Эта сеть ответственна за пространственное восприятие зрительной информации. Визуальная сеть участвует в обнаружении потенциально значимых стимулов для организма. Эти визуальные стимулы могут повысить или понизить значимость болезненного фактора, что приводит к увеличению или уменьшению боли. Например, наблюдение за тем, как игла колет руку другого человека, создает субъективное ощущение дискомфорта и может повышать степень боли при проведении подобной манипуляции с наблюдающим. Известно, что колебания половых гормонов во время менструального цикла приводят к значимым изменения в ощущении боли женщинами, а также значительно влияют на степень восприятия боли и её различия между мужчинами и женщинами [16].

Дорсальная сеть внимания – это последовательная, двусторонняя сеть для постоянного удержания внимания. Поскольку эффективные, целенаправленные процессы DAN являются ключевыми элементами познания, сеть тесно связана со многими другими функциональными областями мозга. Существует два режима обработки внимания: внимание снизу вверх и сверху вниз. Обработка сверху вниз, основана на пространственном внимании и позволяет выбирать, где сосредоточить внимание на основе ожиданий и сознательных целей. Обработка снизу вверх – это эффективный сдвиг внимания в ответ на предсознательный стимул, такой как движение, неожиданные шумовые или визуальные изменения. Сеть вентрального внимания мозга (Ventral Attention Network – VAN) отвечает за сдвиг снизу вверх. Когда внимание смещается, сеть последовательно выделяет элементы в визуальном поле по мере того, как происходит последовательная обработка. Чтобы обеспечить гармоничное смещение внимания, DAN работает не в одиночку. Другие мозговые сети также помогают в реагировании на стимулы и управление фокусом. Сеть вентрального внимания переключает внимание в ответ на неожиданные стимулы, такие как шок, пугающие события или «странные» явления. Эта реакция переориентации происходит в одностороннем порядке в правом полушарии с функциональными областями в височно-теменной коре и нижней лобной коре. В то время как VAN в одностороннем порядке расположена в правом полушарии, DAN является двусторонней сетью. Это демонстрирует сильную связь между областями в латеральной затылочной доле, прецентральной борозде, самой дорсальной части верхней лобной борозды, которая считается лобными полями глаз (Frontal Eye Fields – FEF), вентральной премоторной корой, верхней теменной долей, внутритеменной бороздой и чувствительной к движению средней височной областью [6].

Несмотря на разделение сетей по степени их вовлеченности в тот или иной процесс, все они работают в тесной взаимосвязи и не находятся в вакууме, что позволяет контролировать/изменять/влиять на различные физиологические процессы в головном мозге и организме человека в целом. Менструальный цикл является сложным механизмом, вероятно, регулирующимся не только эндогенными гормонами и нейромедиаторами, но ещё и внутренними сетями головного мозга. Более детальные механизмы, паттерны изменения функциональной коннективности, а также структурные изменения головного мозга во время нормального и нарушенного менструального цикла у подростков ещё предстоит изучить.

Заключение

Таким образом, физиологический процесс менструального цикла, который характеризуется сменой гормонального статуса, находит свое отражение в функциональной коннективности различных областей головного мозга.

Это приводит к колебаниям психоэмоционального состояния и когнитивных функций за счет доминирующего вклада таких структур головного мозга, как латеральная теменная кора, компоненты визуальной нейросети,

 © Авторы статьи / Authors of the article

являющимися структурами затылочной доли головного мозга и их обширными связями, а также средняя височная извилина, которая входит в состав дорзальной сети внимания.

Все описанные структуры обуславливают клинические колебания физиологического менструального цикла здоровых подростков.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Жуковец И.В. Структура гинекологических заболеваний и реализация репродуктивной функции у девочек-подростков с дисфункцией гипоталамуса: проспективное исследование / И.В. Жуковец, О.Я. Лещенко, А.В. Аталян и др. // Репродуктивное здоровье детей и подростков. — 2018. — С. 1816-2134.

2. Российское общество акушеров-гинекологов. Клинические рекомендации: Аменорея и олигоменорея. — Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2021

3. Сандакова Е.А. Нормогонадотропные расстройства менструальной функции в репродуктивном периоде: клиническая лекция / Е.А. Сандакова, И.Г. Жуковская // Пермский медицинский журнал. — 2022. — С. 0136-1449.

4. Andersson J.L.R. Modeling Geometric Deformations in EPI Time Series / J.L.R. Andersson, C. Hutton, J. Ashburner et al. // NeuroImage. — 2001. — 10538119.

5. Ashburner J. A Fast Diffeomorphic Image Registration Algorithm / J. Ashburner // NeuroImage. — 2007. — 10538119.

6. Buckner L.R. The Brain's Default Network: Anatomy, Function, and Relevance to Disease / L.R. Buckner, J.R. Andrews-Hanna, D.L. Schacter // Annals of the New York Academy of Sciences. — 2008. — P. 0077-8923, 1749-6632.

7. Chai X.J. Anticorrelations in Resting State Networks without Global Signal Regression / X.J. Chai, A.N. Castañón, D. Öngür et al. // NeuroImage. — 2012. — 10538119.

8. Comasco E. Neuroimaging the Menstrual Cycle and Premenstrual Dysphoric Disorder / E. Comasco, I. Sundström-Poromaa // Current Psychiatry Reports. — 2015. — P. 1523-3812, 1535-1645.

9. Dubol M. Neuroimaging the Menstrual Cycle: A multimodal systematic review / M. Dubol, C.N. Epperson, J. Sacher et al. // Frontiers in Neuroendocrinology. — 2021. — 00913022.

10. Greicius M. Resting-State Functional Connectivity in Major Depression: Abnormally Increased Contributions from Subgenual Cingulate Cortex and Thalamus / M. Greicius, B. Flores, V. Menon et al. // Biological Psychiatry. — 2007. — 00063223.

11. Hallquist M. The Nuisance of Nuisance Regression: Spectral Misspecification in a Common Approach to Resting-state fMRI Preprocessing Reintroduces Noise and Obscures Functional Connectivity / M. Hallquist, K. Hwang, B. Luna // NeuroImage. — 2013. — 10538119.

12. Hamilton J.P. Depressive Rumination, the Default-Mode Network, and the Dark Matter of Clinical Neuroscience / J.P. Hamilton, M. Farmer, Ph. Fogelman et al. // Biological Psychiatry. — 2015. — 00063223.

13. Heine L. Resting State Networks and Consciousness / L. Heine, A. Soddu, F. Gomez et al. // Frontiers in Psychology. — 2012. — P. 1664-1078.

14. Power J.D. Methods to Detect, Characterize, and Remove Motion Artifact in Resting State fMRI / J.D. Power, A. Mitra, T.O. Laumann et al. // NeuroImage. — 2014. — 10538119.

15. Pujol J. Posterior Cingulate Activation during Moral Dilemma in Adolescents / J. Pujol, J. Reixach, B.J. Harrison et al. // Human Brain Mapping. — 2008. — P. 1065-9471, 1097-0193.

16. Shen W. Visual Network Alterations in Brain Functional Connectivity in Chronic Low Back Pain: A resting state functional connectivity and machine learning study / W. Shen, Y. Tu, R.L. Gollub et al. // NeuroImage: Clinical. — 2019. — 22131582.

17. Sladky R. Slice-timing Effects and Their Correction in Functional MRI / R. Sladky, K.J. Friston, J. Tröstl et al. // NeuroImage. — 2011. — 10538119.

18. Toffoletto S. Emotional and Cognitive Functional Imaging of Estrogen and Progesterone Effects in the Female Human Brain: a systematic review / S. Toffoletto, R. Lanzenberger, M. Gingnell et al. // Psychoneuroendocrinology. — 2014. — P. 1873-3360.

19. Vandewouw M. Richer than We Thought: Neurophysiological Methods Reveal Rich-club Network Development is Frequency- and Sex-dependent / M. Vandewouw, E. Pang, M.-C. Lai et al. // iScience. — 2023. — 25890042.

20. Menstruation in Girls and Adolescents: Using the Menstrual Cycle as a Vital Sign // The American College of Obstetricians and Gynecologists. — 2021. — URL: https://www.acog.org/clinical/clinical-guidance/committee-opinion/articles/2015/12/menstruation-in-girls-and-adolescents-using-the-menstrual-cycle-as-a-vital-sign. (дата обращения: 07.02.24)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zhukovets I.V. Struktura ginekologicheskih zabolevanij i realizatsija reproduktivnoj funktsii u devochek-podrostkov s disfunktsiej gipotalamusa: prospektivnoe issledovanie [The Structure of Gynecological Diseases in Adolescent Girls with

 © Авторы статьи / Authors of the article

Hypothalamic Dysfunction and the Realization of Reproductive Function: prospective study] / I.V. Zhukovets, O.Ja. Leschenko, A.V. Ataljan et al. // Pediatric and Adolescent Reproductive Health. — 2018. — P. 1816-2134. [in Russian]

2. Rossijskoe obshchestvo akusherov-ginekologov. Klinicheskie rekomendacii: Amenoreya i oligomenoreya [Russian Society of Obstetricians and Gynecologists. Clinical guidelines: Amenorrhea and oligomenorrhea]. — Ministry of Health of the Russian Federation, 2021 [in Russian]

3. Sandakova E.A. Normogonadotropnye rasstrojstva menstrual'noj funktsii v reproduktivnom periode: klinicheskaja lektsija [Normogonadotropic Menstrual Function Disorders in Reproductive Period. Clinical lecture] / E.A. Sandakova, I.G. Zhukovskaja // Perm Medical Journal. — 2022. — P. 0136-1449. [in Russian]

4. Andersson J.L.R. Modeling Geometric Deformations in EPI Time Series / J.L.R. Andersson, C. Hutton, J. Ashburner et al. // NeuroImage. — 2001. — 10538119.

5. Ashburner J. A Fast Diffeomorphic Image Registration Algorithm / J. Ashburner // NeuroImage. — 2007. — 10538119.

6. Buckner L.R. The Brain's Default Network: Anatomy, Function, and Relevance to Disease / L.R. Buckner, J.R. Andrews-Hanna, D.L. Schacter // Annals of the New York Academy of Sciences. — 2008. — P. 0077-8923, 1749-6632.

7. Chai X.J. Anticorrelations in Resting State Networks without Global Signal Regression / X.J. Chai, A.N. Castañón, D. Öngür et al. // NeuroImage. — 2012. — 10538119.

8. Comasco E. Neuroimaging the Menstrual Cycle and Premenstrual Dysphoric Disorder / E. Comasco, I. Sundström-Poromaa // Current Psychiatry Reports. — 2015. — P. 1523-3812, 1535-1645.

9. Dubol M. Neuroimaging the Menstrual Cycle: A multimodal systematic review / M. Dubol, C.N. Epperson, J. Sacher et al. // Frontiers in Neuroendocrinology. — 2021. — 00913022.

10. Greicius M. Resting-State Functional Connectivity in Major Depression: Abnormally Increased Contributions from Subgenual Cingulate Cortex and Thalamus / M. Greicius, B. Flores, V. Menon et al. // Biological Psychiatry. — 2007. — 00063223.

11. Hallquist M. The Nuisance of Nuisance Regression: Spectral Misspecification in a Common Approach to Resting-state fMRI Preprocessing Reintroduces Noise and Obscures Functional Connectivity / M. Hallquist, K. Hwang, B. Luna // NeuroImage. — 2013. — 10538119.

12. Hamilton J.P. Depressive Rumination, the Default-Mode Network, and the Dark Matter of Clinical Neuroscience / J.P. Hamilton, M. Farmer, Ph. Fogelman et al. // Biological Psychiatry. — 2015. — 00063223.

13. Heine L. Resting State Networks and Consciousness / L. Heine, A. Soddu, F. Gomez et al. // Frontiers in Psychology. — 2012. — P. 1664-1078.

14. Power J.D. Methods to Detect, Characterize, and Remove Motion Artifact in Resting State fMRI / J.D. Power, A. Mitra, T.O. Laumann et al. // NeuroImage. — 2014. — 10538119.

15. Pujol J. Posterior Cingulate Activation during Moral Dilemma in Adolescents / J. Pujol, J. Reixach, B.J. Harrison et al. // Human Brain Mapping. — 2008. — P. 1065-9471, 1097-0193.

16. Shen W. Visual Network Alterations in Brain Functional Connectivity in Chronic Low Back Pain: A resting state functional connectivity and machine learning study / W. Shen, Y. Tu, R.L. Gollub et al. // NeuroImage: Clinical. — 2019. — 22131582.

17. Sladky R. Slice-timing Effects and Their Correction in Functional MRI / R. Sladky, K.J. Friston, J. Tröstl et al. // NeuroImage. — 2011. — 10538119.

18. Toffoletto S. Emotional and Cognitive Functional Imaging of Estrogen and Progesterone Effects in the Female Human Brain: a systematic review / S. Toffoletto, R. Lanzenberger, M. Gingnell et al. // Psychoneuroendocrinology. — 2014. — P. 1873-3360.

19. Vandewouw M. Richer than We Thought: Neurophysiological Methods Reveal Rich-club Network Development is Frequency- and Sex-dependent / M. Vandewouw, E. Pang, M.-C. Lai et al. // iScience. — 2023. — 25890042.

20. Menstruation in Girls and Adolescents: Using the Menstrual Cycle as a Vital Sign // The American College of Obstetricians and Gynecologists. — 2021. — URL: https://www.acog.org/clinical/clinical-guidance/committee-opinion/articles/2015/12/menstruation-in-girls-and-adolescents-using-the-menstrual-cycle-as-a-vital-sign. (accessed: 07.02.24)