

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab624889>

# Нейропсихологическая интерпретация нарушений сознания с привлечением данных инструментальных методов диагностики мозговой активности

Л.И. Седова<sup>1</sup>, Е.В. Ерохина<sup>2, 3</sup>, Е.А. Баранова<sup>2, 4</sup>, В.М. Ериков<sup>5</sup>, А.А. Никулин<sup>5</sup>,  
Г.Е. Иванова<sup>2, 3, 6</sup>, Ю.В. Микадзе<sup>2, 7</sup>

<sup>1</sup> Национальный медицинский исследовательский центр «Лечебно-реабилитационный центр», Москва, Россия;

<sup>2</sup> Федеральный центр мозга и нейротехнологий, Москва, Россия;

<sup>3</sup> Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия;

<sup>4</sup> Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия;

<sup>5</sup> Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань, Россия;

<sup>6</sup> Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Россия;

<sup>7</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

Актуальность рассматриваемой проблемы определяется необходимостью развития и совершенствования междисциплинарных подходов к диагностике и реабилитации пациентов с нарушениями сознания вследствие патологий головного мозга. Целью статьи является аналитический обзор методов нейропсихологической и инструментальной диагностики пациентов, находящихся в сниженном состоянии сознания.

Отмечаются недостаточная разработанность нейропсихологического содержания понятия «сознания», а также отсутствие единой точки зрения на мозговую основу сознания, ограничения методологического и процедурного характера, возникающие при работе нейропсихолога с пациентами в вегетативном состоянии/с синдромом ареактивного бодрствования и в состоянии минимального сознания. Рассматривается проблема согласованности результатов поведенческих (нейропсихологических) и инструментальных (нейрофизиологических и нейровизуализационных) методов оценки уровня сознания, проводимых разными специалистами (нейропсихологами, неврологами, нейрофизиологами, нейрорадиологами), входящими в состав мультидисциплинарной бригады. Анализируется возможность сочетания процедуры нейропсихологического обследования и инструментальных методов при диагностике пациентов в вегетативном состоянии/с синдромом ареактивного бодрствования и в состоянии минимального сознания, в том числе с целью формирования прогноза восстановления уровня сознания. Подтверждается возможность комплексного подхода к диагностике состояния сознания, связанного с сочетанием поведенческих (основанных на наблюдении) и объективных (инструментальных) методов исследования, и рассматриваются возможные пути его реализации.

**Ключевые слова:** нарушения сознания; нейропсихологическая диагностика; нейрореабилитация; электроэнцефалография; функциональная магнитно-резонансная томография; позитронно-эмиссионная томография.

## Как цитировать:

Седова Л.И., Ерохина Е.В., Баранова Е.А., Ериков В.М., Никулин А.А., Иванова Г.Е., Микадзе Ю.В. Нейропсихологическая интерпретация нарушений сознания с привлечением данных инструментальных методов диагностики мозговой активности // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 157–171. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab624889>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab624889>

# Neuropsychological interpretation of disorders of consciousness using data from instrumental (neurophysiological) methods for diagnosing brain activity

Lubov I. Sedova<sup>1</sup>, Ekaterina V. Erokhina<sup>2, 3</sup>, Elena A. Baranova<sup>2, 4</sup>, Vladimir M. Erikov<sup>5</sup>, Alexey A. Nikulin<sup>5</sup>, Galina E. Ivanova<sup>2, 3, 6</sup>, Yury V. Mikadze<sup>2, 7</sup>

<sup>1</sup> National Medical Research Centre "Treatment and Rehabilitation Centre", Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Federal Center of Brain Research and Neurotechnologies, Moscow, Russia;

<sup>3</sup> The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia;

<sup>4</sup> Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia;

<sup>5</sup> Ryazan State University S.A. Esenin, Ryazan, Russia;

<sup>6</sup> Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russia;

<sup>7</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## ABSTRACT

The relevance of the problem under consideration is determined by the need to develop and improve interdisciplinary approaches to the diagnosis and rehabilitation of disorders of consciousness in patients with brain pathology. The purpose of the article is an analytical review of the methods of neuropsychological and neurophysiological diagnostics and rehabilitation work with patients in reduced states of consciousness.

It is noted that the neuropsychological content of the concept of "consciousness" is insufficiently developed and there is no unified point of view on the brain basis of consciousness, as well as on methodological and procedural limitations that arise when a neuropsychologist works with patients in a vegetative state of consciousness and in a state of minimal consciousness. The problem of consistency of the results of behavioral (neuropsychological) and instrumental (neurophysiological) methods for assessing the level of states of consciousness conducted by different specialists (neuropsychologists, neurologists, neurophysiologists) who are part of a multidisciplinary team is considered. The possibility of combining the procedure of neuropsychological examination and instrumental (neurophysiological) methods in the diagnosis of patients in a vegetative state of consciousness, in a state of minimal consciousness) and the prognosis of restoring the level of consciousness is analyzed. The possibility of an integrated approach to the diagnosis of a state of consciousness associated with a combination of behavioral (observation-based) and objective (instrumental) research methods is confirmed, and possible ways of its implementation are considered.

**Keywords:** consciousness disorders; neuropsychological tests; neurorehabilitation; electroencephalography; magnetic resonance imaging; positron-emission tomography.

## To cite this article:

Sedova LI, Erokhina EV, Baranova EA, Erikov VM, Nikulin AA, Ivanova GE, Mikadze YuV. Neuropsychological interpretation of disorders of consciousness using data from instrumental (neurophysiological) methods for diagnosing brain activity. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2):157–171. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab624889>

Submitted: 22.12.2023

Accepted: 16.05.2024

Published online: 31.05.2024

### Список сокращений

ВС/САБ — вегетативное состояние / синдром ареактивного бодрствования

ВП — вызванные потенциалы

ПЭТ — позитронно-эмиссионная томография

СМС — состояние минимального сознания

ТМС — транскраниальная магнитная стимуляция

фМРТ — функциональная магнитно-резонансная томография

ЭЭГ — электроэнцефалография

## ВВЕДЕНИЕ

При проведении реабилитационной работы с пациентами с нарушением сознания отмечается недостаточная разработанность нейропсихологических и инструментальных диагностических средств оценки сниженных состояний сознания, обусловленная рядом причин методологического и практического характера.

В современной нейропсихологии нет однозначно сформулированного представления о содержании, структуре и компонентном составе сознания как интегративного образования, в том числе недостаточно проработан вопрос о взаимосвязи сознания с функционированием отдельных мозговых зон и головного мозга в целом. Это становится одной из причин возникновения существенных ограничений в диагностической и реабилитационной работе нейропсихолога с пациентами с хроническими нарушениями сознания.

Выделяют следующие виды хронического нарушения сознания [1]:

- продлённое нарушение сознания;
- вегетативное состояние/синдром ареактивного бодрствования (ВС/САБ);
- состояние минимального сознания (СМС);
- состояние минимального сознания «минус»;
- состояние минимального сознания «плюс»;
- выход из состояния минимального сознания.

В литературе встречаются также термины «скрытое сознание» (указывает на наличие у пациентов церебральной активности, выявляемой инструментальными методами, при отсутствии клинических признаков сознания [2, 3]) и «когнитивно-моторное разобщение» (указывает на способность пациентов в ВС или СМС выполнять инструкции, что выявляется инструментальными методами [4, 5]).

Л.С. Выготский [6] предполагал, что психологическую структуру сознания следует рассматривать как сложную интегрированную взаимосвязь отдельных функций, образующую целое, от которого зависит судьба каждой функциональной части. Содержание сознания определяется наличием обобщения, посредством которого через придание значения предметам и явлениям окружающего мира совершается его осмысление и осознание [6, 7]. В вопросе о мозговой основе сознания также

нет единой точки зрения. Например, Дж. Эдельман [8] рассматривает в качестве интеграционного центра сознания определённую (таламокортикальную) область, в отечественной традиции сознание связывается с функциональными системами, имеющими широкую мозговую локализацию [8, 9]. Основным недостатком нейробиологических теорий сознания, как отмечает К.В. Анохин [10], является отсутствие «ясной нейробиологической концепции носителя субъективного опыта — той системы, в которой протекают процессы сознания».

В отечественной нейропсихологии содержание сознания рассматривается как высшая форма отражения человеком внешнего (объективного) и внутреннего (субъективного) мира, как интегративный обобщённый «образ мира» и «образ своего Я», представленный в виде символов (слов, знаков) и образов [9, 11].

Можно предположить, что в нейропсихологическом обследовании для поиска свидетельств, указывающих на наличие структурных и содержательных признаков сознания в соответствии с этими определениями, ведущей становится диагностика сохранности структуры психических функций (внутрифункциональных связей) и сохранности связей между ними (межфункциональных связей). В этом случае состояние структуры сознания как интегративного целого определяется степенью сохранности образующих его частей. Уровень сохранности отдельных психических функций и их взаимодействия детерминирует доступную степень осмысления и значения пациентом содержания его взаимодействия с окружающим миром.

На первый взгляд, в арсенале нейропсихологической диагностики присутствуют методические средства, позволяющие оценить состояние отдельных психических функций и связей между ними. В то же время при обследовании пациентов с нарушениями сознания специалист сталкивается с трудностями в использовании классических проб нейропсихологического обследования, которые в значительной степени определяются спецификой взаимодействия между пациентом и нейропсихологом, характерной для нарушений сознания [9, 12].

В качестве критериев оценки состояния сознания в первую очередь рассматриваются поведенческие проявления, фиксируемые у пациента в ответ на оказанное

воздействие. Часто участие пациента в обследовании становится пассивным, и нейропсихологу без обратной связи от пациента трудно выявить системную произвольную реакцию на предлагаемые стимулы. Вопрос о степени осознанности пациентом тех или иных демонстрируемых им форм поведения решается на основе анализа степени соответствия между предлагаемой пациенту инструкцией и его реакцией. В этом случае оценка степени осмысленности выполняемых по инструкции действий будет выступать критерием поведенческой оценки уровня сознания. Именно эти параметры и учитываются в шкалах для оценки уровня сознания у пациентов с хроническим нарушением сознания [13, 14].

В то же время возможны ситуации, когда поведенческий ответ на стимулирование отсутствует в явном виде, либо фиксируется наличие поведенческих проявлений пациента, содержание которых сложно интерпретировать (например, не очевидно, какая составляющая стимульной ситуации вызывает ответ). В таких случаях для нейропсихолога возникает необходимость поиска дополнительной информации, прямо связанной с проводимой процедурой тестирования пациента.

Трудность интерпретации поведенческих проявлений и их идентификации с активностью конкретных зон головного мозга может быть разрешена на основе включения в обследование встречного анализа, который проводится с помощью сопоставления выявляемой мозговой активности с теми действиями, которые способен выполнять пациент при её наличии. Нейропсихологическая диагностика основана на возможности сопоставления наблюдаемых симптомов с определённой локализацией мозгового поражения. Резонным становится вопрос о возможности рассмотрения активности определённых зон мозга как индикатора, указывающего на наличие инициации соответствующих психических функций до их поведенческого проявления.

В этом случае полезно участие специалистов, работающих с применением инструментальных методов, ориентированных на выявление активности головного мозга (например, нейрорадиолога, нейрофизиолога), для оценки заинтересованности тех или иных зон при восприятии и обработке афферентной информации, поступающей к пациенту в ходе нейропсихологического обследования, а также при попытках пациента выполнить те или иные инструкции.

Проблема разработки критериев определения уровня сознания является ведущей в клинической практике при работе с пациентами с хроническим нарушением сознания. В настоящее время созданы общие системы отсчёта, по которым на основе поведенческих проявлений определяется граница между сознанием и бессознательным состоянием. Тем не менее исследования диагностической точности показывают, что от 30 до 40% пациентов, не способных говорить или выполнять команды, имеют

ошибочный диагноз ВС/САБ [15]. Диагностическая ошибка у пациентов с нарушениями сознания может иметь серьёзные последствия, особенно в ситуации, когда важно как можно скорее поставить правильный диагноз, подобрать программу лечения, жизнеобеспечения, оценить показания к нейрореабилитации, спланировать уход и обеспечить адаптацию семьи [16].

Нейропсихологическая оценка состояния сознания в этом случае также традиционно опирается лишь на наличие поведенческих реакций в ответ на различные виды полимодальной стимуляции без возможности их точной содержательной интерпретации. Тогда, согласно практическим рекомендациям для специалистов в сфере реабилитации пациентов с нарушениями сознания, допустимо использовать специализированные инструментальные методы для рассмотрения альтернативного диагноза [17]. Применение таких методов, наиболее близких к объективным, позволяет получить дополнительную информацию для анализа и оценки уровня сознания у пациентов, что позволяет снизить частоту ошибочных диагнозов и обнаружить новые прогностические факторы.

На сегодняшний день недостаточно доказательств для того, чтобы поддержать или опровергнуть повседневное использование тех или иных инструментальных методов при установлении уровня сознания у пациентов с хроническим нарушением сознания, однако они могут применяться в качестве полезных дополнений к поведенческим оценкам. Например, у пациентов с низкими показателями по поведенческим шкалам и у пациентов со «скрытым сознанием» могут быть обнаружены положительные результаты с использованием инструментальных методов исследования [17–19]. В связи с этим возможным вариантом для достоверной оценки может быть использование комбинации различных методов с учётом специфичных для них преимуществ в диагностических результатах. Возможность комплексного подхода к определению уровня сознания может быть реализована на основе дополнения процедуры поведенческой оценки данными, получаемыми при сочетанном выполнении нейропсихологического и инструментального обследования. В этом случае индикатором, подтверждающим связь поведенческих проявлений с инструкцией, может выступать наличие активности в соответствующих областях головного мозга. Так, например, при предъявлении зрительного стимула можно ожидать активации первичных и вторичных отделов зрительной коры, при инициации двигательных программ — активацию в передних моторных отделах коры.

Представляет интерес анализ возможности междисциплинарного подхода к обследованию пациентов с нарушениями сознания. С этой целью в статье представлен обзор и краткое обсуждение литературных данных по использованию основных инструментальных методов при диагностике нарушений сознания, которые

позволяют выявить признаки сознания, недоступные оценке стандартизированными шкалами поведенческой оценки, и установить их связь с нейропсихологическими коррелятами сознания, сформулировать прогностические показатели для данной категории пациентов. Особый интерес связан с пониманием потенциальных возможностей использования для этих целей инструментальных методов исследования активности головного мозга.

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ

При диагностике пациентов с хроническим нарушением сознания дополнительное применение инструментальных диагностических методов рекомендовано с целью снижения диагностических ошибок в случае, если результаты структурированного неврологического осмотра и применения стандартных нейроповеденческих шкал не позволяют однозначно установить форму хронического нарушения сознания. Использование данных, получаемых при применении этих методов, может расширить картину представлений о состоянии сознания у пациента и помочь в постановке правильного диагноза и прогнозировании исхода.

Согласно клиническим рекомендациям по ведению пациентов с хроническим нарушением сознания [1], рекомендуется применение следующих инструментальных диагностических методов.

### Электромиография

Электромиография — метод исследования периферической нервно-мышечной системы с оценкой функционального состояния сенсорных волокон и двигательных единиц: периферического мотонейрона и мышечных волокон, которые он иннервирует. В основе метода лежит оценка электрической проводимости и возбудимости нервных структур и мышц. На этапе оценки исходного функционального состояния и сохранности периферической нервной системы электромиография позволяет исключить наличие у пациентов полинейропатий и миопатий критических состояний, посттравматических изменений, которые приводят к снижению двигательной активности [20].

Кроме того, электромиография была предложена для обнаружения микродвижений, которые часто остаются незамеченными [21], что позволяет применять этот метод для дифференциальной диагностики разных уровней сознания. Было показано, что при использовании электромиографии у пациентов в СМС с высокой вероятностью может быть обнаружена дифференциальная активность в ответ на предъявление двигательной команды (например, пошевелить определённой рукой) в отличие от пациентов в ВС/САБ, у которых такой реакции не обнаружено [22, 23].

### Электроэнцефалография

Электроэнцефалография (ЭЭГ) — метод исследования электрической активности головного мозга путём размещения электродов в определённых зонах на поверхности головы. Зарегистрированная электрическая активность отображается в виде волн, которые отличаются по характеристикам (частоте и амплитуде), и в клинической практике делятся на альфа-, бета-, дельта- и тета-волны. ЭЭГ применяют в диагностических и прогностических целях. Существуют два подхода в интерпретации данных.

Качественная, или визуальная, оценка ЭЭГ у пациентов с нарушением сознания позволяет оценить степень повреждения головного мозга и исключить наличие бессудорожного эпилептического статуса, а наличие реактивности ЭЭГ и регистрация графоэлементов N 2 стадии сна ассоциируется с благоприятным прогнозом восстановления сознания [24].

Наличие признаков REM-сна и медленноволнового сна у пациентов с хроническим нарушением сознания позволяет предположить наличие минимального сознания [1].

В литературе также описано применение ЭЭГ в рамках фармакологической пробы с использованием препарата золпидем, когда в течение часа после введения препарата могут наблюдаться активность, а также отчётливая динамика в расширении контакта, увеличении количества движений, выполнении инструкций и попыток коммуникации, что связано с улучшением метаболизма в отдельных зонах мозга. При регистрации положительного эффекта можно предположить наличие у пациента признаков осознанного поведения [1].

Более сложный подход — количественная ЭЭГ — позволяет оценить более сложные параметры, такие как спектральная мощность, когерентность, энтропия и расчёт индекса интегративной связности, что также позволяет отличить пациентов в ВС/САБ от СМС в острой стадии [25]. Так, например, пациенты в СМС демонстрируют функциональную коннективность снизу вверх (от лобно-теменных отделов коры к височным) и сверху вниз, а пациенты в ВС/САБ — только восходящую обработку, тогда как для сознательного восприятия необходима повторная обработка более высокого порядка с участием коры [26].

С положительным исходом восстановления сознания у пациентов с нарушением сознания в значительной степени связано наличие более быстрой фоновой активности альфа-диапазона [24, 27]. Регистрация в лобно-теменной зоне альфа-активности может рассматриваться как показатель сознания [28].

Снижение дельта-мощности значительно коррелирует с увеличением показателя по пересмотренной шкале восстановления после комы (Coma Recovery Scale-Revised, CRS-R) [14, 29].

## Вызванные потенциалы

Вызванные потенциалы (ВП) — метод регистрации изменений электрической активности мозга в ответ на экзогенные или эндогенные стимулы. ВП позволяют оценить функциональную целостность сенсорных путей, проецируемых на первичную сенсорную кору, а «связанные с событиями потенциалы» оценивают функции коры более высокого порядка, связанные с обнаружением стимулов и принятием решений. Вызванные и «связанные с событиями потенциалы» использовались для прогнозирования выхода из комы [30].

Проведение диагностики с регистрацией коротколатентных ВП происходит при предъявлении стимулов различных модальностей и позволяет оценить сохранность зрительного, слухового, соматосенсорного анализаторов, что важно для оценки исходного функционального состояния и сохранности структур центральной и периферической нервной системы. Так, например, регистрация соматосенсорных ВП в виде наличия корковых ответов N 20 определённой амплитуды позволяет прогностически предположить улучшение уровня сознания пациентов, находящихся в ВС/САБ, в течение последующего периода от 6 месяцев до 1 года [31], в то время как двустороннее отсутствие корковых ответов ассоциировано с неблагоприятным исходом [24].

Наличие корковых ответов при стимуляции ноцицептивных путей лазером, т.е. при формировании болевой стимуляции, может указывать на наличие остаточного кортикального болевого возбуждения. Разница в реакциях на разные компоненты лазерной стимуляции может быть дополнительным способом дифференциации СМС и ВС/САБ [1, 32].

Согласно некоторым данным, при рассмотрении когнитивных ВП наличие компонента P300 (компонент потенциала, связанного с событиями) может свидетельствовать о благоприятном исходе и восстановлении уровня сознания [33]. При использовании исследовательских парадигм, требующих от пациентов выполнения определённых команд, возникновение объективных реакций мозга в виде компонента P300 может указывать на признаки осознания у пациента предъявляемой задачи. Так, при сравнении пациентов в ВС/САБ, перенёвших травму (>1 месяца), и здоровых добровольцев был зафиксирован профиль P300, аналогичный профилю здоровых испытуемых в сознании, выполняющих ту же целевую задачу [30]; в другом исследовании у некоторых пациентов в ВС/САБ был выявлен компонент P300 в ответ на предъявление своего имени [34, 35]. В одном из исследований пациенту в СМС было доступно управление вниманием по отношению к вибрациям на его левом и правом запястьях [36] в ответ на называние своего имени [34, 35], в ответ на решение целевой задачи [37–39], что позволяет предположить, что у части пациентов в СМС

и ВС/САБ может частично сохраняться активная обработка специфических стимулов.

## Транскраниальная магнитная стимуляция

Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) — метод неинвазивной стимуляции коры головного мозга с помощью переменного магнитного поля. В диагностике пациентов с нарушениями сознания сочетание навигационной ТМС и многоканальной ЭЭГ применяется для оценки эффективности коннективности и корковой возбудимости, что позволяет дифференцировать паттерны активации головного мозга у пациентов в ВС/САБ и при синдроме «запертого человека» [40]. Количественная оценка влияния импульса ТМС на активность головного мозга позволяет различать уровни сознания как у здоровых субъектов (во время сна и анестезии), так и у пациентов с нарушением сознания [1, 41–45].

## Функциональная магнитно-резонансная томография

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) — метод, в основе которого лежит измерение сигнала, зависящего от уровня оксигенации крови (blood oxygenation level dependent contrast, BOLD), связанного с активностью нейронов определённых областей головного мозга [46].

При оценке уровня оксигенации крови с помощью фМРТ можно выявить функциональную коннективность между разными отделами головного мозга, а также её снижение у пациентов с нарушением сознания по сравнению со здоровыми испытуемыми [47, 48]. Значимыми для дифференциальной диагностики пациентов в ВС/САБ и СМС являются различия в степени функциональной коннективности лобно-теменной, а также сомоторной, зрительной и слуховой сетей покоя [49, 50]. Эти показатели также позволяют предположить наличие остаточных когнитивных функций, например внутренней речи, которую нельзя выявить стандартными поведенческими методами оценки [51].

фМРТ позволяет оценивать выполнение команд с использованием активных парадигм, когда пациенту предлагается выполнить когнитивную задачу, находясь в сканере. Области активности мозга, наблюдаемые при выполнении заданий, сравнивают с областями, активными при пассивной сенсорной стимуляции и в периоды отдыха. Выявлено, что некоторые пациенты, которые не демонстрируют каких-либо поведенческих признаков реагирования на команды, имеют профили активации головного мозга, практически идентичные профилю здоровых испытуемых, выполняющих аналогичные команды [16]. Например, некоторые пациенты с диагнозом ВС/САБ демонстрировали активацию премоторных областей, представляя игру в теннис, и активацию парагиппокампальной извилины, представляя навигацию по дому,

что соответствует аналогичным профилям активации у здоровых испытуемых [52, 53]. Следование командам в условиях данной парадигмы также позволяет выстроить с пациентом коммуникацию в формате ответов «да-нет» [54].

Представленная парадигма исследования тем не менее не является воспроизводимой для всех пациентов с диагнозом ВС/САБ, что связано с недостаточностью интегративных процессов обработки входящей информации у данной категории пациентов [55].

### Позитронно-эмиссионная томография

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) — метод исследования функционального состояния головного мозга путём количественного определения метаболизма глюкозы или потребления кислорода.

На основе анализа ПЭТ стало известно, что уровень потребления глюкозы различается у пациентов в ВС/САБ и СМС (40 и 50% соответственно) по сравнению со здоровыми испытуемыми (100% потребления глюкозы) [56–58]. У пациентов в ВС/САБ выявлено также систематическое нарушение метаболизма в ассоциативной коре [59], которая важна для осуществления различных функций, необходимых для сознания, таких как внимание, память и речь [60]. В тех случаях, когда пациенты в ВС/САБ полностью или частично выходят из этого состояния, ПЭТ показывает функциональное восстановление метаболизма в тех же областях коры [61]. Ещё одно исследование показало нарушение таламокортикальной функциональной связности в ВС/САБ, но после восстановления уровня сознания она стала аналогичной группе здоровых испытуемых [62].

## КОМПЛЕМЕНТАРНОСТЬ НЕЙРОПСИХОЛОГИЧЕСКИХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Инструментальные методы оценки сознания направлены на выявление активности головного мозга, тогда как нейропсихологические методы ориентируются на поведенческие проявления в ответ на предъявляемые пациенту стимулы, которые могут быть соотношены с активностью определённых мозговых зон. Задача, решаемая при использовании комплементарных методов, состоит в установлении этого соответствия.

Применение указанных методов в диагностике пациентов, имеющих нарушения сознания, поможет решить следующие задачи:

а) оценить сохранность разных структурных компонентов нервной системы, участвующих в обеспечении сознания, и тем самым определить возможные виды стимулов, которые могут оказаться доступными для осознания пациентом;

б) оценить возможности пациента к восприятию определённых характеристик предъявляемых стимулов, что потенциально позволит сделать вывод о содержательной стороне сознания. Для оценки содержательной составляющей сознания нейропсихологом могут быть предложены определённые виды стимулов и их сочетания для проведения процедуры диагностики пациентов с нарушением сознания. В литературе приводятся данные, на основе которых могут быть сформулированы возможные цели нейропсихологической оценки при сочетанном взаимодействии с каждым методом.

При использовании методов ЭЭГ и ТМС-ЭЭГ для диагностики пациентов в состоянии бодрствования и в состоянии сна можно обнаружить наличие различных типов электрической активности в разных отделах мозга, а также оценить наличие и тип функциональной связности между областями мозга. При использовании этих методов для нейропсихолога становится возможной синхронная фиксация реакции именно на изолированно предъявляемый стимул, т.е. оценка реакции становится более доступной объективному исследованию. При оценке активности различных отделов с помощью ЭЭГ необходимо учитывать функциональную специализацию этих зон для подбора адекватных стимулов. Например, при оценке активности в лобных и теменных отделах можно давать пациентам задачи, требующие анализа, выполнения инструкций, а также простые пространственные задачи. Если в ответ на специфическую задачу будет отмечена активность лобной или теменной доли, то это может свидетельствовать об определённой сохранности элементарных уровней переработки информации в аналитических системах. При смене задачи нейропсихологу важно отследить наличие связанной пространственной активности разных зон мозга.

Использование метода регистрации ВП головного мозга позволяет выявить корковые ответы на определённую внешнюю или эндогенную стимуляцию. При проведении такой диагностики нейропсихологу необходимо сравнить реакцию пациента на индивидуально значимую и общую информацию для достоверности определения наличия семантической обработки данных. Для этого можно использовать набор семантических стимулов, например собственное имя, и мыслительных задач на выполнение простых мануальных движений для выявления сигнала мозга в ответ на команды. Этот показатель указывает на сохранение определённого уровня семантической обработки предъявляемой информации [34, 37].

Использование метода фМРТ показывает, что наличие сознания сочетается с мозговой активностью (чаще характерной для пациентов в СМС, реже в ВС/САБ), фиксируемой в областях головного мозга, соответствующих определённым парадигмам [35, 63].

При проведении нейропсихологического обследования может быть целесообразным подбор зрительных, слуховых и тактильных воздействий для пассивной стимуляции, а также формирование активных задач (например, на двигательное и пространственное представление), предъявляемых пациентам в момент проведения фМРТ. Это позволит оценить у пациента профиль активации в ответ на команды и сравнить его с профилем активации при пассивной стимуляции и в покое. Может представлять исследовательский интерес выявление тех зон мозга, активация которых является «пусковой» для активации других структур, участвующих в двигательном, пространственном представлении.

Использование метода ПЭТ показывает, что наличие сознания сопровождается сохранением метаболизмом ассоциативной коры, которая обеспечивает процессы внимания, памяти и речи. На наличие сознания может указывать также выявление таламокортикальной функциональной коннективности. С использованием данного метода нейропсихологу может быть полезно предъявлять пациенту полимодальные задачи, для решения которых необходима возможность получения и интеграции разномодальной информации, осуществляемой ассоциативными областями головного мозга.

Для нейропсихологического обследования важны три характеристики инструментальных методов:

- 1) высокое временное разрешение соответствия стимула и реакции мозга (например, ЭЭГ, ВП, ТМС-ЭЭГ);
- 2) высокое топическое разрешение соответствия стимула и активности соответствующей стимулу зоны мозга (например, фМРТ, ПЭТ, ВП);
- 3) наличие сетевой организации активности (например, фМРТ, ПЭТ, ТМС-ЭЭГ).

Временное и топическое разрешение отражают наличие внутри функционального взаимодействия, тогда как топическое разрешение и наличие сетевой активности отражают межфункциональное взаимодействие.

При разработке содержания заданий, используемых в нейропсихологической процедуре обследования при нарушениях сознания, стоит учитывать следующую специфику. Первое направление — это задания, ориентированные на оценку сохранности структуры отдельных функций (внутрифункциональную организацию). К ним относятся функции восприятия, предполагающие оценку сенсорного, перцептивного, семантического уровней афферентной переработки, связанные с анализом локальной активации модальных зон. Также это функции праксиса, предполагающие оценку уровней эфферентной организации поведения (двигательных программ, действий, отдельных движений), связанных с анализом локальной активации лобных отделов мозга.

Второе направление связано с разработкой методик, ориентированных на оценку сохранности структуры во взаимодействии функций (межфункциональную

организацию). К ним могут относиться задания, ориентированные на разномодальные взаимодействия, сенсорные координации, связанные с анализом пространственной связности разных зон мозга.

## СВЯЗЬ УРОВНЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МОЗГА С НАРУШЕНИЯМИ СОЗНАНИЯ

Если говорить об уровне организации процессов переработки информации, отражающей состояние внутрифункциональных взаимодействий, например первичного анализа и последующего синтеза предъявляемых стимулов, то мы можем увидеть, что чаще всего у пациентов наблюдается активность проекционных зон, но не ассоциативных отделов. Так, при исследовании реакций на болевые раздражители с помощью ПЭТ у пациентов в ВС/САБ первичная соматосенсорная кора активировалась у каждого пациента ( $n=15$ ), но этого не наблюдалось в отношении вторичных ассоциативных областей [64]. Можно предположить разобщенность этих двух систем у пациентов с нарушением сознания.

Точно так же слуховые раздражители привели к активации первичной слуховой коры билатерально, однако их интеграции и последующей активации ассоциативных участков коры не происходило [65, 66]. А именно показатель обработки информации второго и третьего порядка может указывать на осознанный психический процесс. Для подтверждения сознательного восприятия необходима активация интегративных, ассоциативных зон более высокого порядка [26], когда начинает фиксироваться наличие межфункциональных взаимодействий.

Таким образом, постепенная активация не только первичных, но и вторичных зон обработки информации может указывать на положительную динамику в восстановлении уровня сознания. Разработка инструментальных методов, которые помогут диагностировать состояние первичных и вторичных полей, сейчас также важна, как и совершенствование методов поведенческой оценки. Нейропсихологу важно выявить наличие таких реакций и убедиться в их воспроизводимости и произвольности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В каждом из рассмотренных методов нейропсихологической и инструментальной диагностики состояния сознания имеются свои достоинства и недостатки. Поведенческие методы в первую очередь ориентированы на использование стимульных процедур, связанных с содержаниями сознания, на оценку степени осознанности в восприятии и реакции на стимульную ситуацию. В то же время наблюдается выраженный дефицит в возможности достоверной интерпретации поведенческих



проявлений при выполнении предлагаемых пациенту инструкций и заданий.

Инструментальные методы в большей степени ориентированы на оценку структурных компонентов сознания, связанных с наличием двух видов активности различных структур головного мозга в ответ на предъявление различных стимульных процедур и заданий. Первый вид активности, который носит локальный характер, отражает наличие разных уровней переработки модальной информации, связанной со структурой отдельных психических функций (системой внутрифункциональных связей), обеспечивающих восприятие поступающей информации. Второй вид активности отражает структурную организацию интегративной работы мозга (систему межфункциональных связей) и фиксируется в виде пространственной связности в активности разных отделов мозга, вовлекаемых в выполнение деятельности, требующей участия многих психических функций. В то же время сохраняются вопросы о возможности сопоставления структурных и содержательных компонентов выполняемых пациентом заданий. Для правильной оценки выявляемой мозговой активности необходимо её сопоставление с содержанием выполняемой деятельности.

Таким образом, представляется необходимым осуществление комплексного подхода к диагностике состояния сознания, связанного с возможностью оценки как содержательных, так и структурных компонентов сознания. Возможности нейропсихологического синдромного анализа в условиях сниженных состояний сознания ограничены в силу методологических особенностей процедуры нейропсихологического обследования. В то же время топический характер нейропсихологической диагностики позволяет делать заключение как о структурной, так и содержательной стороне действий пациента на основе данных об активности соответствующих участков головного мозга. Такие данные могут быть получены при использовании инструментальных методов. Специфичность активации мозга при выполнении разных по содержанию заданий, предлагаемых пациенту, позволит сделать вывод о наличии осознанности в поведенческих реакциях пациента.

В заключение следует отметить, что разработка методических процедур комплексной нейропсихологической и инструментальной работы с пациентами в сниженных состояниях сознания позволяет оценить наличие локальной активации или связности в активации

различных зон мозга и тем самым оценить состояние уровневой и пространственной организации структуры сознания; сопоставить и определить временную синхронизацию стимула и ответа (т.е. подтвердить, что ответ соответствует стимулу, а не другому постороннему воздействию) и тем самым оценить состояние содержательной характеристики сознания; определить в наиболее выраженных случаях снижения сознания наличие специализированной активации на разные виды стимулов, наличие мотивационной активации к выполнению инструкций и наличие активности мозга без поведенческих проявлений.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Вклад авторов.** Л.И. Седова, Е.В. Ерохина — поисково-аналитическая работа, написание, обсуждение, редактирование текста статьи; Е.А. Баранова — научная редакция текста рукописи; В.М. Ериков, А.А. Никулин — обсуждение текста статьи; Ю.В. Микадзе, Г.Е. Иванова — научная редакция текста рукописи, утверждение рукописи для публикации. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Author contribution.** L.I. Sedova, E.V. Erokhina — search and analytical work, writing, discussion, editing of the text of the article; E.A. Baranova — scientific revision of the text of the manuscript; V.M. Yerikov, A.A. Nikulin — discussion of the text of the article; Yu.V. Mikadze, G.E. Ivanova — scientific revision of the text of the manuscript, approval of the manuscript for publication. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белкин А.А., Александрова Е.В., Ахутина Т.В., и др. Хронические нарушения сознания: клинические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация

анестезиологов и реаниматологов» // Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. 2023. № 3. С. 7–42. EDN: SSLNAY doi: 10.21320/1818-474X-2023-3-7-42

2. Gibson R.M., Fernández-Espejo D., Gonzalez-Lara L.E., et al. Multiple tasks and neuroimaging modalities increase the likelihood of detecting covert awareness in patients with disorders of consciousness // *Front Hum Neurosci*. 2014. Vol. 8. P. 950. doi: 10.3389/fnhum.2014.00950
3. Boly M., Laureys S. Functional «unlocking» bedside detection of covert awareness after severe brain damage // *Brain*. 2018. Vol. 141, N 5. P. 1239–1241. doi: 10.1093/brain/awy080
4. Белкин В.А., Поздняков Д.Г., Белкин А.А. Диагностика феномена когнитивно-моторного разобщения у пациентов с хроническими нарушениями сознания // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2019. Т. 11, № 3S. С. 46–51. doi: 10.14412/2074-2711-2019-3S-46-51
5. Черкасова А.Н., Яцко К.А., Ковязина М.С., и др. Разработка парадигм с целью диагностики «скрытого сознания» и когнитивно-моторного разобщения у пациентов с хроническими нарушениями сознания // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2021. Т. 3, № 3. С. 318–321. doi: 10.36425/rehab72308
6. Выготский Л.С. *Мышление и речь*. Собрание сочинений. Т. 2. Москва: Педагогика, 1982. С. 215.
7. Гордеева О.В. *Проблема структуры сознания в трудах Л.С. Выготского* // *Мир психологии*. 1999. № 1. С. 111–118. EDN: HOVLZD
8. Edelman G.M. *Neural darwinism: The theory of neuronal group selection*. New York: Basic Books, 1987. 240 p.
9. Хомская Е.Д. *Нейропсихология*. 4-е изд. Санкт-Петербург: Питер, 2005. 496 с.
10. Анохин К.В. Когнитом: в поисках фундаментальной нейронаучной теории сознания // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2021. Т. 71, № 1. С. 39–71. EDN: TTTGKL doi: 10.31857/s0044467721010032
11. Лурия А.Р. *Язык и сознание* / под ред. Е.Д. Хомской. Москва: Издательство Московского университета, 1979. 320 с.
12. Лурия А.Р. *Высшие корковые функции человека*. Санкт-Петербург: Питер, 2018. 768 с. (Серия: Мастера психологии).
13. Kalmar K., Giacino J.T. The JFK coma recovery scale-revised // *Neuropsychol Rehabil*. 2005. Vol. 15, N 3–4. P. 454–460. doi: 10.1080/09602010443000425
14. Мочалова Е.Г., Легостаева Л.А., Зимин А.А., и др. Русскоязычная версия пересмотренной шкалы восстановления после комы — стандартизированный метод оценки пациентов с хроническими нарушениями сознания // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски*. 2018. Т. 118, № 3–2. С. 25–31. doi: 10.17116/jnevro20181183225-31
15. Schnakers C., Vanhaudenhuyse A., Giacino J., et al. Diagnostic accuracy of the vegetative and minimally conscious state: Clinical consensus versus standardized neurobehavioral assessment // *BMC Neurology*. 2009. N 9. P. 35. EDN: ZULRYB doi: 10.1186/1471-2377-9-35
16. Hirschberg R., Giacino J.T. The vegetative and minimally conscious states: Diagnosis, prognosis and treatment // *Neurol Clin*. 2011. Vol. 29, N 4. P. 773–786. doi: 10.1016/j.ncl.2011.07.009
17. Giacino J.T., Katz D.I., Schiff N.D., et al. Practice guideline update recommendations summary. Disorders of consciousness: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology; the American Congress of Rehabilitation Medicine and the National Institute on Disability, Independent Living, and Rehabilitation Research // *Neurology*. 2018. Vol. 91, N 10. P. 450–460. doi: 10.1212/wnl.0000000000005926
18. Fingelkurts A.A., Fingelkurts A.A., Bagnato S., et al. EEG oscillatory states as neuro-phenomenology of consciousness as revealed from patients in vegetative and minimally conscious states // *Conscious Cogn*. 2012. Vol. 21, N 1. P. 149–169. EDN: PIKPID doi: 10.1016/j.concog.2011.10.004
19. Schnakers C., Bauer C., Formisano R., et al. What names for covert awareness? A systematic review // *Front Hum Neurosci*. 2022. Vol. 16. P. 971315. doi: 10.3389/fnhum.2022.971315
20. Plaut Y., Weiss L. *Electrodiagnostic evaluation of critical illness neuropathy* [2022 Sep 26]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024.
21. Bekinschtein T.A., Coleman M.R., Niklison J., et al. Can electromyography objectively detect voluntary movement in disorders of consciousness? // *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2008. Vol. 79. P. 826–828.
22. Lesenfants D., Habbal D., Chatelle C., et al. Electromyographic decoding of response to command in disorders of consciousness // *Neurology*. 2016. Vol. 87, N 20. P. 2099–2107. doi: 10.1212/WNL.0000000000003333
23. Habbal D., Gosseries O., Noirhomme Q., et al. Volitional electromyographic responses in disorders of consciousness // *Brain Inj*. 2014. Vol. 28, N 9. P. 1171–1179. doi: 10.3109/02699052.2014.920519
24. Ballanti S., Campagnini S., Liuzzi P., et al. EEG-based methods for recovery prognosis of patients with disorders of consciousness: A systematic review // *Clin Neurophysiol*. 2022. N 144. P. 98–114. EDN: SCZPFS doi: 10.1016/j.clinph.2022.09.017
25. Gosseries O., Schnakers C., Ledoux D., et al. Automated EEG entropy measurements in coma, vegetative state/unresponsive wakefulness syndrome and minimally conscious state // *Funct Neurol*. 2011. Vol. 26, N 1. P. 25–30. EDN: YBSDZD
26. Boly M., Garrido M.I., Gosseries O., et al. Preserved feedforward but impaired top-down processes in the vegetative state // *Science*. 2011. Vol. 332, N 6031. P. 858–862. doi: 10.1126/science.1202043
27. Scarpino M., Lolli F., Hakiki B., et al.; Intensive Rehabilitation Unit Study Group of the IRCCS Don Gnocchi Foundation, Italy. EEG and coma recovery scale-revised prediction of neurological outcome in disorder of consciousness patients // *Acta Neurol Scand*. 2020. Vol. 142, N 3. P. 221–228. doi: 10.1111/ane.13247
28. Naro A., Bramanti P., Leo A., et al. Towards a method to differentiate chronic disorder of consciousness patients' awareness: The low-resolution brain electromagnetic tomography analysis // *J Neurol Sci*. 2016. N 368. P. 178–183. doi: 10.1016/j.jns.2016.07.016

29. Bareham C.A., Allanson J., Roberts N., et al. Longitudinal bedside assessments of brain networks in disorders of consciousness: Case reports from the field // *Front Neurol*. 2018. N 9. P. 676. doi: 10.3389/fneur.2018.00676
30. Cavinato M., Freo U., Ori C., et al. Post-acute P300 predicts recovery of consciousness from traumatic vegetative state // *Brain Inj*. 2009. Vol. 23, N 12. P. 973–980. doi: 10.3109/02699050903373493
31. Bagnato S., Prestandrea C., D'Agostino T., et al. Somatosensory evoked potential amplitudes correlate with long-term consciousness recovery in patients with unresponsive wakefulness syndrome // *Clin Neurophysiol*. 2021. Vol. 132, N 3. P. 793–799. doi: 10.1016/j.clinph.2021.01.006
32. Naro A., Russo M., Leo A., et al. Cortical responsiveness to nociceptive stimuli in patients with chronic disorders of consciousness: Do C-fiber laser evoked potentials have a role? // *PLoS One*. 2015. Vol. 10, N 12. P. e0144713. doi: 10.1371/journal.pone.0144713
33. Spataro R., Heilinger A., Allison B., et al. Preserved somatosensory discrimination predicts consciousness recovery in unresponsive wakefulness syndrome // *Clin Neurophysiol*. 2018. Vol. 129, N 6. P. 1130–1136. doi: 10.1016/j.clinph.2018.02.131
34. Perrin F., Schnakers C., Schabus M., et al. Brain response to one's own name in vegetative state, minimally conscious state, and locked-in syndrome // *Arch Neurol*. 2006. Vol. 63, N 4. P. 562–569. doi: 10.1001/archneur.63.4.562
35. Schnakers C., Giacino J.T., Løvstad M., et al. Preserved covert cognition in noncommunicative patients with severe brain injury? // *Neurorehabil Neural Repair*. 2015. Vol. 29, N 4. P. 308–317. doi: 10.1177/1545968314547767
36. Annen J., Wannez S., Ortner R., et al. MindBEAGLE: An EEG-based BCI developed for patients with disorders of consciousness // Conference: International Brain-Computer Interface (BCI) Meeting. May, 2016.
37. Hauger S.L., Schnakers C., Andersson S., et al. Neurophysiological indicators of residual cognitive capacity in the minimally conscious state // *Behav Neurol*. 2015. Vol. 2015. P. 145913. doi: 10.1155/2015/145913
38. Duszyk A., Dovgialo M., Pietrzak M., et al. Event-related potentials in the odd-ball paradigm and behavioral scales for the assessment of children and adolescents with disorders of consciousness: A proof of concept study // *Clin Neuropsychologist*. 2019. Vol. 33, N 2. P. 419–437.
39. Annen J., Mertel I., Xu R., et al. Auditory and somatosensory p3 are complementary for the assessment of patients with disorders of consciousness // *Brain Sci*. 2020. Vol. 10, N 10. P. 748. doi: 10.3390/brainsci10100748
40. Rosanova M., Gosseries O., Casarotto S., et al. Recovery of cortical effective connectivity and recovery of consciousness in vegetative patients // *Brain*. 2012. Vol. 135, Pt. 4. P. 1308–1320. doi: 10.1093/brain/awr340
41. Casali A.G., Gosseries O., Rosanova M., et al. A theoretically based index of consciousness independent of sensory processing and behavior // *Sci Transl Med*. 2013. Vol. 5, N 198. P. 198ra105. doi: 10.1126/scitranslmed.3006294
42. Casarotto S., Comanducci A., Rosanova M., et al. Stratification of unresponsive patients by an independently validated index of brain complexity // *Ann Neurol*. 2016. Vol. 80, N 5. P. 718–729. doi: 10.1002/ana.24779
43. Sinityn D., Poydasheva A., Bakulin I., et al. Detecting the potential for consciousness in unresponsive patients using the perturbational complexity index // *Brain Sci*. 2020. Vol. 10, N 12. P. 917. doi: 10.917.10.3390/brainsci10120917
44. Пойдашева А.Г., Бакулин И.С., Легостаева Л.А., и др. Метод ТМС-ЭЭГ: возможности и перспективы // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2019. Т. 69, № 3. С. 267–279. doi: 10.1134/S0044467719030092
45. Comanducci A., Boly M., Claassen J., et al. Clinical and advanced neurophysiology in the prognostic and diagnostic evaluation of disorders of consciousness: Review of an IFCN-endorsed expert group // *Clin Neurophysiol*. 2020. Vol. 131, N 11. P. 2736–2765. doi: 10.1016/j.clinph.2020.07.015
46. Raichle M.E. Behind the scenes of functional brain imaging: A historical and physiological perspective // *Proc Natl Acad Sci USA*. 1998. Vol. 95, N 3. P. 765–772. EDN: LNDFIJ doi: 10.1073/pnas.95.3.765
47. Soddu A., Vanhaudenhuyse A., Bahri M.A., et al. Identifying the default-mode component in spatial IC analyses of patients with disorders of consciousness // *Hum Brain Mapp*. 2012. Vol. 33, N 4. P. 778–796. doi: 10.1002/hbm.21249
48. Vanhaudenhuyse A., Noirhomme Q., Tshibanda L., et al. Default network connectivity reflects the level of consciousness in non-communicative brain-damaged patients // *Brain*. 2010. Vol. 133, Pt. 1. P. 161–171. doi: 10.1093/brain/awp313
49. Demertzi A., Antonopoulos G., Heine L., et al. Intrinsic functional connectivity differentiates minimally conscious from unresponsive patients // *Brain*. 2015. Vol. 138, Pt. 9. P. 2619–2631. doi: 10.1093/brain/awv169
50. Легостаева Л.А., Кремнева Е.И., Сеницын Д.О., и др. Особенности резидуальной нейрональной активности у пациентов с хроническими нарушениями сознания по данным функциональной МРТ покоя // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2022. Т. 16, № 2. С. 15–24. doi: 10.54101/ACEN.2022.2.2
51. Rodriguez M.D., Schiff N.D., Giacino J., et al. A network approach to assessing cognition in disorders of consciousness // *Neurology*. 2010. Vol. 75, N 21. P. 1871–1878. doi: 10.1212/WNL.0b013e3181feb259
52. Bardin J.C., Fins J.J., Katz D.I., et al. Dissociations between behavioural and functional magnetic resonance imaging-based evaluations of cognitive function after brain injury // *Brain*. 2011. Vol. 134, Pt. 3. P. 769–782. doi: 10.1093/brain/awr005
53. Owen A.M., Coleman M.R., Boly M., et al. Detecting awareness in the vegetative state // *Science*. 2006. Vol. 313, N 5792. P. 1402. doi: 10.1126/science.1130197
54. Monti M.M., Vanhaudenhuyse A., Coleman M.R., et al. Willful modulation of brain activity in disorders of consciousness // *N Engl J Med*. 2010. Vol. 362, N 7. P. 579–589. doi: 10.1056/NEJMoa0905370

55. Owen A.M., Coleman M.R. Functional neuroimaging of the vegetative state // *Nat Rev Neurosci*. 2008. Vol. 9, N 3. P. 235–243. doi: 10.1038/nrn2330
56. Laureys S., Owen A.M., Schiff N.D. Brain function in coma, vegetative state, and related disorders // *Lancet Neurol*. 2004. Vol. 3, N 9. P. 537–546. doi: 10.1016/S1474-4422(04)00852-X
57. Stender J., Gosseries O., Bruno M.A., et al. Diagnostic precision of PET imaging and functional MRI in disorders of consciousness: A clinical validation study // *Lancet*. 2014. Vol. 384, N 9942. P. 514–522. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60042-8
58. Stender J., Kupers R., Rodell A., et al. Quantitative rates of brain glucose metabolism distinguish minimally conscious from vegetative state patients // *J Cereb Blood Flow Metab*. 2014b. Vol. 35, N 1. P. 58–65. doi: 10.1038/jcbfm.2014.169
59. Laureys S., Goldman S., Phillips C., et al. Impaired effective cortical connectivity in vegetative state: Preliminary investigation using PET // *Neuroimage*. 1999. Vol. 9, N 4. P. 377–382. doi: 10.1006/nimg.1998.0414
60. Baars B.J., Ramsøy T.Z., Laureys S. Brain, conscious experience and the observing self // *Trends Neurosci*. 2003. Vol. 26, N 12. P. 671–675. EDN: ETBMQP doi: 10.1016/j.tins.2003.09.015
61. Laureys S., Lemaire C., Maquet P., et al. Cerebral metabolism during vegetative state and after recovery to consciousness // *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1999. Vol. 67, N 1. P. 121. doi: 10.1136/jnnp.67.1.121
62. Laureys S., Faymonville M.E., Luxen A., et al. Restoration of thalamocortical connectivity after recovery from persistent vegetative state // *Lancet*. 2000. Vol. 355, N 9217. P. 1790–1791. EDN: DHJJCT doi: 10.1016/S0140-6736(00)02271-6
63. Sharon H., Pasternak Y., Ben Simon E., et al. Emotional processing of personally familiar faces in the vegetative state // *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8, N 9. P. e74711. doi: 10.1371/journal.pone.0074711
64. Laureys S., Faymonville M.E., Peigneux P., et al. Cortical processing of noxious somatosensory stimuli in the persistent vegetative state // *Neuroimage*. 2002. Vol. 17, N 2. P. 732–741.
65. Boly M., Faymonville M.E., Peigneux P., et al. Auditory processing in severely brain injured patients: Differences between the minimally conscious state and the persistent vegetative state // *Arch Neurol*. 2004. Vol. 61, N 2. P. 233–238. doi: 10.1001/archneur.61.2.233
66. Laureys S., Faymonville M.E., Degueldre C., et al. Auditory processing in the vegetative state // *Brain*. 2000. Vol. 123, Pt. 8. P. 1589–1601. EDN: ILZVNV doi: 10.1093/brain/123.8.1589

## REFERENCES

1. Belkin AA, Aleksandrova EV, Akhutina TV, et al. Chronic disorders of consciousness: Guidelines of the all-Russian public organization «Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists». *Alexander Saltanov intensive care herald*. 2023;(3):7–42. EDN: SSLNAY doi: 10.21320/1818-474X-2023-3-7-42
2. Gibson RM, Fernández-Espejo D, Gonzalez-Lara LE, et al. Multiple tasks and neuroimaging modalities increase the likelihood of detecting covert awareness in patients with disorders of consciousness. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:950. doi: 10.3389/fnhum.2014.00950
3. Boly M, Laureys S. Functional «unlocking» bedside detection of covert awareness after severe brain damage. *Brain*. 2018;141(5):1239–1241. doi: 10.1093/brain/awy080
4. Belkin VA, Pozdnyakov DG, Belkin AA. Diagnosis of the phenomenon of cognitive-motor dissociation in patients with chronic consciousness disorders. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2019;11(3S): 46–51. doi: 10.14412/2074-2711-2019-3S-46-51
5. Cherkasova AN, Yatsko KA, Kovyazina MS, et al. Development of paradigms for the diagnosis of «covert cognition» and cognitive motor dissociation in patients with chronic disorders of consciousness. *Physical Rehab Medicine, Medical Rehabilitation*. 2021;3(3):318–321. doi: 10.36425/rehab72308
6. Vygotsky L.S. *Thinking and speech*. Collected Works. Vol. 2. Moscow: Pedagogika; 1982. P. 215. (In Russ).
7. Gordeeva OV. The problem of the structure of consciousness in the works of L.S. Vygotsky. *World of psychology*. 1999;(1):111–118. EDN: HOVLZD
8. Edelman GM. *Neural darwinism: The theory of neuronal group selection*. New York: Basic Books; 1987. 240 p.
9. Khomskaya ED. *Neuropsychology*. 4th ed. Saint Petersburg: Piter; 2005. 496 p. (In Russ).
10. Anokhin KV. Cognitome: In search of fundamental neuroscience theory of consciousness. *I.P. Pavlov J Higher Nervous Activity*. 2021;71(1):39–71. EDN: TTTGKL doi: 10.31857/s0044467721010032
11. Luria AR. *Language and consciousness*. Ed. by E.D. Chomskaya. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1979. 320 p. (In Russ).
12. Luria AR. *Higher cortical functions in man*. Saint Petersburg: Piter; 2018. 768 p. Series: Masters of Psychology. (In Russ).
13. Kalmar K, Giacino JT. The JFK coma recovery scale-revised. *Neuropsychol Rehabil*. 2005;15(3-4):454–460. doi: 10.1080/09602010443000425
14. Mochalova EG, Legostaeva LA, Zimin AA, et al. The Russian version of coma recovery scale-revised: A standardized method for assessment of patients with disorders of consciousness. *S.S. Korsakov J Neurology Psychiatry*. 2018;118(3-2):25–31. doi: 10.17116/jnevro20181183225-31
15. Schnakers C, Vanhauwenhuyse A, Giacino J, et al. Diagnostic accuracy of the vegetative and minimally conscious state: Clinical consensus versus standardized neurobehavioral assessment. *BMC Neurology*. 2009;(9):35. EDN: ZULRYB doi: 10.1186/1471-2377-9-35
16. Hirschberg R, Giacino JT. The vegetative and minimally conscious states: Diagnosis, prognosis and treatment. *Neurol Clin*. 2011;29(4):773–786. doi: 10.1016/j.ncl.2011.07.009

17. Giacino JT, Katz DI, Schiff ND, et al. Practice guideline update recommendations summary. Disorders of consciousness: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology; the American Congress of Rehabilitation Medicine and the National Institute on Disability, Independent Living, and Rehabilitation Research. *Neurology*. 2018;91(10):450–460. doi: 10.1212/wnl.0000000000005926
18. Fingelkurts AA, Fingelkurts AA, Bagnato S, et al. EEG oscillatory states as neuro-phenomenology of consciousness as revealed from patients in vegetative and minimally conscious states. *Conscious Cogn*. 2012;21(1):149–169. EDN: PIKPID doi: 10.1016/j.concog.2011.10.004
19. Schnakers C, Bauer C, Formisano R, et al. What names for covert awareness? A systematic review. *Front Hum Neurosci*. 2022;16:971315. doi: 10.3389/fnhum.2022.971315
20. Plaut Y, Weiss L. *Electrodiagnostic evaluation of critical illness neuropathy* [2022 Sep 26]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
21. Bekinschtein TA, Coleman MR, Niklison J, et al. Can electromyography objectively detect voluntary movement in disorders of consciousness? *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2008;79:826–828.
22. Lesenfants D, Habbal D, Chatelle C, et al. Electromyographic decoding of response to command in disorders of consciousness. *Neurology*. 2016;87(20):2099–2107. doi: 10.1212/WNL.0000000000003333
23. Habbal D, Gosseries O, Noirhomme Q, et al. Volitional electromyographic responses in disorders of consciousness. *Brain Inj*. 2014;28(9):1171–1179. doi: 10.3109/02699052.2014.920519
24. Ballanti S, Campagnini S, Liuzzi P, et al. EEG-based methods for recovery prognosis of patients with disorders of consciousness: A systematic review. *Clin Neurophysiol*. 2022;(144):98–114. EDN: SCZPFS doi: 10.1016/j.clinph.2022.09.017
25. Gosseries O, Schnakers C, Ledoux D, et al. Automated EEG entropy measurements in coma, vegetative state/unresponsive wakefulness syndrome and minimally conscious state. *Funct Neurol*. 2011;26(1):25–30. EDN: YBSDZD
26. Boly M, Garrido MI, Gosseries O, et al. Preserved feedforward but impaired top-down processes in the vegetative state. *Science*. 2011;332(6031):858–862. doi: 10.1126/science.1202043
27. Scarpino M, Lolli F, Hakiki B, et al.; Intensive Rehabilitation Unit Study Group of the IRCCS Don Gnocchi Foundation, Italy. EEG and coma recovery scale-revised prediction of neurological outcome in disorder of consciousness patients. *Acta Neurol Scand*. 2020;142(3):221–228. doi: 10.1111/ane.13247
28. Naro A, Bramanti P, Leo A, et al. Towards a method to differentiate chronic disorder of consciousness patients' awareness: The low-resolution brain electromagnetic tomography analysis. *J Neurol Sci*. 2016;(368):178–183. doi: 10.1016/j.jns.2016.07.016
29. Bareham CA, Allanson J, Roberts N, et al. Longitudinal bedside assessments of brain networks in disorders of consciousness: Case reports from the field. *Front Neurol*. 2018;(9):676. doi: 10.3389/fneur.2018.00676
30. Cavinato M, Freo U, Ori C, et al. Post-acute P300 predicts recovery of consciousness from traumatic vegetative state. *Brain Inj*. 2009;23(12):973–980. doi: 10.3109/02699050903373493
31. Bagnato S, Prestandrea C, D'Agostino T, et al. Somatosensory evoked potential amplitudes correlate with long-term consciousness recovery in patients with unresponsive wakefulness syndrome. *Clin Neurophysiol*. 2021;132(3):793–799. doi: 10.1016/j.clinph.2021.01.006
32. Naro A, Russo M, Leo A, et al. Cortical responsiveness to nociceptive stimuli in patients with chronic disorders of consciousness: Do C-fiber laser evoked potentials have a role? *PLoS One*. 2015;10(12):e0144713. doi: 10.1371/journal.pone.0144713
33. Spataro R, Heilinger A, Allison B, et al. Preserved somatosensory discrimination predicts consciousness recovery in unresponsive wakefulness syndrome. *Clin Neurophysiol*. 2018;129(6):1130–1136. doi: 10.1016/j.clinph.2018.02.131
34. Perrin F, Schnakers C, Schabus M, et al. Brain response to one's own name in vegetative state, minimally conscious state, and locked-in syndrome. *Arch Neurol*. 2006;63(4):562–569. doi: 10.1001/archneur.63.4.562
35. Schnakers C, Giacino JT, Løvstad M, et al. Preserved covert cognition in noncommunicative patients with severe brain injury? *Neurorehabil Neural Repair*. 2015;29(4):308–317. doi: 10.1177/1545968314547767
36. Annen J, Wannez S, Ortner R, et al. *MindBEAGLE: An EEG-based BCI developed for patients with disorders of consciousness*. In: Conference: International Brain-Computer Interface (BCI) Meeting. May, 2016.
37. Hauger SL, Schnakers C, Andersson S, et al. Neurophysiological indicators of residual cognitive capacity in the minimally conscious state. *Behav Neurol*. 2015;2015:145913. doi: 10.1155/2015/145913
38. Duszyk A, Døvgjalo M, Pietrzak M, et al. Event-related potentials in the odd-ball paradigm and behavioral scales for the assessment of children and adolescents with disorders of consciousness: A proof of concept study. *Clin Neuropsychologist*. 2019;33(2):419–437.
39. Annen J, Mertel I, Xu R, et al. Auditory and somatosensory p3 are complementary for the assessment of patients with disorders of consciousness. *Brain Sci*. 2020;10(10):748. doi: 10.3390/brainsci10100748
40. Rosanova M, Gosseries O, Casarotto S, et al. Recovery of cortical effective connectivity and recovery of consciousness in vegetative patients. *Brain*. 2012;135(Pt 4):1308–1320. doi: 10.1093/brain/awr340
41. Casali AG, Gosseries O, Rosanova M, et al. A theoretically based index of consciousness independent of sensory processing and behavior. *Sci Transl Med*. 2013;5(198):198ra105. doi: 10.1126/scitranslmed.3006294
42. Casarotto S, Comanducci A, Rosanova M, et al. Stratification of unresponsive patients by an independently validated

- index of brain complexity. *Ann Neurol.* 2016;80(5):718–729. doi: 10.1002/ana.24779
- 43.** Sinitsyn D, Poydasheva A, Bakulin I, et al. Detecting the potential for consciousness in unresponsive patients using the perturbational complexity index. *Brain Sci.* 2020;10(12):917. doi: 10.917.10.3390/brainsci10120917
- 44.** Poydasheva AG, Bakulin IS, Legostaeva LA, et al. TMS-EEG: Current possibilities and future prospects. *I.P. Pavlov J Higher Nervous Activity.* 2019;69(3):267–279. doi: 10.1134/S0044467719030092
- 45.** Comanducci A, Boly M, Claassen J, et al. Clinical and advanced neurophysiology in the prognostic and diagnostic evaluation of disorders of consciousness: Review of an IFCN-endorsed expert group. *Clin Neurophysiol.* 2020;131(11):2736–2765. doi: 10.1016/j.clinph.2020.07.015
- 46.** Raichle ME. Behind the scenes of functional brain imaging: A historical and physiological perspective. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1998;95(3):765–772. EDN: LNDFIJ doi: 10.1073/pnas.95.3.765
- 47.** Soddu A, Vanhaudenhuyse A, Bahri MA, et al. Identifying the default-mode component in spatial IC analyses of patients with disorders of consciousness. *Hum Brain Mapp.* 2012;33(4):778–796. doi: 10.1002/hbm.21249
- 48.** Vanhaudenhuyse A, Noirhomme Q, Tshibanda L, et al. Default network connectivity reflects the level of consciousness in non-communicative brain-damaged patients. *Brain.* 2010;133(Pt 1): 161–171. doi: 10.1093/brain/awp313
- 49.** Demertzi A, Antonopoulos G, Heine L, et al. Intrinsic functional connectivity differentiates minimally conscious from unresponsive patients. *Brain.* 2015;138(Pt 9):2619–2631. doi: 10.1093/brain/awv169
- 50.** Legostaeva LA, Kremneva EI, Sinitsyn DO, et al. Features of residual cerebral brain activity in patients with chronic disorders of consciousness on resting-state functional MRI. *Ann Clin Exp Neurol.* 2022;16(2):15–24. doi: 10.54101/ACEN.2022.2.2
- 51.** Rodriguez MD, Schiff ND, Giacino J, et al. A network approach to assessing cognition in disorders of consciousness. *Neurology.* 2010;75(21):1871–1878. doi: 10.1212/WNL.0b013e3181feb259
- 52.** Bardin JC, Fins JJ, Katz DI, et al. Dissociations between behavioural and functional magnetic resonance imaging-based evaluations of cognitive function after brain injury. *Brain.* 2011;134(Pt 3):769–782. doi: 10.1093/brain/awr005
- 53.** Owen AM, Coleman MR, Boly M, et al. Detecting awareness in the vegetative state. *Science.* 2006;313(5792):1402. doi: 10.1126/science.1130197
- 54.** Monti MM, Vanhaudenhuyse A, Coleman MR, et al. Willful modulation of brain activity in disorders of consciousness. *N Engl J Med.* 2010;362(7):579–589. doi: 10.1056/NEJMoa0905370
- 55.** Owen AM, Coleman MR. Functional neuroimaging of the vegetative state. *Nat Rev Neurosci.* 2008;9(3):235–243. doi: 10.1038/nrn2330
- 56.** Laureys S, Owen AM, Schiff ND. Brain function in coma, vegetative state, and related disorders. *Lancet Neurol.* 2004;3(9):537–546. doi: 10.1016/S1474-4422(04)00852-X
- 57.** Stender J, Gosseries O, Bruno MA, et al. Diagnostic precision of PET imaging and functional MRI in disorders of consciousness: A clinical validation study. *Lancet.* 2014;384(9942):514–522. doi: 10.1016/S0140-6736(14)60042-8
- 58.** Stender J, Kupers R, Rodell A, et al. Quantitative rates of brain glucose metabolism distinguish minimally conscious from vegetative state patients. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2014b;35(1):58–65. doi: 10.1038/jcbfm.2014.169
- 59.** Laureys S, Goldman S, Phillips C, et al. Impaired effective cortical connectivity in vegetative state: Preliminary investigation using PET. *Neuroimage.* 1999;9(4):377–382. doi: 10.1006/nimg.1998.0414
- 60.** Baars BJ, Ramsøy TZ, Laureys S. Brain, conscious experience and the observing self. *Trends Neurosci.* 2003;26(12):671–675. EDN: ETBMQP doi: 10.1016/j.tins.2003.09.015
- 61.** Laureys S, Lemaire C, Maquet P, et al. Cerebral metabolism during vegetative state and after recovery to consciousness. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1999;67(1):121. doi: 10.1136/jnnp.67.1.121
- 62.** Laureys S, Faymonville ME, Luxen A, et al. Restoration of thalamocortical connectivity after recovery from persistent vegetative state. *Lancet.* 2000;355(9217):1790–1791. EDN: DHJJCT doi: 10.1016/s0140-6736(00)02271-6
- 63.** Sharon H, Pasternak Y, Ben Simon E, et al. Emotional processing of personally familiar faces in the vegetative state. *PLoS ONE.* 2013;8(9):e74711. doi: 10.1371/journal.pone.0074711
- 64.** Laureys S, Faymonville ME, Peigneux P, et al. Cortical processing of noxious somatosensory stimuli in the persistent vegetative state. *Neuroimage.* 2002;17(2):732–741.
- 65.** Boly M, Faymonville ME, Peigneux P, et al. Auditory processing in severely brain injured patients: Differences between the minimally conscious state and the persistent vegetative state. *Arch Neurol.* 2004;61(2):233–238. doi: 10.1001/archneur.61.2.233
- 66.** Laureys S, Faymonville ME, Degueldre C, et al. Auditory processing in the vegetative state. *Brain.* 2000;123(Pt 8): 1589–1601. EDN: ILZVNV doi: 10.1093/brain/123.8.1589

## ОБ АВТОРАХ

\* **Ерохина Екатерина Вадимовна;**

адрес: Россия, 117342, Москва, ул. Островитянова, д. 1, стр. 10;  
ORCID: 0009-0006-6831-6679;  
e-mail: kater004@mail.ru

## AUTHORS' INFO

\* **Ekaterina V. Erokhina;**

address: 1/10 Ostrovityanova street, 117342 Moscow, Russia;  
ORCID: 0009-0006-6831-6679;  
e-mail: kater004@mail.ru

**Седова Любовь Игоревна;**

ORCID: 0009-0000-6548-0402;

eLibrary SPIN: 7794-6822;

e-mail: li.eseykina@gmail.com

**Баранова Елена Анатольевна**, канд. мед. наук, доцент;

ORCID: 0000-0002-9200-9234;

eLibrary SPIN: 6791-2193;

e-mail: ebaranova2006@mail.ru

**Ериков Владимир Михайлович**, доцент;

ORCID: 0009-0005-8540-6775;

e-mail: v.erikov@365.rsu.edu

**Никulin Алексей Анатольевич**, доцент;

ORCID: 0009-0000-9367-2671;

e-mail: a.nikulin@365.rsu.edu

**Иванова Галина Евгеньевна**, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0003-3180-5525;

eLibrary SPIN: 4049-4581;

e-mail: reabilivanova@mail.ru

**Микадзе Юрий Владимирович**, д-р псих. наук, профессор;

ORCID: 0000-0001-8137-9611;

eLibrary SPIN: 7799-8969;

e-mail: ymikadze@yandex.ru

**Lubov I. Sedova;**

ORCID: 0009-0000-6548-0402;

eLibrary SPIN: 7794-6822;

e-mail: li.eseykina@gmail.com

**Elena A. Baranova**, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;

ORCID: 0000-0002-9200-9234;

eLibrary SPIN: 6791-2193;

e-mail: ebaranova2006@mail.ru

**Vladimir M. Erikov**, Associate Professor;

ORCID: 0009-0005-8540-6775;

e-mail: v.erikov@365.rsu.edu

**Alexey A. Nikulin**, Associate Professor;

ORCID: 0009-0000-9367-2671;

e-mail: a.nikulin@365.rsu.edu

**Galina E. Ivanova**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: 0000-0003-3180-5525;

eLibrary SPIN: 4049-4581;

e-mail: reabilivanova@mail.ru

**Yury V. Mikadze**, Dr. Sci. (Psych.), Professor;

ORCID: 0000-0001-8137-9611;

eLibrary SPIN: 7799-8969;

e-mail: ymikadze@yandex.ru

---

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author