

Современное положение, вызовы и перспективы развития вычислительной психиатрии: нарративный обзор

Current status, challenges and future prospects in computational psychiatry: a narrative review

doi: 10.17816/CP11244

Обзор

Kirill Vasilchenko¹, Egor Chumakov²

¹ *The Human artificial control Keren (Hack) lab, Azrieli Faculty of Medicine, Bar-Ilan University, Safed, Israel*

² *Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

Кирилл Васильченко¹, Егор Чумаков²

¹ *Университет Бар-Илан, Цфат, Израиль*

² *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

ABSTRACT

BACKGROUND: Computational psychiatry is an area of scientific knowledge which lies at the intersection of neuroscience, psychiatry, and computer science. It employs mathematical models and computational simulations to shed light on the complexities inherent to mental disorders.

AIM: The aim of this narrative review is to offer insight into the current landscape of computational psychiatry, to discuss its significant challenges, as well as the potential opportunities for the field's growth.

METHODS: The authors have carried out a narrative review of the scientific literature published on the topic of computational psychiatry. The literature search was performed in the PubMed, eLibrary, PsycINFO, and Google Scholar databases. A descriptive analysis was used to summarize the published information on the theoretical and practical aspects of computational psychiatry.

RESULTS: The article relates the development of the scientific approach in computational psychiatry since the mid-1980s. The data on the practical application of computational psychiatry in modeling psychiatric disorders and explaining the mechanisms of how psychopathological symptomatology develops (in schizophrenia, attention-deficit/hyperactivity disorder, autism spectrum disorder, anxiety disorders, obsessive-compulsive disorder, substance use disorders) are summarized. Challenges, limitations, and the prospects of computational psychiatry are discussed.

CONCLUSION: The capacity of current computational technologies in psychiatry has reached a stage where its integration into psychiatric practice is not just feasible but urgently needed. The hurdles that now need to be addressed are not rooted in technological advancement, but in ethics, education, and understanding.

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ: Вычислительная психиатрия — это область научных знаний, которая находится на пересечении нейронауки, психиатрии и информатики, использующая математические модели и вычислительные симуляции для понимания имеющихся сложностей в моделировании психических расстройств.

ЦЕЛЬ: Цель данного нарративного обзора — дать представление о текущем положении дел в области вычислительной психиатрии, обсудить ее существенные вызовы, а также потенциальные возможности для развития этой области.

МЕТОДЫ: Авторы провели обзор научной литературы, опубликованной по теме вычислительной психиатрии. Поиск литературы проводился в базах данных PubMed и eLibrary. Для обобщения опубликованной информации о теоретических и практических аспектах вычислительной психиатрии был использован описательный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ: в статье описано развитие научного подхода в вычислительной психиатрии с середины 1980-х годов. Обобщены данные о практическом применении методов вычислительной психиатрии для моделирования психических расстройств и объяснения механизмов развития психопатологической симптоматики (при шизофрении, синдроме дефицита внимания/гиперактивности, расстройствах аутистического спектра, тревожных расстройствах, обсессивно-компульсивном расстройстве, расстройствах вследствие употребления психоактивных веществ). Обсуждаются проблемы, ограничения и будущие перспективы вычислительной психиатрии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Возможности современных вычислительных технологий в психиатрии достигли той стадии, когда их интеграция в психиатрическую практику не только возможна, но и крайне необходима. Препятствия, которые сейчас необходимо преодолеть, связаны не с технологическим прогрессом, а с этикой, образованием и пониманием технологий.

Keywords: *computational psychiatry; artificial intelligence; machine learning; diagnosis of psychiatric disorders; ethics; education*

Ключевые слова: *вычислительная психиатрия; искусственный интеллект; машинное обучение; диагностика психических расстройств; этика; образование*

ВВЕДЕНИЕ

Вычислительная психиатрия (ВП) — это стремительно развивающаяся область, для которой в литературе можно найти разные определения. Авторы данного обзора решили придерживаться определения, предложенного Montague и соавт., которые рассматривают ВП как междисциплинарную область знаний, использующую математические модели и вычислительные алгоритмы для понимания, прогнозирования и улучшения психического здоровья [1]. Эта широкая сфера охватывает моделирование нейробиологических процессов, применение машинного обучения для прогнозирования психических расстройств, а также разработку компьютерных диагностических инструментов, помогающих специалистам в клинической практике. Под собирательным понятием «аспекты вычислительной психиатрии» в настоящем обзоре подразумеваются любые исследования или области применения, в которых используются цифровые подходы в изучении психического здоровья.

В этом нарративном обзоре авторы поставили цель дать представление о современном состоянии

ВП, обсудить ее серьезные проблемы, а также потенциальные возможности роста и развития этой области. Подчеркивая важную роль междисциплинарного сотрудничества и этическую безопасность, авторы надеются внести свой вклад в продолжающееся обсуждение ответственной разработки и применения компьютерных подходов в психиатрии.

Важно подчеркнуть, что преодоление этих проблем потребует существенных усилий, но это можно рассматривать как ключевую задачу. Потенциал вычислительной психиатрии в преобразовании психиатрической помощи вдохновляет на преодоление этих препятствий при сохранении понимания того, что содействие развитию этой области требует осторожности, терпеливой работы и должного учета этических последствий.

МЕТОДЫ

Авторы провели нарративный обзор опубликованной научной литературы, посвященной теме ВП. В обзоре были рассмотрены как теоретические работы, так и результаты исследований за период до мая

2023 г. включительно. Для обеспечения всестороннего обзора поиск литературы проводили в базах данных PubMed и eLibrary, а также в PsycINFO и Google Scholar. Для поиска научной литературы использовали следующие ключевые слова: “computational psychiatry”, “digital psychiatry”, “digital mental health”, “computers in psychiatry”, “artificial intelligence in psychiatry”, “AI in psychiatry”, “machine learning in psychiatry” («вычислительная психиатрия», «цифровая психиатрия», «цифровое психическое здоровье», «компьютеры в психиатрии», «искусственный интеллект в психиатрии», «ИИ в психиатрии», «машинное обучение в психиатрии»).

Оценку статей авторы выполняли независимо, рассматривая публикации с учетом заранее определенных критериев включения и исключения. Любые разногласия между рецензентами разрешались путем обсуждения до достижения консенсуса. Статью считали отвечающей критериям включения, если она была посвящена аспектам ВП, и авторам был доступен полный текст статьи. Помимо статей также рассматривали книги, которые внесли значительный вклад в эту область знаний. Дополнительный поиск проводили по библиографическим спискам статей, включенных в анализ.

Для обобщения опубликованной информации по теоретическим и практическим аспектам ВП был использован описательный анализ. В общей сложности в настоящий обзор вошли 54 публикации, которые обеспечили создание полноценного представления о современном состоянии ВП.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При исследовании области ВП авторы определили несколько ключевых тем, которые они встретили при изучении литературы. Эти темы включают определение и область применения ВП, связанные с ней проблемы и этические аспекты, роль междисциплинарного сотрудничества, признание и развитие этой области, ее применение при конкретных психических расстройствах и потенциальные будущие направления развития. Эти темы послужили структурной основой для представленного обсуждения литературы и помогли обозначить ключевые выводы, сделанные различными авторами. В последующих разделах приведено краткое изложение результатов по каждой теме; авторы стремились представить сбалансированный обзор современного состояния ВП.

Определение и область применения вычислительной психиатрии

Вычислительная психиатрия — это новая междисциплинарная область знаний, целью которой является интеграция компьютерного моделирования, эмпирических данных и теоретических открытий из различных областей, таких как психология, нейробиология, информатика и математика с целью лучшего понимания психических расстройств и механизмов, лежащих в основе их развития [1, 2]. Основной целью этой области знаний является разработка количественных моделей, которые могут связать нейробиологические процессы, когнитивные функции и клинические симптомы для повышения точности диагностики, определения новых терапевтических целей и прогнозирования индивидуального ответа на лечение [3, 4].

Для достижения этих целей научные работники в области ВП используют различные подходы, включая обучение с подкреплением [5], Байесовский подход [6], теорию динамических систем, теорию информации [7, 8], а также крупномасштабный анализ данных и сетевое моделирование [9, 10]. Эти подходы помогают в исследовании сложной и меняющейся природы психических расстройств, дисфункций в процессах обучения и принятия решений, а также взаимодействия между различными областями головного мозга и генетическими факторами/факторами окружающей среды.

Ключевой задачей ВП является разработка вычислительных моделей, которые эффективно воспроизводят сложность психических расстройств, а также учитывают индивидуальные различия в симптоматике и ответе на лечение [11]. Этот процесс можно представить в виде обобщенной схемы, которая включает такие этапы, как сбор данных, предварительная обработка, моделирование, тестирование, интерпретация и учет этических аспектов. Подробная иллюстрация этого процесса представлена на рис. 1.

Интеграция различных вычислительных подходов может позволить исследователям разрабатывать более сложные модели и проверять специфические гипотезы относительно механизмов, лежащих в основе психических расстройств [12]. Более того, ВП использует достижения машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ), что дает возможность задействовать новые методы анализа и интерпретировать сложные психиатрические данные,



Рисунок 1. Обобщенная схема разработки вычислительной модели в психиатрии: обзор.

Примечание: Иллюстрация создана с помощью нейросети Midjourney, Creative Commons Noncommercial 4.0 Attribution International (CC 4.0.)

а также открывает перспективные возможности для персонализированного лечения [13]. Применение вычислительных подходов к данным исследований по нейровизуализации еще больше расширяет понимание нейронной основы различных психических расстройств [14].

Успех ВП в конечном итоге зависит от тесного сотрудничества специалистов в области теоретической информатики, нейробиологии и клиницистов, а также от разработки строгих методов валидации и оценки моделей [15]. ВП предоставляет количественную основу для понимания психических расстройств и помогает преодолеть разрыв между данными клинических

наблюдений и нейробиологическими механизмами, в конечном итоге способствуя разработке более таргетных и эффективных вмешательств [2, 16].

Междисциплинарное сотрудничество

Междисциплинарное сотрудничество является краеугольным камнем ВП, поскольку оно объединяет достижения из различных областей, таких как психология, нейробиология, информатика и математика, для лучшего понимания психических расстройств и механизмов, лежащих в основе их развития [1, 2]. На пути этого сотрудничества встречается ряд проблем. Например, могут возникнуть затруднения при

интеграции различных методологий и теоретических основ, что требует глубокого понимания нескольких дисциплин [16]. Однако потенциальные преимущества такой совместной работы значительны: она позволяет разрабатывать более полные модели психических расстройств, что может привести к созданию оптимальных диагностических инструментов и разработке лучших стратегий лечения [17–19].

Более того, междисциплинарная работа выходит за рамки научного сообщества. Она также охватывает образование и подготовку специалистов в области психического здоровья. Это подразумевает не только обучение необходимым компьютерным навыкам, но и понимание потенциальных преимуществ и ограничений цифровых стратегий [20–22].

Сущность междисциплинарной работы в ВП также отражается в исследовательской практике в этой области, особенно в контексте технологий дисциплин, связанных с изучением больших массивов сложно организованных данных — «омиксных» технологий. К ним относятся геномика, а также новые области, такие как липидомика, протеомика и транскриптомика. Например, генетика полигенных заболеваний является одной из моделей «омиксных» технологий, в которой на первый план выходят такие подходы, как полигенные оценки риска. Применение этих мультимодальных подходов в сочетании с анализом больших массивов данных является основным направлением компьютерных исследований, которые вносят значительный вклад в моделирование психических заболеваний [23–26]. Этот интегративный подход необходим для развития ВП и ее применения в клинической практике [27–29].

Проблемы и этические соображения

Несмотря на многообещающий потенциал ВП, данная область сталкивается с рядом проблем, затрудняющих ее развитие. Одним из основных препятствий является разработка и интерпретация вычислительных моделей, которые с высокой точностью воспроизводят психические расстройства, учитывая индивидуальные различия в симптоматике и ответе на лечение [11]. Интеграция различных вычислительных подходов может привести к созданию более сложных моделей, однако вызывает трудности при двойной проверке, верификации в независимых исследованиях, сравнении в многоцентровых исследованиях

и между популяциями, что может привести к неточным или искаженным выводам [30].

Кроме того, математические модели, особенно те, которые используют большие массивы данных и машинное обучение, рассчитывают значения вероятности, такие как степени риска [31]. Неправильное понимание этих вероятностей может привести к общественному осуждению, особенно в случае утечки личных данных; например, когда риск приравнивается к диагнозу, что может привести к стигматизации [32].

Сложность этих моделей также требует разработки строгих руководств и стандартов, что становится ключевым моментом в контексте ВП [33]. Необходимо также преодолеть предубеждения и опасения, связанные с вычислительными технологиями. Подчеркивание прозрачности модели и биологического правдоподобия может способствовать ее более широкому принятию и использованию специалистами [11, 12]. Решение этих проблем, включая этические аспекты, будет иметь определяющее значение для дальнейшего развития и успеха ВП в психиатрической помощи [28].

Признание и развитие вычислительной психиатрии

Вычислительная психиатрия, находящаяся на стыке нейробиологии, психиатрии и информатики, была признана важной областью научных знаний уже с середины 1980-х годов [1, 17]. Несмотря на сложности и проблемы, связанные с интеграцией вычислительных технологий в практическое здравоохранение, за последние несколько десятилетий в этой области наблюдался стремительный рост [34]. Развитие ВП во многом зависит от взаимодействия специалистов в области теоретической информатики, нейробиологов и практикующих врачей. Это междисциплинарное сотрудничество имеет важное значение для прогресса во всестороннем понимании психических расстройств, повышения точности диагностики, определения новых терапевтических целей и прогнозирования индивидуального ответа на лечение [1, 2, 16]. Потенциал компьютерных технологий в психиатрии получил признание после публикации новаторской работы Hedlund и соавт. (1985) [34]; эти авторы были одними из первых, кто рассмотрел и оценил как потенциал, так и проблемы, связанные с данной

интеграцией. Несмотря на то, что прошло более десяти лет с момента первого упоминания ВП в публикациях [1], существенные изменения в этой области кажутся минимальными. Однако развитие ВП во многом зависит от синергичных усилий специалистов в области теоретической информатики, нейробиологов и практикующих врачей.

Недавняя интеграция машинного обучения и ИИ в вычислительную психиатрию дополнительно усилила ощущение потенциала и новизны и предложила беспрецедентные средства для анализа сложных психиатрических данных [13]. Однако как в литературе, так и в профессиональном сообществе до сих пор наблюдается очевидное непонимание этих технологий. В частности, сохраняются опасения по поводу использования компьютеров специалистами, в том числе использования современных технологий в психиатрическом образовании [21]. Несмотря на эти проблемы, возможности современных вычислительных технологий достигли такой стадии, когда их интеграция в психиатрическую практику не просто осуществима, но и крайне необходима.

Вычислительная психиатрия на практике: применение при конкретных психических расстройствах

Вычислительная психиатрия продемонстрировала значительный потенциал в моделировании и понимании различных психических расстройств. Применение вычислительных методов изучали в контексте шизофрении, синдрома дефицита внимания и гиперактивности, расстройств аутистического спектра, тревожных расстройств, обсессивно-компульсивного расстройства и расстройств, связанных с употреблением психоактивных веществ [35–41].

Применительно к шизофрении с помощью Байесовских принципов была смоделирована систематическая ошибка «поспешных выводов» — тенденция принимать решения на основе недостаточных доказательств [35]. Аналогичным образом была установлена связь между нарушением механизма прогнозирования вознаграждения при психозах с изменениями в черной субстанции/вентральной области покрышки [36]. В контексте негативных симптомов с помощью вычислительных моделей была исследована неспособность представить ожидаемую ценность вознаграждения за действия [37].

При расстройствах аутистического спектра теории предиктивного кодирования использовались для объяснения дефицита социальных навыков, наблюдаемых у лиц с данными расстройствами [42]. Теории ангедонии, ключевого симптома депрессии, были сопоставлены с моделями обучения с подкреплением [39].

При обсессивно-компульсивном расстройстве выявлены специфические лобно-стриарные функциональные системы (цепи), связанные с нарушением когнитивной гибкости и целенаправленного планирования [43]. С помощью вычислительных методов была смоделирована тенденция к привычному поведению, характерная для компульсивных расстройств [44].

При расстройствах, связанных с употреблением психоактивных веществ, изучалась компьютерная анатомия зависимости с акцентом на роль неопределенности и ожидания при тревоге [45]. Применение ВП при этих расстройствах не только обеспечило более глубокое понимание их основных механизмов, но и открыло новые возможности для их диагностики и лечения [46, 47].

Однако также важно отметить, что, хотя эти области применения предоставили ценную информацию, они также подчеркивают сложность и неоднородность психических расстройств. Каждое расстройство представляет собой уникальные вызовы, требующие индивидуальных вычислительных подходов.

Будущие направления и потенциал

Вычислительная психиатрия представляет собой быстро развивающуюся область с огромным потенциалом для будущего роста. Интеграция вычислительных технологий в психиатрическую практику на сегодняшний день не просто возможна, но и крайне необходима [48]. Разработка все более продуманных и тонко организованных математических моделей и компьютерного моделирования будет способствовать углублению нашего понимания психических расстройств [49, 50].

Ожидается, что использование машинного обучения и больших массивов данных в психиатрии произведет революцию в методах прогнозирования и лечения психических расстройств [51]. Например, сетевой анализ предполагает интегративный подход к пониманию структуры психопатологии [52].

Данная область неизбежно сталкивается с проблемами, связанными со стигматизацией и социальной адаптацией, особенно среди пациентов с первым эпизодом шизофрении [20]. Например, использование на практике искусственных «компаньонов» у пожилых людей с когнитивными нарушениями может вызывать некоторые опасения.

Будущее ВП также связано с междисциплинарным сотрудничеством. Интеграция нейробиологии, психиатрии и информатики будет иметь решающее значение для развития этой области [34, 53]. Кроме того, чтобы обеспечить успешную интеграцию вычислительных методов в клиническую практику, необходимо удовлетворить образовательные потребности специалистов в области психического здоровья [21–23]. Наконец, нельзя игнорировать потенциал ВП в генетических исследованиях. Идентификация генетических локусов риска, связанных с влиянием на основные психические расстройства, представляет собой значительный прорыв в этой области [54].

В заключении следует отметить, что, хотя будущее ВП выглядит многообещающим, оно также сопряжено с определенными вызовами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Обзор литературы, посвященной применению вычислительных технологий в психиатрии, позволил определить очевидное препятствие на пути их интеграции в практическое здравоохранение. Несмотря на то, что прошло более десяти лет с момента первого упоминания ВП в публикациях [1], существенные изменения в этой области по-прежнему являются минимальными. Тем не менее, развитие ВП во многом зависит от синергичных усилий специалистов в области теоретической информатики, нейробиологов и практикующих врачей. Это междисциплинарное сотрудничество имеет важное значение для прогресса во всестороннем понимании психических расстройств, повышении точности диагностики, а также определении новых терапевтических целей и прогнозирования индивидуального ответа на лечение. Потенциал компьютерных технологий в психиатрии получил признание после публикации новаторской работы Hedlund и соавт. (1985) [34]; эти авторы были одними из первых, кто рассмотрел и оценил как потенциал, так и проблемы, связанные с данной интеграцией.

Размышляя о развитии ВП, важно признать революционный сдвиг, который произошел в этой области. Появление передовых вычислительных инструментов и растущее признание роли технологий в исследованиях значительно расширили возможности ВП. Этот положительный сдвиг не только позволил исследователям пробовать использовать новые возможности, но и пересмотреть существующие концепции с новой точки зрения. Несмотря на прогресс, достигнутый за 30-летний период как в литературе, так и в профессиональном сообществе, до сих пор наблюдается очевидное неверное понимание этих технологий. В частности, сохраняется настороженность в вопросе использования компьютеров специалистами. Недавняя интеграция машинного обучения и ИИ в ВП дополнительно усилила это ощущение потенциала и новизны и предложила беспрецедентные средства для анализа сложных психиатрических данных. Однако в настоящее время эта область научных знаний сталкивается с ограничениями, мешающими ее развитию. Возвращаясь к ключевым моментам, обсуждаемым в разделе результатов, становится очевидным, что область ВП является междисциплинарной по определению; кроме того, следует отметить признание и развитие данной области, а также возможность ее применения для конкретных психических расстройств. Каждый из этих аспектов представляет собой уникальные проблемы, но также позволяет представить потенциальные будущие направления развития этой области. Обсуждение этих ключевых моментов в свете данных опубликованной литературы не только позволяет получить представление о современном состоянии ВП, но и закладывает основу для будущих исследований.

Вычислительная психиатрия имеет возможность преобразовать психиатрическую помощь, закладывая основу для персонализированных подходов к лечению. Эта область психиатрии, к сожалению, связана со стигматизацией вследствие ограниченного понимания этиологии психических расстройств, а также неверной интерпретации результатов использования математических моделей. Например, могут быть неправильно истолкованы результаты применения моделей, рассчитывающих значения вероятности, такие как степени риска. В случае утечки персональных данных или неправильном понимании сути рисков и вероятностей, риск возникновения психического

расстройства может быть приравнен к установленному диагнозу, что может привести к дальнейшей стигматизации [30–32, 55]. Отсутствие всеобъемлющих знаний является одним из факторов, подпитывающих предубеждения. Решая эти проблемы, вычислительная психиатрия стремится построить более сложные модели психических расстройств [53]. Этот процесс требует интеграции множества источников данных, включая данные нейровизуализационных исследований [48], генетических анализов [54] и поведенческих исследований [1], а также требует изучения этих данных на разных уровнях анализа: от молекулярного до клеточного и системного уровней [23]. Этот мультимодальный и многоуровневый подход позволяет исследователям понять сложные взаимодействия между генетическими [24], экологическими [25] и нейробиологическими факторами [26], которые способствуют возникновению и прогрессированию психических расстройств. Важно отметить, что этот подход также облегчает идентификацию биомаркеров и эндофенотипов [27], которые могут служить важными инструментами для ранней диагностики, прогноза и применения целевых вмешательств.

Обеспечение валидности и надежности вычислительных моделей имеет решающее значение для их успешного применения в клинической практике. Следует подчеркнуть важность строгих методов валидации и оценки моделей, которые могут помочь определить точность и возможность генерализации использования этих моделей для различных групп пациентов. Для этого процесса жизненно важное значение имеет доступ к крупномасштабным высококачественным наборам данных, поскольку это позволяет исследователям тщательно тестировать и совершенствовать свои модели на основе реальных данных. Содействие обмену данными и ресурсами между исследователями может оптимизировать валидацию модели и повысить воспроизводимость ВП.

Применение вычислительных моделей при принятии клинических решений поднимает ряд этических проблем, которые требуют решения. К ним относятся потенциальная стигматизация или дискриминация определенных групп пациентов, нарушение конфиденциальности и неправомерное использование конфиденциальных данных пациентов. Крайне важно разработать этические руководящие принципы и стандарты наилучшей практики, чтобы

гарантировать, что ВП соответствует самым высоким стандартам оказания помощи пациентам и конфиденциальности. Решение этих проблем является ключом к укреплению доверия между пациентами и врачами и будет содействовать ответственному развитию этой области.

В сфере вычислительных методов в психиатрии возникают три основные этические проблемы, касающиеся скрининга, диагностики, мониторинга заболеваний и рекомендаций по терапии и реабилитации. Во-первых, безопасность персональных данных пациентов, которая является важной проблемой, хотя и не уникальной для ВП, поскольку она распространяется на все цифровые рабочие процессы [30, 31]. Во-вторых, потенциальная стигматизация пациентов является общей проблемой во всей психиатрии, где вычислительные методы могут непреднамеренно укреплять стереотипы или заблуждения [32, 55]. Наконец, неправомерное использование конфиденциальной информации, тесно связанное с первой проблемой, требует принятия строгих мер по обеспечению конфиденциальности и целостности данных. Эти этические соображения требуют особого внимания и разработки руководств и стандартов наилучшей практики для содействия ответственному поведению при использовании методов ВП, а также защиты прав и благополучия пациентов.

Интеграция ВП в практическое здравоохранение требует специализированных программ обучения и подготовки специалистов. При этом следует отметить, что в некоторых странах психиатры до сих пор имеют предубеждения по поводу использования компьютеров специалистами данной области, в том числе использования современных технологий в обучении психиатров [23]. Между тем, все больше работ посвящено обсуждению использования ВП и цифровых методов в образовании психиатров [22, 56], и в них отмечаются как возможные преимущества этого подхода, так и ограничения, прежде всего этические. В то же время, исследования демонстрируют высокий уровень интереса и востребованности образования, включая научную подготовку в области психиатрии, у молодых психиатров [57], что может косвенно указывать на потенциальный успех целенаправленного использования образовательных программ по ВП именно в этой группе специалистов. Программы образования и профессиональной

подготовки по ВП должны способствовать междисциплинарному сотрудничеству, гарантируя, что специалисты из различных областей могут эффективно общаться и понимать общий язык вычислительных моделей и инструментов. Особое внимание в ходе обучения врачей следует уделить пониманию границ применимости моделей на основе ИИ, интеграции этих инструментов в существующую практику с учетом мер безопасности данных и юридических аспектов [22]. Более того, крайне важно разработать образовательные программы для пациентов, чтобы устранить неверное представление о возможностях и ограничениях методов ВП. Этот комплексный образовательный подход не только устранит разрыв между специалистами в области теоретической информатики, нейробиологами, клиницистами и пациентами, но также проложит путь к более последовательному и эффективному применению ВП при оказании психиатрической помощи.

Более того, улучшение интерпретируемости моделей за счет их большей прозрачности и биологического правдоподобия может способствовать их широкому использованию и повышению клинической целесообразности. Этот акцент на прозрачности и правдоподобии не только улучшит понимание, но также может способствовать снижению стигматизации ВП и связанных с ней цифровых технологий.

Важно также признать ограничения и проблемы, с которыми сталкивается ВП, такие как необходимость в моделях с более высокой степенью биологического правдоподобия, возможность распространения результатов моделирования на различные группы пациентов и интеграция различных уровней анализа. В результате выявления этих ограничений обсуждение может наметить потенциальные будущие направления в этой области, такие как оптимизация существующих моделей, исследование новых вычислительных подходов и содействие междисциплинарному сотрудничеству. Решение этих проблем, включая этические аспекты, будет иметь определяющее значение для дальнейшего развития и успеха ВП в области психиатрической помощи.

Основное ограничение этой статьи заключается в ее формате нарративного, а не систематического обзора. Хотя этот подход позволяет получить широкий обзор темы ВП, следует отметить, что в результаты поиска, возможно, не были включены потенциально

информативные статьи, которые могли бы обеспечить более полное понимание. Область охвата настоящего обзора может быть ограничена статьями, к которым получили доступ авторы. Широта спектра рассмотренной литературы также является важным достоинством статьи. Авторы надеются, что представленный обзор литературы вызовет интерес к ВП среди психиатров, что, в свою очередь, может привести к росту числа исследований в этой области, а также к готовности специалистов использовать методологию ВП в своей работе и клинической практике, что послужит примером практического применения научной работы, проведенной авторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Область вычислительной психиатрии представляет собой быстро развивающуюся дисциплину, которая объединяет компьютерное моделирование, эмпирические данные и теоретические открытия из различных областей, таких как психология, нейробиология, информатика и математика. Ее задачи заключаются в лучшем понимании психических расстройств и механизмов, лежащих в основе их развития. Данный междисциплинарный подход привел к значительным достижениям в этой области, включая разработку новых диагностических инструментов и методов лечения. Однако широкая область применения ВП также сопряжена с рядом проблем. К ним относится необходимость в строгих этических принципах, регулирующих использование вычислительных моделей в психиатрических исследованиях и практике. Интеграция вычислительных методов в психиатрические исследования также требует высокой степени междисциплинарного сотрудничества, чего на практике порой сложно достичь.

Несмотря на эти проблемы, за последнее десятилетие произошел стремительный рост ВП и ее признание как области знаний. Доказательствами этого роста являются увеличивающееся количество публикаций по этой теме и расширение спектра психических расстройств, к которым могут быть применимы вычислительные методы. Применение этих методов к конкретным психическим расстройствам дало многообещающие результаты. Например, вычислительные модели использовали для лучшего понимания нейробиологических механизмов, лежащих в основе таких расстройств, как шизофрения и депрессия.

Однако необходимы дальнейшие исследования, которые позволят в полной мере реализовать потенциал этих методов в клинической практике.

Заглядывая в будущее можно с уверенностью утверждать, что область ВП обладает значительным потенциалом для улучшения нашего понимания психических расстройств и повышения качества помощи, оказываемой пациентам. Однако реализация этого потенциала потребует постоянного междисциплинарного сотрудничества, строгого этического контроля и непрерывных исследований, направленных на оптимизацию и валидацию вычислительных моделей. Несмотря на то, что ВП является многообещающей областью знаний, она также характеризуется сложностью и требует решения множества проблем. Однако при условии продолжения исследований, сотрудничества и этического надзора, у этой области есть потенциал, способный значительно улучшить наше понимание психических расстройств и повысить качество помощи, оказываемой пациентам.

История публикации:

Статья поступила: 08.06.2023

Статья принята: 12.09.2023

Публикация: 25.09.2023

Вклад авторов: Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Финансирование: Исследование проведено без спонсорской поддержки

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Цитировать:

Васильченко К.Ф., Чумаков Е.М. Современное положение, вызовы и перспективы развития вычислительной психиатрии: нарративный обзор // *Consortium Psychiatricum*. 2023. Т.4, №3. CP11244. doi: 10.17816/CP11244

Информация об авторах

Кирилл Федорович Васильченко, к.м.н., лаборатория вычислительной психиатрии, медицинский факультет Азриэли, Университет

Бар-Илан; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9910-2079>, e-Library SPIN-код: 4549-1790

***Егор Максимович Чумаков**, к.м.н., Доцент кафедры психиатрии и наркологии Санкт-Петербургского государственного университета; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0429-8460>, e-Library SPIN-код: 2877-2154

E-mail: e.chumakov@spbu.ru

*автор, ответственный за переписку

Список литературы

1. Montague PR, Dolan RJ, Friston KJ, Dayan P. Computational psychiatry. *Trends Cogn Sci*. 2012;16(1):72–80. doi: 10.1016/j.tics.2011.11.018.
2. Wang XJ, Krystal JH. Computational psychiatry. *Neuron*. 2014;84(3):638–54. doi: 10.1016/j.neuron.2014.10.018.
3. Friston KJ, Stephan KE, Montague R, Dolan RJ. Computational psychiatry: the brain as a phantastic organ. *Lancet Psychiatry*. 2014;1(2):148–58. doi: 10.1016/S2215-0366(14)70275-5.
4. Huys QJ, Moutoussis M, Williams J. Are computational models of any use to psychiatry? *Neural Netw*. 2011;24(6):544–51. doi: 10.1016/j.neunet.2011.03.001.
5. Sutton RS, Barto AG. *Reinforcement learning: an introduction*. Cambridge, MA: MIT Press; 1998.
6. Clark A. Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behav Brain Sci*. 2013;36(3):181–204. doi: 10.1017/S0140525X12000477.
7. Bassett DS, Zurn P, Gold JI. On the nature and use of models in network neuroscience. *Nat Rev Neurosci*. 2018;19(9):566–78. doi: 10.1038/s41583-018-0038-8.
8. Breakspear M. Dynamic models of large-scale brain activity. *Nat Neurosci*. 2017;20(3):340–52. doi: 10.1038/nn.4497.
9. Fornito A, Zalesky A, Breakspear M. The connectomics of brain disorders. *Nat Rev Neurosci*. 2015;16(3):159–72. doi: 10.1038/nrn3901.
10. van den Heuvel MP, Sporns O. A cross-disorder connectome landscape of brain dysconnectivity. *Nat Rev Neurosci*. 2019;20(7):435–46. doi: 10.1038/s41583-019-0177-6.
11. Maia TV, Frank MJ. From reinforcement learning models to psychiatric and neurological disorders. *Nat Neurosci*. 2011;14(2):154–62. doi: 10.1038/nn.2723.
12. Stephan KE, Mathys C. Computational approaches to psychiatry. *Curr Opin Neurobiol*. 2014;25:85–92. doi: 10.1016/j.conb.2013.12.007.
13. Kessler RC. The costs of depression. *Psychiatr Clin North Am*. 2012;35(1):1–14. doi: 10.1016/j.psc.2011.11.005.
14. Woo CW, Chang LJ, Lindquist MA, Wager TD. Building better biomarkers: brain models in translational neuroimaging. *Nat Neurosci*. 2017;20(3):365–77. doi: 10.1038/nn.4478.
15. Paulus MP. Pragmatism instead of mechanism: a call for impactful biological psychiatry. *JAMA Psychiatry*. 2015;72(7):631–2. doi: 10.1001/jamapsychiatry.2015.0497.
16. Ferrante M, Redish AD, Oquendo MA, Averbeck BB, Kinnane ME, Gordon JA. Computational psychiatry: a report from the 2017 NIMH workshop on opportunities and challenges. *Mol Psychiatry*. 2019;24(4):479–83. doi: 10.1038/s41380-018-0063-z.
17. Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine. *N Engl J Med*. 2019;380(14):1347–358. doi: 10.1056/NEJMra1814259.

18. Miotto R, Wang F, Wang S, Jiang X, Dudley JT. Deep learning for healthcare: review, opportunities and challenges. *Brief Bioinform.* 2018;19(6):1236–46. doi: 10.1093/bib/bbx044.
19. Luxton DD. AI decision-support: a dystopian future of machine paternalism? *J Med Ethics.* 2022;48(4):232–3. doi: 10.1136/medethics-2022-108243.
20. Vasilchenko KF, Drozdovsky YuV. Internalized stigma and social adaptation levels among patients with first episode schizophrenia. *Siberian Herald of Psychiatry and Addiction Psychiatry.* 2018;1(98):30–5. doi: 10.26617/1810-3111-2018-1(98)-30-35. Russian.
21. Petrova NN, Fedotov IA, Chumakov EM. The analysis of the dynamics of psychiatrists' opinions on continuing medical education. *V.M. Bekhterev review of psychiatry and medical psychology.* 2019;2:102–7. doi: 10.31363/2313-7053-2019-2-102-107. Russian
22. Vasilchenko KF, Chumakov EM. Comment on 'Old dog, new tricks? Exploring the potential functionalities of ChatGPT in supporting educational methods in social psychiatry'. *Int J Soc Psychiatry.* 2023;0(0). doi: 10.1177/00207640231178464. Epub 2023 Jun 30.
23. Poldrack RA, Halchenko YO, Hanson SJ. Decoding the large-scale structure of brain function by classifying mental States across individuals. *Psychol Sci.* 2009;20(11):1364–72. doi: 10.1111/j.1467-9280.2009.02460.x.
24. Sullivan PF, Daly MJ, O'Donovan M. Genetic architectures of psychiatric disorders: the emerging picture and its implications. *Nat Rev Genet.* 2012;13(8):537–51. doi: 10.1038/nrg3240.
25. Caspi A, Hariri AR, Holmes A, Uher R, Moffitt TE. Genetic sensitivity to the environment: the case of the serotonin transporter gene and its implications for studying complex diseases and traits. *Am J Psychiatry.* 2010;167(5):509–27. doi: 10.1176/appi.ajp.2010.09101452.
26. Kendler KS, Neale MC. Endophenotype: a conceptual analysis. *Mol Psychiatry.* 2010;15(8):789–97. doi: 10.1038/mp.2010.8.
27. Gottesman II, Gould TD. The endophenotype concept in psychiatry: etymology and strategic intentions. *Am J Psychiatry.* 2003 Apr;160(4):636–45. doi: 10.1176/appi.ajp.160.4.636.
28. Greist JH. Conservative radicalism: an approach to computers in mental health. In Schwanz MD, editor. *Using computers in clinical practice: Psychotherapy and mental health applications.* New York: The Haworth Press; 1984. p. 22–23.
29. Craig TJ. Overcoming clinicians' resistance to computers. *Hosp Community Psychiatry.* 1984;35(2):121–2. doi: 10.1176/ps.35.2.121.
30. Desaire H. How (not) to generate a highly predictive biomarker panel using machine learning. *J Proteome Res.* 2022;21(9):2071–4. doi: 10.1021/acs.jproteome.2c00117.
31. Levman J, Ewenson B, Apaloo J, Berger D, Tyrrell PN. Error consistency for machine learning evaluation and validation with application to biomedical diagnostics. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(7):1315. doi: 10.3390/diagnostics13071315.
32. Plass M, Kargl M, Kiehl TR, Regitnig P, Geißler C, Evans T, Zerbe N, Carvalho R, Holzinger A, Müller H. Explainability and causability in digital pathology. *J Pathol Clin Res.* 2023;9(4):251–60. doi: 10.1002/cjp2.322.
33. Portacolone E, Halpern J, Luxenberg J, Harrison KL, Covinsky KE. Ethical issues raised by the introduction of artificial companions to older adults with cognitive impairment: a call for interdisciplinary collaborations. *J Alzheimers Dis.* 2020;76(2):445–55. doi: 10.3233/JAD-190952.
34. Hedlund JL, Vieweg BW, Cho DW. Mental health computing in the 1980s. *Comput Hum Services.* 1985;1(2):1–31. doi: 10.1300/j407v01n02_01.
35. Moutoussis M, Bentall RP, El-Deredy W, Dayan P. Bayesian modelling of Jumping-to-Conclusions bias in delusional patients. *Cogn Neuropsychiatry.* 2011;16(5):422–47. doi: 10.1080/13546805.2010.548678.
36. Murray GK, Corlett PR, Clark L, Pessiglione M, Blackwell AD, Honey G, Jones PB, Bullmore ET, Robbins TW, Fletcher PC. Substantia nigra/ventral tegmental reward prediction error disruption in psychosis. *Mol Psychiatry.* 2008;13(3):239, 267–76. doi: 10.1038/sj.mp.4002058.
37. Gold JM, Waltz JA, Matveeva TM, Kasanova Z, Strauss GP, Herbener ES, Collins AG, Frank MJ. Negative symptoms and the failure to represent the expected reward value of actions: behavioral and computational modeling evidence. *Arch Gen Psychiatry.* 2012;69(2):129–38. doi: 10.1001/archgenpsychiatry.2011.1269.
38. Adams RA, Stephan KE, Brown HR, Frith CD, Friston KJ. The computational anatomy of psychosis. *Front Psychiatry.* 2013;4:47. doi: 10.3389/fpsy.2013.00047.
39. Huys QJ, Pizzagalli DA, Bogdan R, Dayan P. Mapping anhedonia onto reinforcement learning: a behavioural meta-analysis. *Biol Mood Anxiety Disord.* 2013;3(1):12. doi: 10.1186/2045-5380-3-12.
40. Rutledge RB, Chekroud AM, Huys QJ. Machine learning and big data in psychiatry: toward clinical applications. *Curr Opin Neurobiol.* 2019;55:152–9. doi: 10.1016/j.conb.2019.02.006.
41. Goldway N, Eldar E, Shoval G, Hartley CA. Computational mechanisms of addiction and anxiety: a developmental perspective. *Biol Psychiatry.* 2023;93(8):739–50. doi: 10.1016/j.biopsych.2023.02.004.
42. van de Cruys S, Evers K, van der Hallen R, van Eylen L, Boets B, de-Wit L, Wagemans J. Precise minds in uncertain worlds: predictive coding in autism. *Psychol Rev.* 2014;121(4):649–75. doi: 10.1037/a0037665.
43. Vaghi MM, Vértes PE, Kitzbichler MG, Apergis-Schoute AM, van der Flier FE, Fineberg NA, Sule A, Zaman R, Voon V, Kundu P, Bullmore ET, Robbins TW. Specific frontostriatal circuits for impaired cognitive flexibility and goal-directed planning in obsessive-compulsive disorder: evidence from resting-state functional connectivity. *Biol Psychiatry.* 2017;81(8):708–17. doi: 10.1016/j.biopsych.2016.08.009.
44. Voon V, Derbyshire K, Rück C, Irvine MA, Worbe Y, Enander J, Schreiber LR, Gillan C, Fineberg NA, Sahakian BJ, Robbins TW, Harrison NA, Wood J, Daw ND, Dayan P, Grant JE, Bullmore ET. Disorders of compulsivity: a common bias towards learning habits. *Mol Psychiatry.* 2015;20(3):345–52. doi: 10.1038/mp.2014.44.
45. Grupe DW, Nitschke JB. Uncertainty and anticipation in anxiety: an integrated neurobiological and psychological perspective. *Nat Rev Neurosci.* 2013;14(7):488–501. doi: 10.1038/nrn3524.
46. Paulus MP, Thompson WK. Computational approaches and machine learning for individual-level treatment predictions. *Psychopharmacology (Berl).* 2021;238(5):1231–9. doi: 10.1007/s00213-019-05282-4.
47. Frank GK, Shott ME, Riederer J, Pryor TL. Altered structural and effective connectivity in anorexia and bulimia nervosa in circuits that regulate energy and reward homeostasis. *Transl Psychiatry.* 2016;6(11):e932. doi: 10.1038/tp.2016.199.

48. Paulus MP, Huys QJ, Maia TV. A roadmap for the development of applied computational psychiatry. *Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*. 2016;1(5):386–92. doi: 10.1016/j.bpsc.2016.05.001.
 49. Bogacz R. A tutorial on the free-energy framework for modelling perception and learning. *J Math Psychol*. 2017;76(Pt B):198–211. doi: 10.1016/j.jmp.2015.11.003.
 50. Adams RA, Huys QJ, Roiser JP. Computational Psychiatry: towards a mathematically informed understanding of mental illness. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2016;87(1):53–63. doi: 10.1136/jnnp-2015-310737.
 51. Yarkoni T, Westfall J. Choosing prediction over explanation in psychology: lessons from machine learning. *Perspect Psychol Sci*. 2017;12(6):1100–22. doi: 10.1177/1745691617693393.
 52. Borsboom D, Cramer AO. Network analysis: an integrative approach to the structure of psychopathology. *Annu Rev Clin Psychol*. 2013;9:91–121. doi: 10.1146/annurev-clinpsy-050212-185608.
 53. Dyson M. Combatting AI's protectionism & totalitarian-coded hypnosis: the case for AI reparations & antitrust remedies in the ecology of collective self-determination. *SMU Law Review*. 2022;25:625–722. doi: 10.25172/smulr.75.3.7.
 54. Cross-Disorder Group of the Psychiatric Genomics Consortium. Identification of risk loci with shared effects on five major psychiatric disorders: a genome-wide analysis. *Lancet*. 2013;381(9875):1371–9. doi: 10.1016/S0140-6736(12)62129-1.
 55. Vasilchenko KF. [Self-stigmatization, adaptation and quality of life of persons with the first psychotic episode of schizophrenia (typology, rehabilitation, prevention)] [dissertation]. Omsk; 2019. p. 232. Russian.
 56. Bhugra D, Smith A, Ventriglio A, Hermans MHM, Ng R, Javed A, Chumakov E, Kar A, Ruiz R, Oquendo M, Chisolm MS, Werneke U, Suryadevara U, Jibson M, Hobbs J, Castaldelli-Maia J, Nair M, Seshadri S, Subramanyam A, Patil N, Chandra P, Liebrezn M. World psychiatric association-asian journal of psychiatry commission on psychiatric education in the 21st century. *Asian J Psychiatr*. 2023;88:103739. doi: 10.1016/j.ajp.2023.103739.
 57. Kibitov AA, Chumakov EM, Nechaeva AI, Sorokin MY, Petrova NN, Vetrova MV. Professional values and educational needs among mental health specialists in Russia: survey results. *Consortium Psychiatricum*. 2022;3(3):36–45. doi: 10.17816/CP184.
-