

Григорьян Леонтий Рустемович

канд. физ.-мат. наук, преподаватель

Рефатов Эдем Акимович

бакалавр, студент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»

г. Краснодар, Краснодарский край

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БИОСИГНАЛОВ

***Аннотация:** в статье рассмотрены возможности применения технологий искусственного интеллекта в системах физиотерапевтической реабилитации. Проведён анализ принципов построения интеллектуальной обратной связи на основе обработки биосигналов пациента. Рассмотрены основные этапы анализа физиологических данных, механизмы адаптации терапевтической нагрузки и перспективы использования алгоритмов машинного обучения для персонализации реабилитационного процесса.*

***Ключевые слова:** искусственный интеллект, физиотерапия, медицинская реабилитация.*

Современная реабилитационная медицина всё больше ориентируется на использование цифровых технологий, позволяющих объективно оценивать состояние пациента и повышать эффективность восстановительных мероприятий. Традиционные методы физиотерапии в значительной степени зависят от опыта специалиста и субъективной оценки качества выполнения упражнений. Вместе с тем развитие сенсорных технологий, вычислительных систем и методов искусственного интеллекта открывает новые возможности для автоматизированного анализа физиологических параметров и формирования адаптивной обратной связи [1; 2].

Особое значение в современных системах реабилитации приобретают технологии биологической обратной связи, позволяющие пациенту получать информацию о собственном физиологическом состоянии в режиме реального времени. В качестве источников данных могут использоваться электромиографические сигналы, показатели сердечно-сосудистой системы, параметры двигательной активности, данные акселерометров и других сенсорных устройств. Использование подобных данных позволяет не только контролировать правильность выполнения упражнений, но и своевременно корректировать нагрузку в зависимости от состояния пациента [3; 4].

Целью исследования является рассмотрение принципов функционирования интеллектуальных систем обратной связи в физиотерапии, основанных на применении методов искусственного интеллекта для обработки биосигналов, а также оценка перспектив их использования в задачах персонализированной медицинской реабилитации.

Развитие методов искусственного интеллекта существенно расширило возможности анализа биосигналов. Современные алгоритмы машинного обучения способны выявлять сложные закономерности в физиологических данных, классифицировать двигательные паттерны и прогнозировать эффективность реабилитационных мероприятий. Благодаря этому становится возможным создание интеллектуальных систем физиотерапии, обеспечивающих персонализированный подход к лечению [5; 6].

Принцип работы интеллектуальной системы обратной связи включает несколько последовательных этапов. На первом этапе осуществляется регистрация физиологических сигналов с помощью сенсорных устройств. Далее выполняется предварительная обработка данных, включающая фильтрацию шумов, нормализацию и выделение информативных признаков. После этого данные поступают в модуль искусственного интеллекта, где производится анализ состояния пациента и оценка качества выполнения упражнений [5; 6].

На основании результатов анализа система формирует корректирующее воздействие. Обратная связь может быть представлена в визуальной, звуковой или

тактильной форме. При использовании роботизированных тренажёров возможна автоматическая коррекция параметров нагрузки и траектории движения. Такой подход позволяет повысить эффективность тренировочного процесса и минимизировать риск возникновения ошибок при выполнении упражнений [6; 7].

Одним из основных преимуществ применения искусственного интеллекта является возможность персонализации реабилитационных программ. Алгоритмы способны учитывать возраст пациента, характер заболевания, уровень двигательной активности и скорость восстановления. По мере накопления новых данных система уточняет параметры модели и адаптирует программу лечения к текущему состоянию пациента [6; 8].

На рисунке 1 представлена обобщённая структура интеллектуальной системы физиотерапевтической обратной связи.

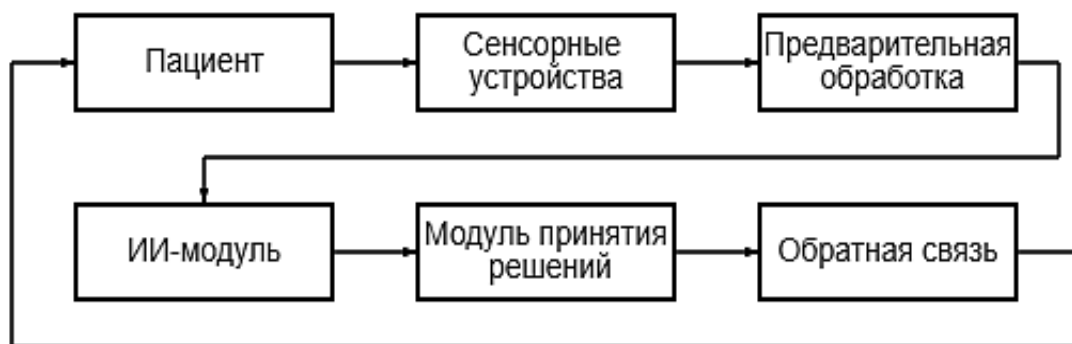


Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной системы физиотерапевтической реабилитации

Дополнительным преимуществом является возможность прогнозирования результатов реабилитации. Анализ временных рядов физиологических данных позволяет выявлять тенденции изменения состояния пациента и своевременно предупреждать возникновение перегрузок или осложнений. Это особенно актуально при длительном восстановлении после инсульта, травм опорно-двигательного аппарата и нейродегенеративных заболеваний [7].

Экономическая эффективность является важным критерием внедрения новых медицинских технологий.

Для расчёта использовались следующие показатели:

- количество пациентов за 8-часовую смену, ~5 пациентов в час – 40;
- количество пациентов в месяц (22 рабочих дня) – 880;
- среднее время анализа пациента врачом – 15 минут;
- время анализа при использовании ИИ – 2 минуты.

Экономия времени на одного пациента составляет:

$$15 - 2 = 13 \text{ минут.}$$

Для 880 пациентов:

$$13 \times 880 = 11\,440 \text{ минут.}$$

$$11\,440 \text{ минут} = \sim 190,7 \text{ часов рабочего времени ежемесячно}$$

Несмотря на значительные преимущества, внедрение интеллектуальных систем в физиотерапию связано с рядом ограничений. К ним относятся необходимость использования специализированного оборудования, высокая стоимость некоторых решений, зависимость качества работы алгоритмов от объёма обучающих данных, а также вопросы защиты персональной медицинской информации [2].

Заключение.

Применение искусственного интеллекта в системах физиотерапевтической обратной связи является перспективным направлением развития современной медицинской техники. Использование интеллектуального анализа биосигналов позволяет повысить объективность оценки состояния пациента, обеспечить персонализацию терапии и увеличить эффективность реабилитационного процесса. Дальнейшее развитие систем связано с совершенствованием методов машинного обучения, внедрением технологий объяснимого искусственного интеллекта и интеграцией интеллектуальных платформ в телемедицинские сервисы.

References

1. Topol E. Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. – New York: Basic Books, 2019.
2. WHO. Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health. – Geneva: World Health Organization, 2021.

3. Patel S., Park H., Bonato P., Chan L., Rodgers M. A Review of Wearable Sensors and Systems with Application in Rehabilitation // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. – 2012. – Vol. 9. – Article 21.
4. Kristoffersson A., Lindén M. A Systematic Review of Wearable Sensors for Monitoring Physical Activity // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22(2). – Article 573.
5. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. – Cambridge: MIT Press, 2016.
6. Sumner J., Lim H.W., Chong L.S., Bunde A., Mukhopadhyay A., Kayambu G. Artificial Intelligence in Physical Rehabilitation: A Systematic Review // *Artificial Intelligence in Medicine*. – 2023. – Vol. 146. – Article 102693. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102693>. EDN: VVGXNQ
7. Boukhenoufa I., Zhai X., Utti V., Jackson J., McDonald-Maier K. Wearable Sensors and Machine Learning in Post-Stroke Rehabilitation Assessment: A Systematic Review // *Biomedical Signal Processing and Control*. – 2022. – Vol. 71. – Article 103197. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103197>. EDN: KXBFRB