

интенсивности и глубоко специфическим нагрузкам, что является наглядным проявлением аллостатических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Physiology, Stress Reaction / B. Chu, K. Marwaha, T. Sanvictores [et al.] // StatPearls. – Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. – 2026. PMID: 31082164.
2. The 4Rs Framework of Sports Nutrition: An Update with Recommendations to Evaluate Allostatic Load in Athletes / D. A. Bonilla, J. R. Stout, M. Gleeson [et al.] // Life (Basel). – 2025. – Vol. 15, № 6. – P. 867. doi: 10.3390/life15060867.
3. Севрюкова, Г. А. Реостаз, аллостаз и аллостатическая нагрузка: что понимается под этими терминами? / Г. А. Севрюкова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – С. 3.
4. Lu, S. The evolution of the concept of stress and the framework of the stress system / S. Lu, F. Wei, G. Li // Cell Stress. – 2021. – Vol. 5, № 6. – P. 76-85.

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ МИКРОРЕОЛОГИЧЕСКИХ И МИКРОЦИРКУЛЯТОРНЫХ МАРКЕРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Умеренков Д. А., Максимов М. К., Мольдон П. А., Луговцов А. Е.,
Приезжев А. В.

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Москва, Россия*

Введение. Согласно современным данным, нарушения микроциркуляции и микрореологии крови (в частности, изменения функциональных свойств эритроцитов и тромбоцитов) могут быть значимым фактором в возникновении и ухудшении течения сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) [1-3].

Цель. Количественная оценка и корреляционный анализ микрореологических показателей крови и характеристик капиллярного кровотока у пациентов с ССЗ, а также последующее выявление диагностически значимых маркеров с применением методов машинного обучения.

Методы исследования. В исследование было включен 351 пациент с различными формами ССЗ (мерцательная аритмия, ишемическая болезнь сердца, артериальная гипертензия, острая сердечная недостаточность) и 25 условно здоровых добровольцев. Забор венозной крови проводился натошак из локтевой вены в вакуумные пробирки объемом 4 мл с антикоагулянтами ЭДТА и цитратом натрия. Оценку агрегации и деформируемости эритроцитов выполняли *in vitro* методами диффузионного светорассеяния и лазерной эктацитометрии на образцах цельной крови и разбавленной эритроцитарной суспензии соответственно с использованием прибора RheoScan-AnD300 (RheoMediTech, Республика Корея). Кинетику агрегации тромбоцитов изучали по сигналу светорассеяния от клеточной суспензии на лазерном анализаторе

агрегации тромбоцитов АЛАТ-2 (НПФ «Биола», Россия). Агрегацию индуцировали аденозиндифосфатом в концентрациях 1 и 5 мкМ в обогащенной тромбоцитами плазме. Параметры микроциркуляции получали путем обработки изображений и видеозаписей, выполненных *in vivo* с помощью оптического капилляроскопа «Капилляроскан-1» (АЕТ, Россия), оснащенного высокоскоростной ПЗС-камерой, при визуализации капилляров ногтевого ложа пальцев рук пациентов.

Результаты и их обсуждение. Анализ значимости признаков для моделей машинного обучения с помощью метода SHAP показал, что в алгоритмах «случайный лес» и Catboost наибольший вклад вносят диаметр переходного отдела капилляров (по данным оптической капилляроскопии), а также показатели деформируемости и агрегации эритроцитов. В то же время для алгоритмов К-ближайших соседей, логистической регрессии и деревьев решений ключевыми оказались параметры агрегации как тромбоцитов, так и эритроцитов. При этом перечень наиболее влиятельных параметров в целом сходился для каждого из использованных алгоритмов машинного обучения. Важно отметить, что как сложные, так и простые модели достигли 100-процентной точности при бинарной классификации здоровых лиц и пациентов с ССЗ.

Выводы. Таким образом, с помощью методов машинного обучения выявлены наиболее информативные оптические параметры крови, способные влиять на развитие и прогрессирование сердечно-сосудистых заболеваний. Продemonстрировано, что измеряемые показатели могут служить диагностическими маркерами ССЗ.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 25-15-00172).

ЛИТЕРАТУРА

1. Взаимосвязь параметров артериального давления и микрореологии эритроцитов у лиц с артериальной гипертонией / А. В. Муравьев, А. В. Приезжев, А. Е. Луговцов [и др.] // Тромбоз, гемостаз и реология. – 2023. – № 2. – С. 17-22.
2. Оптические измерения микрореологических параметров крови и анализ их связи с её вязкостью при сердечно-сосудистых заболеваниях / Д. А. Умеренков, П. Б. Ермолинский, А. Е. Луговцов [и др.] // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 361-373.
3. Assessment of Microcirculation and Microrheological Parameters of Blood in Patients With Type 2 Diabetes Mellitus Using Biophotonics Techniques / D. A. Umerenkov, P. B. Ermolinskiy, A. E. Lugovtsov [et al.] // Journal of Biophotonics. – 2024. – Vol. 18, № 12. – P. 1-8.