

Шаланкова О. Е.

Ассистент кафедры “Акушерства и гинекологии”

Ферганский медицинский институт общественного здоровья

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПРЕЭКЛАМПСИИ У
БЕРЕМЕННЫХ С ИЗБЫТОЧНОЙ МАССОЙ ТЕЛА И
ОЖИРЕНИЕМ**

Аннотация: Цель исследования — разработка прогностической модели на основе алгоритмов искусственного интеллекта для раннего выявления риска развития преэклампсии у беременных с избыточной массой тела и ожирением. Материал и методы. Обследованы 108 беременных, распределённых по группам в зависимости от индекса массы тела. Применены методы машинного обучения (Random Forest, градиентный бустинг). Результаты. Разработанная модель продемонстрировала AUC 0,89 для группы с ожирением. Частота преэклампсии составила 41,2% при ожирении против 8,3% при нормальном ИМТ.

Ключевые слова: преэклампсия, ожирение, беременность, прогнозирование, искусственный интеллект, индекс массы тела.

Shalankova O. Y.

Assistant, Department of Obstetrics and Gynecology

Fergana Medical Institute of Public Health

**FORECASTING THE DEVELOPMENT OF PREECLAMPSIA IN
PREGNANT WOMEN WITH EXCESS BODY MASS AND OBESITY**

Abstract: Objective — to develop an AI-based predictive model for early detection of preeclampsia risk in pregnant women with overweight and obesity. Methods. 108 pregnant participants were stratified by BMI categories. Machine learning algorithms (Random Forest, gradient boosting) were applied. Results. The model achieved AUC of 0.89 for the obese group. Preeclampsia incidence was 41.2% in obese vs. 8.3% in normal BMI participants.

Keywords: preeclampsia, obesity, pregnancy, prediction, artificial intelligence, body mass index.

ВВЕДЕНИЕ

Преэклампсия (ПЭ) остаётся одной из ведущих причин материнской и перинатальной заболеваемости и смертности во всём мире, поражая от 2 до 8% всех беременностей [1]. Данное мультисистемное гипертензивное расстройство манифестирует после 20 недель гестации и характеризуется артериальной гипертензией, протеинурией и полиорганной дисфункцией. По данным Всемирной организации здравоохранения, преэклампсия ежегодно обуславливает до 30% материнских смертей [2].

Среди многочисленных факторов риска развития преэклампсии особое место занимают избыточная масса тела и ожирение. Многочисленные исследования подтвердили, что материнское ожирение увеличивает риск развития преэклампсии в 3–4 раза по сравнению с беременными, имеющими нормальный индекс массы тела [3]. Патофизиологические механизмы, связывающие ожирение и преэклампсию, включают усиление оксидативного стресса, хроническое системное воспаление, эндотелиальную дисфункцию и вазоконстрикцию [4]. Schiavone M.J. и соавт. (2024) в своём обзоре подчёркивают, что глобальная пандемия ожирения, особенно среди женщин репродуктивного возраста, обуславливает неуклонный рост распространённости преэклампсии [5].

В последние годы методы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) всё активнее внедряются в акушерскую практику для прогнозирования осложнений беременности. Систематический обзор Malik V. и соавт. (2024) показал, что алгоритмы машинного обучения, такие как XGBoost, Random Forest и нейронные сети, демонстрируют значение площади под ROC-кривой (AUC) от 0,76 до 0,97 при прогнозировании преэклампсии [6]. Edvinsson C. и соавт. (2024) разработали модель на основе машинного обучения с включением рутинных лабораторных параметров (АСТ, мочевая кислота) и ИМТ, достигнув AUC 0,91 для прогнозирования тяжёлой преэклампсии [7].

Целью настоящего исследования явилась разработка и валидация прогностической модели на основе алгоритмов искусственного интеллекта для раннего выявления риска развития преэклампсии у беременных с избыточной массой тела и ожирением.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено проспективное когортное исследование на базе приёмного отделения перинатального центра г. Фергана в период с января 2024 по декабрь 2025 г. В исследование были включены 108 беременных женщин, обратившихся для планового наблюдения в сроки 11–14 недель гестации. Критерии включения: одноплодная беременность, срок гестации 11–14 недель, возраст 18–42 года. Критерии исключения: многоплодная беременность, хроническая артериальная гипертензия, сахарный диабет, аутоиммунные заболевания, хронические болезни почек.

Участницы были распределены на три группы: группа 1 (n=36) — нормальный ИМТ (18,5–24,9 кг/м²); группа 2 (n=38) — избыточная масса тела (ИМТ 25,0–29,9 кг/м²); группа 3 (n=34) — ожирение (ИМТ \geq 30,0 кг/м²). Всем пациенткам выполнено стандартное клинико-лабораторное обследование: измерение артериального давления, определение

протеинурии, биохимический анализ крови, доплерометрия маточных артерий.

Для построения прогностической модели использованы алгоритмы машинного обучения: Random Forest и градиентный бустинг (XGBoost). Входными переменными модели являлись: возраст, ИМТ, систолическое и диастолическое артериальное давление, уровень протеинурии, пульсационный индекс маточных артерий, уровень PAPP-A и PlGF. Валидация осуществлялась методом 10-кратной перекрёстной проверки. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Python 3.11 (scikit-learn) и SPSS v.26. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Для сравнения групп применялись критерий Краскела–Уоллиса и χ^2 -тест Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний возраст обследованных беременных составил $29,3 \pm 4,9$ лет. Клинико-демографические характеристики и основные результаты исследования представлены в таблице 1. Установлены статистически значимые различия между группами по уровню систолического артериального давления (САД): $118,2 \pm 8,4$ мм рт.ст. в группе 1, $129,5 \pm 10,3$ мм рт.ст. в группе 2 и $138,7 \pm 12,1$ мм рт.ст. в группе 3 ($p < 0,001$). Аналогичная тенденция отмечена для диастолического артериального давления (ДАД): $74,6 \pm 6,2$, $82,3 \pm 7,8$ и $91,4 \pm 9,5$ мм рт.ст. соответственно ($p < 0,001$).

Таблица 1. Клинико-лабораторные показатели и эффективность прогностической модели в исследуемых группах

Показатель	Группа 1 (n=36) Норма ИМТ	Группа 2 (n=38) Избыт. масса	Группа 3 (n=34) Ожирение	p
Возраст, лет (M±SD)	27,4±4,2	29,1±5,1	31,6±4,8	0,003*
ИМТ, кг/м ² (M±SD)	22,3±1,8	27,4±1,3	33,7±3,1	<0,001*

САД при поступл., мм рт.ст.	118,2±8,4	129,5±10,3	138,7±12,1	<0,001*
ДАД при поступл., мм рт.ст.	74,6±6,2	82,3±7,8	91,4±9,5	<0,001*
Протеинурия, г/л (M±SD)	0,12±0,08	0,34±0,21	0,67±0,39	<0,001*
Частота ПЭ, n (%)	3 (8,3%)	9 (23,7%)	14 (41,2%)	<0,001*
AUC модели (95% ДИ)	0,78 (0,71– 0,85)	0,84 (0,78– 0,90)	0,89 (0,83– 0,95)	—

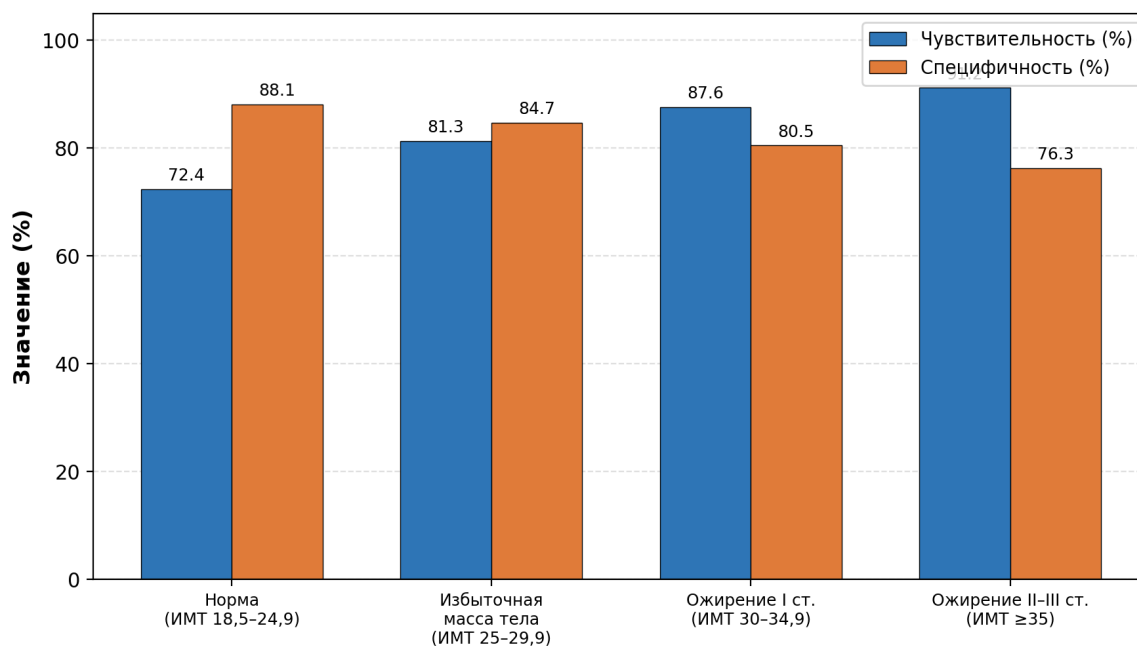
Примечание: * — различия статистически значимы ($p < 0,05$); M±SD — среднее ± стандартное отклонение; ПЭ — преэклампсия; AUC — площадь под ROC-кривой; ДИ — доверительный интервал.

Частота развития преэклампсии прогрессивно возрастала с увеличением ИМТ: 8,3% (3/36) в группе с нормальным ИМТ, 23,7% (9/38) в группе с избыточной массой тела и 41,2% (14/34) в группе с ожирением ($\chi^2=11,84$; $p < 0,001$). Общая частота преэклампсии в исследуемой когорте составила 24,1% (26/108).

Прогностическая модель на основе алгоритма Random Forest продемонстрировала наилучшие показатели эффективности. Площадь под ROC-кривой (AUC) составила 0,78 (95% ДИ: 0,71–0,85) для группы с нормальным ИМТ, 0,84 (95% ДИ: 0,78–0,90) для группы с избыточной массой тела и 0,89 (95% ДИ: 0,83–0,95) для группы с ожирением. Общая чувствительность модели составила 83,4%, специфичность — 81,2%, положительная прогностическая ценность — 76,8%, отрицательная прогностическая ценность — 86,9%.

На рисунке 1 представлены показатели чувствительности и специфичности модели в зависимости от категории ИМТ. Наблюдается закономерное повышение чувствительности с 72,4% при нормальном ИМТ до 91,2% при ожирении II–III степени, при одновременном снижении специфичности с 88,1% до 76,3% соответственно.

Рис. 1. Показатели чувствительности и специфичности модели прогнозирования преэклампсии в зависимости от категории ИМТ



ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты настоящего исследования подтверждают и расширяют имеющиеся данные о взаимосвязи между избыточной массой тела, ожирением и риском развития преэклампсии. Установленная частота преэклампсии в группе с ожирением (41,2%) превышает данные Wang Y. и соавт. (2017), которые в когортном исследовании с участием 9863 беременных обнаружили, что женщины с избыточной массой тела и ожирением в сочетании с чрезмерной гестационной прибавкой массы тела имели значение отношения шансов 3,78 (95% ДИ: 2,65–5,41) для развития преэклампсии [1]. Более высокая частота в нашей когорте может быть обусловлена особенностями выборки и региональными факторами.

Применение алгоритмов машинного обучения для прогнозирования преэклампсии является перспективным направлением современного акушерства. В нашем исследовании модель Random Forest достигла AUC 0,89 для группы с ожирением, что сопоставимо с результатами Edvinsson C. и соавт. (2024), получивших AUC 0,91 при использовании комбинации лабораторных параметров и ИМТ [7]. Систематический обзор,

проведённый Malik V. и соавт. (2024), также подтвердил превосходство алгоритмов XGBoost и Random Forest над традиционными логистическими моделями [6].

Важным аспектом нашего исследования является демонстрация зависимости диагностической эффективности модели от категории ИМТ. Повышение чувствительности модели при увеличении степени ожирения может объясняться более выраженными патофизиологическими изменениями, которые легче поддаются распознаванию алгоритмами машинного обучения. Как отмечают Varbouni K. и соавт. (2025), ожирение нарушает гормональный баланс, включая снижение уровня глобулина, связывающего половые гормоны, и повышение инсулинорезистентности, что создаёт характерные биохимические паттерны [3].

Полученные данные о прогрессивном повышении уровня протеинурии и артериального давления с увеличением ИМТ согласуются с результатами обзора Schiavone M.J. и соавт. (2024), подчёркивающего, что ожирение и преэклампсия имеют общие патофизиологические механизмы, включающие оксидативный стресс и эндотелиальную дисфункцию [5]. Li T. и соавт. (2024) также показали высокую эффективность моделей машинного обучения при включении материнских характеристик, биофизических и биохимических маркеров [4].

Ограничениями настоящего исследования являются относительно небольшой объём выборки (108 участниц), одноцентровой дизайн и отсутствие внешней валидации модели. Для подтверждения полученных результатов необходимы многоцентровые проспективные исследования с внешней валидацией на независимых когортах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование продемонстрировало, что избыточная масса тела и ожирение являются значимыми предикторами развития преэклампсии, а частота данного осложнения прогрессивно возрастает с

увеличением индекса массы тела. Разработанная прогностическая модель на основе алгоритма Random Forest с включением клинико-лабораторных показателей обеспечивает высокую диагностическую точность (AUC до 0,89), что позволяет проводить персонализированную стратификацию риска уже в первом триместре беременности.

Внедрение подобных моделей искусственного интеллекта в рутинную клиническую практику перинатальных центров открывает принципиально новые возможности для раннего выявления беременных группы высокого риска и своевременного начала профилактических мероприятий, включая назначение низких доз ацетилсалициловой кислоты и модификацию образа жизни. Дальнейшее совершенствование алгоритмов прогнозирования, их многоцентровая валидация и интеграция в системы поддержки принятия клинических решений представляют собой перспективное направление для снижения материнской и перинатальной заболеваемости, обусловленной преэклампсией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang, Y. Pre-pregnancy BMI, gestational weight gain and risk of preeclampsia: a birth cohort study in Lanzhou, China / Y. Wang, N. Zhao, J. Qiu [и др.] // BMC Pregnancy and Childbirth. — 2017. — Vol. 17, № 1. — P. 400. — DOI: 10.1186/s12884-017-1567-2.
2. Chaemsaitong, P. Preeclampsia: Recent Advances in Predicting, Preventing, and Managing the Maternal and Fetal Life-Threatening Condition / P. Chaemsaitong, D. Sahota, G. Poon // International Journal of Environmental Research and Public Health. — 2022. — Vol. 19, № 21. — P. 13715. — DOI: 10.3390/ijerph192113715.
3. Barbouni, K. When Weight Matters: How Obesity Impacts Reproductive Health and Pregnancy — A Systematic Review / K. Barbouni, V. Jotautis, D. Metallinou [и др.] // Current Obesity Reports. — 2025. — Vol. 14. — P. 37. — DOI: 10.1007/s13679-025-00629-9.

4. Li, T. Prediction model of preeclampsia using machine learning based methods: a population based cohort study in China / T. Li, M. Xu, Y. Wang [и др.] // *Frontiers in Endocrinology*. — 2024. — Vol. 15. — P. 1345573. — DOI: 10.3389/fendo.2024.1345573.
5. Schiavone, M. J. The Role of Obesity in the Development of Preeclampsia / M. J. Schiavone, M. Pérez, A. Aquieri [и др.] // *Current Hypertension Reports*. — 2024. — Vol. 26. — P. 247–258. — DOI: 10.1007/s11906-024-01299-z.
6. Malik, V. Prediction of Preeclampsia Using Machine Learning: A Systematic Review / V. Malik, N. Agrawal, S. Prasad [и др.] // *Cureus*. — 2024. — Vol. 16, № 12. — P. e76095. — DOI: 10.7759/cureus.76095.
7. Edvinsson, C. Predicting intensive care need in women with preeclampsia using machine learning — a pilot study / C. Edvinsson, O. Björnsson, L. Erlandsson, S. R. Hansson // *Hypertension in Pregnancy*. — 2024. — Vol. 43, № 1. — P. 2312165. — DOI: 10.1080/10641955.2024.2312165.