



Горячко А.Н. ✉, Пивченко Т.П.

Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

Определение вероятности развития метаболических нарушений у новорожденных от матерей с сахарным диабетом 1-го типа с применением программного обеспечения

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: выбор тематики публикации, обзор публикаций по теме статьи, сбор данных, разработка дизайна статьи, подготовка списка литературы, написание и редактирование статьи, составление резюме – Горячко А.Н.; обзор публикаций по теме статьи, сбор данных, подготовка списка литературы, разработка дизайна, редактирование статьи, составление резюме – Пивченко Т.П.

Подана: 04.03.2026

Принята: 06.04.2026

Контакты: goryachko1966@mail.ru

Резюме

Введение. Разработка компьютерной программы для определения вероятности развития метаболических нарушений у новорожденных от матерей с сахарным диабетом 1-го типа проводилась на основании общеклинических, лабораторных и инструментальных методов исследования младенцев, а также по данным пре-/гравидарного анамнеза матерей и особенностей течения послеродового периода.

Цель. Разработать математическую модель с компьютерной программой сопровождения для определения вероятности развития метаболических нарушений у новорожденных от матерей с сахарным диабетом 1-го типа.

Материалы и методы. В исследование включено 150 доношенных новорожденных, которые составили три исследуемые группы.

Результаты. При изучении 153 показателей удалось установить наиболее значимые факторы, ассоциированные с развитием метаболических нарушений у новорожденных от матерей с сахарным диабетом 1-го типа: гипергликемия у матери во время беременности ($>5,6$ ммоль/л); масса тела новорожденного более 90-го перцентиля, энцефалопатия новорожденного или другие нарушения церебрального статуса, синдром дыхательного расстройства, врожденный порок сердца и/или врожденные аномалии системы кровообращения, гипогликемия на протяжении раннего неонатального периода ($<2,6$ ммоль/л), гиперплазия поджелудочной железы младенца (увеличение размеров тела ($>5,9$ мм), и/или хвоста ($>9,3$ мм), и/или выше референсных значений). Была разработана математическая модель: $z = -5,60 + 3,45X_1 + 3,64X_2 + 1,23X_3 + 1,63X_4 + 1,59X_5 + 1,19X_6 + 1,63X_7$, с компьютерной программой и возможностью дистанционного подключения (<http://pneu.bsmu.by>). Высокие значения отрицательного удвоенного логарифма функции правдоподобия $-2LL=64,006$, меры определенности $R^2=0,793$ и достоверность критерия $\chi^2=126,95$, $p<0,001$, подтверждающие ее статистическую значимость. С помощью ROC-анализа определена площадь под ROC-кривой $AUC=0,97\pm 0,018$ (95% ДИ 0,93–1,0), $p<0,001$,

что при точке разделения 0,325 для данной модели имеет чувствительность 92,0% и специфичность 91,0%.

Заключение. Применение компьютерной программы с возможностью дистанционного подключения (<http://pneu.bsmtu.by>) в практическом здравоохранении позволит прогнозировать развитие метаболических нарушений у новорожденных от матерей с сахарным диабетом 1-го типа.

Ключевые слова: доношенный новорожденный, компьютерная программа, сахарный диабет, метаболические нарушения

Harachka A. ✉, Pivcthenko T.
Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

Determination of the Probability of Developing Metabolic Disorders in Newborns from Mothers with Type 1 Diabetes Mellitus Using Software

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: selection of the publication topic, review of publications on the topic of the article, data collection, development of the article design, preparation of the list of references, writing and editing the article, preparation of the abstract – Harachka A.; review of publications on the topic of the article, data collection, preparation of the list of references, design development, editing the article, preparation of the abstract – Pivcthenko T.

Submitted: 04.03.2026

Accepted: 06.04.2026

Contacts: goryachko1966@mail.ru

Abstract

Introduction. The development of a computer program for determining the likelihood of metabolic disorders in newborns from mothers with type 1 diabetes mellitus was carried out on the basis of general clinical, laboratory and instrumental methods of examining infants included in the study, as well as data from the pre-/gravid anamnesis of mothers and the characteristics of the postpartum period.

Purpose. To develop a mathematical model with a computer tracking program to determine the likelihood of developing metabolic disorders in newborns from mothers with type 1 diabetes mellitus.

Materials and methods. The study included 150 full-term newborns which were divided into three groups.

Results. A study of 153 indicators revealed the most significant factors associated with the development of metabolic disorders in newborns of mothers with type 1 diabetes: maternal hyperglycemia during pregnancy (>5.6 mmol/l); newborn body weight greater than the 90th percentile, neonatal encephalopathy or other cerebral status disorders, respiratory distress syndrome, congenital heart disease and/or congenital circulatory system anomalies, hypoglycemia during the early neonatal period (<2.6 mmol/L), hyperplasia of the infant's pancreas (increased body size (>5.9 mm) and/or tail (>9.3 mm), and/or higher than reference values). A mathematical model has been developed $z = -5.60 + 3.45X_1 + 3.64X_2 + 1.23X_3 + 1.63X_4 + 1.59X_5 + 1.19X_6 + 1.63X_7$ with a computer program

and the possibility of remote connection has been developed (<http://pneu.bsmu.by>). The high values of the negative doubled logarithm of the likelihood function $-2LL=64.006$, the measures of certainty $R^2=0.793$ and the reliability of the criterion $\chi^2=126.95$, $p<0.001$ confirm its statistical significance. Using ROC analysis, the area under the ROC curve $AUC=0.97\pm 0.018$ (95% CI 0.93–1.0), $p<0.001$, was determined, which at a separation point of 0.325 for this model has a sensitivity of 92.0% and a specificity of 91.0%

Conclusion. The use of a computer program with the possibility of remote connection (<http://pneu.bsmu.by>) in practical healthcare will allow predicting the development of metabolic disorders in newborns from mothers with type 1 diabetes.

Keywords: full-term newborn, computer program, diabetes mellitus, metabolic disorders

■ ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет (СД) 1-го типа является наиболее распространенной формой диабета среди детского населения. По данным International Diabetes Federation, в мире зарегистрировано около 1,5 млн человек в возрасте до 20 лет с данным типом СД, общее количество людей с СД 1-го типа составляет порядка 8,75 млн [1, 2].

Эпидемиология СД 1-го типа варьирует в зависимости от популяции и региона обитания. По данным наблюдений Департамента мониторинга, анализа и стратегического развития здравоохранения Минздрава России, за 10 лет распространенность СД 1-го типа возросла на 135 случаев на 100 000 детского населения в период с 2014 по 2023 г. В Республике Беларусь в 2024 г. под наблюдением находилось более 379 тыс. пациентов с различными типами СД, на долю СД 1-го типа приходилось более 19 тыс. случаев. При этом в 2024 г. показатель первичной заболеваемости СД в республике составил 398,7 на 100 тыс. населения, что на 30% выше, чем в 2020 г. (302,9 на 100 тыс. населения). Регистрируется неблагоприятная тенденция к росту впервые выявленного СД 1-го типа в группе 0–20 лет [2, 3].

Применение искусственного интеллекта в медицинской практике позволяет оптимизировать меры медицинской профилактики, повышает скорость и точность принятия решений при диагностике заболеваний, что в последующем должно увеличить продолжительность и качество жизни пациентов [4].

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработать математическую модель с компьютерной программой сопровождения для определения вероятности развития метаболических нарушений у новорожденных от матерей с СД 1-го типа.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены 150 доношенных новорожденных, находившихся в отделении для новорожденных детей, отделении анестезиологии и реанимации (с палатами для новорожденных детей) и педиатрическом отделении для новорожденных ГУ «РНПЦ «Мать и дитя». Дети поступали для лечения и выхаживания в период с 2022 по 2024 г. Все новорожденные дети были разделены на три группы.

Первую исследуемую группу составили 50 доношенных новорожденных от матерей с СД 1-го типа в сроке гестации 37,5 (37,0; 38,0) недели с массой тела

3815,0 (3400; 4120,0) г, длиной тела 52,0 (51,0; 55,0) см, окружностью головы 36,0 (35,0; 36,0) см и груди 35,0 (34,0; 36,0) см.

Во второй исследуемой группе наблюдались 50 доношенных новорожденных от матерей с гестационным СД в сроке гестации 38,5 (37,5; 40,0) недели с массой тела 3410,0 (3080,0; 3630,0) г, длиной тела 52,0 (51,0; 54,0) см, окружностью головы 35,0 (34,0; 36,0) см и окружностью груди 33,0 (33,0; 34,0) см.

В группу контроля вошли 50 здоровых доношенных новорожденных в сроке гестации 39,0 (38,0; 40,0) недели с массой тела 3360,0 (3100,0; 3750,0) г, длиной тела 53,0 (51,0; 55,0) см, окружностью головы 35,0 (34,0; 36,0) см и окружностью груди 33,0 (32,0; 34,0) см.

Для построения математической модели проведен анализ 153 показателей пре-, гравидарного анамнеза и особенностей течения послеродового периода у матерей, клинических проявлений, инструментальных и лабораторных показателей у новорожденных в раннем неонатальном периоде.

Статистическая обработка результатов исследования выполнялась с использованием программ Microsoft Excel, Statistica 10.0 и SPSS Statistics 23. Нормальность распределения количественных признаков проводилась по критериям Колмогорова – Смирнова и Лиллиефорса. Данные представляли в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (25–75%). Для определения различий качественных величин использовался метод хи-квадрат Пирсона (χ^2), в качестве сравнения данных при переходе на таблицу 2x2 – метод с поправкой Йетса ($\chi^2_{\text{Й}}$). При невозможности его применения оценку проводили с помощью точного критерия Фишера (F) или критерия Фишера двустороннего (Fдв). Оценка влияния факторов рассчитывали по отношению шансов (ОШ) с доверительным интервалом ($\pm 95\%$ ДИ) [5].

Вероятность исходов у новорожденных детей определялась с помощью метода логистической регрессии: суммарное участие пациентов – не менее 100, с наличием в каждой из групп не менее 50 новорожденных. Предварительный выбор формулы осуществлялся при максимальных значениях критерия χ^2 . Рассчитывали таблицы с переменными по Вальду, позволяющие построить математические модели. Последующий выбор модели осуществлялся на основании показателей чувствительности и специфичности. Выбор модели проводился также с учетом расчетных параметров удвоенного логарифма функции правдоподобия (-2LL) и меры определенности (R^2 Нэйджелкерка) [6].

Вычисление вероятности проводилось на основании ROC-анализа и полученной математической модели с применением формулы $p = e^z / (1 + e^z)$ для компьютерной обработки и программы сопровождения с возможностью их дистанционного подключения [7].

Исследование проводилось в рамках проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (№ гос. регистрации 20221154 от 04.05.2022). Карты обследования новорожденных детей и информированное согласие родителей для участия в исследовании были утверждены на заседании комиссии по медицинской этике ГУ «РНПЦ «Мать и дитя».

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам обработки данных акушерско-гинекологического и соматического анамнеза, отягощенного течения беременности и особенностей послеродового

периода у матерей, клинических проявлений, данных лабораторных и инструментальных исследований у новорожденных в раннем неонатальном периоде установлены наиболее значимые факторы, ассоциированные с развитием метаболических нарушений у новорожденных детей от матерей с СД 1-го типа. К фактором высокой статистической значимости отнесены: гипергликемия у матери во время беременности ($>5,6$ ммоль/л), масса тела новорожденного более 90-го перцентиля, энцефалопатия новорожденного или другие нарушения церебрального статуса, синдром дыхательного расстройства, врожденный порок сердца и/или врожденные аномалии системы кровообращения, нарушение гомеостаза глюкозы (неонатальная гипогликемия) ($<2,6$ ммоль/л) в течение раннего неонатального периода, гиперплазия поджелудочной железы (увеличение размеров тела ($>5,9$ мм), и/или хвоста ($>9,3$ мм), и/или выше референсных значений) новорожденного (табл. 1) [8–10].

Проведен перевод значимых различий в бинарные переменные. Наличие значений или их выход за нормативные границы шифровали как «1», находящиеся в

Таблица 1
Прогностическая значимость показателей, % (абс.)
Table 1
Predictive significance of indicators, % (abs.)

| Показатель | Первая исследуемая группа, n=50 | Вторая исследуемая группа, n=50 | Группа контроля, n=50 | Статистическая значимость различий | ОШ (95% ДИ) |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Гипергликемия у матери во время беременности ($>5,6$ ммоль/л) | 82,0 (41) | 34,0 (17) | 0,0 (0) | $\chi^2_{\text{И}2-3}=21,72, p<0,001$; $F_{\text{ДВ}2-4}=0,69, p<0,001$; $F_{\text{ДВ}3-4}=0,20, p<0,001$ | ОШ ₂₋₃ =8,84 (4,84–16,15) |
| Масса тела новорожденного более 90-го перцентиля | 52,0 (26) | 6,0 (3) | 4,0 (2) | $F_{\text{ДВ}2-3}=0,26, p<0,001$; $F_{\text{ДВ}2-4}=0,29, p<0,001$ | ОШ ₂₋₃ =16,97 (11,98–24,03); ОШ ₂₋₄ =26,00 (18,46–36,60) |
| Энцефалопатия новорожденного | 60,0 (30) | 24,0 (12) | 0,0 (0) | $\chi^2_{\text{И}2-3}=11,86, p<0,001$; $F_{\text{ДВ}2-4}=0,43, p<0,001$; $F_{\text{ДВ}3-4}=0,14, p<0,001$ | ОШ ₂₋₃ =4,75 (3,17–7,11) |
| Синдром дыхательного расстройства | 52,0 (26) | 16,0 (8) | 0,0 (0) | $\chi^2_{\text{И}2-3}=12,88, p<0,001$; $F_{\text{ДВ}2-4}=0,35, p<0,001$ | ОШ ₂₋₃ =5,69 (3,93–8,23) |
| Врожденный порок сердца | 58,0 (29) | 34,0 (17) | 0,0 (0) | $\chi^2_{\text{И}2-3}=4,87, p=0,027$; $F_{\text{ДВ}2-4}=0,41, p<0,001$; $F_{\text{ДВ}3-4}=0,20, p<0,001$ | ОШ ₂₋₃ =»68 (1,80–4,00) |
| Неонатальная гипогликемия ($<2,6$ ммоль/л) | 46,0 (23) | 22,0 (11) | 10,0 (5) | $\chi^2_{\text{И}2-3}=5,39, p=0,020$; $\chi^2_{\text{И}2-4}=14,34, p<0,001$ | ОШ ₂₋₃ =2,49 (1,69–3,69); ОШ ₂₋₄ =10,57 (7,34–15,21) |
| Гиперплазия поджелудочной железы (тела ($>5,9$ мм), и/или хвоста ($>9,3$ мм), и/или выше референсных значений) | 44,0 (22) | 22,0 (11) | 22,0 (11) | $\chi^2_{\text{И}2-3}=4,52, p=0,034$; $\chi^2_{\text{И}2-4}=4,52, p=0,034$ | ОШ ₂₋₃ =2,79 (1,92–4,04); ОШ ₂₋₄ =2,79 (1,92–4,04) |



Таблица 2
Характеристика независимых переменных в регрессионном уравнении
Table 2

Characterization of independent variables in the regression equation

| Переменная | B | S. E. | Wald | df | Sig | EXP (B) | 95% CI for EXP (B) | |
|--|-------|-------|-------|----|-------|---------|--------------------|--------|
| | | | | | | | Lower | Upper |
| Гипергликемия у матери во время беременности | 3,45 | 0,77 | 19,90 | 1 | 0,000 | 31,45 | 6,91 | 143,11 |
| Масса тела новорожденного более 90-го перцентиля | 3,64 | 1,07 | 11,60 | 1 | 0,001 | 37,98 | 4,68 | 307,97 |
| Энцефалопатия новорожденного | 1,23 | 0,71 | 2,98 | 1 | 0,084 | 3,41 | 0,65 | 13,72 |
| Синдром дыхательного расстройства | 1,63 | 0,74 | 4,87 | 1 | 0,027 | 5,08 | 1,20 | 21,52 |
| Врожденный порок сердца | 1,59 | 0,70 | 5,17 | 1 | 0,023 | 4,90 | 1,25 | 19,29 |
| Неонатальная гипогликемия | 1,19 | 0,69 | 2,96 | 1 | 0,085 | 3,29 | 0,85 | 12,76 |
| Гиперплазия поджелудочной железы | 1,63 | 0,77 | 4,52 | 1 | 0,034 | 5,09 | 1,14 | 22,80 |
| Константа | -5,60 | 1,00 | 31,23 | 1 | 0,000 | 0,004 | | |

нормативном интервале – как «0», для персонификации показателей в качестве зависимой переменной выбрано наличие или отсутствие СД 1-го типа у матери.

В табл. 2 представлена характеристика независимых переменных, вошедших в математическую модель с критерием по Вальду.

Высокие значения отрицательного удвоенного логарифма функции правдоподобия $-2LL=64,006$, меры определенности $R^2=0,793$ и достоверность критерия $\chi^2=126,95$, $p<0,001$, подтверждают высокую статистическую значимость модели.

Представлена формула математической модели для определения вероятности развития метаболических нарушений у новорожденных от матерей с СД 1-го типа:

$$z = -5,60 + 3,45X_1 + 3,64X_2 + 1,23X_3 + 1,63X_4 + 1,59X_5 + 1,19X_6 + 1,63X_7,$$

где X_1 – гипергликемия у матери во время беременности ($>5,6$ ммоль/л): 0 – нет, 1 – есть;

X_2 – масса тела новорожденного более 90-го перцентиля: 0 – нет, 1 – есть;

X_3 – энцефалопатия новорожденного или другие нарушения церебрального статуса: 0 – нет, 1 – есть;

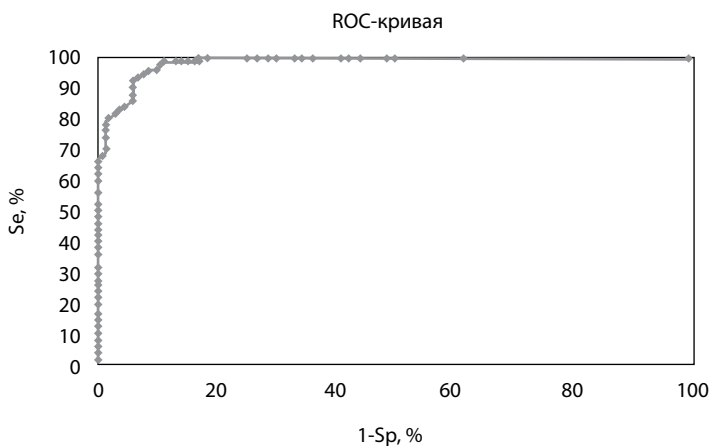
X_4 – синдром дыхательного расстройства у новорожденного: 0 – нет, 1 – есть;

X_5 – врожденный порок сердца и/или врожденные аномалии системы кровообращения у новорожденного: 0 – нет, 1 – есть;

X_6 – гипогликемия новорожденного в раннем неонатальном периоде (неонатальная гипогликемия) ($<2,6$ ммоль/л): 0 – нет, 1 – есть;

X_7 – гиперплазия поджелудочной железы у новорожденного (увеличение размеров тела ($>5,9$ мм), и/или хвоста ($>9,3$ мм), и/или выше референсных значений): 0 – нет, 1 – есть.

С помощью ROC-анализа определена площадь под ROC-кривой $AUC = 0,97 \pm 0,018$ (95% ДИ 0,93–1,0), $p<0,001$, что при точке разделения 0,325 имеет чувствительность 92,0% и специфичность 91,0% (см. рисунок).



Соотношение чувствительности и специфичности модели для определения вероятности развития метаболических нарушений у новорожденных от матерей с СД 1-го типа
The ratio of sensitivity and specificity of the model for determining the probability of developing metabolic disorders in newborns from mothers with type 1 diabetes

Базой для размещения компьютерной программы станет сайт учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет» (<http://pneu.bsmu.by>), что позволит дистанционно рассчитать риск возникновения метаболических нарушений в группе младенцев от матерей с СД 1-го типа любому врачу-специалисту, оказывающему помощь данному контингенту населения с последующим принятием управленческого решения, направленного на усиление диспансерного наблюдения.

■ ВЫВОДЫ

1. Применение программного обеспечения позволит рассчитать вероятность развития метаболических нарушений у новорожденных от матерей с СД 1-го типа, что усовершенствует медицинскую профилактику и снизит риск дезадаптации у данной категории детей.
2. В цифровом эквиваленте проведена оценка значимости производных математической модели при наличии только одного из признаков: гипергликемия у матери во время беременности – 0,1043, масса тела новорожденного более 90-го перцентиля – 0,1235, энцефалопатия новорожденного – 0,0125, синдром дыхательного расстройства – 0,0185, врожденный порок сердца – 0,0178, гипогликемия новорожденного в раннем неонатальном периоде – 0,0120, гиперплазия поджелудочной железы – 0,0185.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Laptev D., Bezlepikina O., Sheshko E., et al. Main epidemiological indicators of type 1 diabetes mellitus in children in the Russian Federation for 2014–2023. *Probl Endokrinol (Mosk)*. 2024;70(5):76–83. doi: 10.14341/probl13515 (in Russian).
2. Ogle G., James S., Dabelea D., et al. Global estimates of incidence of type 1 diabetes in children and adolescents: Results from the International Diabetes Federation Atlas, 10th edition. *Diabetes Res Clin Pract*. 2022;183:109083. doi: 10.1016/j.diabres.2021.109083

3. Council of Ministers of the Republic of Belarus. On the State Program "Healthy Nation" for 2026–2030: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus No. 798 of December 30, 2025 [Internet]. National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus; 2026 Jan 10 [cited 2026 Feb 16]. Reg. No. 6-1/55644. Available from: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500798>
4. Harachka A.M. Artificial Intelligence in Determining the Probability of Developing Congenital Pneumonia and Hemorrhagic Syndrome in Newborns. *Reproductive Health. Eastern Europe*. 2023;13(3):268–278. doi: 10.34883/Pl.2023.13.3.007 (in Russian).
5. Lang T.A., Sesik M. How to describe statistics in medicine: an annotated guide for authors, editors and reviewers. Moskva: Prakticheskaya medicina, 2011; 480 p. (in Russian).
6. Petri A., Sebin K. *Visual medical statistics*. Moskva: GEOTAR-Media, 2015; 586 p. (in Russian).
7. Harachka A.M. Validity of the express method with a computer support program to determine the probability of developing congenital pneumonia in premature newborns with low birth weight. *Ger Intern J Mod Sci*. 2023;(58):37–41. doi: 10.5281/zenodo.8054534
8. Diagnosis and treatment of patients with diabetes mellitus (adult population) [Internet]. Minsk: Ministry of Health of the Republic of Belarus; 2021 [cited 2026 Feb 13]. Available from: minzdrav.gov.by (in Russian).
9. Provision of medical care in neonatology [Internet]. Minsk: Ministry of Health of the Republic of Belarus; 2022 [cited 2026 Feb 13]. Available from: minzdrav.gov.by (in Russian)
10. Pykov M. *Measurements in pediatric ultrasound diagnostics: A handbook*. Moscow: Izdatel'skiy dom Vidar-M, 2018; 9–19 p. (in Russian).