

УДК 621.391.833

Н.П. Мустецов, С.А. Баган

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков*

## СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ГЕСТОЗА С УЧЕТОМ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕМОДИНАМИКИ В ПЕРИНАТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД

*В работе рассмотрены особенности функционирования центральной гемодинамики беременных при наличии сердечно-сосудистых заболеваний. Повышение количества сердечно-сосудистых заболеваний среди беременных обуславливает разработку современных методов и средств диагностики и мониторинга их состояния. В работе предложен подход к диагностике гестоза (гипертензивные состояния, отеки, токсикозы) на основе анализа основных гемодинамических показателей, что позволяет объективно оценить состояние беременных, установить тип гемодинамики и осуществлять контроль над эффективностью проводимых терапевтических процедур.*

**Ключевые слова:** беременность, система сердечно-сосудистая, гестоз, параметры гемодинамические, сети нейронные.

### Введение

**Постановка проблемы.** Несмотря на современный уровень медицинских технологий, в мире ежегодно умирает около 50 тыс. женщин в период беременности и родов. Одной из наиболее частых патологий организма беременных являются болезни сердечно-сосудистой системы, осложняющие течение беременности, родов и послеродового периода. Наиболее сложной патологией в акушерстве считают гестоз – проникновение белка плазмы и жидкости крови через перфорацию сосудов (заболевание, которое встречается только у беременных). К сожалению, несмотря на современные успехи в профилактике, диагностике и лечении, перинатальная смертность при гестозе в 3–4 раза превышает популяционную и составляет от 18 до 30%.

Гестоз возникает при несоответствии возможностей адаптационных систем организма матери адекватно обеспечить потребности плода. В патогенезе гестоза особая роль отводится системным гемодинамическим сдвигам в организме беременной женщины, которые и обуславливают основные клинические проявления заболевания, развитие осложнений и исход.

Своевременная диагностика гестоза с учетом показателей гемодинамики в перинатальный период позволит адекватно оценивать эффективность индивидуальной тактики ведения беременности, родов и послеродового периода, что, в свою очередь, позволит уменьшить материнскую летальность, перинатальной заболеваемости и смертность при основных формах.

**Анализ публикаций.** Гестоз у беременных является главной причиной смерти женщин в третьем триместре беременности [1]. При развитии этого осложнения на поздних сроках и в родах гибнет до трети всех детей. Экстрагенитальная патология является

тем неблагоприятным фоном развития беременности, на котором сокращаются или ограничиваются возможности адаптационных механизмов, а также усугубляются все осложнения, возникающие во время беременности, родов и послеродовом периоде [2].

Значительное количество неблагоприятных исходов беременности и родов у женщин с сердечно-сосудистой патологией обусловило поиск оптимальной тактики ведения и методов лечения этих беременных [3].

На протяжении последних десяти лет было опубликовано немало сообщений о высокой прогностической ценности исследования показателей центральной гемодинамики женщины при гестационном процессе [4]. В связи с этим, следует признать актуальной необходимость поиска новых прогностических и диагностических критериев неблагоприятного течения беременности и родов, что позволит своевременно выявлять группу повышенного риска перинатальных осложнений в целях профилактики или снижения тяжести подобных осложнений [5]. У женщин после перенесенного осложнения страдают почки, развивается хроническая артериальная гипертензия [6]. Особенностью течения гестозов в настоящее время является преобладание форм со стертой клинической картиной заболевания. В связи с этим возникает необходимость определения дополнительных объективных критериев оценки степени тяжести гестоза и прогнозирования возможных осложнений в течении беременности и родов [7]. Гемодинамическая неоднородность женщин позволила выделить основные типы гемодинамики, на фоне которых развивается беременность и возможно возникновение гестоза [6–7]. Перспективным направлением диагностики и прогнозирования гестоза является использование информационных технологий, позволяющих вычислять косвенные данные и медико-

биологические показатели, максимально приближенные к результатам инвазивных измерений [8].

**Цель исследования.** Синтез системы диагностики гестоза на базе нейронной сети с использованием гемодинамических показателей сердечно-сосудистой системы беременных, измеряемых неинвазивно.

### **Взаимосвязь гемодинамических показателей женщин в перинатальный период с гестозом**

По данным ВОЗ, гестоз диагностируется в 2–8% беременностей, составляя основную часть всех гипертензивных нарушений при беременности. Данная проблема имеет большое социальное значение в связи с высоким процентом заболеваемости не только матери, но и ребенка (8,9–74,1%). При гестозе формируется парадоксальное сочетание: гиповолемия (увеличение объема циркулирующей крови и плазмы) на фоне задержки большого количества жидкости в интерстиции (внеклеточной жидкости), что приводит к снижению адекватности гемодинамики.

Нами было выявлено [8–9], что компенсаторно-приспособительные возможности сердечно-сосудистой системы во время беременности находятся в прямой пропорциональной зависимости от исходных значений показателей кровотока и соответственно от типа гемодинамики. Варианты изменений гемодинамики зависят от многих причин: степени тяжести гестоза; длительности его течения; сопутствующего фонового заболевания беременной. Адекватность выбора средств комплексной терапии гестоза зависит от особенностей гемодинамики и клинического проявления гестоза конкретной пациентки.

Комплексная оценка центральной и регионарной гемодинамики матери позволяет в некоторой степени прогнозировать нарастание степени тяжести гестоза, оценить опасность возникновения эклампсии, риск прогрессирования плацентарной недостаточности.

### **Патогенетические варианты гемодинамических показателей в перинатальный период**

При исследовании гемодинамики беременных выделяют три основных патогенетических варианта нарушений системного кровообращения.

Нормальный, (эукинетический) тип кровообращения, при котором изменяются показатели системы гемодинамики в соответствии с нормально развивающейся беременностью. Артериальное давление в первую половину беременности снижено на 10–12 мм рт.ст., а начиная с 20 недели настолько же повышено. Ударный и систолический объемы сердца несколько повышены за счет увеличения силы сердечных сокра-

щений. Общее периферическое сосудистое сопротивление понижено по сравнению с состоянием до беременности. Сердце работает в нормальном режиме.

Гиперкинетический тип характеризуется увеличением ударного и минутного объема сердца, возрастанием систолического объема при снижении сосудистого тонуса, периферического сосудистого сопротивления, повышенной лабильности пульса и артериального давления. Этот тип характерен для юных и молодых женщин, пациенток с нейроциркуляторной дистонией, артериальной гипотонией, при хронической инфекции и гипофункции коры надпочечников.

Гипокинетический тип кровообращения сочетает в себе снижение сократительной активности сердца (уменьшение ударного и сердечного индексов) и повышение периферического сосудистого сопротивления, как следствие длительного сосудистого спазма, нарушения метаболизма в миокарде и повышенной свертываемости крови. Этот тип кровообращения чаще встречается у женщин позднего репродуктивного возраста с артериальной гипертонией, нейроэндокринно-обменными нарушениями, при заболевании почек и печени.

Развиваясь на фоне различных типов гемодинамики, гестоз не только изменяет ее характеристики, но имеет различный прогноз в отношении исхода беременности для матери и плода.

В отличие от нормально развивающейся беременности при гестозе сократительная функция миокарда существенно снижается. Уменьшаются сила сердечных сокращений, ударный и минутный объемы сердца. Нарушаются метаболические процессы в миокарде, почках, надпочечниках. Сосудистое периферическое сопротивление повышается значительно из-за длительного генерализованного спазма артериол и прекапиллярных сфинктеров, а также из-за нарушений в системе микроциркуляции.

Снижается объем циркулирующей крови на 1200–1500 мл. и более. Именно этот объем необходим для обеспечения маточно-плацентарного кровообращения. Гиперволемия, характерная для беременности, сменяется гиповолемическим синдромом, при котором поддерживается длительный сосудистый спазм, приспособляя объем сосудистого русла к сниженному объему крови. Парадоксальное сочетание гиповолемии и тканевых отеков усугубляет гипоперфузию в жизненно важных органах и тканях.

Гестозу присущи дисфункции вегетативной системы, лабильность сосудистого тонуса, метаболические расстройства, а также структурно-функциональные нарушения основных систем регуляции гемостаза.

При длительно протекающем, сочетанном гестозе, при особо тяжелых формах его клинического проявления преобладает гипокинетический тип гемодинамики.

## **Синтез системы диагностики гестоза**

Основой системы диагностики гестоза была использована искусственная нейронная сеть, с использованием пакета прикладных программ Statistica. Задачей системы является определение типа патологии беременных на базе 18 гемодинамических показателей.

Для построения нейронной сети оценки состояния сердечно-сосудистой системы беременных был разработан следующий алгоритм.

Первый этап – определение типа анализа, который необходимо провести. В нашем случае нейронная сеть должна классифицировать патологии сердечно-сосудистой системы с очень высоким, высоким, средним, низким и очень низким уровнями риска для состояния беременной и плода.

Вторым этапом является определение набора исходных данных. Набор данных, используемый для обучения нейронной сети, представляет собой результаты диагностики, для которых указаны значения входных и выходных переменных.

В качестве исходных данных были использованы результаты обследований пациенток родильного дома № 5 г. Харькова, и представляют собой 147 диагнозов, для которых известны значения 18 входных параметров состояния здоровья беременной.

Как отмечено выше, существует три основных патогенетических варианта нарушений системного кровообращения. Однако, для более глубокой оценки состояния гемодинамики врачи из диагностического отделения родильного дома № 5 г. Харькова условно делят пациенток на 7 групп, в основе которых лежат 3 основных типа гемодинамики. В соответствии с этим пациентки были разбиты на семь групп:

1 группа – пациентки с гестозом тяжелой степени, что соответствует номинальному значению «очень высокий» (4 пациентки);

2 группа – пациентки с гестозом легкой степени тяжести, что соответствует номинальному значению «очень низкий» (19 пациенток);

3 группа – пациентки с гестозом средней степени тяжести, что соответствует номинальному значению «средний» (39 пациентки);

4 группа – пациентки с гестозом легкой степени тяжести с тенденцией к средней степени тяжести, что соответствует номинальному значению «низкий» (20 пациенток);

5 группа – пациентки с гестозом средней степени тяжести с тенденцией к тяжелой степени тяжести, что соответствует номинальному значению «выше среднего» (30 пациенток);

6 группа – пациентки с гестозом средней степени тяжести с тенденцией к легкой степени тяжести, что соответствует номинальному значению «ниже среднего» (22 пациентки);

7 группа – пациентки с гестозом тяжелой степени тяжести с тенденцией к средней степени тяжести, что соответствует номинальному значению «высокий» (13 пациенток).

Построенная модельная база показателей пациенток была разбита на две выборки – обучающую и контрольную. В качестве тестового множества к рассмотрению были выбраны данные 40 пациенток, данные которых лег в основу генерации модельной базы.

Третьим этапом синтеза системы является построение и обучение нейронной сети. В нашем случае обучение сети представляет собой минимизацию квадратичной ошибки на обучающем множестве с использованием градиента.

Градиент оценки вычисляли методом двойственности, а именно, методом обратного распространения ошибки, который является алгоритмом градиентного спуска.

Функцией активации выбрали логистическую функцию, а функцией ошибки – среднеквадратичную.

Для выбора минимального числа нейронов и определения структуры сети использовали процедуру контрастирования.

Четвертый этап – тестирование и проверка эффективности нейронной сети. Для тестирования применяется тестовая выборка, и анализируются значения классификации. Если сеть обучена не верно, и результаты классификации неудовлетворительны, необходимо изменить архитектуру сети.

Задача классификации решалась с помощью многослойного персептрона (MPL), радиальной базисной функции (RBF), вероятностной нейронной сети и сетей Кохонена. Сети Кохонена обычно применяются в случае, когда имеются только входные значения.

Сеть на основе радиальной базисной функции и многослойный персептрон являются примерами нелинейной многослойной сети прямого распространения.

MPL обеспечивает глобальную аппроксимацию нелинейного отображения.

RBF с помощью уменьшающихся локализованных нелинейностей (т.е. функций Гаусса) обеспечивает локальную аппроксимацию нелинейного отображения.

Согласно следствию теоремы Колмогорова-Арнольда-Хехт-Нильсена показано, что для любого множества пар  $(X_k; Y_k)$  (где  $X_k$  и  $Y_k$  – скаляры) существует однородная нейронная сеть первого порядка с одинаковыми функциями активации и с одним промежуточным слоем, с последовательными связями и с конечным числом нейронов, которая выполняет отображение  $X \rightarrow Y$ , выдавая на каждый входной сигнал  $X_k$  правильный выходной сигнал  $Y_k$ . Нейроны в такой нейронной сети должны иметь сигмоидальные передаточные функции.

Количество скрытых слоев в RBF соответствует 1, как и в трехслойном персептроне (входной, скры-

тый, выходной). Поэтому при тестировании в качестве типа нейронной сети мы выбирали трехслойный персептрон и радиальную базисную функцию.

В нашем случае размерность входного вектора равна  $N_x=18$ , поэтому входной слой содержит 18 нейронов; число нейронов в выходном слое соответствует числу классов ( $N_y=7$ ), на которые предполагается разбить выборку данных.

Неизвестным является число нейронов в промежуточном слое  $N$ . Для оценки числа нейронов в скрытом слое однородной нейронной сети мы воспользовались формулой для оценки необходимого числа синаптических весов  $N_w$  в многослойной сети с сигмоидальными передаточными:

$$\frac{N_y \times N_p}{1 + \log_2(N_p)} \leq N_w \leq N_y \left( \frac{N_p}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y,$$

где  $N_y$  – размерность выходного сигнала;  $N_p$  – число элементов обучающей выборки;  $N_x$  – размерность входного сигнала.

$$\frac{7 \times 147}{1 + 7,2} \leq N_w \leq 7 \left( \frac{147}{18} + 1 \right) (18 + 7 + 1) + 7.$$

Округляя до целых чисел, получаем:  
 $126 \leq N_w \leq 1675$ .

Оценив необходимое число весов, можно рассчитать число нейронов в скрытых слоях. Так, число нейронов в нейронной сети с одним скрытым слоем составит:

$$N = \frac{N_w}{N_x + N_y};$$

$$N_{\min} = \frac{126}{18 + 7} \approx 5 \text{ и } N_{\max} = \frac{1675}{18 + 7} \approx 67.$$

То есть  $5 \leq N \leq 67$ .

Экспериментируя с количеством элементов в скрытом слое из полученного диапазона значений  $N$  и типом сети (RBF или MLP) приходим к выводу, что минимальное значение квадратичной ошибки на обучающем множестве соответствует сети RBF с 60 элементами в скрытом слое. Итоги моделирования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Итоги моделирования

Summary of active networks			
Index	Net name	Training perf..	Test perf.
1	RBF 25-60-7	92,30769	86,71429
Index	Validation perf.	Training algoritm	Hidden activation
1	80, 95238	RBFT	Gaussian

В матрице ошибок классификации (см. табл. 2) отображена вся информация о том, сколько объектов каждого из наблюдаемых классов зависимой переменной отнесено по результатам классификации к тому или иному классу.

По диагонали показано количество правильно классифицированных переменных. В таблице указан также объем обучающей выборки. Исходные классы соответствуют столбцам матрицы, предсказанные классы – строкам.

Таблица 2

Матрица ошибок классификации

Predicted category	Гестоз (Confusion matrix)						
	1	2	3	4	5	6	7
RBF 25-60-7-1	2	0	0	0	0	0	0
RBF 25-60-7-2	0	16	1	0	0	0	6
RBF 25-60-7-3	0	0	26	0	0	0	0
RBF 25-60-7-4	0	0	0	12	0	0	0
RBF 25-60-7-5	0	0	0	0	23	0	0
RBF 25-60-7-6	0	0	0	0	0	13	0
RBF 25-60-7-7	0	0	0	0	0	0	5

В рамках данной работы мы используем данные обучающей выборки. В верхней части табл. 3 можно увидеть суммарные статистики (общее число пациенток в каждом классе, число классифицированных правильно, ошибочно), а в нижней части – кросс-результаты классификации в % (какой процент пациенток из данного столбца был отнесен к данной строке).

Таблица 3

Таблица результатов классификации

1.RBF 25-60-7	ГЕСТОЗ	1	2	3	4
	Всего	2	16	27	12
	Верно	2	16	25	12
	Неверно	0	0	2	0
	Верно (%)	100	100	92.6	100
	Неверно (%)	0	0	7.4	0
	ГЕСТОЗ	5	6	7	1-7
	Всего	23	13	11	147
	Верно	22	13	8	142
	Неверно	1	0	3	5
	Верно (%)	95.7	100	72.7	92.3
	Неверно (%)	4.3	0	27.3	7.69

Система диагностики гестоза на базе нейронной сети с использованием гемодинамических показателей позволила классифицировать пациенток с патологией сердечно-сосудистой системы с достаточно высоким процентом (см. рис. 1) – общий процент верно классифицированных составил 92,3 % (142 пациентки из 147) и общий процент неверно классифицированных составил всего 7,69% (5 пациенток из 147).

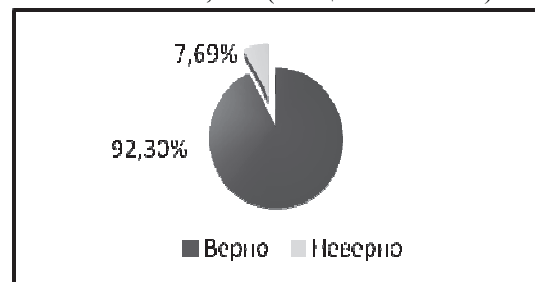


Рис. 1. Адекватность классификации пациенток при диагностике гестоза в процентном соотношении

Діагностика гестоза у жінок в перинатальний період на базі нейронної мережі дозволяє визначити тип патогенетичного варіанта порушень системного кровообігу і встановити ступінь тяжкості гестоза.

На рис. 2. представлено графічне зображення результатів по групах, з урахуванням адекватності класифікації в процентному співвідношенні.

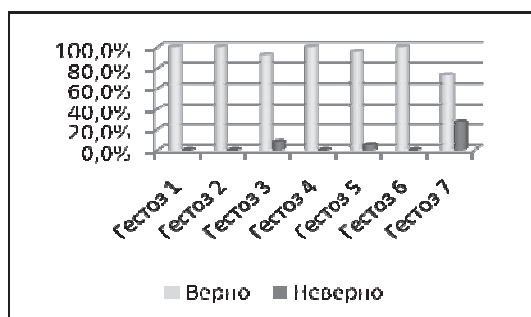


Рис. 2. Адекватність класифікації пацієнток при діагностиці гестозу в процентному співвідношенні по групах

Розроблена система діагностики гестозу з урахуванням дослідження гемодинаміки в перинатальний період може бути використана для оцінювання критичного стану вагітних і для прогнозування течія найбільш поширених серцево-судинних захворювань.

## Висновки

Показано, що діагностика гестозу є дуже складною задачею, в силу неопределенності ознак, рішення якої в значительній ступені залежить від знань і досвіду лікаря.

Представлено систему діагностики гестозу, на базі штучної нейронної мережі з використанням стандартного набору показників гемодинаміки.

Проведено оптимізацію структури штучної нейронної мережі і показано, на реальних

клінічних даних, ефективність її використання для діагностики гестозу.

## Список літератури

1. Охалкин М.Б. Преэклампсия: гемодинамический адаптационный синдром [Текст] / М.Б. Охалкин, В.Н. Серов, В.О. Лопухин // АГ-инфо. – 2002. – №3. – С. 9-12.
2. Виноградова Т.С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы: [Справочник] / Т.С. Виноградова. – Москва: Медицина, 1986. – 416 с.
3. Поль Д. Уайт. Ключи к диагностике и лечению болезней сердца [Текст]: Пер. с англ. В.Дмитрук / Поль Д. Уайт. – Москва: Медицинская литература, 2002. – 190 с.
4. Силиберто К.Ф. Физиологические изменения, связанные с беременностью [Текст]: пер. с англ. А.Меликов / К.Ф. Силиберто, Г.Ф. Маркс. – Москва: Мир, 1996. – С. 284-315.
5. Энкин М. Руководство по эффективной помощи при беременности и родах [Текст] / М. Энкин, М. Марк Кейрс, Д. Нейлсон, К. Краутер и др.: Пер. с англ. под ред. Михайлова А.В. и др. – СПб.: «Петрополис», 2003. – 477 с.
6. Профилактика и терапия гестоза [Текст] / Г.М. Савельева, В.И. Кулаков, В.Н. Серов и др. // Рос. вестн. акуш.-гинеколог. – 2001. – Т.1, № 3. – С. 66-72.
7. Asaeta G., Ferreira R., Pierre-Louis A. et al. Uncommon seizures: Eclampsia in the postpartum patient [Text] / Asaeta G., Ferreira R., Pierre-Louis A // J. Emerg. Med. Serv. – 2005. – V.30, № 2. – P.36-38.
8. Мустецов М.П. Оптимізація діагностики гемодинамічних параметрів вагітних [Текст] / М.П. Мустецов, О.М. Дацок, С.А. Красникова // XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (microCad-2010). – Харків, 12-14 травня 2010 р. – С. 89.
9. Мустецов Н.П. Особенности функционирования и оценка состояния системы «мать-плацента-плод» [Текст] / Н.П. Мустецов, О.М. Дацок, С.А. Красникова // XI Международная научно-техническая конференция «Проблемы информатики и моделирования», Харьков-Ялта, 26-28 вересня 2011 г. – С. 36.

Поступила в редакцию 13.05.2017

**Рецензент:** канд. физ.-мат. наук доц. Н.И. Билецкий, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.

## СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ГЕСТОЗУ З УРАХУВАННЯМ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕМОДИНАМІКИ В ПЕРИНАТАЛЬНИЙ ПЕРІОД

М.П. Мустецов, С.О. Баган

В роботі запропоновано використання нейронних технологій для підвищення ефективності діагностики гестозу вагітних. Запропоновано підхід до оптимізації діагностики гестозу на основі вимірювання основних показників гемодинаміки, який дозволяє об'єктивно оцінити стан пацієнта та оцінювати ефективність терапевтичних впливів. Система діагностики на базі нейронної мережі дозволяє встановити тип гемодинаміки, а також здійснювати контроль центральної гемодинаміки вагітних, стан яких ускладнюється серцево-судинними захворюваннями. Ефективність запропонованого підходу діагностики гестозу підтверджено порівнянням з реальними результатами обстеження та лікування вагітних в умовах лікувального закладу.

**Ключові слова:** вагітність, система серцево-судинна, гестоз, параметри гемодинамічні, мережі нейронні.

## OPTIMIZATION DIAGNOSTICS OF PREECLAMPSIA TAKING INTO ACCOUNT THE RESEARCH OF HEMODYNAMICS IN THE PERINATAL PERIOD

N. Mustetsov, S. Bagan

In this work the parameters of central hemodynamics in pregnancy complicated by cardiovascular disease. Distribution of cardiovascular disease among pregnant women leads to the creation of modern methods and technical means of diagnostics and monitoring, aimed at improving the efficiency of registration and processing of biomedical indicators, and the development of methods of processing of diagnostic indicators. The proposed approach to optimization of the diagnosis of preeclampsia using registration key hemodynamic parameters, which allows to objectively evaluate the hemodynamics in pregnant women with preeclampsia, to determine the type of hemodynamics in pregnant women and to monitor the effectiveness of the therapy.

**Keywords:** pregnancy, cardio-vascular system in preeclampsia, the hemodynamic parameters of the neural network.