

УДК 618.3-06

DOI: 10.24884/1682-6655-2024-23-4-98-104

Т. И. ШИШКАНОВА, Д. А. КАПИТАНОВА,
А. Е. МАРКИНА, Е. А. АЛЯМКИНА, Т. И. ВЛАСОВА**Фотоплетизмография в оценке микроциркуляции кожи
у беременных с гестационной артериальной гипертензией****Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» Минобрнауки России, г. Саранск, Россия****430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68****E-mail: vlasova-t.i@mrsu.ru***Статья поступила в редакцию 15.09.24 г.; принята к печати 25.10.24 г.***Резюме**

Введение. Одной из актуальных проблем современного акушерства является гестационная артериальная гипертензия (ГАГ), которая влечет за собой целый спектр осложнений как для матери, так и для плода. В связи с этим, необходим поиск экономически доступных, информативных и безопасных методов ранней диагностики нарушений маточно-плацентарного кровотока у беременных женщин. **Цель** – при ГАГ изучить особенности периферического и маточно-плацентарного кровотока беременных, оценить состояние сосудистой стенки беременных методом фотоплетизмографии и определить его сопряженность с нарушениями маточно-плацентарного кровотока. **Материалы и методы.** Клинически исследованы 78 пациенток сроком от 22 до 40 недель беременности, разделенных на две группы: первая группа (n=42) – беременные с ГАГ, вторую группу – контрольную (n=36) составили пациентки с физиологическим течением гестации. Исследование включало в себя оценку объективного клинического статуса беременной, запись и контурный анализ фотоплетизмограмм, ультразвуковое исследование маточно-плацентарного и фетоплацентарного кровотока, статистическую обработку полученных результатов. **Результаты.** При сравнении антропометрических характеристик исследуемых групп выявлено увеличение индекса массы тела (ИМТ) в группе беременных с ГАГ ($p < 0,05$). Контурный анализ данных фотоплетизмографии (ФПГ) показал увеличение индекса аугментации у беременных с ГАГ на 73,47 % ($p = 0,054$), повышение уровня центрального артериального давления на 3,6 % ($p < 0,05$). Изменения периферической гемодинамики у беременных с гипертензивным расстройством были сопряжены с нарушениями фетоплацентарного кровотока ($r_{xy} = 0,52–0,86$, $p < 0,05$), что сопровождалось более низкими параметрами биометрии плода ($p < 0,05$). **Заключение.** Гемодинамические нарушения в системе «мать–плацента–плод» коррелируют с изменениями параметров периферического кровообращения, что позволяет считать дополнительное использование метода фотоплетизмографии перспективным в аспекте ранней диагностики и профилактики развития перинатальных осложнений матери и плода.

Ключевые слова: гестационная артериальная гипертензия, микроциркуляция, фотоплетизмография, беременность

Для цитирования: Шишканова Т. И., Капитанова Д. А., Маркина А. Е., Алямкина Е. А., Власова Т. И. Фотоплетизмография в оценке микроциркуляции кожи у беременных с гестационной артериальной гипертензией. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2024; 23(4): 98–104. Doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-4-98-104.

UDC 618.3-06

DOI: 10.24884/1682-6655-2024-23-4-98-104

TATIANA I. SHISHKANOVA, DARYA A. KAPITANOVA,
ALINA E. MARKINA, ELENA A. ALYAMKINA,
TATIANA I. VLASOVA**Photoplethysmography in assessment of skin microcirculation
in pregnant women with gestational arterial hypertension****Ogarev National Research Mordovian State University, Saransk, Russia****68, Bol'shevistskaya str., Saransk, Russia, 430005****E-mail: vlasova-t.i@mrsu.ru***Received 15.09.24; accepted 25.10.24***Summary**

Introduction. One of the urgent problems of modern obstetrics is gestational arterial hypertension (GAH), which entails a whole range of complications for both mother and fetus. In this regard, it is necessary to search for economically accessible, informative and safe methods for early diagnosis of uteroplacental blood flow disorders in pregnant women. **The aim** of the study was to investigate the features of peripheral and uteroplacental blood flow in pregnant women with GAH, to assess the state of the vascular wall of pregnant women using photoplethysmography and to determine its association with uteroplacental blood flow disorders.

Materials and methods. A total of 78 patients with 22 to 40 weeks of pregnancy, divided into two groups, were clinically examined: the first group (n=42) were pregnant women with GAH, the second group - the control group (n=36) consisted of patients with physiological course of gestation. The study included assessment of the objective clinical status of the pregnant woman, recording and contour analysis of photoplethysmograms, ultrasound examination of the uteroplacental and fetoplacental blood flow, and statistical processing of the results. **Results.** When comparing the anthropometric characteristics of the studied groups, an increase in BMI was found in the group of pregnant women with GAG ($p < 0.05$). Contour analysis of photoplethysmography (PPG) data showed an increase in the augmentation index in pregnant women with GAG by 73.47 % ($p = 0.054$), an increase in central arterial pressure by 3.6 % ($p < 0.05$). Changes in peripheral hemodynamics in pregnant women with hypertensive disorder were associated with impaired fetoplacental blood flow ($r_{xy} = 0.52-0.86$, $p < 0.05$), which was accompanied by lower fetal biometry parameters ($p < 0.05$). **Conclusion.** Hemodynamic disturbances in the mother-placenta-fetus system correlate with changes in the parameters of peripheral circulation, which allows us to consider the additional use of the photoplethysmography method as promising in terms of early diagnostics and prevention of perinatal complications in mother and fetus.

Keywords: gestational arterial hypertension, microcirculation, photoplethysmography, pregnancy

For citation: Shishkanova T. I., Markina A. E., Alyamkina E. A., Kapitanova D. A., Vlasova T. I. Photoplethysmography in assessment of skin microcirculation in pregnant women with gestational arterial hypertension. *Regional hemodynamics and microcirculation*. 2024;23(4):98–104. Doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-4-98-104.

Введение

В настоящее время в структуре патологий беременности одно из ведущих мест занимает гестационная гипертензия, являющаяся предиктором развития преэклампсии – грозного состояния, угрожающего жизни как матери, так и плода [1–3].

В патогенезе гипертензивных расстройств важную роль играет эндотелиальная дисфункция, замыкающая на себе несколько порочных кругов, участвующих в развитии гестоза [4, 5]. Известно, что эндотелий является многофункциональной тканью, которая не только анатомически обеспечивает барьер между кровью и сосудистой стенкой, но и осуществляет синтез огромного числа различных веществ, участвующих в поддержании реологических свойств крови, ангиогенезе, воспалительной реакции. Системное нарушение функций эндотелия, при беременности в том числе, приводит к развитию дисангиогенеза, нарушению баланса между прокоагулянтным и антисвертывающим потенциалом крови, нарушает сосудистый тонус и приводит к дезадаптации сердечно-сосудистой системы [6]. Ряд исследований рассматривают формирование преэклампсии (наиболее тяжелого гипертензивного расстройства беременности) в контексте значимости предсуществующих особенностей фенотипа сердечно-сосудистой системы женщины, которые при наступлении беременности в условиях физиологического увеличения объема циркулирующей крови, не позволяют системе адекватно компенсаторно снизить общее сосудистое сопротивление [7, 8].

На сегодняшний день прогнозирование этих расстройств и их осложнений основывается на многих клинических характеристиках, гемодинамике и плацентарных показателях (с помощью доплеровской флоуметрии маточной артерии и/или уровней циркулирующих ангиогенных белков) [9]. Данные подходы имеют ограничение по частоте использования в связи с рисками для плода и являются экономически затратными, что затрудняет их скрининговое использование. При этом раннее выявление женщин без клинических проявлений гипертензивных расстройств, более склонных к развитию гестационной артериальной гипертензии (ГАГ) и других осложнений, позволит своевременно корректировать тактику ведения пациентки с позиции профилактики разви-

тия данных состояний и их осложнений для матери и плода. Использование в настоящее время неинвазивных методов диагностики функционального состояния сосудистой стенки открывает перспективы в профилактике кардиоваскулярной патологии у беременных. Одним из перспективных, неинвазивных, безопасных и экономически доступных методов является фотоплетизмография (ФПГ).

В этой связи **цель** настоящего исследования – при ГАГ изучить особенности периферического и маточно-плацентарного кровотока беременных, оценить состояние сосудистой стенки беременных методом фотоплетизмографии и определить его сопряженность с нарушениями маточно-плацентарного кровотока.

Материалы и методы исследования

На базе перинатального центра Республики Мордовия было проведено проспективное обсервационное поперечное исследование беременных женщин со сроком гестации 22–40 недель (n=78). Пациентки были поделены на две группы в зависимости от наличия гестационной артериальной гипертензии. Диагноз выставляли на основании действующих клинических рекомендаций «Преэклампсия. Эклампсия. Отеки, протеинурия и гипертензивные расстройства во время беременности, в родах и в послеродовом периоде» (2020). Первая группа (n=42) – женщины с физиологическим течением гестации, вторая группа (n=36) – беременные с гестационной гипертензией.

Критериями включения в первую группу (контроля) являлись: пациентки от 18 до 45 лет, с одноплодной беременностью, без сопутствующих акушерских осложнений, соматически здоровые, наличие добровольного информированного согласия на участие в исследовании.

Критерии включения во вторую (основную) группу: пациентки от 18 до 45 лет, с одноплодной беременностью, которая осложнилась гестационной гипертензией, наличие добровольного информированного согласия на участие в исследовании.

Критериями исключения для всех групп являлись: наличие артериальной гипертензии до беременности, многоплодная беременность, аномалии развития

плода, инфекционные, аутоиммунные и психические заболевания, отказ от участия в исследовании.

Все исследования проводилось при наличии одобрения локального этического комитета медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва».

С целью оценки состояния беременных проводилась общеклиническая диагностика, включающая в себя сбор данных анамнеза, осмотр, определение индекса массы тела (ИМТ), измерение артериального давления и частоты сердечных сокращений (систолическое и диастолическое артериальное давление (САД и ДАД), частоту сердечных сокращений (ЧСС) определяли в утренние часы с трехкратным повтором на каждой из верхних конечностей с помощью автоматического тонометра «Omron M2 Basic» с последующим усреднением полученных показателей) с последующим расчетом среднего артериального давления (СрАД) по формуле $\text{СрАД} = \text{ДАД} + (\text{САД} - \text{ДАД})/3$.

Использовались инструментальные методы диагностики: ультразвуковое исследование с доплерометрией и фетометрией проводилось УЗ-системой Toshiba «Хario XG», определяли скоростные и параметры маточно-плацентарного кровотока (скорость кровотока маточных артерий, артерии пуповины с расчетом пульсационного индекса (ПИ) по формуле $\text{ПИ} = (\text{PSV} - \text{EDV}) / \text{Vmean}$), где PSV (peak systolic velocity) – пиковая систолическая скорость, EDV (end diastolic velocity) – конечно-диастолическая скорость, Vmean – средняя скорость кровотока) с целью получения данных о состоянии фетоплацентарного кровотока и биометрии плода (стандартные размеры плода см. ниже).

Для оценки состояния сосудистой стенки использовался метод фотоплетизмографии (ФПГ). Для фиксации датчика использовали II палец правой руки. Время записи 2 минуты. При проведении исследования, пациентки находились в положении сидя. Для оценки использовали AngioCode-301 с программным обеспечением «AngioCode Professional» (ООО «АльмаКод», Россия). Параметры контурного анализа ФПГ: PD – длительность пульсовой волны, частота пульса (ЧП); SpO_2 – насыщение крови кислородом, ИНП – индекс наполнения пульса (амплитуда пульсовой волны), AIP_{75} , % – расчетный индекс аугментации в %, скорректированный по частоте сердечных сокращений (ЧСС) 75 уд./мин, VA (лет) – расчетный возраст сосудистой системы; ED, мс – продолжительность систолы, %ED – продолжительность систолы в %, SI, м/сек – расчетный показатель, отражающий среднюю скорость распространения по крупным резистивным сосудам, индекс отражения (RI) – расчетный параметр, использующийся для оценки вклада в % отраженного компонента в пульсовую волну и характеризующий тонус гладко-мышечных клеток терминальных мышечных артерий и распределительных артериол, SpA – расчетный показатель центрального систолического давления, показатель стресса – расчетный показатель, зависящий от величин вариабельности длительности пульсовых волн, AGI – расчетный индекс, отражающий соотношение различных компонентов (оценка формы) пульсовой

волны, TdVMax, мс – момент наибольшей скорости изменения кровенаполнения капилляров пальца.

Статистический анализ (Microsoft Excel 2010, StatTech 4.0.4). Данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха Me [IQR] при распределении, не соответствующем закону нормального распределения, и среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$) – при нормальном распределении. Для сравнительного анализа использовались непараметрический U-критерий Манна–Уитни и параметрический t-критерий Стьюдента, коэффициенты корреляции. Статистически значимыми считались различия при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

При проведении комплексной оценки клинического состояния женщин определяли ряд рутинных антропометрических и функциональных параметров пациенток исследуемых групп (табл. 1).

Известно, что повышенный индекс массы тела взаимосвязан с гипертензивными осложнениями во время беременности, что подтверждается заметной (по шкале Чеддока) корреляцией ($r_{xy} = 0,596$) между ИМТ и средним артериальным давлением (СрАД) ($p < 0,05$).

Оценка состояния сосудистой стенки по данным контурного анализа ФПГ, выявила различия между показателями в опытной группе (беременных с ГАГ) относительно контрольной (табл. 2).

Так, индекс аугментации (AIP) у женщин с ГАГ был выше на 73,47 % относительно контроля. AIP является важным показателем в оценке артериальной жесткости, так как потеря эластичности артерий прямо коррелирует с ростом центрального артериального давления, что подтверждается достоверным отличием SpA между двумя группами.

Показатель наибольшей скорости изменения кровенаполнения капилляров пальца TdVMax у женщин с ГАГ на был на 10,21 % выше аналогичного показателя в контрольной группе.

Изучение параметров кровотока плаценты и плода выявило достоверно более высокие значения пульсационного индекса (ПИ) у беременных с гипертензивным расстройством в сравнении с контрольной группой (табл. 3).

Увеличение пульсационного индекса является показателем повышения периферического сосудистого сопротивления в системе «мать-плод», что является маркером гипертензивного нарушения беременности и фактором формирования гипоксии плода.

Корреляционный анализ выявил сопряженность показателей ФПГ, СрАД и периферических тканей беременных и данных маточно-плацентарного и плодово-плацентарного кровотока (табл. 4).

При анализе данных фетометрии в третьем триместре гестации, полученных УЗ-аппаратом Toshiba «Хario XG» были зафиксированы статистически достоверные отличия показателей плодов у группы беременных с ГАГ в сравнении с контрольной группой (табл. 5). Показатели бипариетального размера (БПР), окружность головы, предварительная масса плода были

Таблица 1

Некоторые характеристики групп беременных

Table 1

Some characteristics of pregnancy groups

Показатель	Группа 1 (контрольная)	Группа 2 (ГАГ)	p
<i>Некоторые антропометрические данные</i>			
ИМТ, кг/м ² , М (SD)	27,2 (3,4)	30,1 (2,1)	0,042
Общая прибавка в весе, кг, М (SD)	11,1 (2,1)	9,3 (1,8)	0,031
<i>Некоторые показатели гемодинамики</i>			
ЧСС, уд./мин, Ме [IQR]	76,00 [74,00; 76,00]	74,00 [72,00; 76,00]	0,491
САД, мм рт. ст. Ме [IQR]	120,00 [110,00; 120,00]	130,00 [120,00; 130,00]	<0,001*
ДАД, мм рт. ст. Ме [IQR]	70,00 [70,00; 80,00]	80,00 [80,00; 90,00]	<0,001*
СрАД, мм рт. ст. Ме [IQR]	80,00 [73,33; 83,33]	96,67 [93,33; 103,33]	0,001*

* p<0,05.

Таблица 2

Показатели, полученные методом ФПГ, у беременных двух групп

Table 2

FPG-derived indicators in pregnant women of the two groups

Показатель	Группа 1 (контрольная)	Группа 2 (ГАГ)	p
Длительность пульсовой волны, мс, М (SD)	657,14 (39,50)	674,09 (107,20)	0,696
Частота пульса (ЧП), уд./мин, М (SD)	91,43 (5,38)	90,82 (13,21)	0,910
Насыщение крови кислородом (SpO ₂), %, М (SD)	96,47 (1,70)	95,92 (1,70)	0,510
Индекс наполнения пульса (ИНП), %, М (SD)	2,83 (1,45)	3,41 (1,41)	0,411
Возраст сосудов, лет, М (SD)	34,14 (13,75)	43,27 (13,71)	0,188
Жесткость сосудов, %, М (SD)	-10,54 (17,16)	2,30 (9,13)	0,054
Продолжительность систолы в процентах, %, М (SD)	33,86 (1,21)	33,45 (1,57)	0,573
Уровень стресса, М (SD)	262,86 (117,54)	240,73 (133,02)	0,724
Индекс увеличения, %, М (SD)	-19,49 (13,51)	-5,17 (16,08)	0,069
Индекс жесткости, м/сек, М (SD)	8,07 (0,80)	7,84 (0,93)	0,588
Индекс отражения, %, М (SD)	23,33 (10,18)	33,08 (17,37)	0,200
Возрастной индекс, М (SD)	-0,91 (0,30)	-0,71 (0,32)	0,198
Продолжительность систолы, мс, М (SD)	266,00 (17,13)	264,45 (25,11)	0,889
Центральное систолическое давление – прогноз, мм рт. ст., М (SD)	111,00 (5,66)	115,73 (3,77)	0,048*
Момент наибольшей скорости изменения кровенаполнения капилляров пальца (TdV _{max}), мс, М (SD)	33,14 (2,85)	36,91 (4,35)	0,060
<i>Соотношение типов кривой пульсовой волны, %</i>			
A, М (SD)	33,33 (26,31)	67,60 (35,84)	0,205
B, М (SD)	38,00 (19,80)	36,67 (15,50)	0,937
C, М (SD)	74,86 (41,35)	72,44 (41,95)	0,910

Примечание: * p<0,05; AGI – возрастной индекс, ED – продолжительность систолы, %ED – продолжительность систолы в процентах, SPa – центральное артериальное давление.

достоверно ниже в группе беременных с гестационной гипертензией относительно группы контроля (p<0,05).

Анализ гестационных исходов показал, что в группе с ГАГ процент родоразрешений путем кесарева

сечения составил 80,6 % против 33,3 % в контрольной группе (p<0,001).

В данном исследовании беременные с ГАГ чаще имели избыточную массу тела против женщин из

Таблица 3

Ультразвуковая доплеровская флоуметрия маточно-плацентарного и плодово-плацентарного кровотока.
Пульсационный индекс (ПИ)

Table 3

Ultrasound Doppler flowmetry of uteroplacental and fetal-placental blood flow. Pulsation index (PI)

Показатель	Группа		Р
	Контрольная	ГАГ	
ПИ средних маточных артерий, Ме (SD)	0,62 (0,04)	0,85 (0,02)	0,006*
ПИ в маточных артериях справа, Ме (SD)	0,67 (0,08)	0,72 (0,04)	0,053
ПИ в маточных артериях слева, Ме (SD)	0,64 (0,02)	0,78 (0,03)	0,024*
ПИ артерии пуповины плода	0,75 (0,07)	0,86 (0,05)	0,017*

* $p < 0,05$.

Таблица 4

Корреляционная матрица показателей ФПГ с данными антропометрии, центральной и региональной гемодинамики беременных

Table 4

Correlation matrix of FPG indicators with anthropometry, central and regional hemodynamics of pregnant women

Показатель	ИМТ, кг/м ²	СрАД, мм рт. ст.	ПИ артерии пуповины плода	Маточные артерии ПИ справа	Маточные артерии ПИ слева	Маточные артерии ПИ средний
PD, мс	-0,35751	-0,01499	0,234462	0,637468*	0,553297*	0,780822*
ЧП, уд./мин	0,426622	0,058197	-0,30593	-0,70275*	-0,61371*	-0,86003*
SpO ₂ , %	0,066331	-0,09458	0,098267	-0,33068	0,068771	-0,16407
ИНП, %	0,322711	0,108875	-0,48474	-0,4568	-0,28924	-0,43449
VA, лет	0,112205	0,476477	0,17954	0,703477*	0,099253	0,507904*
AIp75, %	0,160354	0,630075*	0,188611	0,55228*	0,345501	0,615775*
A	-0,17153	0,624396*	0,441549	0,809957*	-0,63933*	-0,27235
B	0,799206*	-0,51775*	-0,52526*	-0,93532*	0,966928*	0,702366*
C	0,212061	-0,3049	-0,38882	-0,64241*	-0,53537*	-0,79181*
%ED, %	0,322783	0,152169	-0,21945	0,145973	0,379662	0,387424
AIp, %	0,044623	0,514013*	0,176947	0,658798*	0,418824	0,717367*
SI, м/сек	0,213643	-0,06969	-0,62812*	-0,58791*	-0,50255*	-0,66237*
RI, %	-0,13494	0,229321	0,303556	0,45213	0,82314*	0,878527*
AGI	0,082622	0,481456	0,195261	0,713337*	0,114683	0,525378*
ED, мс	-0,09375	0,037344	0,115395	0,590275*	0,68527*	0,860406*
SPa, мм рт. ст.	0,168923	0,629899*	0,202809	0,549315*	0,547181*	0,764127*
TdV _{Max} , мс	0,001269	0,452124	0,567131*	0,554871*	0,402356	0,597347*

* $p < 0,05$.

группы контроля, что согласуется с литературными данными о роли жировой ткани в патогенезе гипертензии при беременности. Избыток жировой ткани, обладающей гормонпродуцирующей активностью, влечет за собой повышение уровня ангиотензина II, ангиотензиногена, которые повышают активность симпатно-адреналовой системы, а также продукция адипоцитами прокоагулянтов (ингибитор активатора плазминогена-1) приводят к нарушению системной гемодинамики [10, 11]. Известно, что жировая ткань,

являясь источником провоспалительных цитокинов (лептин), также участвует в патогенезе гестационных расстройств [12, 13].

Артериальная гипертензия является одной из причин нарушения фетоплацентарного кровообращения, которая при прогрессировании приводит к плацентарной недостаточности и впоследствии может привести к гипоксии и нарушению роста плода [14]. При оценке маточного и фетоплацентарного кровотока было зарегистрировано увеличение пульсационного

Таблица 5

Показатели параметров плода у женщин с физиологически протекающей беременностью и беременных с ГАГ при УЗ-диагностике в третьем триместре гестации

Table 5

Fetal parameters in women with physiologically normal pregnancy and pregnant women with GAN at ultrasound diagnostics in the third trimester of gestation

Показатель	Группа 1 (контроль)	Группа 2 (ГАГ)	p
Бипариетальный размер (БПР), см, Ме [IQR]	9,30 [9,10; 9,50]	9,00 [8,90; 9,10]	0,012*
Окружность головы (ОГ), см, Ме [IQR]	33,45 [33,32; 34,10]	31,90 [31,70; 32,75]	0,031*
Окружности живота (ОЖ), см, Ме [IQR]	32,70 [32,23; 33,62]	31,40 [30,65; 32,20]	0,087
Длина бедра, см, Ме [IQR]/ Femur length (FL), см, Ме [IQR]	7,25 [7,12; 7,45]	7,10 [6,80; 7,15]	0,114
Предполагаемая масса плода (ПМП), гр, Ме [IQR]	3241,00 [3125,00; 3295,50]	2764,00 [2609,00; 3061,00]	0,027*

* – достоверность отличий от контроля при $p < 0,05$.

индекса в системе «мать–плацента–плод», что свидетельствует о преобладании вазоконстрикторных реакций сосудов матки и плаценты. Определение биометрических показателей внутриутробного развития плода у женщин двух групп выявило снижение основных размеров и предполагаемой массы плода у женщин с ГАГ. Корреляционный анализ показателей СрАД и фетометрии плода свидетельствовал, что артериальная гипертензия у беременных сопряжена со снижением антропометрических параметров и ПМП.

Учитывая важную роль артериальной дисфункции матери в формировании специфических для беременности расстройств, таких как преэклампсия и задержка внутриутробного развития [9], изучение состояния сосудистой стенки в плане перспективы данного подхода в ранней диагностике и профилактике гипертензивных расстройств и маточно-плацентарной недостаточности представляется значимым. Исследования показали [15, 16], что широкий ряд параметров ФПГ коррелировал с показателями маточно-плацентарного кровотока и средним артериальным давлением. Установлено повышение индекса аугментации у беременных с гестационной гипертензией, что, вероятно, связано с дисрегуляцией тонуса периферических артериол. Наличие достоверной корреляционной зависимости данного показателя от уровня СрАД ($r_{xy} = 0,514$, $p < 0,05$) показывает значимость его оценки у беременных в аспекте раннего определения рисков формирования гипертензивных нарушений. В рамках исследования также зафиксирована корреляция между СрАД и уровнем SPa ($r_{xy} = 0,630$, $p < 0,05$), что подтверждается данными исследования И. В. Дорогова, В. Д. Усанова и др., которые исследовали взаимосвязь между центральными и периферическими показателями сосудистой системы у беременных женщин с гипертензивными расстройствами осциллометрическим методом [17].

Заключение

Таким образом, изменения периферической гемодинамики и дисрегуляция тонуса артериол у беременных с ГАГ сопряжена с нарушениями маточно-плацентарного кровотока и снижениями параметров фетометрии плода. Использование метода ФПГ в

оценке состояния сосудистой стенки и микроциркуляции периферических тканей представляет интерес в плане перспективы скрининга беременных для ранней оценки рисков и выявления гипертензивных расстройств беременных и задержки развития плода.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare that they have no conflict of interest.

Литература / References

1. Smith AN, Wang X, Thomas DG, Tatum RE, Booz GW, Cunningham MW. The Role of Mitochondrial Dysfunction in Preeclampsia: Causative Factor or Collateral Damage? *Am J Hypertens.* 2021;34(5):442-452. Doi: 10.1093/ajh/hpab003.
2. Rana S, Lemoine E, Granger JP, Karumanchi SA. Preeclampsia: Pathophysiology, Challenges, and Perspectives. *Circ Res.* 2019;124(7):1094-1112. Doi: 10.1161/CIRCRESAHA.118.313276. Erratum in: *Circ Res.* 2020;126(1):e8. Doi: 10.1161/RES.0000000000000315.
3. Espeche W, Minetto J, Leiva Sisniegues CE, Cerri G, Carrera Ramos P, Olano D, Salazar MR. Time in therapeutic range and risk of preeclampsia in chronic hypertensive pregnant women. *Hypertens Res.* 2024;47(10):2895-2901. Doi: 10.1038/s41440-024-01830-4.
4. Гуреев В.В. Эндотелиальная дисфункция - центральное звено в патогенезе гестоза // Актуальные проблемы мед. – 2012. – Т. 17, № 4(123). – С. 5–12. [Gureev VV. Endothelial dysfunction is a central link in the pathogenesis of gestosis. *Curr Issues Med.* 2012;17(4(123)):5-12. (In Russ.)].
5. Possomato-Vieira JS, Khalil RA. Mechanisms of Endothelial Dysfunction in Hypertensive Pregnancy and Preeclampsia. *Adv Pharmacol.* 2016;77:361-431. Doi: 10.1016/b.s.apha.2016.04.008.
6. Власова Т.И., Петрищев Н.Н., Власов Т.Д. Дисфункция эндотелия как типовое патологическое состояние // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 4–15. [Vlasova TI, Petrishchev NN, Vlasov TD. Endothelial dysfunction as the typical pathological state. *Regional blood circulation and microcirculation.* 2022;21(2):4-15. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2022-21-2-4-15.
7. Valensise H, Vasapollo B, Novelli GP, Pasqualetti P, Galante A, Arduini D. Maternal total vascular resistance and concentric geometry: a key to identify uncomplicated

gestational hypertension. *BJOG*. 2006;113:1044-1052. Doi: 10.1111/j.1471-0528.2006.01013.

8. Masini G, Foo LF, Tay J, Wilkinson IB, Valensise H, Gyselaers W, Lees CC. Preeclampsia has two phenotypes which require different treatment strategies. *Am J Obstet Gynecol*. 2022;226(2S):S1006-S1018. Doi: 10.1016/j.ajog.2020.10.052.

9. Novelli GP, Vasapollo B, Valensise H. Hemodynamic Prediction and Stratification of Hypertensive Disorders of Pregnancy: A Dream That Is Coming True? *J Am Heart Assoc*. 2018;7(14):e010084. Doi: 10.1161/JAHA.118.010084.

10. Johnson A, Vaithilingan S, Ragunathan L. Association of obesity and overweight with the risk of preeclampsia in pregnant women: an observational cohort study. *Ir J Med Sci*. 2024. Doi: 10.1007/s11845-024-03787-2.

11. Киреев С.С., Токарев А.Р. Центральная и периферическая гемодинамика при ожирении (Литературный обзор проблемы и собственные исследования) // *Вестн. новых мед. технол.* – 2015. – Т. 9, № 2. – С. 31. [Kireev SS, Tokarev AR. Central and peripheral hemodynamics in obesity (Literature review of the problem and own research). *Bull New Med Technol*. 2015;9(2):31. (In Russ.)]. Doi: 10.12737/11432.

12. Schiavone MJ, Pérez MP, Aquieri A, Nosetto D, Pronotti MV, Mazzei M, Kudrle C, Avaca H. The Role of Obesity in the Development of Preeclampsia. *Curr Hypertens Rep*. 2024;26(6):247-258. Doi: 10.1007/s11906-024-01299-z.

13. Rogers BN, Stephens JM, Sones JL. Linking inflammatory adipose tissue to placental abnormalities in obese pre-eclamptic pregnancies. *Physiol Genomics*. 2022;54(8):319-324. Doi: 10.1152/physiolgenomics.00041.2022.

14. Кузьмин В.Н. Фетоплацентарная недостаточность: проблема современного акушерства // *Лечащий врач*. – 2011. – № 3. – С. 50–54. [Kuzmin VN. Fetoplacental insufficiency: a problem of modern obstetrics. *Lechaschi Vrach*. 2011;(3):50-54. (In Russ.)].

15. Sun X, Su F, Chen X, Peng Q, Luo X, Hao X. Doppler ultrasound and photoplethysmographic assessment for identifying pregnancy-induced hypertension. *Exp Ther Med*. 2020;19(3):1955-1960. Doi: 10.3892/etm.2019.8405.

16. Han N, Luo X, Su F. A quantitative investigation of hemodynamic adaptation to pregnancy using uterine artery Doppler ultrasonography and finger photoplethysmography. *Hypertens Pregnancy*. 2014;33(4):498-507. Doi: 10.3109/10641955.2014.946615.

17. Дорогова И.В., Усанов В.Д., Бартош Л.Ф. и др. Особенности параметров периферического, центрального артериального давления и показателей ригидности сосудов у беременных с гипертензивными состояниями // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. – 2016. – Т. 15, № 2. – С. 51–59. [Dorogova IV, Usanov VD, Bartos

LF, Panina ES, Bocharnikov DY. Features of parameters of peripheral, central blood pressure and indicators of vessels rigidity in pregnant women with hypertensive disorders. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2016;15(2):51-59. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2016-15-2-51-59.

Информация об авторах

Шишканова Татьяна Ивановна – аспирант кафедры нормальной и патологической физиологии, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, г. Саранск, Россия, ORCID: 0000-0001-9180-1118, eLibrary SPIN: 3388-8264.

Капитанова Дарья Алексеевна – студент 4 курса, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Медицинский институт, г. Саранск, Россия, ORCID: 0009-0002-1934-4463.

Маркина Алина Евгеньевна – ассистент кафедры акушерства и гинекологии, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, г. Саранск, Россия, ORCID: 0000-0001-8619-0770, eLibrary SPIN: 3135-6112.

Алямкина Елена Андреевна – канд. хим. наук, доцент кафедры биологической и фармацевтической химии с курсом организации и управления фармацией, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, г. Саранск, Россия, eLibrary SPIN: 1026-4723.

Власова Татьяна Ивановна – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой нормальной и патологической физиологии, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, г. Саранск, Россия, ORCID: 0000-0002-2624-6450, eLibrary SPIN: 5314-3771.

Authors information

Shishkanova Tatiana I. – Postgraduate Student, Department of Normal and Pathological Physiology, Medical Institute, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, ORCID: 0000-0001-9180-1118, eLibrary SPIN: 3388-8264.

Kapitanova Darya A. – 4th-year Student, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, ORCID: 0009-0002-1934-4463.

Markina Alina E. – Assistant, Department of Obstetrics and Gynecology, Medical Institute, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, ORCID: 0000-0001-8619-0770, eLibrary SPIN: 3135-6112.

Alyamkina Elena A. – Candidate (PhD) of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Biological and Pharmaceutical Chemistry, Medical Institute, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, eLibrary SPIN: 1026-4723.

Vlasova Tatiana I. – Dr. Sci. (Med.), Professor, Head, Department of Normal and Pathological Physiology, Medical Institute, National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, ORCID: 0000-0002-2624-6450, eLibrary SPIN: 5314-3771.