

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ.; Под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2005. – 1070 с.
2. Кожевников Н.И., Краснощекова Т.И., Шишкин Н.Е. Ряды и интеграл Фурье. Теория поля. Аналитические и специальные функции. Преобразование Лапласа. – М.: Наука, 1964. – 183 с.
3. Разин И.В., Эмдин В.С. О системе инвариантов энергетического спектра градиентных изображений произвольного порядка применительно к анализу текстуры // Автометрия. – 2003. – Т. 39, № 4. – С. 93-108.
4. Анго А. Математика для электро-и радиоинженеров. – М.: Наука, 1967. – 778 с.
5. Разин И.В. О моделях дифференциальных операторов для подчеркивания и локализации перепадов яркости изображения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 10 (99). – С. 77-82.
6. Разин И.В. Среднеквадратические частоты в задаче описания случайных сигналов и полей посредством нулей. // Известия СПбГЭТУ: Сб. тр. «Биотехнические системы в медицине и экологии». – 2006. – Вып. 2. – С. 59-69.
7. Разин И.В., Попечителев Е.П. Математическая модель адаптивного фильтра для формирования контурного сигнала изображения // Известия вузов Радиоэлектроника. – 2007. – № 1. – С. 24-36.

Попечителев Евгений Парфирович

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ”.

E-mail: eugeny_p@mail.ru.

195257, г. Санкт-Петербург, Северный пр., 65/1, кв. 169.

Тел.: +79219465462.

Разин Игорь Вениаминович

E-mail: IVRazin@mail.eltech.ru.

197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5.

Тел.: 88123464487.

Popchitelev Evgenij Parfirovich

Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”.

E-mail: eugeny_p@mail.ru.

65/1, Severnyj pr., app.169, Saint Petersburg, 195257, Russia.

Phone: +79219465462.

Razin Igor Veniaminovich

E-mail: IVRazin@mail.eltech.ru.

5, Professor Popov street, Saint Petersburg, 197376, Russia.

Phone: +78123464487.

УДК 615.471:612.143

Е.П. Попечителев, А.В. Чашин

**КОМПРЕССИОННО-ОБЪЕМОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Представлены принципы, перспективы и результаты исследований объемнометрических изменений в организме, связанных с жидкостным обменом и перераспределением в тканях. Они основаны на управлении вкладом разных тканей в общие объемные изменения, путём дозируемой компрессии и частотного разделения пульсовых и медленноволновых составляющих.

Функциональная проба с дозированной компрессией; объемнометрические изменения; спектрограмма осциллометрического сигнала; биомеханическая фильтрация.

E.P. Popchitelev, A.V. Chaschin

COMPRESSION VOLUMOMETRIC METHODS IN THE HEMODYNAMIC STUDIES

The principles, perspectives and results of investigations of volume changes associated with liquid exchange and redistribution in tissues are presented. They are based on management of the contribution of different tissues in general block changes by dosed compression and frequency separation pulse and slow wave components.

Functional test with dosed compression; volumetric changes; oscillometric signal spectrum; biomechanical filtration.

Введение. Во многих проявлениях жизнедеятельности организма очевидными являются объемные изменения (ОИ) состояния тканей и органов. Некоторые можно выделить по меняющимся во времени очертаниям внешней формы тела, например, при дыхательных экскурсиях грудной клетки, проявлению пульсаций кровеносных сосудов и изменениях положения тела и его частей в пространстве. Отмечаемые изменения непосредственно связаны с ОИ структур тканей во внутренней среде организма, что проявляется при регистрациях техническими средствами, разными по физическому принципу действия методами. На практике используются механо-, электро-, рео-, фотоплетизмографические, ультразвуковые методы исследований, исследования компрессионно-объемнометрическим и другими способами. В них регистрируются времязависимые функции ОИ тканей.

ОИ можно считать проявлением процессов жидкостного обмена и перераспределения во внутренней среде организма, связанных с работой соответствующих функциональных систем. Они являются следствием непрерывных квазипериодически воспроизводимых взаимосвязанных процессов, главные из которых – кровообращение, дыхание, пищеварение, выполнение опорно-двигательной функции, терморегуляция, функционирование соединительной и сопряженных тканей. В каждом цикле сердечного сокращения, как одного из источников (генераторов) движений и ОИ, происходят изменения наполнения кровью желудочков и предсердий, происходит распространение пульсовой волны давления практически по всем сосудам кровеносной системы, и оно проявляется объемными изменениями во многих участках тела. Особенно проявляются ОИ тканей, принадлежащих усиленно работающим органам. Аналогично, при каждой дыхательной экскурсии грудной клетки, другого источника (генератора) ОИ, изменяется положение ее диафрагмы, воздействующее на объемные изменения кровенаполнения лёгких и желудочков сердца. Эти движения передаются с пульсовой волной давления также по кровеносным сосудам в объеме практически всего тела. В повторяемых процессах происходит суперпозиция волн пульсовой и дыхательной активности, проявляемая в виде модулирующего действия дыхания на пульсовое кровенаполнение тканей [1]. Это условное, модельное представление может дополняться и другими внутренними источниками (генераторами) движений и ОИ тканей. Внутренняя среда организма в этой модели представляется структурным полем распространения волновых процессов, а распространяемые волны давления и ОИ в среде – исследуемыми функциями (сигналами).

ОИ в объеме тела проявляются и в неперiodических процессах при любых видах двигательной активности, из-за сокращений мышц, изменений натяжения соединительной ткани, изменений тонуса и кровенаполнения сосудов.

Для целей диагностики важно использование информации об ОИ, так как патологические изменения в функционировании организма объясняются ОИ в структуре ответственных тканей. На основе проявления активности тканей по ОИ, к примеру, в мануальной терапии и остеопатической медицине, диагностируют на-

рушения и успешно проводят лечение, используя методики пальпирующих обследований. Однако результаты таких обследований субъективны.

Проведённый в работе [2] анализ проявлений ОИ тканей показывает, что в них содержится информация: о массопереносе веществ в системах жидкостных потоков крово- и лимфообращения, внесосудистой жидкости; выполнении дыхательной функции; смещении одних тканей относительно других; сократительной активности мышц, уплотнении и механическом напряжении тканей; натяжении соединительной ткани. Многие из них непрерывно воспроизводятся и находятся под регулирующим контролем центров головного мозга. Важность знания ОИ состояния тканей и ее динамики связаны с тем, что практически все нарушения в организме так или иначе проявляются в ОИ.

Цель данной работы продемонстрировать возможности исследований состояния организма по спектрам ОИ, проявляемых в функциональных пробах (ФП) с дозированной компрессией. Для этого необходим анализ механизмов, отвечающих за проявление динамики ОИ при дозированной компрессии.

Инструментальные исследования с компрессионным воздействием. На рис. 1 схематически показан участок тела организма с модельным представлением основных внутренних структур, ответственных за влияние на объемные изменения состояния тканей. Пунктирно выделен условный орган, обеспеченный нервной регуляцией кровоснабжения, артериальным Q_a и венозным Q_b кровотоками, связанными с сетью магистральных сосудов (МС). Магистральные сосуды объединены с контурами сосудистой системы сердца и сосудов других внутренних органов (СССиВО). Работой сердечнососудистой системы в магистральных сосудах создаются соответствующие уровни артериального P_a и венозного P_b давления.

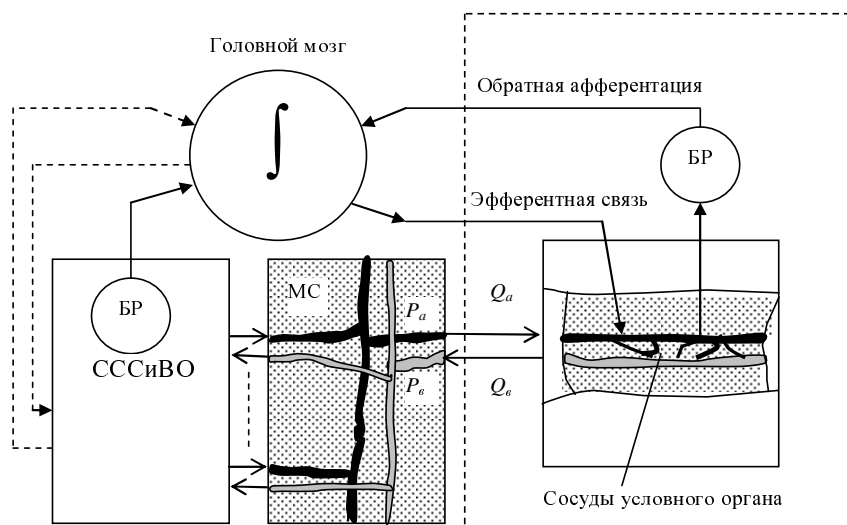


Рис. 1

В схему также внесены ветви барорефлекторной регуляции (БР), включенные в рефлекторную дугу с обратной афферентацией и эффекторной связью со структурами головного мозга, участвующими в регуляции кровообращения в организме. Представленная модель является обобщённой и позволяет качественно анализировать проявления ОИ в тканях.

В дополнение к проявлению внутренних процессов в организме заметим, что в ОИ тканей внутренних органов отражается ответная реакция также и на внешние воздействия окружающей организм среды. К основным факторам действия внешней среды при этом относятся физические условия пребывания организма: гравитационные (перегрузки или невесомость в кабине летательных аппаратов); положение тела в пространстве в условиях действия силы земного тяготения; температура, влажность и давление атмосферного воздуха и другие. Эти факторы действуют на все участки тела. Например, при глубоководных погружениях или высокогорных восхождениях, соответственно создающих окружающую атмосферу с повышенным или пониженным давлением воздуха, оказывается существенным влияние на функциональное состояние всего организма. В этих условиях адаптивная реакция организма и органов проявляется в виде ОИ тканей. Реагируют практически все ткани и органы, так как они связаны с нервной и сосудистой системами, участвующими в жидкостном обмене.

В медицинской практике проявление ОИ тканей обычно использовалось в двух направлениях: для диагностики и терапии. В обоих используются компрессионные воздействия техническими средствами. Так, в диагностических исследованиях регистрируется реакция на внешние компрессионные воздействия на ткани. К примерам таких исследований можно отнести: интегральную плетизмографию, плетизмографические исследования отдельных конечностей, исследования сегментарных участков конечностей, методы измерительных процедур с дозированной компрессией [5]. Для практических целей особо важны данные о реакции на компрессионные воздействия на краниальные ткани [3], внутренние органы грудной [4] и брюшной полостей, ОИ верхних и нижних конечностей [5] и другие.

Терапевтические компрессионные воздействия используют в процедурах баротерапии, в мануальной терапии, в остеопатическом лечении и при проведении разных видов массажа. Развивается направление, использующее технические средства для автоматизированного массажа. Однако в них не используется биологическая обратная связь с регистрацией сигналов, отвечающих за объемные изменения состояния тканей в ходе воздействий.

Отмеченные факты показывают актуальность создания методической базы инструментальных исследований с компрессионным воздействием на конкретных участках, с целью исследований состояния целостного организма. Ставится задача организации исследований ОИ тканей, позволяющих выявлять патологические состояния и контролировать динамику восстановительного процесса.

В исследованиях организма с компрессионным воздействием техническими средствами необходимо обеспечить их механическое взаимодействие с тканями. При этом важны контроль и управление воздействиями и регистрация сигналов, в которых проявляются характерные особенности ОИ в локальных участках. Для решения этой задачи можно использовать процедуру компрессионно-осциллометрического метода измерения артериального давления (АД), модифицировано выполняемую как ФП [6] на сравнительно небольшом участке тела.

В стандартной процедуре измерения пневматической манжетой создают давление на ткани верхней конечности и регистрируют осциллометрический сигнал артериальных пульсаций. Огибающая их амплитуд представляет характерный колокол с информативными эмпирическими признаками, по которым определяют показатели АД. Однако механическое вмешательство в гемодинамический баланс притекающей и оттекающей крови в обследуемую конечность изменяет, обычно беспрепятственно протекающие в отсутствии патологий, процессы жидкостного обмена и перераспределения в разных участках сосудистой системы [2,7]. Это относится к тканям, подвергаемым компрессионному воздействию, а также приле-

жащим к сосудам компрессируемого участка тела, выше и ниже зоны воздействия. Как следствие, изменяется физическое состояние тканей не только в области компрессии. С учётом неразрывности связи центральной нервной системы со всеми участками тела, можно считать, что на компрессионные воздействия реагируют основные функциональные системы организма [2,7]. Очевидно, что даже при локальных внешних воздействиях они вовлечены в реакцию.

Таким образом, в реализации исследований с компрессионным воздействием, за внешней простотой стандартной измерительной процедуры измерения АД скрыта сложная цепь инициируемых, ранее не учитываемых процессов. К ним относится влияние на поступление в конечность артериальной крови, возврат венозной крови, нарушение лимфодренажной функции, обмен и перераспределение межклеточной (внесосудистой) жидкости, застойные явления, уравнивание давления, активация функции артериовенозных анастомозов и другие проявления [1,2,7]. Их контроль имеет значение, так как может быть использован для исследования состояния организма в ФП с компрессионным воздействием на ткани [6].

Функциональные пробы с дозированием компрессии. Предложенная в работе [6] ФП с дозированием компрессии основана на возможности проявления по частотному признаку высокочастотных (ВЧ) и низкочастотных (НЧ) составляющих в спектрах сигналов осцилляций, регистрируемых при создании определённых изменений в условии протекания гемодинамических процессов. Установкой дозируемых давлений направленно меняется состояние сосудистой системы и создаются определённые условия движению жидкостных потоков. По сути, задаётся передаточная функция биомеханического фильтра, действующего на прохождение пульсирующих сигналов. За них отвечают ВЧ-артериальные пульсации и модулирующие их медленноволновые процессы, проявляемые как дыхательные волны и волны более высокого порядка (Траубе–Геринга–Майера). Регулировкой компрессии можно управлять состоянием системы сосудов в организме, регистрировать и исследовать соответствующие проявления сигналов ОИ. По нашему мнению, управление давлением на стенки сосудов аналогично настройке механических свойств фильтра биологической структуры, в которой распространяются волны давления и протекает кровоток, представляющие сигналы, по которым можно судить о тоне сосудов и состоянии окружающих тканей.

Для примера использования метода [6] ниже приводится краткое описание результатов исследований ОИ в системе крово- и лимфообращения, проведенных в группе из 28 практически здоровых обследуемых в возрасте от 18 до 26 лет. Детальное описание исследований имеется в работе [5].

На всех обследуемых проводились ФП с дозированной компрессией сосудов верхней конечности. Компрессионное давление выбиралось с учётом реально существующих уровней в системе крово- и лимфотока и межтканевого пространства, в соответствии с данными о давлении в тканях тела. Пневматической манжетой на сосуды плеча создавались ступени давления 5 ± 2 , 10 ± 2 , 30 ± 2 и 85 ± 10 мм рт.ст. Это позволяло путём полной компрессии одних и сохранения функционального состояния других тканей исключать и оценивать участие различных жидкостных бассейнов (межтканевой жидкости, лимфы и крови) и окружающих тканей в создании суммарного объема исследуемого участка конечности. Для получения сравнительных данных также использовались дополнительные ФП, целенаправленно изменяющие состояние тканей и влияющие на их объемное наполнение. Для этого выполнялся лимфодренажный массаж предплечья и ортостатическая ФП. В результатах обработки экспериментальных данных использованы амплитудно-частотные показатели спектров сигналов ОИ тканей, происходящих в процессе воздействий.

На рис. 2, как пример одного из обследований, приведены спектрограммы сигналов давления в манжете при трёх постоянных уровнях компрессионных воздействий на ткани плечевой области. Они зарегистрированы в фоновом состоянии и после дополнительных ФП лимфодренажа и ортостатической пробы. Оцифрованные отметки на вертикальных осях графика – значения СПМ, мм рт. ст.²/Гц, на горизонтальных – частота, Гц.

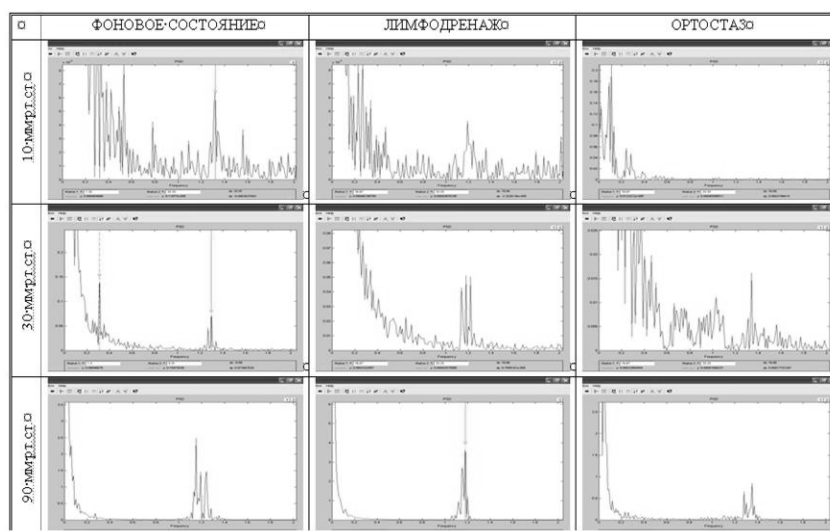


Рис. 2

При всех дозированных уровнях давления в спектрах проявляются ВЧ- (в диапазоне от 1,1 до 1,35 Гц) и НЧ- (от 0,05 до 0,3 Гц) составляющие. Они отражают динамику общего объемного изменения в лимфатических и кровеносных сосудах и смежных окружающих тканях. В спектрах выделяется изменение абсолютных значений амплитуд пиков и соотношений между ними для низко- и высокочастотного участков спектра. ВЧ-пик и его полоса частот связаны с работой сердца, а частота максимума совпадает с частотой сердечных сокращений. НЧ-компоненты спектра отражают медленные волновые процессы в тканях плеча. Спектральная мощность НЧ-составляющих снижается с увеличением компрессионного давления.

После лимфодренажного массажа на уровнях давления в манжете 10 и 30 мм рт.ст. увеличивается спектральная мощность НЧ-составляющих спектра.

В результате ортостатической нагрузки, при давлении 10 и 30 мм рт.ст., ВЧ-составляющие в спектре снижаются, что соответствует общепринятым представлениям о постуральных реакциях системы кровообращения. При переходе от 10 к 30 мм рт.ст. более значимо проявляются НЧ составляющие, по сравнению с высокочастотными. Это объясняется тем, что при давлении выше лимфатического (10 мм рт.ст.) нарушается лимфодренаж, перераспределение и обмен жидкостей в тканях и проявляются более медленные процессы, связанные с движением тканей в условиях сжимающих воздействий и смещения относительно соседних. При 30 мм рт.ст. пережимаются вены, состояние которых адаптируется к новым условиям кровообращения. На ступени 90 мм рт.ст. проявление медленноволновой части спектра снижается, по сравнению с высокочастотным пиком. Это можно связывать с превышением компрессионного давления на ткани уровней давления внутри них и проявлением ответной реакции не полностью компрессированных тканей.

Выводы. Компрессионно-объемнометрические методы гемодинамических исследований с дозируемой компрессией позволяют регистрировать объемные изменения тканей и адекватно нагрузке отображают динамику изучаемых процессов. При такой функциональной пробе на ткани проявляются соответствующие объемные изменения; соотношения спектральной мощности ВЧ- и НЧ-составляющих, полученных в результате обработки объемнометрических сигналов при разных уровнях давления, характеризуют проявляемые изменения. Результаты ФП, заведомо действующих на ОИ состояния тканей, подтверждают эти выводы.

Компрессионное действие на сосудистую систему модельно можно представить как вид биомеханической фильтрации, препятствующий распространению волн давления в теле (прохождению биосигналов). Развитие такой теории представляет интерес для создания аппарата математического описания гемодинамических процессов и изучения состояния организма в условиях внешних воздействий. Она также может быть полезной для интерпретации результатов исследований состояния сосудов и обмена и перераспределения жидкостных потоков в тканях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чащин А.В., Попечителев Е.П.* Реализация комплексного исследования состояния организма компрессионно-осциллометрическим методом измерения артериального давления // Вестник новых медицинских технологий. – 2010. – № 1. – С. 125-128.
2. *Чащин А.В., Попечителев Е.П.* Модель состояния организма в процессах окклюзионных измерений артериального давления // Известия СПбГЭТУ. Биотехнические системы в медицине и экологии. – Вып. 5. – С. 49-55.
3. *Чащин А.В., Мохов Д. Е.* Инструментальные средства для исследований объемных изменений состояния краниальных тканей // Медицинская техника. – 2010. – № 2. – С. 6-12.
4. *Чащин А.В.* Компрессионный метод измерения физиологических показателей состояния организма для условий экстремальных ситуаций // Медицина экстремальных ситуаций. – 2010. – №1 (31). – С. 82-92.
5. *Чащин А.В., Ерофеев Н.П., Мохов Д.Е., Чырва Н.И.* Исследование объемнометрических изменений систем крово- и лимфообращения верхней конечности при компрессионных воздействиях // Материалы международного симпозиума «Функциональный череп. Научные и клинические аспекты применения остеопатии в краниальной области». – СПб., 2009. – С. 207-215.
6. *Чащин А.В.* Спектральное представление реакции организма в функциональных пробах окклюзионного давления на ткани // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 5 (82). – С. 23-26.
7. *Чащин А.В., Попечителев Е.П.* Системный анализ изменений в организме при окклюзионных измерениях // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. Системный анализ. Теория и практика. – 2009. № 1 (15). – С. 29-32.

Попечителев Евгений Парфирович

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет.

E-mail: eugeny_p@mail.ru.

195257, г. Санкт-Петербург, Северный пр., 65/1, кв.169.

Тел.: +79219465462.

Чащин Александр Васильевич

E-mail: chaalexander@gmail.com.

197341, г. Санкт-Петербург, пр. Испытателей, 15, корп. 1, кв. 51.

Тел.: +79117149260.

Popechitelev Evgenij Parfirovich

Saint Petersburg State Electrical Engineering University.

E-mail: eugeny_p@mail.ru.

65/1, Severnyj pr., app.169, Saint Petersburg, 195257, Russia.

Phone: +79219465462.

Chaschin Alexander Vasilyevich

E-mail: chaalexander@gmail.com.

15/1, Ispitateley avenue, app. 51, Saint Petersburg, 197341, Russia.

Phone: +79117149260.

УДК 57.087

Я.С. Пеккер, Е.Ю. Киселева, И.В. Толмачев

**ПРИМЕНЕНИЕ ФЕТАЛЬНОЙ КАРДИОИНТЕРВАЛОМЕТРИИ КАК
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ТЯЖЕСТИ ГИПОКСИИ
ПЛОДА ПРИ БЕРЕМЕННОСТИ, ОСЛОЖНЕННОЙ
ГИПЕРАНДРОГЕНИЕЙ**

Приведены результаты исследования с помощью программно-аппаратного комплекса «ФЭКГ-РЕГ». Целью разработки являлось рассмотрение дополнительных критериев оценки степени тяжести состояния плода при фетоплацентарной недостаточности. Результаты показали, что функциональное состояние плода влияет на уровень регуляции системы кровообращения, при наличии гипоксии повышается тонус ее симпатической части.

Кардиоинтервалометрия; гипоксия плода; гиперандрогения.

Yu.S. Pekker, E.Yu. Kiseleva, I.V. Tolmachev

**APPLICATION FETAL CARDIOINTERVALOMETRY AS A ADDITIONAL
CRITERION OF THE ASSESSMENT OF THE SEVERITY OF FETAL
HYPOXIA IN PREGNANCY COMPLICATED BY PREGNANCY
COMPLICATED BY HYPERANDROGENIA**

This article presents the results of researching which were intended to identify the criteria for evaluating the severity of the fetoplacental insufficiency. Experiments have been carried out with the firmware complex "FECG-REG". The results obtained during experiments are as following: functional state of the fetus affects the level of regulation of the circulatory system, in the presence of hypoxia increases the tone of sympathetic part of the circulatory system.

Cardiointervalometry; fetal hypoxia; hyperandrogenia.

Аntenатальная диагностика патологии плода с последующей коррекцией его состояния становится важнейшим компонентом акушерской помощи и формирует направление перинатальной медицины, которое рассматривает плод как «полноправного» пациента. Это направление объединяет труды специалистов, работающих в разных областях медицинских знаний.

До родов многие из заболеваний плода остаются нераспознанными. И большинство отклонений от нормы трактуются как проявления гипоксии. А огромный спектр иной патологии отражается в неонатальном и постнатальном периодах, т.е. во время контакта будущего пациента с внешней средой.

Современные диагностические технологии, применяемые для оценки состояния плода, являются ресурсоемкими. Но не менее затратными оказываются меры по восстановлению здоровья новорожденных, подвергшихся воздействию анти- или интранатального стресса. Поэтому своевременная диагностика фетальной патологии является важной проблемой перинатальной медицины.

Несмотря на высокий диагностический уровень современной медицины, перинатальная оценка границ нормы и патологии еще далека от идеала. И чем глубже исследователи проникают в те или иные аспекты решаемой ими «узкой» проблемы, тем очевиднее становится ограниченность знаний в области физиологии и па-