

УДК 616.131.3-007.22-07-08-036.22-079-073.756.8+547+577.152.34+543.442
DOI: 10.56871/RBR.2023.95.14.010

СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА КЛАССИФИКАЦИЮ И ДИАГНОСТИКУ ОТКРЫТОГО АРТЕРИАЛЬНОГО ПРОТОКА (ОБЗОР)

© Линард Юрьевич Артюх, Наталья Рафаиловна Карелина, Михаил Джузеппе Луиджиевич Оппедизано, Марат Риатович Гафиатулин, Ольга Леонидовна Красногорская, Надежда Александровна Сидорова, Елена Владимировна Яценко, Евгений Сергеевич Кулемин

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, г. Санкт-Петербург, Литовская ул., 2

Контактная информация: Линард Юрьевич Артюх — ассистент кафедры анатомии человека. E-mail: l-artyukh@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-6306-2661

Для цитирования: Артюх Л.Ю., Карелина Н.Р., Оппедизано М.Д.Л., Гафиатулин М.Р., Красногорская О.Л., Сидорова Н.А., Яценко Е.В., Кулемин Е.С. Современный взгляд на классификацию и диагностику открытого артериального протока (обзор) // Российские биомедицинские исследования. 2023. Т. 8. № 2. С. 78–91. DOI: <https://doi.org/10.56871/RBR.2023.95.14.010>

Поступила: 06.03.2023

Одобрена: 05.04.2023

Принята к печати: 10.05.2023

Резюме. Нами проведен анализ отечественных и зарубежных источников, на основании чего предложен вариант систематизации существующих авторских классификаций открытого артериального протока (ОАП), а также описаны основные диагностические исследования, применяемые для выявления функционирующего протока. В число обязательных диагностических мер при подозрении на ОАП входят оценка клинической картины (субъективные и объективные данные осмотра), а также неинвазивные методы (рентгенография, электрокардиография, эхокардиография, в том числе трехмерная, мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), индекс перфузии, инфракрасная спектроскопия). Отмечена важная роль лабораторных методов диагностики: было показано, что уровень плазменного натрийуретического пептида В-типа (NT-proBNP) и уровень сердечного тропонина Т (сТnТ) могут использоваться в качестве биомаркеров, указывающих на наличие ОАП и позволяющих определять подходы к лечению.

Ключевые слова: открытый артериальный проток; анатомия; эпидемиология; классификация; диагностика; фетальные коммуникации.

A MODERN VIEW ON THE CLASSIFICATION AND DIAGNOSIS OF THE OPEN ARTERIAL DUCT (REVIEW)

© Linard Yu. Artyukh, Natalia R. Karelina, Mikhail Giuseppe L. Oppedisano, Marat R. Gafiatulin, Olga L. Krasnogorskaya, Nadezhda A. Sidorova, Elena V. Yatsenko, Evgeny S. Kulemin

Saint Petersburg State Pediatric Medical University. Lithuania 2, Saint Petersburg, Russian Federation, 194100

Contact information: Linard Yu. Artyukh — Assistant of the Department of Human Anatomy. E-mail: l-artyukh@mail.ru ORCID ID: 0000-0001-6306-2661

For citation: Artyukh LYu, Karelina NR, Oppedisano MGL, Gafiatulin MR, Krasnogorskaya OL, Sidorova NA, Yatsenko EV, Kulemin ES. A modern view on the classification and diagnosis of the open arterial duct (review) // Russian biomedical research (St. Petersburg). 2023; 8(2): 78–91. DOI: <https://doi.org/10.56871/RBR.2023.95.14.010>

Received: 06.03.2023

Revised: 05.04.2023

Accepted: 10.05.2023

Abstract. We have analyzed domestic and foreign sources, on the basis of which a variant of systematization of the existing author's classifications of the patent arterial duct (PAD) is proposed and the main diagnostic studies used to identify a functioning duct are described. Mandatory diagnostic measures for suspected PAD include assessment of the clinical picture (subjective and objective examination data) as well as non-invasive methods (radiography, electrocardiography, echocardiography, including three-dimensional variant, multispiral computed tomography (MCT), perfusion



index, and infrared spectroscopy). The important role of laboratory diagnostic methods was noted: it was shown that the level of plasma B-type natriuretic peptide (NT-proBNP) and the level of cardiac troponin T (cTnT) can be used as biomarkers indicating the presence of PAD and allowing the determination of treatment approaches.

Key words: patent arterial duct; anatomy; epidemiology; classification; diagnostics; fetal communications.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время нет единого статистического учета встречаемости открытого артериального протока (ОАП) в Российской Федерации. Данное упущение обусловлено совокупностью факторов, в частности отсутствием четких критериев патологического ОАП и унифицированной международно признанной классификации, а также недооценкой социальной значимости со стороны медицинского сообщества. Например, последний пересмотр клинических рекомендаций «Открытый артериальный проток» состоялся еще в 2018 году, в ходе которого не произошло никаких значимых изменений их содержания в сравнении с предыдущим вариантом [3]. При этом статистические данные, приведенные в тексте рекомендаций, содержат сведения лишь 1996 года: «Изолированный проток встречается примерно 0,14–0,3 на 1000 живорожденных новорожденных, 7% в структуре всех врожденных пороков сердца (ВПС) и 3% в структуре критических врожденных пороков сердца» [3, 5, 12].

В настоящее время использование вышеуказанных данных нецелесообразно по ряду причин. Во-первых, были достигнуты цели по снижению показателей удельного веса младенческой смертности в структуре общей смертности, что обусловлено реализацией Национального проекта «Здравоохранение» и указа Президента РФ № 240 от 29.05.2017 г. «Об объявлении Десятилетия детства» [14, 22, 31, 32]. Во-вторых, прослеживается положительная тенденция по преодолению демографической ямы 90-х годов прошлого столетия: отмечается рост рождаемости с 1996 по 2020 гг., в том числе за счет выхаживания большого количества детей с экстремально низкой массой тела (ЭНМТ) [21, 31]. Так, в 2018 году родилось 97 106 новорожденных с различной степенью недоношенности, из которых умерли лишь 2,38% (n = 2312) [31]. Рассматриваемый показатель в 2014 году был в 1,5 раза выше (3,67% при n = 4071). Учитывая тот факт, что заболеваемость ОАП обратно пропорциональна гестационному возрасту, можно предположить, что текущая встречаемость ОАП намного выше [2, 4, 7, 10, 20]. Кроме того, статистические данные, опубликованные исследователями из стран с разным социально-экономическим уровнем развития, также свидетельствуют о более высокой распространенности ОАП (Китай — 1,97 на 1000 живорожденных новорожденных; Южная Корея — 8,1 на 1000 живорожденных новорожденных; США — 10 на 1000 живорожденных новорожденных) [17, 46, 63].

Продолжительность жизни данной группы пациентов зависит от времени развития фатальных осложнений, которыми, в первую очередь, являются разрыв протока на фоне его кальцинации или аневризматического расширения, развитие бактериального эндокардита и/или тяжелой сердечной недо-

статочности. Актуальное значение описываемого показателя не превышает 40 лет [12, 13, 35, 38, 39, 71].

КЛАССИФИКАЦИИ ОАП: ВЗГЛЯД СКВОЗЬ ПРИЗМУ ВРЕМЕНИ

Для оценки строения ОАП было предложено несколько классификаций. Например, Ганс Банкл (1980) выделил следующие типы открытого артериального протока: воронкообразный, тубулярный и окончатый [5].

Проведя анализ отечественных и зарубежных источников, мы предлагаем следующий подход к систематизации существующих авторских классификаций открытого артериального протока (рис. 1): 1 — смешанные; 2 — гемодинамические; 3 — описательные; 4 — ангиографические.

К смешанным классификациям можно отнести классификацию Дж.П. Хаббарта (1943) и Г. Тикова (1969). В основу классификации Хаббарта вошли клинические данные и данные инструментальных исследований, благодаря которым

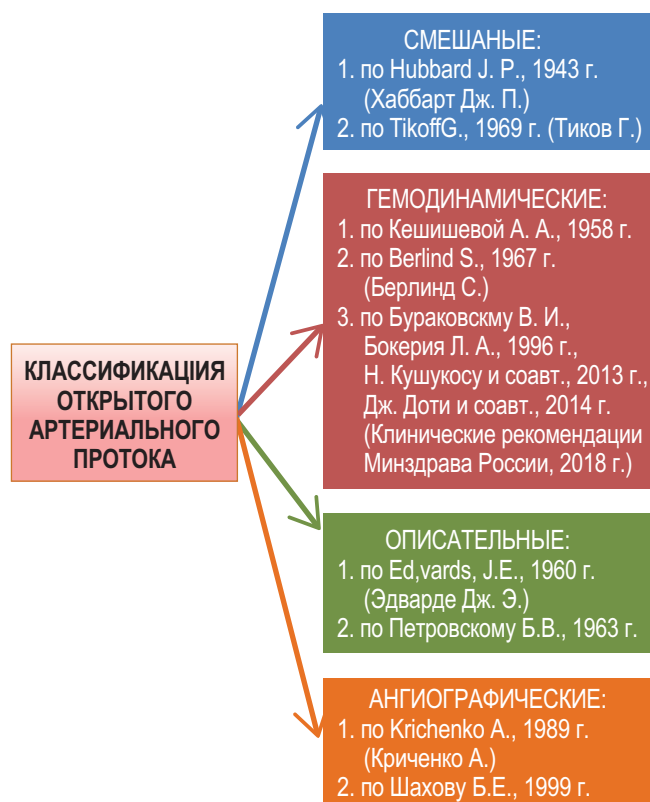


Рис. 1. Классификации открытого артериального протока

возможно определить степень компенсированности последствий функционирования протока (табл. 1) [50].

В свою очередь, классификация по Г. Тикову (табл. 2) представляет разделение ОАП на типы 1–4, в котором 1-й и 2-й являются малыми дефектами, а 3-й и 4-й — большими [72]. Основу классификации составляют патофизиологические механизмы функционирующего артериального протока (АП), его осложнения и гемодинамические изменения системы кровообращения [72].

К гемодинамическим относятся классификации Кешишевой (1974), Берлинда (1967) и классификация из клинических рекомендаций по ОАП (2018).

По Кешишевой выделяют три стадии функционирования гемодинамически значимого ОАП по уровню выраженности осложнений [13]:

- I стадия — неосложненное незаращение артериального протока, при котором легочная гипертензия не вносит изменений в клиническую картину;
- II стадия — осложненное незаращение артериального протока, при котором легочная гипертензия вносит изменения в клиническую картину;
- III стадия — открытый артериальный проток, осложненный легочной гипертензией и бактериальным эндартериитом.

Таблица 1

Классификация открытого артериального протока по Дж.П. Хаббарту [50]

Открытый артериальный проток	Компенсированный	Некомпенсированный
Цианоз	Отсутствует	Отсутствует*
Симптом барабанных палочек	Отсутствует	Отсутствует
Шум	Усиление систолического и ослабление диастолического шума	
Локализация максимального шума	Область легких	
Диастолическое АД	Нормальное или слегка сниженное ДАД	Сниженное ДАД
Застой крови в легких	Отсутствует или незначительный	Выраженный
Отклонение ЭОС	Отсутствует или незначительное вправо / влево	

* Цианоз может быть обусловлен застойной недостаточностью.

Таблица 2

Классификация типов открытого артериального протока по Г. Тикову: на основе размера дефекта и сопротивления легочных сосудов [72]

Открытый артериальный проток				
Тип	I	II	III	IV
Размер дефекта ¹	Малый	Малый	Большой	Большой
Сопротивление легочных сосудов	Нормальное	Повышенное	Повышенное, однако меньше, чем системное сосудистое сопротивление	Повышенное, большее, чем системное сосудистое сопротивление
Легочная гипертензия	Отсутствует	Есть (от легкой до умеренной степени) ²	Есть ³	
Вовлеченный желудочек (тип нагрузки)	Левый (нагрузка объемом)	Левый (нагрузка объемом) и правый (нагрузка давлением)	Левый (нагрузка объемом) и правый (нагрузка давлением)	Левый (нагрузка давлением) и правый (нагрузка объемом)
Шум	Непрерывный	Непрерывный или атипичный	Атипичный	Атипичный
Подострый бактериальный эндокардит	Может возникнуть	Может возникнуть	Возникает редко ⁴	
$L_k : C_k^5$	Переменное, у взрослых обычно < 2:1	Переменное, у взрослых обычно < 2:1	Переменное, больше 1:1	Переменное, меньше 1:1
Пульсовое давление	Широкое	Широкое или нормальное	Переменное, однако может быть широкое	Переменное

¹ Под «малым» и «большим» подразумеваются размеры, меньшие или большие, чем те, которые необходимы для обеспечения обязательного равенства между легочным и системным артериальным контурами на протяжении всего сердечного цикла.

² Обязательное равенство системного и легочного артериального давления отсутствует.

³ Обязательное равенство системного и конечного диастолического давлений в легочной артерии.

⁴ Обычно поражается область за пределами юкстадуктальной зоны.

⁵ Соотношение легочного и системного кровотока.



Таблица 3

Классификация открытого артериального протока по С. Берлинду [35]

Открытый артериальный проток				
Группа	1	2	3	4
Легочное АД, мм рт.ст.	Нормальное	30–69	70–89	≥90

В свою очередь, по классификации С. Берлинда (1967) выделяется четыре стадии в зависимости от уровня давления в легочной артерии (табл. 3) [35].

В 2018 году рабочей группой по подготовке клинических рекомендаций Ассоциации сердечно-сосудистых хирургов России во главе с академиком Л.А. Бокерией представлена классификация степени тяжести порока. Основой для нее послужили работы В.И. Бураковского, Л.А. Бокерии (1996), Николаса Кушукоса и соавт. (2013), а также Джона Доти и соавт. (2014) [3, 5, 56, 77]:

- I стадия — давление в легочной артерии (ЛА) в систолу не превышает 40% от артериального;
- II стадия — давление в ЛА составляет 40–75% от артериального (умеренная легочная гипертензия);
- III стадия — давление в ЛА более 75% от артериального (выраженная легочная гипертензия с сохранением лево-правого сброса крови);
- IV стадия — давление в ЛА равняется или превышает системное (тяжелая степень легочной гипертензии, что приводит к возникновению право-левого сброса крови).

Не стоит забывать также про созданную В.И. Бураковским и Л.А. Бокерия (1996) классификацию естественного функционирования открытого артериального протока, где определены 3 стадии [3, 5]:

- 1) первичной адаптации;
- 2) относительной компенсации;
- 3) склеротических изменений легочных сосудов.

ОАП разделяется также, согласно клиническим рекомендациям «Гемодинамически значимый артериальный проток у недоношенного новорожденного»¹, в зависимости от степени гемодинамической значимости, на легкую, умеренную и тяжелую (табл. 4).

Гемодинамически значимый открытый артериальный проток будет при условии, если:

- 1) диаметр протока более 1,5 мм;
- 2) на протоке лево-правый сброс;
- 3) есть наличие одного из критериев по данным ЭхоКГ и доплерометрии (табл. 4).

¹ Разумовский А.Ю. Гемодинамически значимый артериальный проток у недоношенного новорожденного, Общероссийская общественная организация содействия развитию неонатологии «Российское общество неонатологов» (РОН), Общественная организация «Российская ассоциация специалистов перинатальной медицины» (РАСПМ) / А.Ю. Разумовский, Д.Н. Дягтерев, Р.Р. Мовсесян [и др.]. — М.: Министерство здравоохранения РФ, 2020. — С. 83.

К описательным классификациям можно отнести две классификации — Дж.Э. Эдвардса (1967) и Б.В. Петровского (1963). Эдвардс выделяет 3 типа (по форме протока): цилиндрический, воронкообразный и окончатый [41, 76]. Классификация Б.В. Петровского основана не на анатомической норме (форме, размеру и положению), а на основе осложнений и сопутствующей патологии изолированного и сочетанного АП [24]. Так, изолированное незаращение протока разделяется на неосложненное и осложненное (бактериальным эндартериитом, легочной гипертензией, аневризмой протока или легочного ствола, декомпенсацией сердечной деятельности). Сочетанный АП разделяется на усиливающий функциональные нарушения, например при дефекте межпредсердной или межжелудочковой перегородки, аортолегочном свище, болезни Эйзенменгера, Лютембаше и компенсирующий функциональные нарушения, вызванные пороками, например тетрадой или пентадой Фалло, Кантрелла и симптомокомплексом Корвизара.

При этом Б.В. Петровский и А.А. Кешишева (1963) также выделяют цилиндрическую форму ОАП, форму усеченного конуса и щелевидную форму [24].

Авторы, в большей степени описывающие и систематизирующие различные формы протока, основывались на его изучении в ходе проведения секционного исследования либо во время проведения оперативных вмешательств, что со стороны других авторов было расценено как искажение истинных параметров протока, поскольку «не учитывается влияние сосудистого тонуса на его форму» [23, 66]. Скептиками такого рода являются авторы ангиографических классификаций. Подобный подход к определению типов ОАП, соответствующих их анатомическому строению, позволяет фиксировать изображение на рентгеновскую пленку и далее визуально оценить контуры открытого артериального протока [23].

Современными классификациями, разработанными на основе рентгеноконтрастного усиления и относящимися к ангиографическим, являются классификация А. Криченко (1989) и ее модификация, разработанная Б.Е. Шаховым и соавторами (1999).

А. Криченко выделил 5 типов протока по его форме и расположению. Выглядит классификация следующим образом (рис. 2) [57]:

Тип А²: коническая форма (наиболее узким местом протока является его легочная часть; имеется хорошо дифференцированная аортальная ампула (аналог воронкообразного типа протока)).

Тип В³: короткий проток, наиболее узкий в аортальной части.

Тип С: тубулярная форма без сужения.

Тип D: тубулярная форма с множественными сужениями.

Тип E: необычная конфигурация протока — удлиненная коническая форма с множественными сужениями (стенозированная часть, находится на удалении от края трахеи).

² По расположению легочного конца протоков при типах А и В относительно трахеи в каждой группе выделено три подгруппы: 1 — легочное отверстие протока расположено правее трахеи; 2 — по середине трахеальной тени; 3 — левее трахеи.

³ То же.

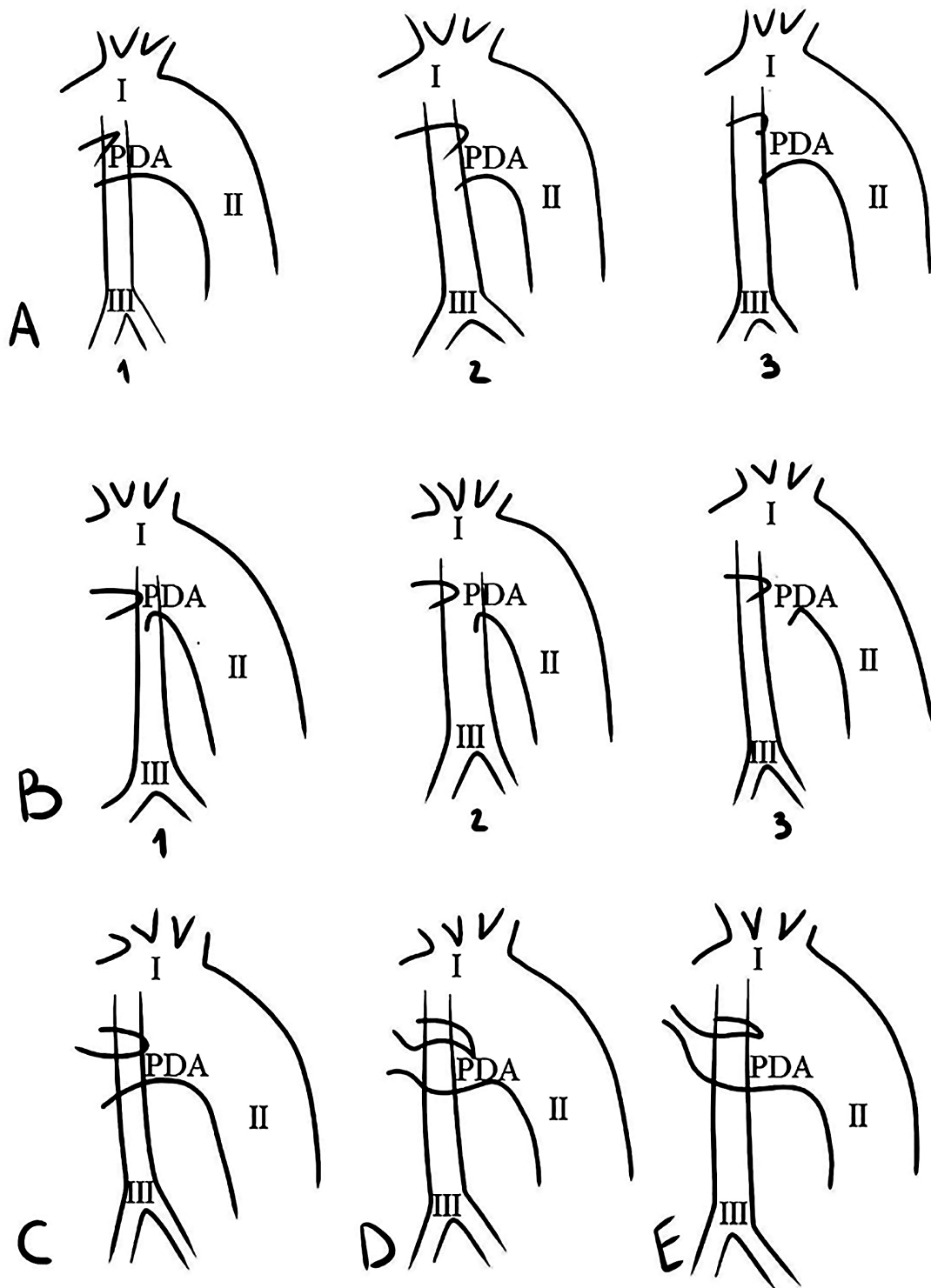


Рис. 2. Ангиографическая классификация открытого артериального протока: А — тип А; В — тип В; С — тип С; D — тип D; E — тип E; 1 — легочное отверстие протока расположено правее трахеи; 2 — по середине трахеальной тени; 3 — левее трахеи; I — дуга аорты; II — нисходящая часть аорты (грудная аорта); III — трахея; PDA — открытый артериальный проток (patentus ductus arteriosus) (по: [57])

Своего рода противопоставлением и в то же время модификацией классификации А. Криченко является вариант авторского коллектива под руководством Б.Е. Шахова (рис. 3).

По мнению авторов, уже известный способ не лишен ряда недостатков: в нем не выделены типы АП, которые являют собой комбинации воронкообразного и тубулярного типов.

Б.Е. Шахов и соавторы отмечают, что у А. Криченко, например, «отсутствуют количественные характеристики протока, что не позволяет точно подобрать параметры окклюзирующей спирали во время манипуляции эндоваскулярной окклюзии открытого артериального протока» [23]. При этом использование в качестве ориентира трахеальной тени нефункционально, поскольку при поворотах тела изменяется рентгенанатомическая картина органов грудной полости.

Модернизированная классификация описана на основе анализа ангиографических изображений ($n = 119$), по результатам которого были предложены 3 типа протока (рис. 3) [23]:

- I тип открытого артериального протока — преимущественно воронкообразный — представляет собой проток, в котором отношение длины ампулы протока к общей длине протока составляет больше $2/3$ включительно.
- II тип открытого артериального протока — промежуточный тип — представляет собой проток, в котором отношение длины канала протока к общей длине протока варьирует в диапазоне от $1/3$ до $2/3$ (наиболее частый тип по результатам исследования ($n = 52$) — 44%). Необходимо отметить, что по способу А. Криченко (1989) не предусмотрено выделение больных открытым артериальным протоком промежуточного типа.
- III тип протока — преимущественно тубулярный — представляет собой проток, в котором отношение длины канала протока к общей длине протока составляет менее $1/3$ включительно.

ДИАГНОСТИКА ОАП

На современном этапе диагностического поиска врач должен прибегать ко всему спектру необходимых клинических и инструментальных методов обследования. В число обязательных диагностических мер при подозрении на ОАП входят оценка клинической картины (субъективные и объективные данные осмотра), а также неинвазивные методы (рентгенография, электрокардиография, эхокардиография, в том числе трехмерная, мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), индекс перфузии, инфракрасная спектроскопия) и лабораторная диагностика.

КЛИНИЧЕСКАЯ КАРТИНА

Жалобы при ОАП неспецифичны [1, 3, 10, 11, 16, 33]. Выраженность клинической картины зависит, в большей степени, от величины протока и стадии гемодинамических нарушений [3, 10, 16, 55]. Проявления колеблются от бессимптомных до крайне тяжелых [48, 52].

Основными проявлениями при ОАП являются [3, 11, 13, 16, 19, 33]:

- 1) одышка различной интенсивности;
- 2) утомляемость, возникающая при физической активности;
- 3) цианоз: а) возникает лишь при крике, натуживании, вызывая, таким образом, цианоз нижней половины тела

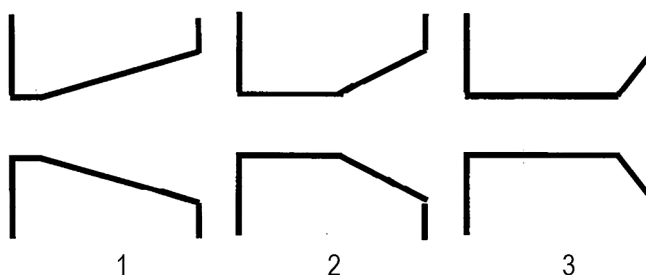


Рис. 3. Ангиографические типы открытого артериального протока: 1 — воронкообразный тип; 2 — промежуточный тип; 3 — тубулярный тип (по: [23])

(подвздошная область и области нижних конечностей); б) постоянный цианоз бывает лишь у взрослых, при необратимых изменениях шунтирования кровотока и склеротической форме легочной гипертензии;

- 4) задержка физического развития, например отставание в росте;
- 5) перебои в работе сердца (усиленный верхушечный толчок, высокий, скорый или скачущий пульс, тахикардия);
- 6) частые инфекционные заболевания легких;
- 7) у недоношенных новорожденных: тахипноэ или апноэ (неспецифичны при наличии у недоношенного ребенка синдрома дыхательных расстройств (СДР), вздутие живота, срыгивания, ухудшение усвоения пищи (синдром «обкрадывания» мезентериального кровотока), гепатомегалия, увеличение потребности в кислороде, увеличение параметров искусственной вентиляции легких (ИВЛ) при осложненных формах течения ОАП.

ОБЪЕКТИВНЫЕ ДАННЫЕ

При аускультации слышен характерный систоло-диастолический («машинный») шум, который первым наблюдал и описал шотландский врач Джордж Гибсон в 1898 г. [25, 71]. Шум может быть систолическим (~60% случаев ОАП) или систоло-диастолическим (~20% случаев ОАП), в зависимости от разности между давлением в аорте и легочной артерии [25]. Шум типично локализуется на основании сердца во втором-третьем межреберье слева и может проводиться дорсально. При этом имеется группа «silent ductus» — «немых» или «тихих» протоков, встречающихся в 11–20% случаев, когда характерный шум не выслушивается [14].

НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ

Электрокардиография и рентгенография грудной клетки для диагностики большого значения не имеют. При проведении рентгенографии грудной клетки специалистами описываются застойные полнокровные легочные поля (снижение пневматизации легких, ателектазирование верхушечных долей) при значимом увеличении тени сердца за счет левых его камер [3, 11, 12, 33, 35, 58, 60]. Могут быть расширены легочные ар-

терии. *Электрокардиографическое исследование* (ЭКГ) чаще показывает лишь усиление потенциалов левых отделов (малoinформативный метод диагностики ОАП у недоношенных и доношенных новорожденных) [3, 5, 33, 64, 72, 77]. Однако при выраженной гипертензии малого круга кровообращения возможно появление признаков гипертрофии правых камер сердца [11, 33]. При проведении ряда исследований авторами было установлено, что только в 22% случаев на ЭКГ имеются изменения.

«Золотым стандартом»¹ диагностики ОАП, и в то же время самым надежным и достоверным исследованием, является *трансторакальная эхокардиография* (ЭхоКГ) [1, 3, 4, 11, 18, 25, 30, 46, 49, 50, 54, 69]. При проведении данного исследования важной является оценка анатомических параметров протока — размеры (длина и диаметр), форма, положение [6, 18, 26]. Доказано, что ЭхоКГ имеет более высокую чувствительность в диагностике (табл. 4) по сравнению с клиническими данными (проявления ОАП наблюдаются в среднем на 4-е сутки от момента рождения) [3, 11, 26, 42, 49].

Визуализация ОАП может осуществляться из двух доступов — парастерального и супрастерального [18, 25, 26]. Аортопульмональные и коронарно-пульмональные свищи визуализируются лишь из парастерального доступа, что может являться важным ультразвуковым дифференциально-диагностическим признаком [26].

ЭхоКГ-исследование после рождения показано всем недоношенным новорожденным в течение первых 48 часов при проведении им ИВЛ, при введении сурфактанта и развитии легочного кровотечения [1, 3, 11, 49, 54, 60, 66]. Повторное исследование проводится через 48 часов после предыдущего, если у недоношенного ребенка отмечается увеличение потребности в кислороде, ухудшение параметров вентиляции, развитие смешанного или метаболического ацидоза, появление систолического шума [1, 30, 49, 65, 69].

По результатам диссертационного исследования С.О. Ефремова (2007) определены критерии гемодинамически значимого ОАП (ГЗОАП) [10]: лево-правое направление тока крови через ОАП (двунаправленный поток бывает у новорожденных с ОАП и высокой легочной гипертензией) в сочетании с увеличением ЛЖ (КДО > 50 мл/м²), и коэффициентов ЛП/Ао > 1,2 и ЛЖ/Ао > 1,92.

Н. Эванс² и соавт. (2004), Пи Джей Макнамара³ и соавт. выделили ряд иных критериев значимого ОАП, а именно [16, 51, 73]:

- 1) расширение левого предсердия (ЛП) (соотношение ЛП / корень аорты равно или больше, чем 1,4);

- 2) диастолический турбулентный кровоток в левой легочной артерии при внутреннем диаметре протока более 1,5 мм;
- 3) обратный диастолический кровоток в нисходящей аорте и верхней мезентериальной артерии;
- 4) увеличение левого желудочка (ЛЖ), увеличение среднего и диастолического кровотока в легочной артерии и обратное соотношение пиковой скорости кровотока во время систолы и диастолы в левом сердце, свидетельствующих о гиперперфузии легких.

Допплерография с визуализацией цветовым потоком делает исследование более точным, выявляет ретроградный кровоток в нисходящей аорте, помогает в исключении сопутствующих врожденных пороков сердца, например пороков межпредсердной и межжелудочковой перегородок [11, 18, 26, 34, 53, 60]. С ее помощью также более точно определяется сила потока шунтирующей крови, легочная гипертензия (давление в ЛА) [34]. Важный момент для ЭхоКГ-исследования — отличать ОАП от аортолегочного окна, которое может располагаться в дистальной части восходящей аорты [7, 11, 25].

Мультиспиральная компьютерная томография. Процедура проводится по стандартному протоколу исследования (в т.ч. в режиме селективной ангиографии), однако при изучении полученных данных (при подозрении на ОАП) рекомендуется проводить анализ на основании кососагиттальных плоскостей МIP реформаций, построенных вдоль осей восходящей аорты и нисходящего отдела аорты (грудной аорты), трехмерных реконструкций [15, 40, 42]. Специфичность МСКТ в части определения ОАП, по данным ряда исследователей, достигает 100% [15]. Используя метод спиральной КТ органов грудной клетки, мы получаем точную анатомическую картину ее структур (форма, размер, пространственное положение, синтопию и скелетотопию), а также четкие морфометрические данные, что позволяет взвешенно как проводить консервативное лечение, так и определять показания к хирургическому лечению. При этом не стоит забывать, что метод сопряжен с лучевой и контрастной нагрузками, что требует от врача более дифференцированного подхода к применению метода.

Определение индекса перфузии при ОАП происходит на основании расчета силы пульсовой волны предуктального индекса (на верхних конечностях) и постдуктального индекса (на нижних конечностях), который всегда выше за счет гиперволемии [48, 59, 71]. В нормальных условиях поток крови в постдуктальном отделе аорты однонаправленный, но при наличии функционирующего шунта поток крови во время диастолы направляется в проток, вследствие чего при доплерографии регистрируется сначала стремящийся к изоляции, а затем — ретроградный ток крови [18, 26, 60, 68, 69]. Ретроградный поток ассоциирован с показателем легочного кровотока к системному, при этом легочный кровоток на 60% больше системного [11].

Близкая к инфракрасной спектроскопия (NIRS — Near-infrared spectroscopy) основана на трех биофизических показателях — способности тканей пропускать свет в инфракрас-

¹ Obladen M, Koehne P, eds. Interventions for Persisting Ductus Arteriosus in the Preterm Infant. Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2005: 103., Sallmon H, Koehne P, Hansmann G. Recent Advances in the Treatment of Preterm Newborn Infants with Patent Ductus Arteriosus. Clin. Perinatol. 2016; 43: 113–129.

² Evans N, Malcolm G, Osborn D, Kluckow M. Diagnosis of Patent Ductus Arteriosus in Preterm Infants. Neo Reviews. 2004; 5: 86–97

³ McNamara PJ, Sehgal A. Toward rational management of the patent ductus arteriosus: the need for disease staging. Arch. Dis. Child Fetal Neonatal Ed. 2007; 92: 424–427

Таблица 4

ЭхоКГ-признаки ОАП у недоношенных новорожденных (протокол Всемирной организации здравоохранения), 2014¹

ЭхоКГ-показатели	ОАП отсутствует	Незначительный ОАП	Умеренный ОАП	Большой ОАП
Признаки ОАП				
Минимальный диаметр ОАП, мм	0	< 1,5	1,5–3	> 3
Скорость потока в ОАП V_{max} , см/с	0	> 2	1,5–2	< 1,5
Антеградный диастолический кровоток в ЛА, см/с	0	> 30	30–50	> 50
Легочная гиперциркуляция				
Соотношение диаметров ЛП/КА	1,1	1,1–1,4	1,4–1,6	> 1,6
Соотношение диаметров ЛЖ/КА	1,9 ± 0,3	–	2,2 ± 0,4	2,27 ± 0,27
Соотношение Е-волна / А-волна	< 1	< 1	1–1,5	> 1,5
Время изоволемической релаксации, мс	< 55	46–54	36–45	< 35
Индекс ударного объема ЛЖ	0,34 ± 0,09	–	0,26 ± 0,03	0,24 ± 0,07
Системная гипоперфузия				
Ретроградный диастолический кровоток в АО, % от антеградного кровотока	10	< 30	30–50	> 50
Аортальный ударный выброс, мл/кг	≤ 2,25			≥ 2,34
Сердечный выброс ЛЖ, мл/кг в минуту	190–310			> 310
Соотношение выброса ЛЖ к кровотоку в ВПВ	2,4 ± 0,3			4,5 ± 0,6

Примечание: АО — аорта; ВПВ — верхняя полая вена; КА — корень аорты; ЛА — легочная артерия; ЛЖ — левый желудочек; ЛП — левое предсердие.

¹ Agarwal R., Deorari A.K., Paul V.K. WHO/AIIMS protocols in Neonatology, 2014.

ном диапазоне, поглощении светового излучения хромофорами и зависимости степени поглощения света хромофорами от уровня насыщения кислородом крови [9, 24]. Расчет показателя (уровень оксигемоглобина, умноженный на константу рассеивания, деленный на общее количество гемоглобина, умноженного на константу рассеивания и умноженный на 100%) производится для определения региональной оксигенации [29, 47, 67]. В основном выделяют тканевую (периферическую), висцеральную (спланхнотическую) и церебральную оксигенацию (ЦО) [28, 29, 59]. У доношенных новорожденных уровень ЦО составляет 79 ± 4,06% в левом полушарии и 84,89 ± 5,1% в правом, а у недоношенных находится в диапазоне от 55 до 85% (среднее значение = 67 ± 8%) [28, 36, 59, 61, 67].

Установлено, что при различных ВПС уровень ЦО достаточно низкий [28]. Уровень ЦО при ОАП является одним из методов диагностического поиска, однако когда мы наблюдаем гемодинамически значимый проток, определение уровня ЦО приобретает особую значимость в качестве диагностического критерия для определения дальнейшей тактики лечения [36, 47, 52]. Увеличенное шунтирование крови при гемодинамически значимом ОАП приводит к системной гипоперфузии, что также определяется с помощью анализа уровня ЦО [28].

ЛАБОРАТОРНАЯ ДИАГНОСТИКА

Помимо перечисленных выше исследований, в диагностике ОАП большое внимание уделяется биохимическим мар-

Таблица 5

Концентрация NT-proBNP в разные периоды жизни ребенка [62]

Возраст	Концентрация NT-proBNP в плазме крови, среднее значение (пг/мл)
1-е сутки после рождения	3183
14-е сутки после рождения	2210
1 год после рождения	141
2 года после рождения	126
6 лет после рождения	70
14 лет после рождения	52

керам [43, 44, 62]. Было показано, что уровень плазменного натрийуретического пептида В-типа (NT-proBNP) (табл. 5) и уровень сердечного тропонина Т (сТnТ) могут использоваться в качестве биомаркеров, указывающих на наличие ОАП и позволяющих определять тактику лечения [8, 27, 37, 43]. Исследования С. Будда и соавт. показали, что при концентрации уровня N-терминального фрагмента натрийуретического пропептида мозгового (NT-proBNP) свыше 5900 пг/мл (реферативный интервал — от 0 до 125 пг/мл) можно диагностировать гемодинамически значимый ОАП у недоношенного новорожденного [37].

Определение содержания NT-proBNP при ОАП способствует адекватной оценке функциональных нарушений в сердечной мышце, а также эффективности консервативного

и хирургического лечения [8, 28, 37, 44, 45, 74]. Повышение уровня NT-proBNP отображает степень изменения давления в полостях сердца, а также является независимым прогностическим фактором летальности у недоношенных новорожденных с ОАП [28, 43, 44, 75]. Важно, что за счет влияния на периферические импульсы NT-proBNP задействован в водно-электролитном обмене и отображает степень преобразования давления в сердечных полостях [28, 43, 55, 60].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, нами предпринята попытка систематизации имеющихся данных о классификациях открытого артериального протока, а также описаны основные диагностические исследования, необходимые для оценки состояния недоношенных и доношенных новорожденных с функционирующим артериальным протоком для последующего выбора метода их лечения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Л.Ю. Артюх — разработка дизайна обзора, написание текста статьи, общее редактирование, литературный поиск; Н.Р. Карелина — разработка дизайна обзора, общее редактирование, литературный поиск; М.Д.Л. Оппедизано, М.Р. Гафиатулин, О.Л. Красногорская, Н.А. Сидорова, Е.В. Яценко, Е.С. Кулемин — редактирование текста статьи, литературный поиск. Окончательная версия прочитана и одобрена всеми авторами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Источник финансирования. Работа проводилась в рамках выполнения диссертационного исследования (номер государственной регистрации темы: 003 23).

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Linard Yu. Artyukh — review design development, article text writing, general editing, Natalia R. Karelina — literary search; review design, general editing, literature search; Mikhail Giuseppe L. Oppedisano, Marat R. Gafiatulin, Olga L. Krasnogorskaya, Nadezhda A. Sidorova, Elena V. Yatsenko, Evgeny S. Kulemin — editing the text of the article, literary search. The final version has been read and approved by all authors.

Competing interests. The authors declare no conflict of interest related to the publication of this article.

Source of financing. The work was carried out as part of a dissertation research (number of state registration of the topic: 003 23).

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева А.А. Современные представления о диагностике и лечении открытого артериального протока у новорожденных детей. Вопросы практической педиатрии. 2011; 6(6): 61–5.
2. Артюх Л.Ю., Карелина Н.Р., Красногорская О.Л. Открытый артериальный проток (обзор): история, анатомия и физиология функционирующего протока. Педиатр. 2022; 13(6): 117–29. DOI: 10.17816/PED136117-129.
3. Бокерия Л.А., Свободов А.А., Арнаутова И.В. и др. Открытый артериальный проток (ОАП), Ассоциация сердечно-сосудистых хирургов России. Клинические рекомендации. М.: Министерство здравоохранения РФ, 2018.
4. Бокерия Е.Л., Дегтярева Е.А. Открытый артериальный проток — «добро и зло в одном сосуде» (обзор литературы). Вестник РУДН. 2017; 21(2): 163–70.
5. Бураковский В.И., Бокерия Л.А. Сердечно-сосудистая хирургия. М.: Медицина; 1996.
6. Вилкенсхоф У., Крук И. Справочник по эхокардиографии. Второе издание, пераб. и доп.: пер. с нем. М.: Мед. лит.; 2016.
7. Герасимов Н.А., Шibaев А.Н., Лебедева Т.Ю. и др. Открытый артериальный проток у недоношенных новорожденных: современное представление о давней проблеме. Астраханский медицинский журнал. 2019; 4: 6–17.
8. Голухова Е.З., Алиева А.М. Клиническое значение определения натрийуретических пептидов у больных с хронической сердечной недостаточностью. Кардиол. и сердеч.-сосуд. хирург. 2007; 47(1): 45–51.
9. Евстигнеев А.Р. Разработка технологических основ и приборов для лазерной обработки и диагностики состояния биотканей. Автореф. дис. канд. техн. наук. М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана; 1985.
10. Ефремов С.О. Открытый артериальный проток у недоношенных детей: тактика ведения и показания к хирургическому лечению. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. мед. наук: НЦ сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева РАМН. М.; 2007.
11. Ефремов С.О., Туманян М.Р., Андерсон А.Г. Открытый артериальный проток у недоношенных новорожденных: патофизиологические особенности и современные подходы к диагностике и лечению. Детские болезни сердца и сосудов. 2005; 1: 8–17.
12. Зиньковский М.Ф. Врожденные пороки сердца. СПб.: Книга плюс; 2008.
13. Зубарев Р.П., Гаврилов Л.Ф., Иваницкая М.А. Артериальный проток. Большая Медицинская Энциклопедия. 3-е издание. Под редакцией Петровского Б.В.; 1974.
14. Иванов Д.О., Атласов В.О., Бобров С.А. и др. Руководство по перинатологии. СПб.: Информ-Навигатор; 2015.
15. Коков А.Н., Семенов С.Е., Масенко В.Л. и др. Мультиспиральная компьютерная томография в диагностике врожденных пороков сердца у детей первых лет жизни. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2013; 4: 42–9.
16. Крючко Д.С. Современные подходы к диагностике и терапии открытого артериального протока у недоношенных детей. Обзор литературы. Эффективная фармакотерапия. 2010; 24: 34–42.
17. Ламли Дж., Райс Г.Э., Дженкин Г. и др. Недоношенность. Под ред. Виктора В.Х.Ю., Вуда Э.К. Перевод с англ. В.А. Косаренкова. М.: Медицина; 1991.
18. Лутра А. ЭхоКГ понятным языком. Пер. с англ. Ю.А. Васюк; ред. А.А. Богачев. М.: Практическая медицина; 2017.



19. Мальцева О.С., Пшениснов К.В., Шелухин Д.А. и др. Экстракорпоральная мембранная оксигенация в педиатрии и неонатологии. Медицина: теория и практика. 2018; 3(4): 108–14.
20. Нагорная Ю.В. Минимально инвазивное клипирование открытого артериального протока у детей. Дис. на соиск. учен. степ. канд. мед. наук. М.: РНИМУ им. Н.И. Пирогова; 2018.
21. Нелунова Т.И., Образцова Г.И., Бурцева Т.Е. Сложные врожденные пороки сердца у новорожденных в Якутии. Визуализация в медицине. 2021; 3(2): 13–7.
22. Паспорт национального проекта «Здравоохранение», разработанный Минздравом России во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 7.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». 2019.
23. Шахов Б.Е., Шарабрин Е.Г., Тюрина Т.Ю. Патент № 2153289 С1 Российская Федерация, МПК А61В 6/00, А61В 5/103. Способ ангиографического определения типа открытого артериального протока. № 99114582/14. Заявл. 07.07.1999. Оpubл. 27.07.2000. Заявитель Нижегородская государственная медицинская академия.
24. Петровский Б.В., Кешишева А.А. Хирургическое лечение открытого артериального протока. Медгиз; 1963.
25. Прийма Н.Ф., Попов В.В., Иванов Д.О. Эхокардиографическое исследование в дифференциальной диагностике открытого артериального протока у детей. Педиатр. 2016; 7(4): 119–27. DOI 10.17816/PED74119-127.
26. Райдинг Э. Эхокардиография. Практическое руководство. Элисдэйр Райдинг; пер. с англ. Д.А. Струтынский. 4-е изд. М.: МЕДпресс-информ; 2016.
27. Саидова В.Т. Диагностическое значение натрийуретических пептидов в педиатрии. Казанский медицинский журнал. 2013; 94(3): 350–4.
28. Санковец Д.Н., Гнедько Т.В., Свирская О.Я. Близкая к инфракрасной спектроскопия (nirs) — новая краска в палитре неонатолога. Неонатология: Новости. Мнения. Обучение. 2017; 1(15): 58–71. DOI:10.24411/2308-2402-2017-00017.
29. Симонова А.В., Эстрин В.В., Каушанская Е.Я. Транскраниальная церебральная оксиметрия у здоровых новорожденных. Рос. вестн. перинатол. и педиатр. 2011; 3: 29–32.
30. Сингх Й., Фрайсс А., Эрдеве О., Атасай Б. Эхокардиографическая диагностика и гемодинамическая оценка открытого артериального протока у новорожденных с экстремально низким гестационным возрастом. Неонатология: Новости. Мнения. Обучение. 2021; 1(31).
31. Смелов П.А., Никитина С.Ю., Агеева Л.И., Александрова Г.А. и др. Здравоохранение в России. 2021: Стат. сб. Росстат. М.; 2021.
32. Указ Президента РФ от 29.05.2017 г. №240. Об объявлении в Российской Федерации Десятилетия детства. 2017.
33. Яковлев Г.М., Куренкова И.Г., Силин В.А. и др. Пороки сердца. Клинико-инструментальная диагностика. Учебное пособие для слушателей I и IV факультетов. Под ред. Г.М. Яковлева. Л.; 1990.
34. Abraham S., Weismann C.G. Left ventricular end-systolic eccentricity index for assessment of pulmonary hypertension in infants. Echocardiography. 2016; 33(6): 910–15.
35. Berlind S., Bojs G., Korsgren M., Varnauskus E. Severe pulmonary hypertension accompanying patent ductus arteriosus. American Heart Journal. 1967; 73(4): 460–7. DOI: 10.1016/0002-8703(67)90200-1.
36. Bernal N.P. et al. Cerebral and somatic near-infrared spectroscopy in normal newborns. J. Pediatr. Surg. 2010; 45(6): 1306–10.
37. Buddhe S., Dhuper S., Kim R. et al. NT-proBNP levels improve the ability of predicting a hemodynamically significant patent ductus arteriosus in very low-birth-weight infants. J. Clin. Neonatol. 2012; 1(2): 82–6.
38. Capozzi G., Santoro G. Patent ductus arteriosus: pathophysiology hemodynamic effects and clinical complications. J Matern-Fetal Neonatal Med. 2011; 24(Suppl 1): 15–6.
39. Chock V.Y., Punn R., Oza A., et al. Predictors of bronchopulmonary dysplasia or death in premature infants with a patent ductus arteriosus. Pediatr Res. 2014; 75(4): 570–5. DOI: 10.1038/pr.2013.253
40. Goo H.W. et al. CT of congenital heart disease: normal anatomy and typical pathologic conditions. Radiographic. 2003; 23: 147–65.
41. Edwards J.E. In Gould S.E. Pathology of the Heart. 2nd. eel., p. 440. Springfield, Charles C. Thomas.
42. El-Khuffash A., Higgins M., Walsh K., Molloy E.J. Quantitative assessment of the degree of ductal steal using celiac artery blood flow to left ventricular output ratio in preterm infants. Neonatology. 2008; 93(3): 206–12.
43. El-Khuffash A., Amoruso M., Culliton M. N-terminal pro-B-type natriuretic peptide as a marker of ductal haemodynamic significance in preterm infants: a prospective observational study. Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed. 2007; 92: 421–2.
44. Farombi-Oghuvbu I., Matthews T., Mayne P. et al. N-terminal pro-B-type natriuretic peptide: a measure of significant patent ductus arteriosus. Arch. Dis. Child Fetal. Neonatal. Ed. 2008; 93(4): 257–60.
45. Gessler P., Knirsch W., Schmitt B. Prognostic value of plasma N-terminal pro-brain natriuretic peptide in children with congenital heart defects and open-heart surgery. J. Pediatr. 2006; 148: 372–6.
46. Green C.A., Westreich D., Laughon M.M. et al. Association of chorioamnionitis and patent ductus arteriosus in a national U.S. cohort. J Perinatol. 2021; 41(1): 119–25. DOI: 10.1038/s41372-020-00866-x. Epub 2020 Oct 22. PMID: 33093626; PMCID: PMC8788109.
47. Greisen G. Is near-infrared spectroscopy living up to its promises? Semin Fetal Neonatal Med. 2006; 11(6): 498–502.
48. Hamrick S.E., Hansmann G. Patent ductus arteriosus of the preterm infant. Pediatrics. 2010; 125(5): 1020–30.
49. Hebert A., Lavoie P.M., Giesinger R.E. et al. Evolution of training guidelines for echocardiography performed by the neonatologist: toward hemodynamic consultation. J Am Soc Echocardiogr. 2019; 32: 785–90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019/02/2022>
50. Hubbard J.P. The diagnosis and evaluation of compensated and uncompensated patency of the ductus arteriosus. The Journal of Pediatrics. 1943; 22(1): 50–9. DOI: 10.1016/S0022-3476(43)80140-2.
51. Hundscheid T., El-Khuffash A., McNamara P.J., de Boode W.P. Survey highlighting the lack of consensus on diagnosis and treatment of patent ductus arteriosus in prematurity. Eur J Pediatr. 2022; 181(6): 2459–68. DOI: 10.1007/s00431-022-04441-8. Epub 2022 Mar 19. PMID: 35305143; PMCID: PMC9110525.

52. Hyttel-Sorensen S. et al. A phase II randomized clinical trial on cerebral near-infrared spectroscopy plus a treatment guideline versus treatment as usual for extremely preterm infants during the first three days of life (SafeBoosC): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2013; 14.
53. Johnson G.L., Breart G.L., Gewitz M.H. et al. Echocardiographic characteristics of premature infants with patent ductus arteriosus. *Pediatrics*. 1983; 72(6): 864–71.
54. Kaapa P., Seppanen M., Kero P. et al. Pulmonary hemodynamics after synthetic surfactant replacement in neonatal respiratory distress syndrome. *J Pediatr*. 1993; 123: 115–9.
55. Kleinman C.S., Seri I. Hemodynamic and cardiology: neonatology questions and controversies. 2nd ed. Philadelphia: Elsevier; Saunders. 2012.
56. Kouchoukos N.T., Blackstone E.H., Hanley F.L., Kirklin J.K. Kirklin/Barratt-Boyes cardiac surgery: morphology, diagnostic criteria, natural history, techniques, results, and indications. 4th ed. Philadelphia: Elsevier; 2013.
57. Krichenko A., Benson L.N., Burrows P. et al. Angiographic classification of the isolated, persistently patent ductus arteriosus and implications for percutaneous catheter occlusion. *The American Journal of Cardiology*. 1989; 63(12): 877–80. DOI: 10.1016/0002-9149(89)90064-7.
58. Lu C.W., Wang J.K., Chang C.I. et al. Noninvasive diagnosis of aortic coarctation in neonates with patent ductus arteriosus. *J Pediatr*. 2006; 148(2): 217–21.
59. McNeill S. et al. Normal cerebral, renal and abdominal regional oxygen saturations using near-infrared spectroscopy in preterm infants. *J. Perinatol*. 2011; 31(1): 51–7.
60. Mezu-Ndubuisi O.J., Agarwal G., Raghavan A. et al. Patent Ductus Arteriosus in Premature Neonates. *Drugs*. 2012; 72: 907–16. <https://doi.org/10.2165/11632870-000000000-00000>.
61. Naulaers G. et al. Cerebral tissue oxygenation index in very premature infants. *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed*. 2002; 87(3): F189–F192.
62. Nir A., Lindinger A., Rauh M. et al. NT-pro-B-type natriuretic peptide in infants and children: reference values based on combined data from four studies. *B. Pediatr. Cardiol*. 2009; 30: 3–8.
63. Park J., Yoon S.J., Han J. et al. Patent ductus arteriosus treatment trends and associated morbidities in neonates. *Sci Rep*. 2021; 11(1): 10689. DOI: 10.1038/s41598-021-89868-z. PMID: 34021202; PMCID: PMC8139968.
64. Paudel G., Joshi V. Echocardiography of the patent ductus arteriosus in premature infant. *Congenital Heart Disease*. 2019; 14: 42–5. <https://doi.org/10.1111/chd.12703>
65. Hofbeck M., Buheitel G., Singer H. et al. Safety and efficacy of interventional occlusion of patent ductus arteriosus with detachable coils: A multicentre experience. *European Journal of Pediatrics*. 2000; 159(5): 331. — DOI 10.1007/s004310051282.
66. Shimada S., Raju T.N.K. Treatment of patent ductus arteriosus after exogenous surfactant in baboons with hyaline membrane disease. *Pediatr. Res*. 1989; 26: 565–9.
67. Sorensen L.C., Greisen G. Precision of measurement of cerebral tissue oxygenation index using near-infrared spectroscopy in preterm neonates. *J. Biomed. Opt*. 2006; 11(5): Article ID 054005.
68. Sperandio M., Beedgen B., Feneberg R. et al. Effectiveness and Side Effects of an Escalating, Stepwise Approach to Indomethacin Treatment for Symptomatic Patent Ductus Arteriosus in Premature Infants Below 33 Weeks of Gestation, *Pediatrics*. December. 2005; 116: 1361–6.
69. Su B.H., Watanabe T., Shimizu M., Yanagisawa M. Echocardiographic assessment of patent ductus arteriosus shunt flow pattern in premature infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 1997; 77(1): F36–F40.
70. Taussig H.B. *Congenital Malformation of the Heart*. 2nd. ed., Vol. II, p. 490 and p. 500. Cambridge, Harvard University Press.
71. Tauzin L., Joubert C., Noel A.C. et al. Effect of persistent patent ductus arteriosus on mortality and morbidity in very low-birthweight infants. *Acta Paediatr*. 2012; 101(4): 419–23. DOI: 10.1111/j.1651-2227.2011.02550.x.
72. Tikoff G., Echezaray H.M., Schmidt A.M., Kuida H. Patent ductus arteriosus complicated by heart failure: classification based on clinical and serial hemodynamic studies. *The American Journal of Medicine*. 1969; 46(1): 43–51. DOI: 10.1016/0002-9343(69)90056-4.
73. Toyoshima K., Masutani S., Senzaki H. et al. Left atrial volume is superior to the ratio of the left atrium to aorta diameter for assessment of the severity of patent ductus arteriosus in extremely low birth weight infants. *Circ J*. 2014; 78(7): 1701–9.
74. Van Laere D., van Overmeire B., Gupta S. et al. Application of NPE in the assessment of a patent ductus arteriosus. *Pediatric Res*. 2018; 84: S46–56. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41390-018-0077-x>.
75. Vijlbrief D., Benders M., Kemperman H. et al. Use of cardiac biomarkers in neonatology. *Pediatr. Res*. 2012; 72: 337–43.
76. Wee A.S.T., Took E.P.C. Window type of ductus arteriosus with shunt reversal. *Singapore Medical Journal*. 1967; 8(4): 271–4.
77. Yuh D.D., Vricella L.A., Yang S.C., Doty J.R. *Johns Hopkins Textbook of Cardiothoracic Surgery*. 2nd ed. 2014.

REFERENCES

- Andreeva A.A. Sovremennye predstavleniya o diagnostike i lechenii otkrytogo arterial'nogo protoka u novorozhdennyh detej [Modern ideas about the diagnosis and treatment of an open arterial duct in newborn children]. *Voprosy prakticheskoy pediatrii*. 2011; 6(6): 61–5. (in Russian).
- Artyuh L.Yu., Karelina N.R., Krasnogorskaya O.L. Otkrytyj arterial'nyj protok (obzor): istoriya, anatomiya i fiziologiya funkcioniruyushchego protoka [Open arterial duct (review): history, anatomy and physiology of a functioning duct]. *Pediatr*. 2022; 13(6): 117–29. DOI: 10.17816/PED136117-129 (in Russian).
- Bokeriya L.A., Svobodov A.A., Arnautova I.V. i dr. Otkrytyj arterial'nyj protok (OAP), Associaciya serdechno-sosudistykh hirurgov Rossii, Klinicheskie rekomendacii [Patentus ductus arteriosus (OAP), Association of Cardiovascular Surgeons of Russia, Clinical recommendations]. Moskva: Ministerstvo zdravoohraneniya RF; 2018. (in Russian).
- Bokeriya E.L., Degtyareva E.A. Otkrytyj arterial'nyj protok — «dobro i zlo v odnom sosude» (obzor literatury) [Open arterial duct —



- «good and evil in one vessel» (review)]. Vestnik RUDN. 2017; 21(2): 163–70. (in Russian).
5. Burakovskij V.I., Bokeriya L.A. Serdechno-sosudistaya hirurgiya [Cardiovascular surgery]. Moskva: Medicina Publ.; 1996. (in Russian).
 6. Vilkenskhoj U., Kruk I. Spravochnik po ekhokardiografii [Handbook of echocardiography]. Vtoroe izdanie, perab. i dop.: per. s nem. Moskva: Med. lit. Publ.; 2016. (in Russian).
 7. Gerasimov N.A., Shibaev A.N., Lebedeva T.Yu. i dr. Otkrytyj arterial'nyj protok u nedonoshennyh novorozhdennyh: sovremennoe predstavlenie o davnej problem [Open arterial duct in premature newborns: a modern idea of a long-standing problem]. Astrahanskij medicinskij zhurnal. 2019; 4: 6–17. (in Russian).
 8. Goluhova E.Z., Alieva A.M. Klinicheskoe znachenie opredeleniya natrijoreticheskikh peptidov u bol'nyh s hronicheskoy serdechnoj nedostatochnost'yu [Clinical significance of determination of natriuretic peptides in patients with chronic heart failure]. Kardiolog. i serdechno-sosud. hirurg. 2007; 47(1): 45–51. (in Russian).
 9. Evstigneev A.R. Razrabotka tekhnologicheskikh osnov i priborov dlya lazernoj obrabotki i diagnostiki sostoyaniya biotkaney [Development of technological bases and devices for laser processing and diagnostics of the state of biological tissues]. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. Moskva: MVTU im. N.E. Baumana; 1985. (in Russian).
 10. Efremov S.O. Otkrytyj arterial'nyj protok u nedonoshennyh detej: taktika vedeniya i pokazaniya k hirurgicheskomu lecheniyu [Patentus ductus arteriosus in premature infants: management tactics and indications for surgical treatment]. Avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. med. nauk: NC serdechno-sosudistoj hirurgii im. A.N. Bakuleva RAMN. Moskva; 2007. (in Russian).
 11. Efremov S.O., Tumanyan M.R., Anderson A.G. Otkrytyj arterial'nyj protok u nedonoshennyh novorozhdennyh: patofiziologicheskie osobennosti i sovremennye podhody k diagnostike i lecheniyu [Patentus ductus arteriosus in premature newborns: pathophysiological features and modern approaches to diagnosis and treatment]. Detskie bolezni serdca i sosudov. 2005; 1: 8–17. (in Russian).
 12. Zin'kovskij M.F. Vrozhdennyye poroki serdca [Congenital heart disease]. Sankt-Peterburg: Kniga plyus Publ.; 2008. (in Russian).
 13. Zubarev R.P., Gavrilov L.F., Ivanickaya M.A. Arterial'nyj protok [Ductus arteriosus]. Bol'shaya Medicinskaya Enciklopediya. 3-e izdanie. Pod redakciej Petrovskogo B.V.; 1974. (in Russian).
 14. Ivanov D.O., Atlasov V.O., Bobrov S.A. i dr. Rukovodstvo po perinatologii [Guide to perinatology]. Sankt-Peterburg: Inform-Navigator Publ.; 2015 (in Russian).
 15. Kokov A.N., Semenov S.E., Masenko V.L. i dr. Mul'tispiral'naya komp'yuternaya tomografiya v diagnostike vrozhdennyh porokov serdca u detej pervyh let zhizni [Multispiral computed tomography in the diagnosis of congenital heart defects in children of the first years of life]. Kompleksnye problemy serdechno-sosudistyh zabolevanij. 2013; 4: 42–9. (in Russian).
 16. Kryuchko D.S. Sovremennye podhody k diagnostike i terapii otkrytogo arterial'nogo protoka u nedonoshennyh detej: obzor literatury [Modern approaches to the diagnosis and therapy of the open arterial duct in premature infants: review]. Effektivnaya farmakoterapiya. 2010; 24: 34–42. (in Russian).
 17. Lami Dzh., Rays G.E., Dzhenkin G. i dr. Nedonoshennost' [Prematurity]. Pod red. Viktora V.KH.Yu., Vuda E.K. Perevod s angl. V.A. Kosarenkova. Moskva: Meditsina Publ.; 1991. (in Russian).
 18. Lutra A. Ekho KG ponyatnymazykom [Echo CG in plain language]. Per. s angl. Yu.A. Vasyuk; red. A.A. Bogachev. Moskva: Prakticheskaya meditsina Publ.; 2017. (in Russian).
 19. Mal'ceva O.S., Pshenisnov K.V., Sheluhin D.A. Ekstrakorporal'naya membrannaya oksigenaciya v pediatrii i neonatologii [Extracorporeal membrane oxygenation in pediatrics and neonatology]. Medicina: teoriya i praktika. 2018; 3(4): 108–14 (in Russian).
 20. Nagornaya Yu.V. Minimal'no invazivnoe klipirovanie otkrytogo arterial'nogo protoka u detej [Minimally invasive clipping of the patentus ductus arteriosus in children]. Dis. na soisk. uchen. step. kand. med. nauk. Moskva: RNIMU im. N.I. Pirogova; 2018. (in Russian).
 21. Nelunova T.I., Obrazcova G.I., Burceva T.E. Slozhnye vrozhdennyye poroki serdca u novorozhdennyh v Yakutii [Complex congenital heart defects in newborns in Yakutia]. Vizualizaciya v medicine. 2021; 3(2): 13–7 (in Russian).
 22. Pasport nacional'nogo proekta «Zdravoohranenie» [Passport of the national project «Healthcare»], razrabotannyj Minzdravom Rossii vo ispolnenie Ukaza Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 7.05.2018 g. №204 «O nacional'nyh celyah i strategicheskikh zadachah razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda». 2019. (in Russian).
 23. Shakhov B.Ye., Sharabrin Ye.G., Tyurina T.Yu. Patent № 2153289 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A61B 6/00, A61B 5/103. Sposob angiograficheskogo opredeleniya tipa otkrytogo arterial'nogo protoka [Method for angiographic determination of the type of open ductus arteriosus]. № 99114582/14. Zayavl. 07.07.1999. Opubl. 27.07.2000. Zayavitel' Nizhegorodskaya gosudarstvennaya meditsinskaya akademiya. (in Russian).
 24. Petrovskij B.V., Keshisheva A.A. Hirurgicheskoe lechenie otkrytogo arterial'nogo protoka [Surgical treatment of an patentus ductus arteriosus]. Medgiz; 1963. (in Russian).
 25. Prijma N.F., Popov V.V., Ivanov D.O. Ekhokardiograficheskoe issledovanie v differencial'noj diagnostike otkrytogo arterial'nogo protoka u detej [Echocardiographic examination in the differential diagnosis of the patentus ductus arteriosus in children]. Pediatr. 2016; 7(4): 119–27. DOI 10.17816/PED74119-127. (in Russian).
 26. Rayding E. Ekhokardiografiya [Echocardiography]. Prakticheskoye rukovodstvo. Elisdeyr Rayding; per. s angl. D.A. Strutynskiy. 4-ye izd. Moskva: MEDpress-inform Publ.; 2016. (in Russian).
 27. Saidova V. T. Diagnosticheskoe znachenie natrijoreticheskikh peptidov v pediatrii [Diagnostic value of natriuretic peptides in pediatrics]. Kazanskij medicinskij zhurnal. 2013; 94(3): 350–4. (in Russian).
 28. Sankovec D.N., Gned'ko T.V., Svirskaya O.Ya. Blizkaya k infrakrasnoj spektroskopii (nirs) — novaya kraska v palitre neonatologa [Near infrared spectroscopy (nirs) — new paint in the neonatologist's palette]. Neonatologiya: Novosti. Mneniya. Obuchenie. 2017; 1(15): 58–71. DOI:10.24411/2308-2402-2017-00017. (in Russian).
 29. Simonova A.V., Estrin V.V., Kaushanskaya E.Ya. Transkraniyal'naya cerebral'naya oksimetriya u zdorovyh novorozhdennyh [Transcranial cerebral oximetry in healthy newborns]. Ros. vestn. perinatol. i pediatr. 2011; 3: 29–32. (in Russian).

30. Singh J., Frajss A., Erdevė O., Atasaj B. Ekhokardiograficheskaya diagnostika i gemodinamicheskaya ocenka otkrytogo arterial'nogo protoka u novorozhdennykh s ekstremal'no nizkim gestacionnym vozrastom [Echocardiographic diagnostics and hemodynamic evaluation of the patentus ductus arteriosus in newborns with extremely low gestational age]. *Neonatologiya: Novosti. Mneniya. Obuchenie*. 2021; 1(31). (in Russian).
31. Smelov P.A., Nikitina S.Yu., Ageeva L.I., Aleksandrova G.A. i dr. *Zdravoohranenie v Rossii [Healthcare in Russia]*. 2021: Stat. sb. Rosstat. Moskva; 2021. (in Russian).
32. Ukaz Prezidenta RF ot 29.05.2017 g. № 240. Ob ob»yavlenii v Rossiyskoy Federatsii Desyatiletiya detstva [On the announcement in the Russian Federation of the Decade of Childhood]. 2017. (in Russian).
33. Yakovlev G.M., Kurenkova I.G., Silin V.A. i dr. *Poroki serdca. Kliniko-instrumental'naya diagnostika [Heart disease. Clinical and instrumental diagnostics]*. Uchebnoe posobie dlya slushatelej I i IV fakul'tetov. Pod red. G.M. Yakovleva. Leningrad; 1990. (in Russian).
34. Abraham S., Weismann C.G. Left ventricular end-systolic eccentricity index for assessment of pulmonary hypertension in infants. *Echocardiography*. 2016; 33(6): 910–5.
35. Berlind S., Bojs G., Korsgren M., Varnauskus E. Severe pulmonary hypertension accompanying patent ductus arteriosus. *American Heart Journal*. 1967; 73(4): 460–7. DOI: 10.1016/0002-8703(67)90200-1.
36. Bernal N.P. et al. Cerebral and somatic near-infrared spectroscopy in normal newborns. *J. Pediatr. Surg.* 2010; 45(6): 1306–10.
37. Buddhe S., Dhuper S., Kim R. et al. NT-proBNP levels improve the ability of predicting a hemodynamically significant patent ductus arteriosus in very low-birth-weight infants. *J. Clin. Neonatol.* 2012; 1(2): 82–6.
38. Capozzi G., Santoro G. Patent ductus arteriosus: pathophysiology hemodynamic effects and clinical complications. *J Matern-Fetal Neonatal Med.* 2011; 24(Suppl 1): 15–6.
39. Chock V.Y., Pun R., Oza A., et al. Predictors of bronchopulmonary dysplasia or death in premature infants with a patent ductus arteriosus. *Pediatr Res.* 2014; 75(4): 570–5. DOI: 10.1038/pr.2013.253
40. Goo H.W. et. al. CT of congenital heart disease: normal anatomy and typical pathologic conditions. *Radiographic.* 2003; 23: 147–65.
41. Edwards J.E. In Gould S.E. *Pathology of the Heart*. 2nd. eel., p. 440. Springfield, Charles C. Thomas.
42. El-Khuffash A., Higgins M., Walsh K., Molloy E.J. Quantitative assessment of the degree of ductal steal using celiac artery blood flow to left ventricular output ratio in preterm infants. *Neonatology*. 2008; 93(3): 206–12.
43. El-Khuffash A., Amoruso M., Culliton M. N-terminal pro-B-type natriuretic peptide as a marker of ductal haemodynamic significance in preterm infants: a prospective observational study. *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed.* 2007; 92: 421–2.
44. Farombi-Oghuvbu I., Matthews T., Mayne P. et al. N-terminal pro-B-type natriuretic peptide: a measure of significant patent ductus arteriosus. *Arch. Dis. Child Fetal. Neonatal. Ed.* 2008; 93(4): 257–60.
45. Gessler P., Knirsch W., Schmitt B. Prognostic value of plasma N-terminal pro-brain natriuretic peptide in children with congenital heart defects and open-heart surgery. *J. Pediatr.* 2006; 148: 372–6.
46. Green C.A., Westreich D., Laughon M.M. et al. Association of chorioamnionitis and patent ductus arteriosus in a national U.S. cohort. *J Perinatol.* 2021; 41(1): 119–25. DOI: 10.1038/s41372-020-00866-x. Epub 2020 Oct 22. PMID: 33093626; PMCID: PMC8788109.
47. Greisen G. Is near-infrared spectroscopy living up to its promises? *Semin Fetal Neonatal Med.* 2006; 11(6): 498–502.
48. Hamrick S.E., Hansmann G. Patent ductus arteriosus of the preterm infant. *Pediatrics.* 2010; 125(5): 1020–30.
49. Hebert A., Lavoice P.M., Giesinger R.E. et al. Evolution of training guidelines for echocardiography performed by the neonatologist: toward hemodynamic consultation. *J Am Soc Echocardiogr.* 2019; 32: 785–90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019/02/2022>.
50. Hubbard J.P. The diagnosis and evaluation of compensated and uncompensated patency of the ductus arteriosus. *The Journal of Pediatrics.* 1943; 22(1): 50–9. DOI: 10.1016/S0022-3476(43)80140-2.
51. Hundscheid T., El-Khuffash A., McNamara P.J., de Boode W.P. Survey highlighting the lack of consensus on diagnosis and treatment of patent ductus arteriosus in prematurity. *Eur J Pediatr.* 2022; 181(6): 2459–68. DOI: 10.1007/s00431-022-04441-8. Epub 2022 Mar 19. PMID: 35305143; PMCID: PMC9110525.
52. Hyttel-Sorensen S. et al. A phase II randomized clinical trial on cerebral near-infrared spectroscopy plus a treatment guideline versus treatment as usual for extremely preterm infants during the first three days of life (SafeBoosC): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2013; 14.
53. Johnson G.L., Breart G.L., Gewitz M.H. et al. Echocardiographic characteristics of premature infants with patent ductus arteriosus. *Pediatrics.* 1983; 72(6): 864–71.
54. Kaapa P., Seppanen M., Kero P. et al. Pulmonary hemodynamics after synthetic surfactant replacement in neonatal respiratory distress syndrome. *J Pediatr.* 1993; 123: 115–9.
55. Kleinman C.S., Seri I. *Hemodynamic and cardiology: neonatology questions and controversies*. 2nd ed. Philadelphia: Elsevier; Saunders. 2012.
56. Kouchoukos N.T., Blackstone E.H., Hanley F.L., Kirklin J.K. *Kirklin/Barratt-Boyes cardiac surgery: morphology, diagnostic criteria, natural history, techniques, results, and indications*. 4th ed. Philadelphia: Elsevier; 2013.
57. Krichenko A., Benson L.N., Burrows P. et al. Angiographic classification of the isolated, persistently patent ductus arteriosus and implications for percutaneous catheter occlusion. *The American Journal of Cardiology.* 1989; 63(12): 877–80. DOI: 10.1016/0002-9149(89)90064-7.
58. Lu C.W., Wang J.K., Chang C.I. et al. Noninvasive diagnosis of aortic coarctation in neonates with patent ductus arteriosus. *J Pediatr.* 2006; 148(2): 217–21.
59. McNeill S. et al. Normal cerebral, renal and abdominal regional oxygen saturations using near-infrared spectroscopy in preterm infants. *J. Perinatol.* 2011; 31(1): 51–7.
60. Mezu-Ndubuisi O.J., Agarwal G., Raghavan A. et al. Patent Ductus Arteriosus in Premature Neonates. *Drugs.* 2012; 72: 907–16. <https://doi.org/10.2165/11632870-000000000-00000>
61. Naulaers G. et al. Cerebral tissue oxygenation index in very premature infants. *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed.* 2002; 87(3): F189–F192.

62. Nir A., Lindinger A., Rauh M. et al. NT-pro-B-type natriuretic peptide in infants and children: reference values based on combined data from four studies. *B. Pediatr. Cardiol.* 2009; 30: 3–8.
63. Park J., Yoon S.J., Han J. et al. Patent ductus arteriosus treatment trends and associated morbidities in neonates. *Sci Rep.* 2021; 11(1): 10689. DOI: 10.1038/s41598-021-89868-z. PMID: 34021202; PMCID: PMC8139968.
64. Paudel G., Joshi V. Echocardiography of the patent ductus arteriosus in premature infant. *Congenital Heart Disease.* 2019; 14: 42–5. <https://doi.org/10.1111/chd.12703>
65. Hofbeck M., Buheitel G., Singer H. et al. Safety and efficacy of interventional occlusion of patent ductus arteriosus with detachable coils: A multicentre experience. *European Journal of Pediatrics.* 2000; 159(5): 331. DOI 10.1007/s004310051282.
66. Shimada S., Raju T.N.K. Treatment of patent ductus arteriosus after exogenous surfactant in baboons with hyaline membrane disease. *Pediatr. Res.* 1989; 26: 565–9.
67. Sorensen L.C., Greisen G. Precision of measurement of cerebral tissue oxygenation index using near-infrared spectroscopy in preterm neonates. *J. Biomed. Opt.* 2006; 11(5): Article ID 054005.
68. Sperandio M., Beedgen B., Feneberg R. et al. Effectiveness and Side Effects of an Escalating, Stepwise Approach to Indomethacin Treatment for Symptomatic Patent Ductus Arteriosus in Premature Infants Below 33 Weeks of Gestation. *Pediatrics.* December. 2005; 116: 1361–6.
69. Su B.H., Watanabe T., Shimizu M., Yanagisawa M. Echocardiographic assessment of patent ductus arteriosus shunt flow pattern in premature infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 1997; 77(1): F36–F40.
70. Taussig H.B. *Congenital Malformation of the Heart.* 2nd. ed., Vol. II, p. 490 and p. 500. Cambridge, Harvard University Press.
71. Tauzin L., Joubert C., Noel A.C. et al. Effect of persistent patent ductus arteriosus on mortality and morbidity in very low-birthweight infants. *Acta Paediatr.* 2012; 101(4): 419–23. DOI: 10.1111/j.1651-2227.2011.02550.x.
72. Tikoff G., Echegaray H.M., Schmidt A.M., Kuida H. Patent ductus arteriosus complicated by heart failure: classification based on clinical and serial hemodynamic studies. *The American Journal of Medicine.* 1969; 46(1): 43–51. DOI: 10.1016/0002-9343(69)90056-4.
73. Toyoshima K., Masutani S., Senzaki H. et al. Left atrial volume is superior to the ratio of the left atrium to aorta diameter for assessment of the severity of patent ductus arteriosus in extremely low birth weight infants. *Circ J.* 2014; 78(7): 1701–9.
74. Van Laere D., van Overmeire B., Gupta S. et al. Application of NPE in the assessment of a patent ductus arteriosus. *Pediatric Res.* 2018; 84: S46–56. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41390-018-0077-x>.
75. Vijlbrief D., Benders M., Kemperman H. et al. Use of cardiac biomarkers in neonatology. *Pediatr. Res.* 2012; 72: 337–43.
76. Wee A.S.T., Took E.P.C. Window type of ductus arteriosus with shunt reversal. *Singapore Medical Journal.* 1967; 8(4): 271–4.
77. Yuh D.D., Vricella L.A., Yang S.C., Doty J.R. *Johns Hopkins Textbook of Cardiothoracic Surgery.* 2nd ed. 2014.