



Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1293>

Прогнозирование степени перегрузки правых камер сердца у пациентов с острой массивной тромбоэмболией легочной артерии на основании результатов КТ-диагностики

© Сухова М.Б.^{1,2*}, Трофимова Т.Н.³, Якимов В.Н.¹, Ведунова М.В.¹, Крюкова Е.В.³

¹ Институт биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»; 603950 Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, Российская Федерация

² ГБУЗ НО «Научный исследовательский институт – Специализированная кардиохирургическая клиническая больница им. академика Б.А. Королева»; 603005 Нижний Новгород, ул. Ванеева, 209, Российская Федерация

³ ФГБУН «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН»; 197376 Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, 9, Российская Федерация

В группу исследования вошло 147 пациентов на этапе подготовки к экстренному хирургическому лечению острой массивной тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА) в период с марта 2012 г. по декабрь 2019 г. включительно. В качестве КТ-показателей перегрузки правых камер сердца взяты обычные КТ-показатели, не требующие использования компьютерных томографов экспертного класса, ими стали верхняя полая вена, нижняя полая вена, непарная вена; рефлюкс контрастного препарата в нижнюю полую вену; рефлюкс контрастного препарата в печеночные вены. В ходе исследования проведен сравнительный анализ среднего давления в легочной артерии с вышеуказанными КТ-показателями. Наиболее устойчивую статистическую взаимосвязь с показателями среднего давления в легочной артерии продемонстрировали КТ-параметры – диаметр непарной вены и рефлюкс контрастного препарата в печеночные вены. По результатам работы предложена методика расчета фактических значений среднего давления в легочной артерии на основании КТ-параметра «диаметр непарной вены».

Ключевые слова: мультиспиральная компьютерная томография, тромбоэмболия легочной артерии, давление в легочной артерии, легочная гипертензия, тромбэмболэктомия, тромбэктомия, ангиопульмонография, непарная вена, перегрузка правых камер сердца

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Сухова М.Б., Трофимова Т.Н., Якимов В.Н., Ведунова М.В., Крюкова Е.В. Прогнозирование степени перегрузки правых камер сердца у пациентов с острой массивной тромбоэмболией легочной артерии на основании результатов КТ-диагностики. *Медицинская визуализация*. 2023. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1293>

Поступила в редакцию: 06.12.2022. Принята к печати: 16.06.2023. Опубликовано online: 3.08.2023.

Prediction of the degree of the right heart chambers overload in patients with acute massive pulmonary embolism based on the results of MSCT diagnostics

© Marina B. Sukhova^{1,2*}, Tatiana N. Trofimova³, Vasiliy N. Yakimov¹, Maria V. Vedunova¹, Elena V. Kryukova³

¹ Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod; 23, Gagarin str., Nizhny Novgorod 603950, Russian Federation



² Scientific Research Institute – Specialized Cardiosurgical Clinical Hospital B.A. Koroleva; 209, Vaneeva str., Nizhny Novgorod 603136, Russian Federation

³ Institute of the human brain N.P. Bekhtereva of the Russian Academy of Sciences; 9 Academic Pavlov str., St. Petersburg 197376, Russian Federation

The study group included 147 patients at the stage of preparation for emergency surgical treatment of acute massive PE in the period from March 2012 to December 2019 inclusive. As CT indicators of overload of the right chambers of the heart, the usual CT indicators that do not require the use of expert – class computed tomographs were taken – they were the superior vena cava, inferior vena cava, unpaired vein; reflux of the contrast drug into the inferior vena cava; reflux of the contrast drug into the hepatic veins. In the course of the study, a comparative analysis of the average pressure in the pulmonary artery with the above CT indicators was performed. The most stable statistical relationship with the indicators of mean pressure in the pulmonary artery was demonstrated by CT parameters – the diameter of the unpaired vein and the reflux of the contrast agent into the hepatic veins. Based on the results of the work, a method for calculating the actual values of the average pressure in the pulmonary artery based on the CT parameter of the diameter of the unpaired vein is proposed.

Keywords: multispiral computed tomography, pulmonary embolism, pulmonary artery pressure, pulmonary hypertension, thrombembolectomy, thrombectomy, angiopulmonography, unpaired vein, overload of the right chambers of the heart

Conflicts of interest. The authors declare that they have no conflict of interest.

Funding. This study was not supported by any funding.

Ethical approval. All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

Informed consent. “Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.”

Consent for publication. Consent for publication was obtained for every individual person’s data included in the study.

For citation: Sukhova M.B., Trofimova T.N., Yakimov V.N., Vedunova M.V., Kryukova E.V. Prediction of the degree of the right heart chambers overload in patients with acute massive pulmonary embolism based on the results of MSCT diagnostics. *Medical Visualization*. 2023. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1293>

Received: 06.12.2022.

Accepted for publication: 16.06.2023.

Published online: 3.08.2023.

Введение

Острая массивная форма тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА) остается одной из самых сложных проблем экстренной лучевой диагностики, сердечно-сосудистой хирургии и кардиологии за счет молниеносности течения и высокого риска летальности в первые часы заболевания. Актуальность темы также определена возрастающей востребованностью хирургических методов лечения острой массивной формы ТЭЛА.

На сегодняшний день КТ-диагностика практически полностью заменила иные лучевые методы для экстренной диагностики ТЭЛА, став не только первым, но зачастую и единственным методом лучевой диагностики жизнеугрожаемой массивной формы ТЭЛА [1–5], по результатам которого происходит отбор пациентов на неотложное хирургическое лечение.

Современными задачами экстренной КТ-диагностики становятся оценка не только прямых ангиографических признаков ТЭЛА, но и анализ степени правожелудочковой недостаточности сердца, что обосновывает принципиально новый

подход к стратификации рисков хирургического лечения ТЭЛА по результатам метода рентгеновской компьютерной томографии (КТ) [6–8].

Успешное хирургическое лечение массивной формы ТЭЛА по ряду параметров превосходит результаты консервативной терапии, обеспечивая как быстрое клиническое выздоровление пациента, так и низкий процент рецидива заболевания в последующем. Только такая одномоментная объективная оценка ангиографической массивности и степени перегрузки правых камер сердца позволяет определить истинную тяжесть, жизнеугрожаемость тромбоэмболического поражения, возможность и необходимость экстренного оперативного лечения ТЭЛА [1, 8–11].

Еще в 1936 г. Feinberg и Wiggers выдвинули гипотезу о том, что “недостаточность кровообращения после обструкции легочной артерии не имела другой причины, кроме усталости правого желудочка” [12], поскольку именно скорость нарастания правожелудочковой недостаточности при острой массивной окклюзии артериального легочного русла определяет летальность при ТЭЛА [5, 12–16].



Долгое время традиционным и единственным неинвазивным методом количественного определения давления в легочной артерии являлся метод трансторакальной эхокардиографии (ЭхоКГ) [13, 17, 18]. Визуализационные возможности ЭхоКГ неоспоримы в случае левых камер и остаются недостаточными в отношении правых отделов сердца. Многими авторами отмечаются как операторозависимость, так и высокий субъективизм интерпретации полученных результатов при расчете давления в легочной артерии методом ЭхоКГ [11, 16, 18, 19]. Вместе с тем давление в легочной артерии, как основной показатель степени перегрузки правых камер сердца, большинством клиницистов рассматривается критерием для выбора хирургического метода лечения в случае острой массивной ТЭЛА [7–9, 11, 13, 19, 20].

Поэтому поиск универсальных объективных лучевых методов экстренной диагностики в кардиологии продолжается [1, 3, 6, 7, 9, 13, 14, 18]. Учитывая это, актуальным для нашей работы представлялось изучение возможности прогнозирования показателя давления в легочной артерии на основании объективных и универсальных КТ-предикторов на этапе отбора пациентов на экстренное оперативное лечение острой массивной ТЭЛА.

Цель работы: исследование корреляции давления в легочной артерии от КТ-параметров, полученных в ходе контрастусиленной КТ-ангиографии у пациентов с острой массивной ТЭЛА.

Материал и методы

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией (2013). От каждого пациента получено информированное согласие. Исследование проводилось в период с марта 2012 г. по декабрь 2019 г. включительно.

Настоящая работа рассматривает хирургический подход к лечению острой массивной ТЭЛА. На этапе подготовки к хирургическому вмешательству экстренно выполнялись клинико-лабораторные обследования, КТ-ангиопульмонография, трансторакальная ЭхоКГ.

КТ-ангиопульмонография выполнялась на компьютерном томографе Aquilion CXL (Toshiba) с постобработкой изображений на мультимодальной рабочей станции Vitrea. Все пациенты, вошедшие в исследование, исходно имели тяжелый ангиографический вариант поражения артериального легочного русла с проксимальным уровнем обструкции на уровне ствола легочной артерии и/или главных ветвей легочной артерии. В качестве КТ-показателей перегрузки правых камер рассмат-

ривались два вида рефлюкса: “случай-рефлюкс 1” (рефлюкс-контраст в супрадиафрагмальный сегмент нижней полой вены) и “случай-рефлюкс 2” (рефлюкс-контраст в печеночные вены); диаметры полых и непарной вен. Измерение диаметра непарной вены (*v. azygos*) осуществлялось на уровне впадения в верхнюю полую вену (ВПВ), ВПВ – на 2 см выше уровня впадения в правое предсердие, нижней полой вены (НПВ) – на 1 см ниже уровня впадения в правое предсердие.

ЭхоКГ-исследование проводилось на ультразвуковых диагностических системах VIVID 3, VIVID 7 компании GE (США) датчиком 3.5 МГц. Использовалась трансторакальная ЭхоКГ в 2D- и M-режиме с методикой импульсного и постоянноволнового доплеровского исследования и цветового картирования. Основной задачей ЭхоКГ стало определение давления в легочной артерии (давление, рассчитанное по времени ускорения потока в выводном отделе правого желудочка) – как основного и традиционного ультразвукового показателя перегрузки правых камер.

Методом лечения во всех случаях было хирургическое вмешательство – тромбэмболектомия из легочной артерии в условиях искусственного кровообращения ($n = 147$). Были использованы следующие хирургические методы: тромбэмболектомия из легочной артерии в условиях искусственного кровообращения ($n = 123$); тромбэмболектомия, дополненная эндартерэктомией из легочной артерии в условиях искусственного кровообращения ($n = 24$).

Анализ зависимости давления в легочной артерии от выбранных КТ-параметров проводился путем построения линейных регрессионных моделей. Взаимосвязь между давлением в легочной артерии и наличием рефлюкса в нижнюю полую и печеночные вены анализировалась путем сравнения среднего давления в группах с наличием и отсутствием рефлюкса, анализ проводился с применением критерия Стьюдента в модификации Уэлча.

Результаты

В исследование вошло 147 пациентов, которым по жизненным показаниям экстренно выполнено хирургическое лечение острой массивной ТЭЛА в условиях искусственного кровообращения.

Длительность анамнеза острой массивной ТЭЛА до оперативного вмешательства составила от 1 до 19 дней (в среднем 6.5 дня). Возраст пациентов варьировал от 24 до 79 лет (в среднем 54.2 года) (рис. 1а, б).

Наибольшее количество пациентов находилось в возрастном интервале 44–60 лет (средний воз-

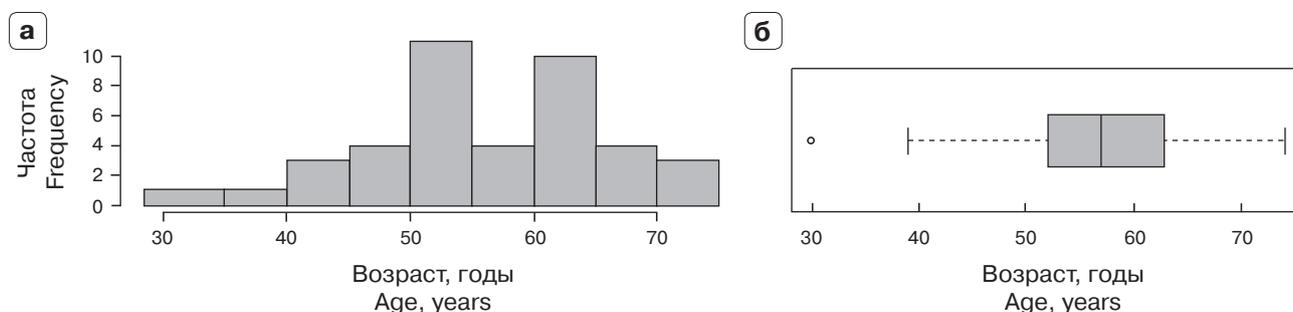


Рис. 1. Гистограмма распределения (а) и диаграмма размахов (б) возраста пациентов с острой массивной ТЭЛА на дооперационном этапе (n = 147).

Fig. 1. Distribution histogram (a) and range diagram (b) of the age of patients with acute massive PE at the preoperative phase (n = 147).

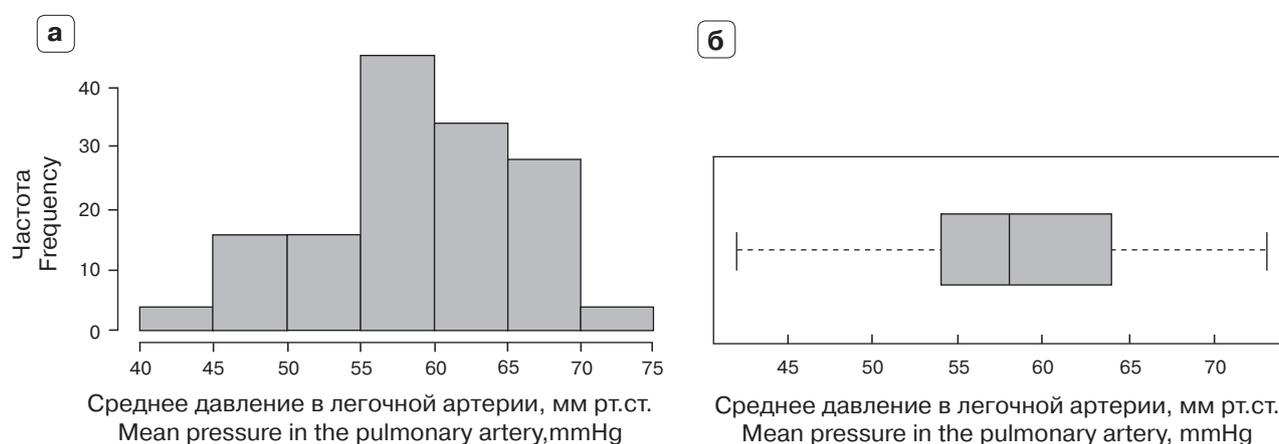


Рис. 2. Гистограмма распределения (а) и диаграмма размахов (б) среднего давления в легочной артерии (мм рт.ст.) у пациентов с острой массивной ТЭЛА на дооперационном этапе.

Fig. 2. Distribution histogram (a) and range diagram (b) of mean pressure in the pulmonary artery (mmHg) in patients with acute massive PE at the preoperative phase.

раст, n = 45) и 60–75 лет (пожилой возраст, n = 41); наименьшее – в возрастном интервале 75–90 лет (старческий возраст, n = 4); пациенты молодого возраста 18–44 лет – n = 24 (см. рис. 1а, б). Соотношение мужчин (n = 75, 51.1%) и женщин (n = 72, 48.9%), вошедших в исследование, было сопоставимо

Показатели расчетного давления в легочной артерии согласно методу ЭхоКГ графически представлены на рис. 2а, б.

Взаимосвязь между диаметром полой вены, воротной вены и давлением в легочной артерии была проведена путем построения линейных регрессионных моделей зависимости. В текущей модели анализа диаметр вен берется как независимая переменная, а давление в легочной артерии стало зависимой переменной (рис. 3, 4). На кривой логистическая модель зависимости не демон-

стрирует вероятности увеличения диаметра НПВ в ответ на повышение среднего давления в легочной артерии, зависимость не подтверждена ($F_{1,145} = 0.129$; $p = 0.72$).

Логистическая модель зависимости давления в легочной артерии от диаметра НПВ также не демонстрирует вероятности увеличения диаметра НПВ в ответ на увеличение среднего давления в легочной артерии ($F_{1,145} = 0.287$; $p = 0.59$) (см. рис. 4).

На рис. 5 отображена прямая регрессионной зависимости давления в легочной артерии от диаметра непарной вены. Получено соответствие – при увеличении диаметра непарной вены прямо пропорционально возрастает среднее давление в легочной артерии, сплошная прямая отражает линию регрессии (уравнение (1)), пунктирные линии – положение 95% доверительного интерва-

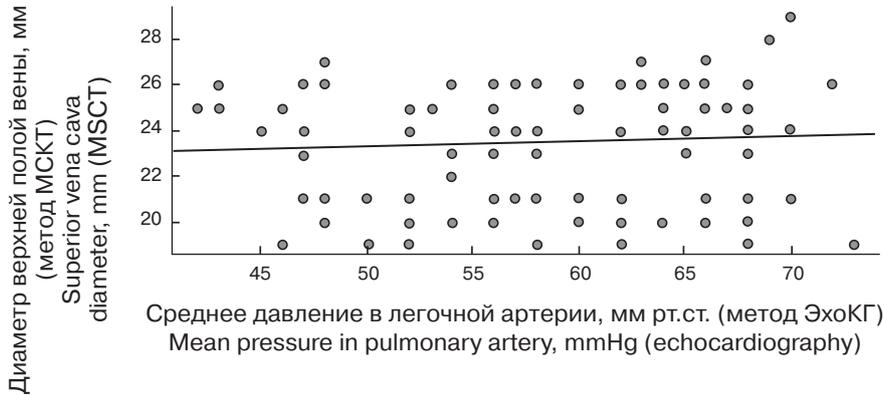


Рис. 3. Зависимость среднего давления в легочной артерии от диаметра верхней полой вены. По оси абсцисс показано давление в легочной артерии, по оси ординат – диаметр верхней полой вены.

Fig. 3. Dependence of the mean pressure in the pulmonary artery on the diameter of the superior vena cava. The abscissa shows the pressure in the pulmonary artery, and the ordinate shows the diameter of the superior vena cava.

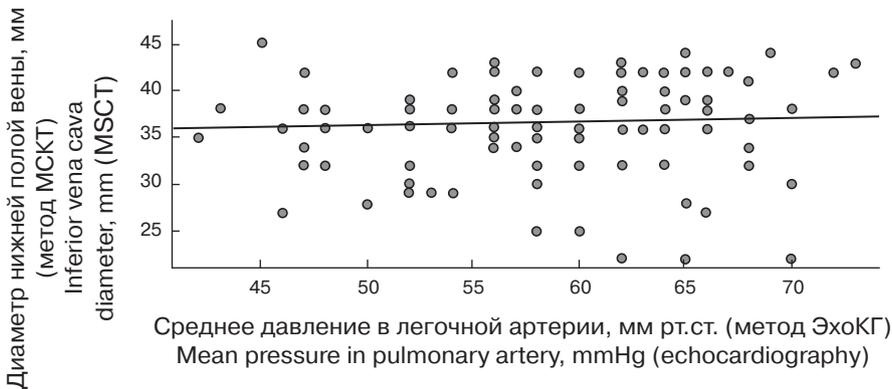


Рис. 4. Зависимость среднего давления в легочной артерии от диаметра нижней полой вены. По оси абсцисс показано давление в легочной артерии, по оси ординат – диаметр нижней полой вены.

Fig. 4. Dependence of mean pressure in the pulmonary artery on the diameter of the inferior vena cava. The abscissa shows the pressure in the pulmonary artery, and the ordinate shows the diameter of the inferior vena cava.

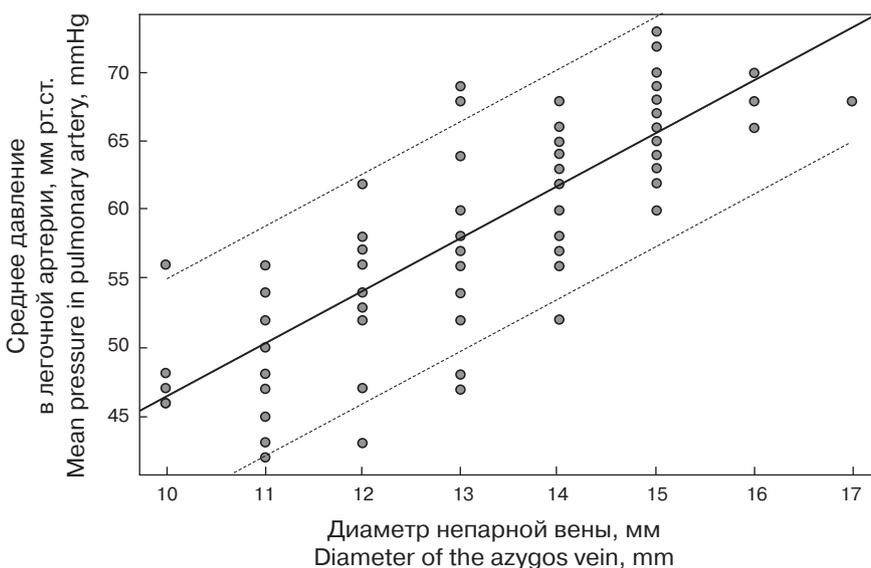


Рис. 5. Зависимость среднего давления в легочной артерии от диаметра непарной вены. По оси абсцисс показан диаметр непарной вены, по оси ординат – давление в легочной артерии.

Fig. 5. Dependence of the average pressure in the pulmonary artery on the diameter of the azygos vein. The abscissa shows the diameter of the azygos vein, the ordinate shows the pressure in the pulmonary artery.



ла для прогноза среднего давления в легочной артерии у новых пациентов ($F_{1, 145} = 297.1$; $p < 0.001$).

Статистический анализ регрессионной модели выявил статистически значимую взаимосвязь между диаметром непарной вены и средним давлением в легочной артерии ($p < 0.001$).

Согласно уравнению регрессии, при изменении диаметра непарной вены на 1 мм ожидаемое давление увеличивается на 3.827 мм рт.ст. Изменчивость КТ-параметра (диаметра непарной вены) объясняет 66.9% изменчивости давления в легочной вене. Высокий коэффициент детерминации ($r^2 = 0.669$) позволяет использовать полученную регрессионную модель для прогноза значений среднего давления в легочной артерии. Прогноз можно получить в виде точечной либо интервальной оценки. Ожидаемое давление в легочной артерии (точечная оценка) может быть получено путем подстановки значения диаметра непарной вены в уравнение (1).

$$P = 8.248 + 3.827 \cdot d, \quad (1)$$

где P – среднее давление в легочной артерии, d – диаметр непарной вены на уровне ее впадения в ВПВ.

Так, например, при диаметре непарной вены 10 мм ожидаемое давление в легочной артерии составит $8.248 + 3.827 \cdot 10 = 46.518$ мм рт.ст.

Для построения доверительного интервала необходимо рассчитать стандартную ошибку прогноза s_p :

$$s_p = s_e \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(d - \bar{d})^2}{S_d^2(n-1)}}, \quad (2)$$

где s_e – остаточное стандартное отклонение (составляет 4.167), n – объем выборки (147 пациентов), \bar{d} – средний диаметр непарной вены в проанализированном наборе данных (составляет 13.326), S_d^2 – дисперсия диаметра непарной вены в проанализированном наборе данных (составляет 2.413), d – значение диаметра непарной вены у пациента, для которого строится прогноз.

Доверительный интервал строится по формуле:

$$\hat{P} \pm s_p \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}, df}, \quad (3)$$

где \hat{P} – точечная оценка давления в легочной артерии, рассчитанная по уравнению (1), s_p – стандартная ошибка прогноза, рассчитанная по уравнению (2), $t_{1-\frac{\alpha}{2}, df}$ – квантиль t -распределения Стьюдента с $df = n - 2$ степенями свободы, $1 - \alpha$ – доверительная вероятность. Для расчета 95% доверительного интервала понадобится квантиль

уровня $1 - \frac{0.05}{2} = 0.975$ распределения Стьюдента со 145 степенями свободы: $t_{0.975, 145} = 1.976$.

Итак, подставляя конкретные значения в формулы (1), (2) и (3), можно получить следующее выражение для 95% доверительного интервала:

$$\begin{aligned} (8.248 + 3.827 \cdot d) \pm 4.167 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{147} + \frac{(d - 13.326)^2}{2.413 \cdot 146}} \cdot 1.976 = \\ = (8.248 + 3.827 \cdot d) \pm 8.234 \cdot \sqrt{1.007 + \frac{(d - 13.326)^2}{352.298}} \end{aligned} \quad (4)$$

В качестве примера воспользуемся формулой (4) для расчета 95% доверительного интервала для прогноза давления в легочной артерии у пациента с диаметром непарной вены, составляющим 17 мм:

$$\begin{aligned} (8.248 + 3.827 \cdot 17) \pm 8.234 \cdot \sqrt{1.007 + \frac{(17 - 13.326)^2}{352.298}} = \\ = 73.307 \pm 8.419 \end{aligned}$$

Таким образом, с вероятностью 95% значение давления в легочной артерии у пациента с диаметром непарной вены 17 мм будет находиться в интервале 64.888–81.726.

Понятие “случай-рефлюкс” контрастного препарата нами был определен как дополнительный КТ-параметр повышения среднего давления в легочной артерии. Рефлюкс-контраст в НПВ (или “случай-рефлюкс 1”) визуализирован у 64 пациентов; рефлюкс-контраст в печеночные вены (или “случай-рефлюкс 2”) – у 41 пациента. Выполнены серии попарных сравнений групп с рефлюксом контрастного препарата с группой без рефлюкса (0 группой) для анализа зависимости среднего давления в легочной артерии в зависимости от наличия случаев рефлюкса контрастного препарата. Использовался параметрический метод, критерий Стьюдента в модификации Уэлча.

Определено, что давление в легочной артерии увеличивается с ростом количества “случай-рефлюкс 1”, критерий Стьюдента подтвердил статистически значимые отличия ($t = -2.18$, $p < 0.05$). Независимая объясняющая переменная (рефлюкс контрастного препарата в НПВ) определялась при среднем давлении в легочной артерии не менее 57 мм рт.ст. Коэффициент вариации случайной величины показал, что при среднем давлении в легочной артерии 57 мм рт.ст. рефлюкс контрастного препарата в НПВ (“случай-рефлюкс 1”) зафиксирован в 25% случаев, при среднем давлении в легочной артерии 66 мм рт.ст. – в 75% случаев, при среднем давлении в легочной артерии 63 мм рт.ст. – в половине случаев (рис. 6).



Рис. 6. Диаграммы размахов среднего давления в легочной артерии от случаев рефлюкса контрастного препарата в нижнюю полую вену (“случай-рефлюкс 1”).

Fig. 6. Diagrams of the mean pressure range in the pulmonary artery from cases of reflux of contrast agent into the inferior vena cava (“case-reflux 1”).

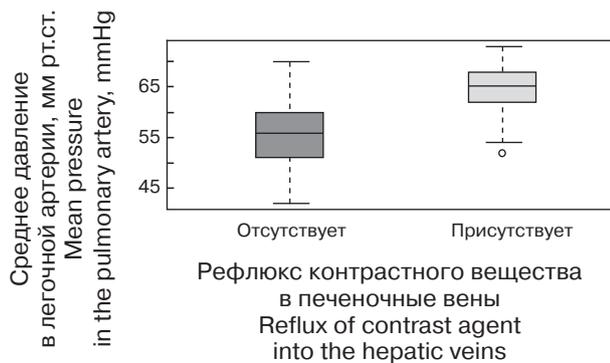


Рис. 7. Диаграммы размахов среднего давления в легочной артерии от случаев рефлюкса контрастного препарата в печеночные вены (“случай-рефлюкс 2”).

Fig. 7. Diagrams of the mean pressure range in the pulmonary artery from cases of reflux of contrast agent into the hepatic veins (“case-reflux 2”).

Определено, что давление в легочной артерии увеличивается с ростом количества “случай-рефлюкс 2”, критерий Стьюдента подтвердил статистически значимые отличия ($t = -3.753$, $p < 0.05$). При наличии рефлюкса контрастного препарата в печеночные вены (“случай-рефлюкс 2”) среднее давление в легочной артерии в группе составило 64.2 ± 4.95 мм рт.ст., при отсутствии рефлюкса контрастного препарата в печеночные вены – 55.7 ± 6.61 мм рт.ст. Независимая переменная рефлюкс контрастного препарата в печеночные вены “случай-рефлюкс 2” контрастного препарата в печеночные вены определялась у всех пациентов, имевших среднее давление в легочной артерии, равное или большее 65 мм рт.ст. (рис. 7).

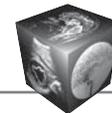
Обсуждение

До сих пор острым вопросом экстренной кардиохирургии остается вопрос быстрой объективной оценки степени правожелудочковой недостаточности. Стратификация рисков в режиме реального времени наиболее актуальна именно для жизнеугрожаемой острой массивной ТЭЛА, когда тромбообструкция артериального легочного русла превышает 50% с резким и чаще неконтролируемым прогрессированием правожелудочковой недостаточности [1, 10, 13, 19–21].

Именно эта категория пациентов нуждается в быстрой комплексной объективной диагностике, по результатам которой принимается решение о возможности и прогнозе хирургического лечения ТЭЛА. Основным методом диагностики ТЭЛА является метод рентгеновской КТ, современными задачами которого становятся не только оценка прямых ангиографических признаков ТЭЛА, но и анализ степени перегрузки правых камер сердца. Дополнительное использование иных методов лучевой диагностики, таких как сцинтиграфия, МРТ, ПЭТ-КТ, чаще не представляется возможным из-за тяжести клинического состояния пациентов. Именно эта категория пациентов, как правило, имеет максимальную степень тяжести и очень высокий риск смерти по всем известным кардиологическим шкалам. Становится необходимым поиск КТ-параметров, позволяющих оценить динамическую дисфункцию правого желудочка с возможностью фактической оценки давления в легочной артерии [1, 10, 11, 22–26], что стало основополагающим в нашей работе.

Расширение протокола КТ-обследования пациентов с острой массивной ТЭЛА за счет включения в анализ статических показателей размеров правых камер сердца, предложенное зарубежными авторами, находит свое оправдание с позиций фундаментальной медицины, но специфичность этих показателей для анализа степени перегрузки правых отделов сердца невелика [1, 14, 17, 21]. Становится все более важным определение параметров КТ, позволяющих оценить динамическую дисфункцию правого желудочка с возможностью фактической оценки давления в легочной артерии вместо косвенных проявлений перегрузки правых камер (увеличение поперечных размеров правого предсердия, правого желудочка, ствола и ветвей легочной артерии, степени смещения межжелудочковой перегородки) [1, 11, 22–27], что стало основополагающим в нашей работе.

С этиопатогенетической точки зрения повышение сопротивления в системе легочных вен и вен средостения является единым процессом, возникающим в ответ на легочную эмболию. Повышение



давления в правом предсердии приводит к расширению зависимых вен – непарной, верхней и нижней полых вен. Актуальность сопоставления размеров полых вен и непарной вены с давлением в легочной артерии отмечена рядом авторов, однако законченных исследований на сегодняшний день не найдено [1, 5, 10, 11, 15, 24–27].

Статистический анализ в рамках нашего исследования подтвердил прямую взаимосвязь между диаметром непарной вены и давлением в легочной артерии ($p < 0.001$). Согласно уравнению регрессии, при изменении диаметра непарной вены на 1 мм ожидаемое давление увеличивается на 3.827 мм рт.ст. Высокий коэффициент детерминации ($r^2 = 0.669$) позволяет использовать полученную регрессионную модель не только для прогноза, но и для получения фактических значений давления в легочной артерии методом КТ, что является новым пионерским направлением современной лучевой диагностики.

В группах сравнения по КТ-параметрам – диаметру верхней и нижней полых вен, взаимосвязь, демонстрирующая статистическую значимость, в ходе нашей работы не получена ($p > 0.05$), поэтому изолированное использование результатов имеет ограниченную практическую ценность.

Дополняющим фактором, подтверждающим гемодинамическую значимость перегрузки правых камер сердца, стал рефлюкс контрастного препарата в нижнюю полую и печеночные вены. Контрастный рефлюкс в нижнюю полую и печеночные вены, так называемое напряженное ретроградное контрастирование, как один из показателей перегрузки правых камер сердца, рассматривается рядом исследователей [8, 23–25]. Представленные в литературе исследования подтверждают влияние этого параметра на 30-дневную выживаемость пациентов, сообщая, что рефлюкс контрастного препарата в НПВ и печеночные вены чаще встречается в группе летальных исходов острой массивной ТЭЛА, однако количественного сопоставления КТ-параметра “случай-рефлюкс” с фактическими показателями давления в легочной артерии представлено не было [8, 10, 17, 24, 28, 29].

Выполненное нами исследование позволяет утверждать, что оба вида рефлюкса статистически связаны с показателями давления в легочной артерии ($p < 0.05$), из которых наиболее прогностически устойчивым КТ-параметром перегрузки правых камер сердца стал рефлюкс контрастного препарата в печеночные вены, его наличие свидетельствовало о давлении в легочной артерии более 65 мм рт.ст. Тем не менее практическое применение данного КТ-параметра может иметь техни-

ческие ограничения. По мнению ряда авторов [8, 28], специфичность КТ-параметра “случай-рефлюкс” может зависеть от скорости введения контрастного препарата в ходе КТ-ангиопульмонографии, имея наиболее низкие показатели при высокой скорости введения контрастного препарата в момент процедуры. Однако даже при скорости введения контрастного препарата более 3 мл/с специфичность параметра в оценке правожелудочковой недостаточности приближается к 70%, а чувствительность превышает 80% [8, 27], что позволяет рассматривать КТ-параметр – рефлюкс контрастного препарата в печеночные вены в практической медицине как альтернативный КТ-предиктор повышения давления в легочной артерии в случае методически верного выполнения КТ-ангиопульмонографии.

Безусловно, метод КТ не должен являться методом первой линии для изолированной оценки правых камер сердца за счет сопутствующего отрицательного эффекта использования йодсодержащего контрастного агента и лучевой нагрузки. Однако в случае ТЭЛА, когда КТ-диагностика уже является методом выбора, расширение постпроцессингового анализа полученных КТ-результатов может и должно давать дополнительную информацию в оценке перегрузки правых камер сердца, что позволит еще больше унифицировать метод КТ для экстренной диагностики жизнеугрожаемых сердечно-сосудистых состояний.

Заключение

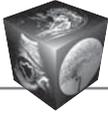
Включения в анализ ранее не учитываемых параметров КТ-ангиографии – диаметр непарной вены, рефлюкс контрастного препарата в печеночные вены, дает возможность расчета фактических значений среднего давления в легочной артерии для объективной оценки степени перегрузки правых камер сердца. Расширение алгоритма меняет взгляд на возможности экстренной КТ-диагностики угрожающего жизни сердечно-сосудистого заболевания – острой массивной тромбоэмболии легочной артерии.

Финансирование исследования. Работа не финансировалась какими-либо источниками.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие финансовых и других конфликтных интересов, способных оказать влияние на их работу.

Участие авторов

Сухова М.Б. – концепция и дизайн исследования; проведение исследования, анализ и интерпретация полученных данных, сбор и обработка данных, написание текста.



Трофимова Т.Н. – концепция и дизайн исследования; анализ и интерпретация полученных данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Якимов В.Н. – анализ и интерпретация полученных данных; сбор и обработка данных, участие в научном дизайне, статистическая обработка данных.

Ведунова М.В. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

Крюкова Е.В. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, подготовка, создание опубликованной работы.

Authors' participation

Sukhova M.B. – concept and design of the study, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, collection and analysis of data, writing text.

Trofimova T.N. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, approval of the final version of the article.

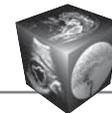
Yakimov V.N. – analysis and interpretation of the obtained data, collection and analysis of data, statistical analysis, participation in scientific design.

Vedunova M.V. – analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design.

Kryukova E.V. – text preparation and editing, participation in scientific design.

Список литературы [References]

1. Jia D., Zhou X.M., Hou G. Estimation of right ventricular dysfunction by computed tomography pulmonary angiography: a valuable adjunct for evaluating the severity of acute pulmonary embolism. *J. Thromb. Thrombolysis*. 2017; 43 (2): 271–278. <http://doi.org/10.1007/s11239-016-1438-0>
2. Kincl V., Feitova V., Panovsky R., Stepanova R. Assessment of the severity of acute pulmonary embolism using CT pulmonary angiography parameters. *Biomed. Pap. Med. Fac. Univ. Palacky Olomouc Czech. Repub.* 2015; 159 (2): 259–265. <http://doi.org/10.5507/bp.2013.082>.
3. Трофимова Т.Н., Сухова М.Б. Прогнозирование успеха экстренного оперативного лечения острой массивной тромбоэмболии легочной артерии на основании результатов многосрезовой компьютерной томографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2019; 100 (6): 363–371. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-6-363-371>
4. Trofimova T.N., Sukhova M.B. Predicting the Success of Emergency Surgical Treatment of Acute Massive Pulmonary Embolism Based on the Results of Multislice Computed Tomography. *Journal of radiology and nuclear medicine*. 2019; 100 (6): 363–371. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-6-363-371> (In Russian)
5. Ghaye B., Ghuysen A., Willems V., Lambertmont B. et al. Severe pulmonary embolism: pulmonary artery clot load scores and cardiovascular parameters as predictors of mortality. *Radiology*. 2006; 239 (3): 884–891. <https://doi.org/10.1148/radiol.2392050075>
6. Jaff M.R., McMurtry M.S., Archer S.L. et al.; American Heart Association Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation; American Heart Association Council on Peripheral Vascular Disease; American Heart Association Council on Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology. Management of massive and submassive pulmonary embolism, iliofemoral deep vein thrombosis, and chronic thromboembolic pulmonary hypertension: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2011; 123 (16): 1788–1830. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e318214914f>
7. Wiśniewska M., Palczewski P.D., Golebiowski M. et al. CT-angiographic findings in patients with acute pulmonary embolism and echocardiographic features of right ventricular dysfunction. *Eur. Soc. Radiol.* 2016. C-2358. <https://dx.doi.org/10.1594/ecr2016/C-2358>
8. Медведев А.П., Немирова С.В., Хубулава Г.Г., Демарин О.И., Дерябин Р.А., Пичугин В.В. Тактика лечения тромбозмболии легочных артерий. *Современные технологии в медицине*. 2016; 8 (4): 280–284. Medvedev A.P., Nemirova S.V., Khubulava G.G. et al. Atherapeutic approach to treatment of pulmonary thromboembolism. *Sovremennye tehnologii v medicine*. 2016; 8 (4): 280–284. (In Russian)
9. John G., Marti C., Poletti P.A., Perrier A. Hemodynamic indexes derived from computed tomography angiography to predict pulmonary embolism related mortality. *Biomed. Res. Int.* 2014; 2014: 363756. <https://doi.org/10.1155/2014/363756>
10. Сухова М.Б., Медведев А.П. Ранняя контрастная многосрезовая компьютерная томографическая диагностика септической эмболии легочной артерии и случай успешного хирургического лечения. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2019; 100 (5): 304–308. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-5-304-308>
11. Sukhova M.B., Medvedev A.P. Early Contrast-Enhanced Multispiral Computed Tomographic Diagnosis of Septic Pulmonary Embolism and a Case of Successful Surgical Treatment. *Journal of radiology and nuclear medicine*. 2019; 100 (5): 304–308. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-5-304-308> (In Russian)
12. Dupont M.V., Dragean C.A., Coche E.E. Right ventricle function assessment by MDCT. *Am. J. Roentgenol.* 2011; 196 (1): 77–86. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.3801>
13. Coutance G., Cauderlier E., Ehtisham J. et al. The prognostic value of markers of right ventricular dysfunction in pulmonary embolism: a meta-analysis. *Crit. Care*. 2011; 15 (2): R103. <https://doi.org/10.1186/cc10119>
14. McConnell M.V., Solomon S.D., Rayan M.E. et al. Regional right ventricular dysfunction detected by echocardiography in acute pulmonary embolism. *Am. J. Cardiol.* 1996; 78 (4): 469–473. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(96\)00339-6](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(96)00339-6)
15. Young W., Ahn S., Wook C. Risk Stratification of Submassive Pulmonary Embolism: The Role of Chest Computed Tomography as an Alternative to Echocardiography [Internet]. *Pulmonary Embolism*. InTech; 2012. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/32256>
16. Park J.R., Chang S.A., Jang S.Y. et al. Evaluation of right ventricular dysfunction and prediction of clinical outcomes in acute pulmonary embolism by chest computed tomography: comparisons with echocardiography. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2012; 28 (4): 979–987. <https://doi.org/10.1007/s10554-011-9912-4>



15. Трофимова Т.Н., Медведев А.П., Сухова М.Б., Якимов В.Н. Приоритетная справка ФГБУ Федеральная служба по интеллектуальной собственности ФИПС о выдаче патента Российской Федерации на изобретение от 14.11.2019, входящий номер 072364, регистрационный номер 2019136650. "Способ оценки операбельности больного с острой массивной тромбоэмболией легочной артерии (ТЭЛА)". Trofimova T.N., Medvedev A.P., Sukhova M.B., Yakimov V.N. Inventor "The method of surgically operability assessment of patient with acute massive pulmonary embolism". Russian Federation patent 2019136650. 2019. (In Russian)
16. Galie N., Humbert M., Vachiery J.L. et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPCC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur. Respir. J.* 2015; 46 (4): 903–975. <https://doi.org/10.1183/13993003.01032-2015>
17. Grosse C., Grosse A. CT findings in diseases associated with pulmonary hypertension: a current review. *Radiographics.* 2010; 30 (7): 1753–1777. <https://doi.org/10.1148/rg.307105710>
18. Aribas A., Keskin S., Akilli H. et al. The use of axial diameters and CT obstruction scores for determining echocardiographic right ventricular dysfunction in patients with acute pulmonary embolism. *Jpn. J. Radiol.* 2014; 32 (8): 451–460. <https://doi.org/10.1007/s11604-014-0327-8>
19. Mean M., Tritschler T., Limacher A. et al. Association between computed tomography obstruction index and mortality in elderly patients with acute pulmonary embolism: A prospective validation study. *PLoS One.* 2017; 12 (6): e0179224. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179224>
20. Лишманов Ю.Б., Панькова А.Н., Завадовский К.В. К вопросу о причинах диссоциации между объемом тромбоэмболии артериального русла легких и степенью дисфункции правого желудочка. *Российский кардиологический журнал.* 2012; 3: 28–32. Lishmanov Yu.B., Pankova A.N., Zavadovskyi K.V. Possible causes of dissociation between pulmonary embolism volume and right ventricular dysfunction degree. *Russian Journal of Cardiology.* 2012; 3: 28–32. (In Russian)
21. Савельев В.С., Яблоков К.Г., Кириенко Е.Г. Легочная эмболия. М.: Медицина, 1979. 264 с. Savelyev V.S., Yablokov K.G., Kirienko E.G. Pulmonary embolism. Moscow: Medicine, 1979. 264 p. (In Russian)
22. Трофимова Т.Н., Ананьева Н.И., Шарова Л.Е. и др. Лучевая анатомия человека: Практическое руководство для врачей / Под ред. Трофимовой Т.Н. С-Пб.: Издательский дом СПбМАПО, 2005. 494 с. ISBN: 5-98037-043-9 Trofimova T.N., Ananyeva N.I., Sharova L.E. et al. Human Radiation Anatomy: Practical Guidance for Physicians / Ed. Trofimova T.N. Saint Petersburg Medical Academy of Postgraduate Education, 2005. 494 p. ISBN: 5-98037-043-9 (In Russian)
23. Yeh B.M., Kurzman P., Foster E. et al. Clinical relevance of retrograde inferior vena cava or hepatic vein opacification during contrast-enhanced CT. *Am. J. Roentgenol.* 2004; 183 (5): 1227–1232. <https://doi.org/10.2214/ajr.183.5.1831227>
24. Aviram G., Rogowski O., Gotler Y. et al. Real-time risk stratification of patients with acute pulmonary embolism by grading the reflux of contrast into the inferior vena cava on computerized tomographic pulmonary angiography. *J. Thromb. Haemost.* 2008; 6 (9): 1488–1493. <https://doi.org/10.1111/j.1538-7836.2008.03079.x>
25. Collins M.A., Pidgeon J.W., Fitzgerald R. Computed tomography manifestations of tricuspid regurgitation. *Br. J. Radiol.* 1995; 68 (814): 1058–1060. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-68-814-1058>
26. Kang D.K., Ramos-Duran L., Schoepf U.J. et al. Reproducibility of CT signs of right ventricular dysfunction in acute pulmonary embolism. *Am. J. Roentgenol.* 2010; 194 (6): 1500–1506. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.3717>
27. Козина М.Б. Этиопатогенетическое обоснование показаний к комплексному МСКТ-исследованию у пациентов с подозрением на тромбоэмболию легочной артерии. *Медицинский альманах.* 2017; 48 (3): 161–164. Kozina M.B. Etiopathogenic substantiation of complex MSCT-assessment in patients with suspected pulmonary thromboembolism. *Medical Almanac.* 2017; 48 (3): 161–164. (In Russian)
28. Yeh E.A., Fox R.J. Demyelinating lesions and progressive MS: Location, location, location. *Neurology.* 2019; 93 (7): 283–284. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000007933>
29. Staskiewicz G., Czekańska-Chehab E., Uhlig S. et al. Logistic regression model for identification of right ventricular dysfunction in patients with acute pulmonary embolism by means of computed tomography. *Eur. J. Radiol.* 2013; 82 (8): 1236–1239. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.02.004>



Для корреспонденции*: Сухова Марина Борисовна – e-mail: skkbnn@gmail.com

Сухова Марина Борисовна – доктор мед. наук, профессор кафедры ядерной и экспериментальной медицины ИББМ ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского”; заведующая рентгено-диагностическим отделением ГБУЗ НО “НИИ-СККБ им. академика Б.А. Королева”, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0002-0504-1421>. E-mail: skkbnn@gmail.com

Трофимова Татьяна Николаевна – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН “Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. E-mail: TTrofimova@sogaz-clinic.ru

Якимов Василий Николаевич – доктор биол. наук, доцент, заведующий кафедрой экологии Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского”, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0001-7150-7851>. E-mail: damselfly@yandex.ru

Ведунова Мария Валерьевна – доктор биол. наук, профессор, директор Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского”, Нижний Новгород. <https://orcid.org/0000-0001-9759-6477>. E-mail: mvedunova@yandex.ru

Крюкова Елена Владимировна – канд. мед. наук, врач-невролог отделения неврологии №2 ФГБУН “Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН”, Санкт-Петербург. E-mail: eldementyeva@gmail.com

Contact*: Marina B. Sukhova – e-mail: skkbnn@gmail.com

Marina B. Sukhova – Doct. of Sci. (Med.), radiologist, Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod; Scientific Research Institute – B.A. Korolev Specialized Cardiosurgical Clinical Hospital, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0002-0504-1421>. E-mail: skkbnn@gmail.com

Tatiana N. Trofimova – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doct. of Sci. (Med.), Professor, radiologist, Institute of the human brain N.P. Bekhtereva of the Russian Academy of Sciences; Head of the laboratory of neuroimaging, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-4871-2341>. E-mail: TTrofimova@sogaz-clinic.ru

Vasiliy N. Yakimov – Doct. of Sci. (Biol.), Head of the Department of Ecology, Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod. <https://orcid.org/0000-0001-7150-7851>. E-mail: damselfly@yandex.ru

Maria V. Vedunova – Doct. of Sci. (Biol.), Professor, Head of Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod; <https://orcid.org/0000-0001-9759-6477>. E-mail: mvedunova@yandex.ru

Elena V. Kryukova – Cand. of Sci. (Med.), neurologist neurology department №2 N.P. Bechtereva Institute of the Human Brain of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg. E-mail: eldementyeva@gmail.com