



Моделирование влияния положения тела новорожденного на напряжение углекислого газа в кислородном тенте

Ю. С. АЛЕКСАНДРОВИЧ¹, К. В. ПШЕНИСНОВ¹, Р. ВАРДАНЯН², В. ИГНАТОВ², В. ХИЕНАС³, И. В. АЛЕКСАНДРОВИЧ⁴, С. Н. НЕЗАБУДКИН¹

¹Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, РФ

²Armgate Ltd., Марупе, Латвия

³Родильный дом, Вильнюс, Литва

⁴Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова, Санкт-Петербург, РФ

РЕЗЮМЕ

Оксигенотерапия – распространенный метод респираторной поддержки, однако ее применение сопряжено с риском рециркуляции углекислого газа и развития гиперкапнии у пациента.

Цель исследования: оценить напряжение углекислого газа в кислородной палатке в зависимости от положения тела пациента на экспериментальной модели новорожденного.

Материалы и методы. Исследование выполнено на фантоме новорожденного. Оценено влияние трех положений пациента при скорости подачи свежей смеси 2,5; 5; 7 и 10 л/мин. Мониторинг напряжения углекислого газа осуществляли с помощью прибора «Testo 480», измерения проводили в течение 60 мин.

Результаты исследования. Установлена четкая зависимость между положением тела новорожденного и напряжением углекислого газа в кислородной палатке. Минимальное напряжение углекислого газа отмечается в положении пациента на спине при скорости подачи свежей смеси 7,5 л/мин и составляет 527 ± 64 ppm, а максимальное – в положении ребенка на животе при той же скорости потока подачи кислородо-воздушной смеси: 1180 ± 63 ppm.

Заключение. Положение тела новорожденного ребенка является основным фактором, влияющим на напряжение углекислого газа в кислородной палатке.

Ключевые слова: новорожденный, углекислый газ, оксигенотерапия, кислородная палатка

Для цитирования: Александрович Ю. С., Пшениснов К. В., Варданян Р., Игнатов В., Хиенас В., Александрович И. В., Незабудкин С. Н. Моделирование влияния положения тела новорожденного на напряжение углекислого газа в кислородном тенте // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2021. – Т. 18, № 5. – С. 57-61. DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-5-57-61

Simulating Effect of Neonate Body Position on Carbon Dioxide Tension in Oxygen Tent

YU. S. ALEKSANDROVICH¹, K. V. PSHENISNOV¹, R. VARDANJAN², V. IGNATOV², V. CHIENAS³, I. V. ALEKSANDROVICH⁴, S. N. NEZABUDKIN¹

¹St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

²Armgate Ltd., Marupe, Latvia

³Vilnius Maternity Hospital, Vilnius, Lithuania

⁴North-Western State Medical University Named after I. I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

Oxygen therapy is a common method of respiratory support, but its use involves the risk of carbon dioxide recycling and the development of hypercapnia in the patient.

The aim of the study. Assess the carbon dioxide tension in the oxygen tent depending on the patient's body position in the experimental newborn model.

Materials and Methods. The study was performed on the phantom of the newborn. Influence of 3 patient positions at fresh mixture feed rate 2.5, 5, 7 and 10 l/min is evaluated. Monitoring of the carbon dioxide tension was carried out using Testo 480, measurements were carried out for 60 minutes.

Results of the study. A clear relationship was established between the position of the newborn's body and the tension of carbon dioxide in the oxygen tent. The minimum tension of carbon dioxide is noted in the patient's position on the back at a fresh mixture feed rate of 7.5 l/minute and is 527 ± 64 ppm, and the maximum – in the child's position on the stomach at the same oxygen-air mixture feed rate: 1180 ± 63 ppm.

Conclusion. The position of the newborn baby's body is the main factor affecting the carbon dioxide stress in the oxygen tent.

Key words: neonate, carbon dioxide, oxygen therapy, oxygen tent

For citations: Aleksandrovich Yu. S., Pshenisnov K. V., Vardanjani R., Ignatov V., Chijenias V., Aleksandrovich I. V., Nezabudkin S. N. Simulating effect of neonate body position on carbon dioxide tension in oxygen tent. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2021, Vol. 18, no. 5, P. 57-61. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-5-57-61

Для корреспонденции:

Пшениснов Константин Викторович
E-mail: Psh_k@mail.ru

Correspondence:

Konstantin V. Pshenisnov
Email: Psh_k@mail.ru

Оксигенотерапия является одним из наиболее распространенных методов неинвазивной респираторной поддержки, которая широко используется как у детей старшего возраста, так и у новорожден-

ных при различных заболеваниях и патологических состояниях, сопровождающихся гипоксемией [1, 4, 5, 6]. В неонатальной практике с этой целью широко используют как кислородные маски, так и палатки

(синонимы: тенты, колпаки), однако при использовании указанных устройств достаточно высок риск рециркуляции углекислого газа в замкнутом пространстве и прогрессирования гиперкапнии у пациента, что может стать причиной ухудшения его состояния [1–4]. В настоящее время поддержанию оптимальной концентрации углекислого газа в среде обитания человека уделяется особое внимание, поскольку она оказывает существенное влияние на все показатели жизнедеятельности организма и может стать причиной тяжелой дисфункции сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Имеются различные ГОСТы, в которых регламентирована концентрация углекислого газа в зависимости от особенностей деятельности человека, однако нормативных документов, отражающих оптимальное напряжение углекислого газа при проведении оксигенотерапии у новорожденных с помощью кислородных палаток, сегодня нет. При использовании инкубаторов максимальное значение этого показателя лишь указывается производителем оборудования в технической документации инкубатора, однако публикации, посвященные этой проблеме, также единичны [10]. Обращает на себя внимание и то, что число работ, оценивающих напряжение углекислого газа на выдохе при проведении оксигенотерапии у новорожденных, крайне мало, при этом авторы ранее выполненных исследований полагают, что состав газов в кислородной палатке однородный, что далеко не так, поскольку в процессе дыхания пациента он может значительно изменяться [8, 9, 11]. В частности, концентрация углекислого газа в кислородном тенте может зависеть от скорости потока и положения тела пациента, что и послужило основанием для проведения данной работы. В основу настоящего исследования была положена гипотеза, предполагающая, что воздушно-кислородная смесь подается в кислородную палатку локально, при этом положение тела новорожденного ребенка может оказывать значительное влияние на напряжение углекислого газа в разных сегментах купола. В зависимости от положения головы пациента выдыхаемый углекислый газ может как смешиваться,

так и не соприкасаться со свежим потоком кислородно-воздушной смеси, в связи с чем эффективность вымывания углекислого газа из-под купола может значительно ухудшаться.

Цель исследования: оценить напряжение углекислого газа в кислородной палатке при проведении оксигенотерапии в зависимости от положения тела пациента на экспериментальной модели новорожденного.

Материалы и методы

Исследование проведено в лаборатории Armgate Ltd. (Латвия) в течение 4 нед. (с 14 июня 2021 г. по 12 июля 2021 г.). В качестве модели пациента использовали специально изготовленный фантом новорожденного ребенка со встроенной канюлей в ротовой полости (рис. 1), через которую подавался углекислый газ, его концентрация оценивалась с помощью газоанализатора.

Была разработана экспериментальная модель, имитирующая проведение оксигенотерапии с помощью кислородной палатки у новорожденного, позволяющая менять как положение манекена, так и потоки газов, подающихся под купол (рис. 2).

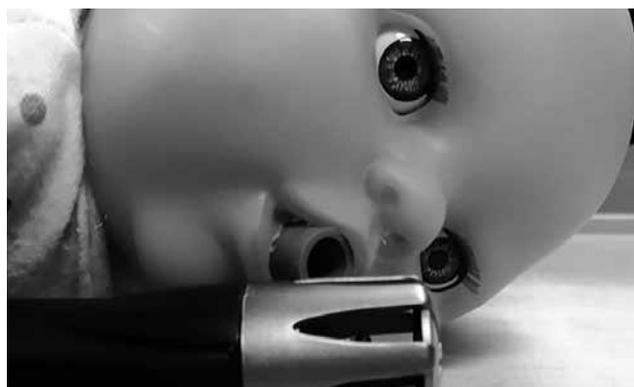


Рис. 1. Манекен и датчик для измерения концентрации углекислого газа

Fig. 1. The phantom and the sensor measuring carbon dioxide

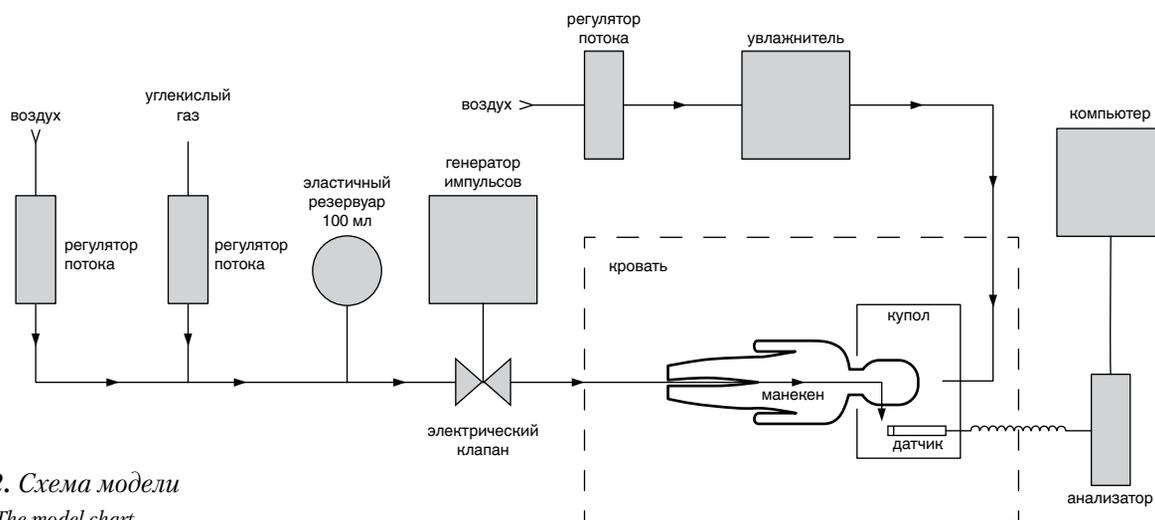


Рис. 2. Схема модели

Fig. 2. The model chart

При проведении эксперимента использовали кислородную палатку со следующими размерами: 26,5×20×18 см. Воздух подавался с задней стороны купола на высоте 3 см. Манекен был расположен таким образом, что его голова (диаметр = 32,5 см) находилась в куполе. Поверхность открытой части купола на уровне шеи составляла 4 см².

Оценено влияние трех разных положений головы манекена, при которых верхние дыхательные пути пациента находятся на разных уровнях по отношению к свежему потоку газа:

а) положение на спине (расстояние от канюли до плоскости, на которой расположен манекен = 12 см);

б) положение на боку (расстояние от канюли до плоскости, на которой расположен манекен = 5 см);

в) положение на животе (расстояние от канюли до плоскости, на которой расположен манекен = 2,5 см).

Напряжение углекислого газа в кислородной палатке измеряли при четырех скоростях подачи свежей кислородно-воздушной смеси: 2,5; 5; 7; 10 л/мин. Перед подачей воздух подогревали до 33°С и повышали содержание влаги в нем увлажнителем Fisher & Paykel MR 750. Смесь углекислого газа в воздухе подавали через канюлю диаметром 8 мм с выходом через рот манекена. Скорость подачи углекислого газа через канюлю во рту манекена рассчитана исходя из данных, изложенных в работе G. Zorri et al. [11]. При расчете скорости подачи углекислого газа исходили из того, что при спонтанном дыхании ребенка выделяется 6,532 мл · кг⁻¹ · мин⁻¹ углекислого газа, а масса тела ребенка равна 2 кг [2]. Объем минутной вентиляции легких рассчитывали, умножая дыхательный объем выдоха на частоту дыхания [7]. В расчетах использовали объем минутной вентиляции, равный 0,3 л · мин⁻¹ · кг⁻¹. Для имитации осцилляции воздуха при дыхании в контур перед подачей газа через канюлю манекена был установлен имитатор легкого (эластичный резервуар и электромеханический клапан с чистотой срабатывания 40 раз/мин и циклом 1 : 1,5).

Мониторинг напряжения углекислого газа проводили с помощью многофункционального прибора «Testo 480». Перед измерениями оборудование было откалибровано. Проведена серия тестов. Перед проведением теста уровень углекислого газа стабилизировался в течение 10 мин, после чего проведены измерения в течение 60 мин с интервалами в 10 с.

Статистический анализ. Обработку данных проводили с помощью программы EasyClimate 3.4 и MS Excel. Учитывая, что полученные данные соответствовали закону о нормальном распределении, все результаты представлены в виде среднего значения (Mean) и сигмального отклонения (St, deviation). Анализ статистической значимости различий осуществляли с использованием методов параметрической статистики. За критический уровень значимости принято значение $p < 0,05$.

Результаты исследования. При оценке напряжения углекислого газа в зависимости от положения тела пациента были получены результаты, представленные в табл. и на рис. 3.

Таблица. Напряжение углекислого газа в кислородно-воздушной смеси при использовании кислородной палатки с различной скоростью потока в зависимости от положения тела пациента, ppm

Table. Carbon dioxide tension in the oxygen-air mixture when using an oxygen tent with different flow rates depending on the body position of the patient, ppm

Положение тела / скорость потока	2,5 л/мин	5 л/мин	7,5 л/мин	10 л/мин
На спине, ppm	674 ± 69	639 ± 60	527 ± 64	558 ± 45
На боку, ppm	485 ± 51	878 ± 102	931 ± 78	646 ± 87
На животе, ppm	1 121 ± 304	702 ± 80	1 180 ± 63	1 002 ± 83

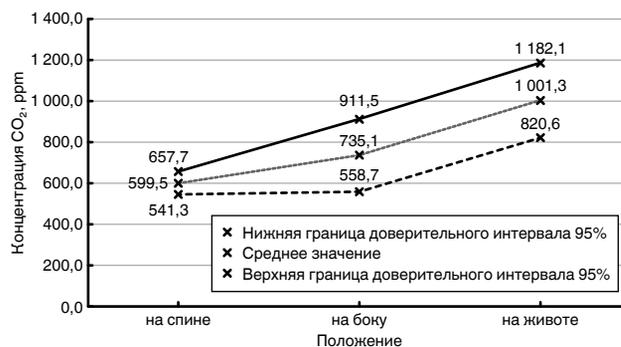


Рис. 3. Напряжение углекислого газа в кислородной палатке в зависимости от положения манекена

Fig. 3. Carbon dioxide tension in the oxygen tent depending on the phantom body position

Существенных статистически значимых различий в напряжении углекислого газа в кислородной палатке в зависимости от положения тела пациента и скорости подачи свежей кислородно-воздушной смеси не выявлено, однако обнаружена четкая зависимость между расстоянием от верхних дыхательных путей пациента до источника свежего потока газов. В частности, чем ближе к поверхности матраца находятся нос и рот пациента, тем более высокая концентрация углекислого газа регистрируется на уровне верхних дыхательных путей.

Минимальное напряжение углекислого газа в кислородной палатке отмечается при положении пациента на спине независимо от скорости подачи свежей газовой смеси.

Обсуждение результатов

Наличие отмеченной зависимости, вероятнее всего, обусловлено различной молекулярной массой углекислого газа (44 г/моль) и средней молекулярной массой воздуха (28,97 г/моль), это приводит к тому, что под действием силы тяжести более тяжелый углекислый газ скапливается ближе к по-

верхности, на которой лежит пациент. Одной из причин повышения напряжения углекислого газа в кислородной палатке при положении пациента на животе является и неоднородность скоростей потока в разных частях купола. S. K. Jatana et al., так же как и мы, отмечают, что при проведении оксигенотерапии у новорожденных с помощью кислородной палатки имеет место скопление углекислого газа под куполом, однако связывают это с низким потоком дыхательной смеси, подающейся под купол [9]. В отличие от результатов S. K. Jatana et al., нами указанной зависимости не установлено, поэтому можно предположить, что существенное влияние на напряжение углекислого газа под куполом оказывает не скорость подачи свежей кислородно-воздушной смеси, а положение тела пациента и расстояние от его верхних дыхательных путей до потока свежего газа.

Данное исследование дает основание предположить, что в области верхних дыхательных путей при проведении оксигенотерапии с помощью кислородной палатки образуется своего рода воздушный «пузырь», напряжение углекислого газа в котором существенно отличается от других сегментов купола. В связи с этим чем дальше от источника потока свежей кислородно-воздушной смеси находятся верхние

дыхательные пути пациента, тем выше напряжение углекислого газа под куполом. В доступной нам литературе мы не нашли исследований, посвященных анализу зависимости напряжения углекислого газа в области верхних дыхательных путей в зависимости от положения тела пациента в кислородной палатке, что, на наш взгляд, свидетельствует о необходимости проведения клинических исследований с целью повышения эффективности проводимой оксигенотерапии и безопасности пациента.

Выводы

1. Напряжение углекислого газа в кислородной палатке при проведении оксигенотерапии у новорожденных в первую очередь зависит от положения тела пациента и расстояния от верхних дыхательных путей до потока свежей кислородно-воздушной смеси.
2. При положении пациента на спине напряжение углекислого газа в кислородной палатке, независимо от скорости подачи свежей кислородно-воздушной смеси, минимально.
3. Напряжение углекислого газа в кислородной палатке, независимо от положения тела пациента и скорости подачи свежей кислородно-воздушной смеси, не превышает 1 200 ppm и является безопасным.

Источник финансирования: фонды ЕС и Центральное агентство финансов и контрактов Латвийской Республики (проект номер 1.2.1.1/18/A/001)

Financing source: EU funds and ETKC Ltd. project "Competence center of energy and transport" (project no. 1.2.1.1/18/A/001)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors state that they have no conflict of interests.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрович Ю. С., Пшениснов К. В. Интенсивная терапия новорожденных. – СПб.: Изд-во Н-Л, 2013. – 672 с.
2. Александрович Ю. С., Пшениснов К. В. Мониторинг газообмена и оксигенации у детей в критическом состоянии // Тольяттинский медицинский консилум. – 2012. – № 5–6. – С. 13–20.
3. Александрович Ю. С., Пшениснов К. В. Мониторинг кислородного статуса при критических состояниях у детей // Тольяттинский медицинский консилум. – 2011. – № 5–6. – С. 7–17.
4. Александрович Ю. С., Пшениснов К. В. Респираторная поддержка при критических состояниях в педиатрии и неонатологии. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 272 с.
5. Александрович Ю. С., Пшениснов К. В., Гордеев В. И. Интенсивная терапия критических состояний у детей. – СПб.: Изд-во Н-Л, 2014. – 976 с.
6. Aleksandrovich Ju. S., Pshenishnov K. V., Chijenas V. Modern concepts of noninvasive respiratory support in neonatology. – Baden-Baden: Deutscher Wissenschafts-Verlag, 2015.
7. Chakkarapani A. A., Adappa R., Mohammad Ali S. K. et al. Current concepts of mechanical ventilation in neonates – Part 1: Basics // Int. J. Pediatr Adolesc. Med. – 2020. – Vol. 7, № 1. – P. 13–18. doi: 10.1016/j.ijpam.2020.03.003.
8. Gale R., Redner-Carmi R., Gale J. Accumulation of carbon dioxide in oxygen hoods, infant cots, and incubators // Pediatrics. – 1977. – Vol. 60, № 4. – P. 453–456.
9. Jatana S. K., Dhingra S., Nair M. et al. Controlled FiO₂ therapy to neonates by oxygenhood in the absence of oxygen analyzer // Med. J. Armed Forces India. – 2007. – Vol. 63, № 2. – P. 149–153. doi: 10.1016/S0377-1237(07)80061-X.

REFERENCES

1. Aleksandrovich Yu.S., Pshenishnov K.V. *Intensivnaya terapiya novorozhdennykh*. [Intensive therapy of newborns]. St. Petersburg, Izd-vo N-L Publ., 2013, 672 p.
2. Aleksandrovich Yu.S., Pshenishnov K.V. Gas exchange and oxygenation monitoring in critically ill children. *Tolyattinsky Meditsinskiy Konsilium*, 2012, no. 5-6, pp. 13-20. (In Russ.)
3. Aleksandrovich Yu.S., Pshenishnov K.V. Oxygen status monitoring in critically ill children. *Tolyattinsky Meditsinskiy Konsilium*, 2011, no. 5-6, pp. 7-17. (In Russ.)
4. Aleksandrovich Yu.S., Pshenishnov K.V. *Respiratornaya podderzhka pri kriticheskikh sostoyaniyakh v pediatrii i neonatologii*. [Critical respiratory support in pediatrics and neonatology]. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2020, 272 p.
5. Aleksandrovich Yu.S., Pshenishnov K.V., Gordeev V.I. *Intensivnaya terapiya kriticheskikh sostoyaniy u detey*. [Intensive care of critical states in children]. St. Petersburg, Izd-vo N-L Publ., 2014, 976 p.
6. Aleksandrovich Ju.S., Pshenishnov K.V., Chijenas V. Modern concepts of noninvasive respiratory support in neonatology. Baden-Baden, Deutscher Wissenschafts-Verlag, 2015.
7. Chakkarapani A.A., Adappa R., Mohammad Ali S.K. et al. Current concepts of mechanical ventilation in neonates – Part 1: Basics. *Int. J. Pediatr Adolesc. Med.*, 2020, vol. 7, no. 1, pp. 13-18. doi: 10.1016/j.ijpam.2020.03.003.
8. Gale R., Redner-Carmi R., Gale J. Accumulation of carbon dioxide in oxygen hoods, infant cots, and incubators. *Pediatrics*, 1977, vol. 60, no. 4, pp. 453-456.
9. Jatana S.K., Dhingra S., Nair M. et al. Controlled FiO₂ therapy to neonates by oxygenhood in the absence of oxygen analyzer. *Med. J. Armed Forces India*, 2007, vol. 63, no. 2, pp. 149-153. doi: 10.1016/S0377-1237(07)80061-X.

10. Vardanjans R., Cirule L. Carbon dioxide level in neonatal incubator: a comparative study of two baby air flow input methods in incubator chamber // Appl. Sci. Innov. Res. – 2021. – Vol. 5, № 1. – P. 65–71.
11. Zoppi G., Luciano A., Cinquetti M. et al. Respiratory quotient changes in full term newborn infants within 30 hours from birth before start of milk feeding // Eur. J. Clin. Nutr. – 1998. – Vol. 52, № 5. – P. 360–362. doi: 10.1038/sj.ejcn.1600564.
10. Vardanjans R., Cirule L. Carbon dioxide level in neonatal incubator: a comparative study of two baby air flow input methods in incubator chamber. Appl. Sci. Innov. Res., 2021, vol. 5, no. 1, pp. 65-71.
11. Zoppi G., Luciano A., Cinquetti M. et al. Respiratory quotient changes in full term newborn infants within 30 hours from birth before start of milk feeding. Eur. J. Clin. Nutr., 1998, vol. 52, no. 5, pp. 360–362. doi: 10.1038/sj.ejcn.1600564.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» МЗ РФ, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2.

Александрович Юрий Станиславович

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой анестезиологии, реаниматологии и неотложной педиатрии факультета послевузовского и дополнительного профессионального образования.

E-mail: jalex1963@mail.ru

Пшениснов Константин Викторович

кандидат медицинских наук, доцент кафедры анестезиологии, реаниматологии и неотложной педиатрии факультета послевузовского и дополнительного профессионального образования.

E-mail: Psh_k@mail.ru

Незабудкин Севир Николаевич

доктор медицинских наук, профессор кафедры анестезиологии, реаниматологии и неотложной педиатрии им. проф. В. И. Гордеева.

E-mail: Sevir18@mail.ru

Armgate Ltd.,
Латвия, Марупе, ул. Лилию, д. 20.

Варданян Ревик

доктор медицинских наук, врач-педиатр, член правления и главный конструктор.

E-mail: revik@armgate.lv

Игнатов Василий

магистр электроинженерных наук, инженер лабораторных измерительных и аналитических систем.

E-mail: vasilij@armgate.lv

Хиенас Владимирас

Вильнюсский родильный дом, MD, Ph.D., консультант-неонатолог. 02106, Литва, Вильнюс, ул. Tyzenhauzų g., д. 18А. E-mail: vladimirasc@gmail.com

Александрович Ирина Валерьевна

ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» МЗ РФ, кандидат медицинских наук, доцент кафедры педиатрии и неонатологии.

191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41.

E-mail: iralexz15@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2, Litovskaya St., St. Petersburg, 194100.

Yury S. Aleksandrovich

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Anesthesiology, Intensive Care and Emergency Pediatrics Department within Post-Graduate and Additional Professional Development Faculty.

Email: jalex1963@mail.ru

Konstantin V. Pshenisnov

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of Anesthesiology, Intensive Care and Emergency Pediatrics Department within Post-Graduate and Continuing Professional Development Faculty.

Email: Psh_k@mail.ru

Sevir N. Nezabudkin

Doctor of Medical Sciences, Professor of Pediatric Anesthesiology, Intensive and Emergency Care Department Named after V.I. Gordeev.

Email: Sevir18@mail.ru

Armgate Ltd.,
Liliju iela 20, Marupe, Latvia

Revik Vardanjans

Doctor of Medical Sciences, Pediatrician, Board Member and Chief Designer.

Email: revik@armgate.lv

Vasiliy Ignatov

Master of Electrical Engineering Sciences, Engineer of Laboratory Measuring and Analytical Systems. E-mail: vasilij@armgate.lv

Vladimiras Chijenas

Vilnius Maternity Hospital, MD, Ph.D., Consultant Neonatologist. 18A, Tyzenhauzų g, Vilnius, Lithuania, 02106. E-mail: vladimirasc@gmail.com

Irina V. Aleksandrovich

North-Western State Medical University Named after I. I. Mechnikov, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of Pediatrics and Neonatology Department.

41, Kirochnaya St., St. Petersburg, 191015.

Email: iralexz15@mail.ru