

Н. Т. Алексеева¹, С. В. Клочкова², Д. Б. Никитюк^{3, 4}, А. М. Карандеева¹,
А. Г. Кварацхелия¹

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТЕНКИ БАЗИЛЯРНОЙ АРТЕРИИ ПРИ НАРУШЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОНФИГУРАЦИИ ЕЕ ХОДА (КИНКИНГ И КОЙЛИНГ БАЗИЛЯРНОЙ АРТЕРИИ)

¹ Кафедра нормальной анатомии человека (зав. — проф. Н. Т. Алексеева), ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко» Минздрава РФ; ² кафедра анатомии человека (зав. — проф. В. И. Козлов), Медицинский институт ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» Министерства науки и высшего образования России; ³ ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (дир. — чл.-кор. РАН проф. Д. Б. Никитюк); ⁴ кафедра оперативной хирургии и топографической анатомии (зав. — проф. С. С. Дыдыкин), ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный университет им. И. М. Сеченова» Минздрава РФ (Сеченовский Университет)

Цель — выявить закономерность изменения морфометрических параметров базилярной артерии при изменении геометрической конфигурации ее хода с формированием острого угла, спирали или петли.

Материал и методы. Исследовали 16 нефиксированных макропрепаратов головного мозга. Анатомию базилярной артерии изучали методами макро- и микропрепарирования, проводили ангиоморфометрию с последующей обработкой результатов исследования.

Результаты. В ходе ангиоморфометрии 16 базилярных артерий в 68,75 % случаев выявлен нормальный линейный ход сосуда. Величина показателя упругих свойств составила $0,33 \pm 0,01$. В 31,25 % случаев выявлено изменение геометрической конфигурации хода базилярной артерии. В 40 % случаев от общего числа единиц с патологическим ходом сосуда формируется кинкинг базилярной артерии, в 60 % случаев — койлинг. Величина показателя упругих свойств составила $0,34 \pm 0,01$, что существенно не отличается от средних значений для артерий мышечного типа. Исследование длины, толщины стенки, наружного диаметра и диаметра просвета сосудов показало значительное превышение данных показателей в сравнении с таковыми при нормальном линейном ходе артерий.

Выводы. Данные, полученные в ходе исследования, свидетельствуют об увеличении наружного диаметра базилярной артерии, толщины сосудистой стенки и внутреннего просвета в случае образования кинкинга или койлинга.

Ключевые слова: базилярная артерия, кинкинг, койлинг, вариантная анатомия, патологическая извитость артерии

Введение. В настоящее время заболевания головного мозга, развивающиеся в связи с гемодинамическими нарушениями, представляют серьезную социально-экономическую проблему, так как приводят к потере трудоспособности и инвалидизации людей молодого возраста [1, 12]. По данным ВОЗ, нарушение линейного хода артерий головного мозга занимает ведущее место в структуре патогенеза расстройств мозгового кровообращения, уступая лишь поражению сосудов атеросклеротического типа.

Большое количество форм и достаточно сложная геометрическая конфигурация артерий при формировании патологической извитости приводят к серьезным гемодинамическим последствиям. Среди различных анатомических вариантов хода базилярной артерии практический интерес представляют кинкинг [9], при котором сосуд образует изгиб под острым углом, и койлинг, при котором происходит удлинение артерии с формированием петли или спирали [3].

Сведения об авторах:

Алексеева Наталья Тимофеевна (e-mail: alexeevant@list.ru), Карандеева Арина Михайловна (e-mail: arina_karandeeva@mail.ru), Кварацхелия Анна Гуладиевна (e-mail: anna_kvar_83@mail.ru), кафедра нормальной анатомии человека, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет им. Н. Н. Бурденко» Минздрава РФ. 394036, г. Воронеж, ул. Студенческая, 10

Клочкова Светлана Валерьевна (e-mail: swetlana.chava@yandex.ru), кафедра анатомии человека Медицинского института, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» Министерства науки и высшего образования России, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8

Никитюк Дмитрий Борисович (e-mail: dimitrynik@mail.ru), ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», 109240, Москва, Устьинский проезд, 2/14; кафедра оперативной хирургии и топографической анатомии, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный университет им. И. М. Сеченова» Минздрава РФ (Сеченовский Университет), 119992, Москва, ул. Россолимо, 15/13 с. 1

Удлинение и патологическая извитость артерий чаще являются результатом компенсаторно-приспособительного процесса к нарушению местного кровообращения при различных патологических состояниях, таких как артериальная гипертензия, атеросклеротическое поражение сосудов, васкулиты, заболевания шейного отдела позвоночника либо формируются во внутриутробном периоде и часто сочетаются с другими сосудистыми изменениями [1].

Нарушение анатомически нормального хода приводит к изменению линейности и иных физических показателей кровотока в данном сегменте артерии, что может привести к нарушению кровообращения в зоне, снабжаемой данным сосудом.

Практический интерес данный вариант развития представляет в связи с высокой частотой встречаемости вертебробазиллярной недостаточности среди людей с жалобами на головокружение, шум в ушах, пошатывание при ходьбе. В процессе инструментального обследования у таких пациентов обнаруживаются признаки нарушения кровообращения в вертебробазиллярном бассейне.

В клиническом плане патологическая извитость артерий представляет собой гемодинамически значимую извитость с симптомами нарушения мозгового кровообращения в определенном сосудистом бассейне с учетом строения артериального круга основания мозга при отсутствии значимого атеросклеротического поражения извитого сосуда [6]. Таким образом, говорить о патологической извитости возможно при сочетании анатомической находки и выраженной клинической картины с данными дополнительного инструментального обследования.

Целью исследования явилось выявление закономерности изменения морфометрических параметров базилярной артерии при изменении геометрической конфигурации ее хода с формированием острого угла, спирали или петли.

Материал и методы. Исследование проводили на базе кафедры нормальной анатомии человека ВГМУ им. Н. Н. Бурденко. Материал получен из патологоанатомического отделения БУЗ ВО «ВГКБСМП № 1» (г. Воронеж). Программа исследования имеет положительное заключение локального этического комитета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко» (протокол № 4 от 26.09.2018 г.).

Объектом исследования стала случайная выборка в количестве 16 единиц. Расчеты размеров выборки не были произведены ввиду того, что объективно оценить размеры и состав генеральной совокупности не представляется возможным. Тем не менее, полагаем, что выборка является репрезентативной. В ее структуре представлены препараты головного мозга, полученные от людей, умерших естественной смертью от заболеваний, не связанных с цереброваскулярной патоло-

гией, разных полов, возрастов и расовой принадлежности. Случайная выборка позволяет избежать ошибок (отклонений) субъективного характера, когда в выборку попадают отобранные единицы, способные повлиять на искомый результат.

На 16 нефиксированных препаратах головного мозга, полученных при аутопсии, методом макро- и микропрепарирования выделены базилярные артерии. На препаратах оценивали ход сосудов, методом ангиоморфометрии проводили измерение внешних диаметров базилярных артерий, измеряли толщину стенки артерии в месте слияния позвоночных артерий в базилярную и в месте деления изучаемого сосуда на задние мозговые артерии, а также математически вычисляли диаметр просвета сосудов и величину показателя упругих свойств.

Критерии соответствия: в исследование включали натуральные препараты головного мозга с наличием базилярной артерии без признаков повреждения, с недеформированными стенками, без участков размягчения сосудистой стенки и травматических разрывов.

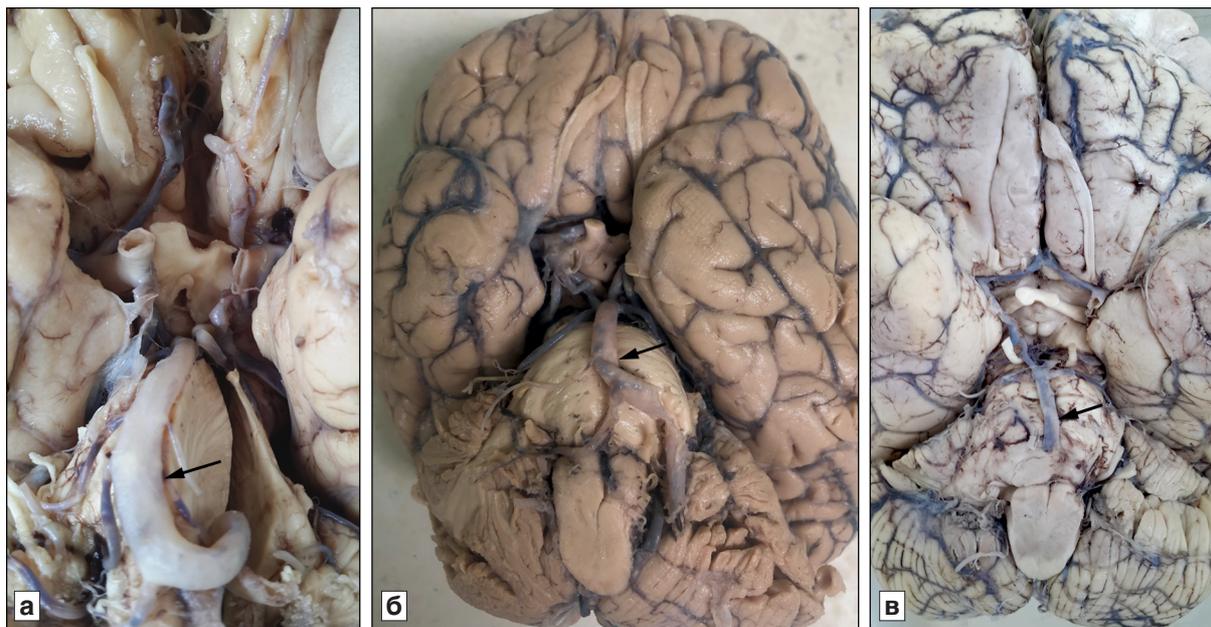
В ходе исследования изучаемые препараты разделили на 2 группы. Контрольную группу составили 11 единиц (68,75 %), включающих препараты с прямолинейным ходом базилярных артерий. Подопытная группа представлена 5 препаратами (31,25 %) с изменением геометрической конфигурации хода базилярной артерии в виде кинкинга (2 случая) и койлинга (3 случая).

Диаметр и толщину стенки исследуемой артерии измеряли на миллиметровых поперечных срезах препаратов артерий с точностью до 0,01 мм с помощью медицинского микроскопа Микмед-5 (АО «ЛОМО», Санкт-Петербург). Диаметр просвета базилярной артерии представляли в виде разности наружного диаметра и удвоенной толщины стенки артерии. Длину базилярной артерии измеряли электронным штангенциркулем (Мегеон 80700 150 мм, Китай) от уровня слияния правой и левой позвоночных артерий до начала задних мозговых артерий с точностью до 0,01 мм.

По формуле Менса—Мюллера математически вычисляли величину показателя упругих свойств, используемую в практической медицине для оценки степени упругого напряжения сосудистых стенок. Этот метод дает погрешность от полученных в опыте величин не более чем на 10 %. Показатель для сосудов эластического и мышечного типов составляет 0,24 и 0,35 соответственно. С математической точки зрения, этот показатель является разностью квадрата наружного радиуса и отношения квадрата радиуса просвета к квадрату наружного радиуса: $ВПУС = V_n^2 - V_p^2 / V_n^2$, где V_n — наружный радиус артерии; V_p — радиус просвета артерии [2].

В норме базилярная артерия имеет прямолинейный ход, длину — от 21 до 42 мм, диаметр — от 1,75 до 6 мм. На своем протяжении базилярная артерия имеет ряд ветвей и делится на 2 задние мозговые артерии, принимающие участие в образовании артериального круга основания мозга. Данные показатели измеряли в процессе исследования. Для оценки макроструктурных изменений сосудистой стенки в связи с действием гемодинамически измененного тока крови использовали следующие дополнительные показатели: толщина стенки сосуда, диаметр просвета сосуда, величина показателя упругих свойств.

Результаты исследования. В ходе ангиоморфометрии 16 базилярных артерий в 11



Основание головного мозга.

а — базилярная артерия с линейной конфигурацией хода; б — кинкинг базилярной артерии; в — койлинг базилярной артерии.
Стрелка — базилярная артерия

(68,75%) случаях выявлен нормальный линейный ход сосуда (рисунки, а) с длиной артерии $30,8 \pm 0,5$ мм, средний наружный диаметр артерии с нормальным ходом составил $4,47 \pm 0,11$ мм, толщина сосудистой стенки в месте слияния позвоночных артерий равнялась $0,31 \pm 0,01$ мм, в области деления базилярной артерии на две задние мозговые артерии — $0,38 \pm 0,01$ мм, диаметр просвета базилярной артерии с линейным ходом составил в среднем $2,79 \pm 0,08$ мм. Показатель упругих свойств был равен $0,33 \pm 0,01$.

В 5 случаях выявлены изменения геометрической конфигурации хода базилярной артерии, а именно, в 2 случаях патологического хода сосуда формируется изгиб с образованием острого угла, т.е. кинкинг базилярной артерии, в 3 случаях — койлинг базилярной артерии с формированием спиралевидного хода сосуда. При кинкинге базилярной артерии (см. рисунок, б) длина исследуемого сосуда в двух выявленных случаях составила 54,8 и 57,4 мм, что значительно превышает средние значения длины базилярных артерий с линейным ходом. Наружный диаметр исследуемых артерий составил 6,78 и 7,02 мм. Толщина сосудистой стенки в месте слияния позвоночных артерий составила $0,54 \pm 0,01$ и $0,59 \pm 0,01$ мм, в области деления базилярной артерии на две задние мозговые артерии — $0,58 \pm 0,01$ и $0,61 \pm 0,01$ мм, диаметр просвета базилярной артерии, полученный методом вычисления, — 5,62 и 5,8 мм. Все исследуемые величины

значительно превосходят средние морфометрические показатели сосуда с линейным ходом. Величина показателя упругих свойств составила $0,34 \pm 0,01$, что существенно не отличается от средних значений для артерий мышечного типа.

При койлинге базилярной артерии (см. рисунок, в) длина патологически извитых артерий в трех выявленных случаях составила 66,8, 69,3 и 74,4 мм, что значительно превышает нормативные значения длины базилярных артерий, имеющих прямолинейный ход. Наружный диаметр сосудов составил 6,92, 7,04 и 7,11 мм. Толщина сосудистой стенки в месте слияния позвоночных артерий составила $0,57 \pm 0,01$, $0,61 \pm 0,01$ и $0,64 \pm 0,01$ мм, в области деления базилярной артерии на две задние мозговые артерии — $0,59 \pm 0,01$, $0,63 \pm 0,01$ и $0,65 \pm 0,01$ мм, диаметр просвета базилярной артерии, полученный методом вычисления, — 5,74, 5,78 и 5,81 мм. Все исследуемые величины значительно превосходят средние морфометрические показатели сосуда с прямолинейным ходом. Величина показателя упругих свойств равна $0,35 \pm 0,01$, что существенно не отличается от средних значений для артерий мышечного типа.

Обсуждение полученных данных. Проведенные исследования свидетельствуют о возможном влиянии изменения реологических свойств крови и физических характеристик кровотока, возникающих в результате нарушения линейного хода базилярной артерии

и значительного увеличения ее длины, на строение сосудистой стенки в виде ее утолщения, а также на увеличение наружного диаметра патологически извитого сосуда с увеличением просвета сосуда. Однако существенного влияния на величину показателя упругих свойств не обнаружено.

Основным результатом исследования явилось установление зависимости морфометрических изменений исследуемых показателей от нарушения геометрической конфигурации хода базилярной артерии. В результате формирования спирали или петли происходит турбулизация кровотока за счет увеличения скорости. В результате уменьшения гидравлического диаметра базилярной артерии формируются пристеночные вихревые потоки и увеличивается общая скорость кровотока. Описанные изменения физических свойств кровотока приводят к увеличению гемодинамического сопротивления сосудистой сети и уменьшению кровоснабжения головного мозга [4].

По данным ряда исследователей, выявлена прямая закономерность возможности развития описываемой патологии в результате действия повышенного артериального давления на стенки сосудов [7, 10]. Порог возникновения турбулентных потоков в артериальном сосуде зависит от диаметра его просвета. Общая скорость кровотока в артериях, подвергшихся изменению геометрической конфигурации хода, зависит от степени артериальной гипертензии, которая оказывает непосредственное действие на стенки сосуда. Совокупность описываемых факторов позволяет предположить изменение диаметра артерии при патологической извитости по сравнению с нормой. Ток крови в базилярной артерии при нормальной прямолинейной ориентации происходит в ламинарном режиме, являющимся наименее энергозатратным. Образование вихревых потоков крови при прохождении участка сформировавшегося кинкинга или койлинга вызывает потерю давления на выходе из подвергнувшегося изменению геометрической конфигурации участка артерии [11]. Данный факт, несомненно, приводит к формированию гемодинамически значимых нарушений кровообращения в базилярном бассейне [5, 6, 8].

Заключение. Таким образом, полученные в результате исследования данные свидетельствуют о значимо большем наружном диаметре базилярной артерии, а также увеличении толщины сосудистой стенки и внутреннего просвета в случае образования кинкинга или койлинга, что указывает на прямое гемодинамическое влияние в результате изменения реологических свойств крови и физических показателей кровотока,

связанных с нарушением прямолинейности хода артерии и значительным увеличением ее длины, а также с дополнительными факторами, такими как артериальная гипертензия, васкулит, атеросклероз и прочие патологические состояния.

Выявлена закономерность изменения структуры сосудистой стенки при формировании кинкинга или койлинга базилярной артерии, что свидетельствует о прямом влиянии нарушения линейности кровотока в связи с изменением геометрической конфигурации хода сосуда на его анатомическое строение.

Использование современных диагностических возможностей МРА в сочетании с ультразвуковым ангиосканированием позволяет достаточно точно определять анатомические варианты извитости базилярной артерии и оценить гемодинамическую значимость выявленного изменения геометрической конфигурации хода сосуда. Объективизация полученных данных и клинической симптоматики поможет спрогнозировать дальнейшую тактику лечения с возможностью хирургической коррекции гемодинамически значимой извитости.

Вклад авторов:

Сбор и обработка материалов: А. М. К., А. Г. К.

Анализ и интерпретация данных: Н. Т. А.

Статистическая обработка данных: С. В. К., Д. Б. Н.

Написание текста: С. В. К., Д. Б. Н.

Авторы сообщают об отсутствии в статье конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железкова А.А., Скоробогатов Ю.Ю., Филатова О.В. Возрастные особенности линейной и объемной скорости кровотока во внутренних сонных артериях // Известия Алтайского государственного университета. 2010. № 3–2. С. 29–34 [Zhelezkova A.A., Skorobogotov Yu.Yu., Filatova O.V. Age Features of Linear and Volume Speed of a Blood-groove of Internal Carotid Arteries // Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta. 2010. № 3–2. С. 29–34. In Russ.].
2. Иванов Д.В., Фомкина О.А. Исследование механических свойств артерий Виллизиевого многоугольника // Российский журнал биомеханики. 2008. Т. 12, № 4. С. 75–83 [Ivanov D.V., Fomkina O.A. Determination of mechanical properties of Willis circle arteries // Rossiiskii zhurnal biomrfekhaniki. 2008. Vol. 12, № 4. P. 75–83. In Russ.].
3. Пивченко П.Г., Трушель Н.А. Вариантная анатомия сосудов Виллизиева круга // Здоровоохранение (Минск). 2010. № 5. С. 22–24 [Pivchenko P.G., Trushel' N.A. Variants of circle of Willis vessels anatomy // Zdravookhranenie (Minsk). 2010. № 5. P. 22–24. In Russ.].
4. Терегулов Ю.Э., Маянская С.Д., Терегулова Е.Т. Изменения эластических свойств артерий и гемодинамические процессы // Практическая медицина. 2017. № 2 (103). С. 14–20 [Teregulov Yu.E., Mayanskaya S.D., Teregulova Ye.T. Changes in elastic properties of arteries and hemodynamic processes // Practical medicine. 2017. № 2 (103). P. 14–20. In Russ.].

5. Трушель Н.А. Гемодинамические и морфологические предпосылки развития цереброваскулярной патологии // Журнал анатомии и гистопатологии. 2016. Т. 5, № 4. С. 69–73 [Trushel' N.A. Hemodynamic and Morphological Preconditions of Cerebrovascular Pathology Development // Zhurnal anatomii i gistopatologii. 2016. Vol. 5, № 4. P. 69–73. In Russ.].
6. Шмырев В.И., Казанцева И.В. Влияние патологической извитости магистральных артерий головы на мозговой кровоток // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2008. № 2. С. 50–53 [Shmyrev V.I., Kazantseva I.V. Effects of pathological tortuosity of main cerebral arteries at the brain bloodflow // Kremlevskaya meditsina. Klinicheskii vestnik. 2008. № 2. P. 50–53 In Russ.].
7. Asmar R., Rudnichi A., Blacher I. et al Pulse pressure and aortic pulse wave are markers of cardiovascular risk in hypertensive populations // Am. J. Hypertens. 2001. Vol. 14, № 2. P. 91–97.
8. Beigelman R., Izaguirre A.M., Robles M., Grana D.R., Ambrosio G., Milei J. Are kinking and coiling of carotid artery congenital or acquired? / R. Beigelman, // Angiology. 2010. Vol. 61, № 1. P. 107–112.
9. Metz H., Murray-Leslie R.M., Bannister R.G., Bull J.W., Marshall J. Kinking of the ICA in relation o cerebrovascular disease // Lancet. 1961. Vol. 25. P. 424–426.
10. Posadzy-Malaczynska A., Kosch M., Hausberg M. et al. Arterial distensibility, intima media thickness and pulse wave velocity after renal transplantation and in dialysis normotensive patients // Int. Angiol. 2005. Vol. 2, № 1. P. 89–94.
11. Togay-Işikay C., Kim J., Betterman K., Andrews C., Meads D., Tesh P., Tegeler C., Oztuna D. Carotid artery tortuosity, kinking, coiling: stroke risk factor, marker, or curiosity? // Acta Neurol. Belg. 2005. Vol. 105, № 2. P. 68–72.
12. Truelsen T., Begg S., Mathers C. The global burden of cerebrovascular disease / Glob. Burd. Dis. 2000. P. 1–67.

Поступила в редакцию 06.06.2019
Получена после доработки 27.07.2019

CHANGES IN THE MORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE BASILAR ARTERY WALL WHEN ITS COURSE IS GEOMETRICALLY ABNORMAL (KINKING AND COILING OF THE BASILAR ARTERY)

N. T. Alekseeva¹, S. V. Klochkova², D. B. Nikityuk³,
A. M. Karandeeva¹, A. G. Kvaratskheliya¹

Objective — to reveal the pattern of changes in the morphometric parameters of the basilar artery when the geometric configuration of its course alters with the formation of an acute angle, spiral or loop.

Material and methods. We studied 16 non-fixed human brain specimens. Anatomy of the basilar artery was studied by methods of macro- and micro-preparation, angiomorphometry was carried out with subsequent processing of the results of the study.

Results. During angiomorphometry of 16 basilar arteries, normal straight course of the vessel was detected in 68,75% of the cases. The value of the elastic properties index was $0,33 \pm 0,01$. In 31,25% of cases, a change in the geometric configuration of the course of the basilar artery was revealed. The basilar artery kinking was formed in 40% and coiling — in 60% of the total number of all cases with abnormal vessel course. The value of the elastic properties index was $0,34 \pm 0,01$, which is not significantly different from the average values for muscle-type arteries. The study of the length, wall thickness, outer diameter and lumen diameter of the vessels showed a significant excess of these parameters in comparison with the vessels with normal linear course.

Conclusions. The data obtained during the study indicate an increase in the outer diameter of the basilar artery, as well as an increase in the thickness of the vascular wall and the inner lumen in the case of kinking or coiling.

Key words: *basilar artery, kinking, coiling, variant anatomy, pathological arterial tortuosity*

¹ N. N. Burdenko Voronezh State Medical University, 10 Studencheskaya St., Voronezh 394036; ² I. M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 15/13 bld. 1 Rossolimo St., Moscow 119992; ³ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14 Ustyinskiy Dr., Moscow 109240