

# Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке микроциркуляции у детей с бронхиальной астмой

Н. Г. Колосова<sup>1</sup>, Н. А. Геппе<sup>1</sup>, Н. И. Лозко<sup>1</sup>, В. Д. Денисова<sup>1</sup>, А. Н. Герасимов<sup>1</sup>, В. В. Сидоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)

<sup>2</sup> Научно-производственное предприятие «ЛАЗМА», г. Москва



Оригинальная  
статья



Original  
Paper

**Цель исследования:** изучить состояние микроциркуляции крови (МЦ) у детей с бронхиальной астмой (БА) методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) в периоды обострения и ремиссии заболевания; оценить вклад пассивных и активных факторов контроля кровотока.

**Дизайн:** обсервационное сравнительное исследование.

**Материалы и методы.** В исследование входили 100 пациентов с легкой и среднетяжелой БА в периоды обострения и ремиссии (основная группа) и 50 практически здоровых детей (группа контроля) в возрасте 6–17 лет. МЦ изучали методом ЛДФ.

**Результаты.** При обострении легкой БА средняя величина перфузии в целом не имела статистически значимых отличий от контрольных данных, однако у 33,8% пациентов она составила менее 21 перф. ед., что сопоставимо с результатом в подгруппе среднетяжелой БА. У детей с обострением среднетяжелой БА изменения показателя перфузии были более значительными (при сравнении с контрольной группой  $p < 0,001$ ). При легкой БА влияние миогенного компонента в ходе всего исследования оставалось близким к контрольному, тогда как при среднетяжелой БА амплитуда миогенных колебаний статистически значимо снизилась в период обострения и значительно повысилась в ходе терапии.

**Заключение.** Изменения в микроциркуляторном русле коррелируют с тяжестью обострения и проводимой терапией. Пациенты с длительно сохраняющимися проявлениями бронхообструкции имеют повышенный риск повторных обострений.

**Ключевые слова:** бронхиальная астма, микроциркуляция, лазерная доплеровская флоуметрия, дети.

**Для цитирования:** Колосова Н. Г., Геппе Н. А., Лозко Н. И., Денисова В. Д., Герасимов А. Н., Сидоров В. В. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке микроциркуляции у детей с бронхиальной астмой // Доктор.Ру. 2018. № 5 (149). С. 37–41.

## Laser Doppler Flowmetry in Microcirculation Assessment in Children with Bronchial Asthma

N. G. Kolosova<sup>1</sup>, N. A. Geppe<sup>1</sup>, N. I. Lozko<sup>1</sup>, V. D. Denisova<sup>1</sup>, A. N. Gerasimov<sup>1</sup>, V. V. Sidorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> I. M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Public Health of Russia

<sup>2</sup> LAZMA Research and Production Enterprise (LLC)

**Study Objective:** To study the blood microcirculation (MC) in children with bronchial asthma (BA) using laser Doppler flowmetry (LDF) during periods of exacerbation and remission; to assess the role of passive and active factors of blood flow monitoring.

**Study Design:** Observational comparative study.

**Materials and Methods:** The study enrolled 68 patients with mild and moderate BA during periods of exacerbation and remission (study group) and 50 healthy children (control group) aged 6 to 17 years. Blood MC was assessed using LDF.

**Study Results:** In mild BA (exacerbation), mean perfusion did not demonstrate any statistically significant differences vs. controls; however in 30% of patients it decreased to and below 21 perf. units, i.e. comparable to the results of patients with moderate BA. In children with moderate BA, perfusion changes were more pronounced (if compared to controls  $p < 0.05$ ). In mild BA the impact from myogenetic component was close to control one, whereas in moderate BA the myogenetic fluctuations amplitude decreased statistically significantly during exacerbation and significantly increased during therapy.

**Conclusion:** The microcirculation changes correlate with the rate of exacerbation and therapy. Patients with long-lasting bronchial obstructions are susceptible to recurrent exacerbations.

**Keywords:** bronchial asthma, microcirculation, laser Doppler flowmetry, children.

**For reference:** Kolosova N. G., Geppe N. A., Lozko N. I., Denisova V. D., Gerasimov A. N., Sidorov V. V. Laser Doppler Flowmetry in Microcirculation Assessment in Children with Bronchial Asthma. Doctor.Ru. 2018; 5(149): 37–41.

Бронхиальная астма (БА) — это заболевание, при котором повторные эпизоды бронхиальной обструкции сочетаются с вовлечением различных органов и систем. Персистирующие изменения со стороны дыхательной и сердечно-сосудистой систем в результате гипоксических воздействий влияют на течение заболе-

вания. Известно, что при БА воспаление носит системный характер и расстройства микроциркуляции (МЦ) играют важную роль [1–3]. В развитии патологического процесса активно участвует вся система МЦ, от изменений в которой зависит уровень перфузии и метаболизма в тканях [4–6].

Геппе Наталья Анатольевна — д. м. н., профессор, заведующая кафедрой детских болезней ФГАУ ВО «Первый МГМУ им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет). 119992, г. Москва, ул. Б. Пироговская, д. 19. E-mail: geppe@mail.ru

Герасимов Андрей Николаевич — д. ф.-м. н., заведующий кафедрой медицинской информатики и статистики медико-профилактического факультета ФГАУ ВО «Первый МГМУ им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет). 119992, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2. E-mail: andr-gerasim@yandex.ru

Денисова Вероника Дмитриевна — аспирант кафедры детских болезней ФГАУ ВО «Первый МГМУ им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет). 119992, г. Москва, ул. Б. Пироговская, д. 19. E-mail: Veronikad\_91@list.ru (Окончание на с. 38.)

Воспалительный процесс при БА сопряжен с изменениями в системе МЦ. Ранее проведенные немногочисленные исследования выявили спазм артериол, расширение венул, увеличение численности артериоло-венулярных анастомозов, внутрисосудистую агрегацию эритроцитов, повышение сосудистой проницаемости и пролиферации клеток [2]. Хронический воспалительный процесс при БА сопровождается не только бронхиальной гиперреактивностью, но и истощением компенсаторных возможностей МЦ [2].

Доминирующим фактором, отражающим уровень перфузии и метаболизма у детей с БА, является состояние периферического кровообращения [7]. В связи с этим исследование МЦ при БА у детей, а также коррекция выявленных нарушений составляют важное и актуальное направление в современной педиатрии. В педиатрической практике актуальны неинвазивные методы, позволяющие исследовать состояние микрокровоотока, одним из таких методов является лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ). Главным преимуществом ЛДФ считается высокая чувствительность к меняющейся ситуации в сосудистом русле.

**Цель исследования:** изучить состояние микроциркуляции у детей с бронхиальной астмой методом лазерной доплеровской флоуметрии в периоды обострения и ремиссии с учетом тяжести заболевания; оценить вклад эндотелиального, нейрогенного, миогенного механизмов регуляции сосудистого тонуса, а также сердечных (приток крови) и дыхательных (отток из венулярного звена) колебаний и возможность использования этих параметров в контроле течения заболевания и эффективности его терапии.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На базе Университетской детской клинической больницы и кафедры детских болезней лечебного факультета Первого Московского государственного медицинского университета имени И. М. Сеченова Минздрава России были обследованы 150 детей в возрасте от 6 до 17 лет (средний возраст — 12,1 года). Основную группу составили дети с легкой ( $n = 68$ ) и среднетяжелой БА ( $n = 32$ ) в период обострения и ремиссии, контрольную группу — 50 практически здоровых детей того же возраста. У всех участников было взято информированное согласие на включение в исследование.

Диагноз обострения БА основывался на усилении клинической картины (экспираторная одышка, навязчивый сухой или малопродуктивный кашель, стеснение в груди, сухие свистящие хрипы при аускультации, шумное свистящее дыхание) под воздействием триггеров (вирусные инфекции, контакт с аллергенами) [8]. Обследование проводилось на 2–4-й день обострения заболевания.

В период обострения легкой БА дети получали короткодействующие  $\beta_2$ -агонисты, при обострении среднетяжелой БА — короткодействующие  $\beta_2$ -агонисты и ингаляционные глюкокортикостероиды (ИГКС). По достижении контроля над заболеванием назначалась базисная терапия: при легкой БА — антагонисты лейкотриеновых рецепторов, при среднетяжелой БА — ИГКС в низких и средних дозах.

МЦ изучали методом ЛДФ с помощью многофункционального комплекса «ЛАКК-М» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва). Показатели периферического кровообращения регистрировали в области кожи дистальной фаланги четвертого пальца кисти [9]. Согласно исследованиям В. И. Козлова [10], ладонная поверхность четвертого пальца является оптимальной областью для проведения исследования. При изучении базального кровотока оценивали среднее арифметическое значение показателя перфузии, среднее квадратическое отклонение амплитуды колебаний кровотока от среднеарифметического значения, коэффициент вариации. Два последних параметра отражают модуляцию кровотока.

Учитывали также вклад пассивных (сердечный — 0,8–1,6 Гц; дыхательный — 0,15–0,4 Гц) и активных (эндотелиальный — 0,0095–0,02 Гц; миогенный — 0,07–0,15 Гц; нейрогенный — 0,02–0,052 Гц) факторов контроля кровотока [2, 10]. Так как нейрогенный фактор регуляции значительно зависит от окружающей температуры, в исследовании использовался показатель  $A/3\sigma$  (где  $A$  — амплитуда колебаний, а  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение), что позволяет исключить влияние температуры на результаты исследования.

В основной группе данные регистрировали исходно в период обострения и на фоне терапии в динамике (через неделю, 1 и 3 месяца). Дети контрольной группы обследовались однократно.

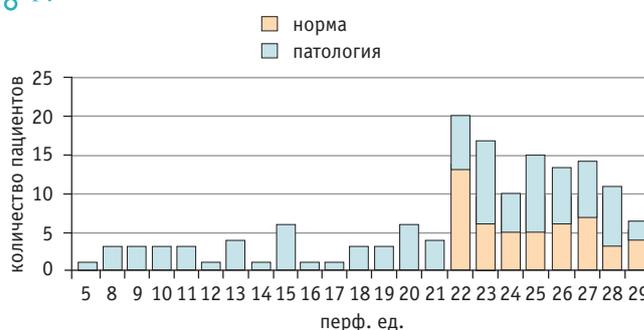
Кроме того, всем детям проводили исследование функции внешнего дыхания (ФВД) методом спирометрии на приборе Spiro USB (CareFusion Ltd, США) с оценкой основных показателей: форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ), объема форсированного выдоха за 1-ю секунду (ОФВ<sub>1</sub>).

Статистическая обработка результатов исследования проведена с использованием пакетов программ Statistica версии 6.0 и BioStat (Primer of Biostatistics версии 4.03). Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Показатели перфузии у детей контрольной группы находились в пределах от 22 до 29 перф. ед. и в среднем составили  $25,3 \pm 0,34$  перф. ед. У детей с БА в целом они имели широкий разброс — от 5 до 29 перф. ед. (рис. 1).

Рис. 1. Распределение по средней величине микроциркуляции в основной и контрольной группах, n



Колосова Наталья Георгиевна — к. м. н., доцент кафедры детских болезней ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет). 119992, г. Москва, ул. Б. Пироговская, д. 19. E-mail: kolosovan@mail.ru

Лозко Наталья Ивановна — аспирант кафедры детских болезней ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет). 119992, г. Москва, ул. Б. Пироговская, д. 19. E-mail: Lozkoni@mail.ru

Сидоров Виктор Васильевич — к. т. н., генеральный директор ООО НПП «ЛАЗМА». 123458, г. Москва, ул. Твардовского, д. 8, технопарк «Строгино». E-mail: victor.v.sidorov@gmail.com (Окончание. Начало см. на с. 37.)

В период обострения при легкой БА показатель средней величины перфузии в целом не имел статистически значимых отличий от контрольных данных ( $24,7 \pm 0,37$  и  $25,3 \pm 0,34$  перф. ед. соответственно;  $p > 0,05$ ) (табл. 1). Однако детальный анализ показал, что у 33,8 пациентов с легкой БА ( $n = 23$ ) отмечалось более выраженное снижение среднего арифметического показателя микроциркуляции (ПМ) — до значений менее 21 перф. ед. (в среднем  $15,6 \pm 2,71$  перф. ед.), что сопоставимо с таковым при среднетяжелой БА. У детей со среднетяжелой БА изменения были более значительными: ПМ составил  $13,7 \pm 0,66$  перф. ед. (при сравнении с контрольной группой  $p < 0,001$ ). Временная изменчивость перфузии в обеих подгруппах основной группы и в группе контроля практически не различалась (см. табл. 1). Снижение показателя перфузии у части пациентов с легкой БА и у всех детей со среднетяжелой БА может свидетельствовать о тяжести обострения и отражать выраженные изменения МЦ, характерные для более тяжелого течения БА.

В динамике все показатели МЦ в подгруппе пациентов с легкой БА оставались в пределах нормы (см. табл. 1, табл. 2). У детей со сниженными исходными значениями ПМ ( $15,6 \pm 2,71$  перф. ед.) его величина статистически значимо выросла уже к концу первой недели ( $20,3 \pm 0,48$  перф. ед.,  $p < 0,05$ ), окончательно нормализовалась через 1 месяц ( $23,2 \pm 0,72$  перф. ед.) и не отличалась от контрольной через 3 месяца наблюдения на фоне базисной терапии. Аналогичная динамика отмечена в подгруппе детей со среднетяжелой БА: по окончании первой недели было выявлено повышение перфузии с  $13,7 \pm 0,66$  до  $21,3 \pm 0,79$  перф. ед. ( $p < 0,001$ ), через 1 и 3 месяца от начала лечения наблюдался значительный рост ПМ ( $p < 0,05$ ) (см. табл. 1, 2).

Показатель модуляции кровотока исходно был незначительно изменен как при легкой ( $2,5 \pm 0,15$  перф. ед.), так и при среднетяжелой БА ( $2,5 \pm 0,28$  перф. ед.) в сравнении с группой контроля ( $2,6 \pm 0,20$  перф. ед.). Через неделю

терапии этот показатель при легкой и среднетяжелой БА был одинаков ( $2,4 \pm 0,12$  и  $2,4 \pm 0,15$  перф. ед. соответственно), и в динамике через 1 и 3 месяца он статистически значимо не менялся, что свидетельствует о сохранности механизмов модуляции кровотока (см. табл. 1, 2).

Коэффициент вариации определяет отношение между перфузией и величиной ее изменчивости, поэтому исходно он значительно отличался от контрольного показателя ( $13,0 \pm 1,31\%$ ) при среднетяжелой БА ( $18,5 \pm 1,89\%$ ,  $p < 0,001$ ), а также в подгруппе пациентов с легким течением БА при выраженных изменениях ПМ ( $17,2 \pm 0,82\%$ ,  $p < 0,05$ ). При исследовании через неделю терапии отмечено снижение коэффициента вариации с последующим ростом до нормальных значений к окончанию первого месяца лечения. Возрастание этого показателя отражает улучшение состояния МЦ на фоне базисной терапии в течение месяца (см. табл. 1, 2).

При оценке динамики показателей МЦ учитывался также день поступления в стационар на момент обострения БА. Выявлена корреляционная связь между ПМ и днем госпитализации: в подгруппе легкой БА средняя величина ПМ при госпитализации составила  $24,7 \pm 0,38$  перф. ед. при среднем дне поступления  $6,3 \pm 0,33$ , тогда как у больных БА средней тяжести —  $13,7 \pm 0,67$  перф. ед. при среднем дне поступления  $2,3 \pm 0,20$ .

Показатели МЦ (ПМ, среднее квадратическое отклонение амплитуды колебания кровотока от среднеарифметического значения, коэффициент вариации) отражают лишь общее состояние МЦ крови. Детальный анализ функционирования микроциркуляторного русла возможен при изучении амплитудно-частотных ритмов кровотока с оценкой определенных механизмов контроля перфузии.

Анализ факторов контроля МЦ в динамике заболевания показал, что в период обострения статистически значимое снижение влияния миогенного компонента относительно контрольного уровня происходит преимущественно

Таблица 1

Средние показатели микроциркуляции у детей с легкой и среднетяжелой бронхиальной астмой в период обострения (исходно) и через неделю терапии

Показатели	Исходно при обострении		Через неделю терапии		Контрольная группа
	легкая БА	среднетяжелая БА	легкая БА	среднетяжелая БА	
ПМ, перф. ед.	$24,7 \pm 0,37$	$13,7 \pm 0,66^*$	$23,6 \pm 0,56$	$21,3 \pm 0,79^{**}$	$25,3 \pm 0,34$
$\sigma$ , перф. ед.	$2,5 \pm 0,15$	$2,5 \pm 0,28$	$2,4 \pm 0,12$	$2,4 \pm 0,15$	$2,6 \pm 0,20$
Kv, %	$10,6 \pm 0,82$	$18,5 \pm 1,89^*$	$8,4 \pm 0,45^{**}$	$7,4 \pm 0,64^{**}$	$13,0 \pm 1,31$

\*  $P < 0,001$  при сравнении с контрольными данными.

\*\*  $P < 0,05$  при сравнении с контрольными данными.

Примечание. В таблицах 1 и 2: БА — бронхиальная астма; ПМ — среднее арифметическое показателя микроциркуляции;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение амплитуды колебания кровотока от среднеарифметического значения; Kv — коэффициент вариации.

Таблица 2

Средние показатели микроциркуляции у детей с легкой и среднетяжелой бронхиальной астмой на фоне терапии

Показатели	Исходно при обострении		Через 1 месяц терапии		Через 3 месяца терапии	
	легкая БА	среднетяжелая БА	легкая БА	среднетяжелая БА	легкая БА	среднетяжелая БА
ПМ, перф. ед.	$24,7 \pm 0,37$	$13,7 \pm 0,66$	$23,2 \pm 0,65$	$23,4 \pm 0,90^*$	$24,0 \pm 0,56$	$24,1 \pm 0,88$
$\sigma$ , перф. ед.	$2,5 \pm 0,15$	$2,5 \pm 0,28$	$2,4 \pm 0,12$	$2,5 \pm 0,16$	$2,6 \pm 0,12$	$2,6 \pm 0,21$
Kv, %	$10,6 \pm 0,82$	$18,5 \pm 1,89$	$12 \pm 0,87$	$12,8 \pm 2,36$	$9,0 \pm 0,44$	$8,8 \pm 0,77$

\*  $P < 0,001$  при сравнении с исходными данными.

при среднетяжелой БА, тогда как для легкой БА характерна только тенденция к его уменьшению (рис. 2). Снижение амплитуды миогенных колебаний свидетельствует о вазоконстрикции, что отмечалось преимущественно у детей с обострением среднетяжелой БА. Через неделю терапии и в последующие месяцы наблюдения у этих пациентов было обнаружено значительное повышение амплитуд. Миогенные колебания отражают состояние мышечного тонуса прекапилляров, регулирующих приток крови в нутритивное русло [11]. Повышение амплитуды миогенного компонента указывает на то, что приток крови в нутритивное русло увеличивается.

При легкой БА отмечалось незначительное снижение нейроргенного фактора по сравнению с группой контроля на протяжении всего периода наблюдения. При среднетяжелой БА этот показатель в период обострения был статистически значимо снижен ( $p < 0,05$ ), однако на фоне терапии он быстро повышался (рис. 3). Оценка влияния нейроргенных колебаний дает возможность оценить периферическое сопротивление артериол. Повышение амплитуды нейроргенного компонента свидетельствует об увеличении общего притока крови в систему МЦ, наблюдаемом при дилатации артериол [11]. В сочетании с миогенным компонентом показано более выраженное вовлечение сосудов МЦ при среднетяжелой БА.

Влияние пассивных факторов контроля кровотока (дыхательного, сердечного) в сравнении с группой контроля было несущественным. Так как длительность записи ЛДФ-граммы составила 4 минуты, оценить вклад эндотелиального компонента не представлялось возможным.

В исследовании проводилась также оценка рисков последующих обострений в подгруппах детей с легкой и среднетяжелой БА. Независимо от тяжести БА, у пациентов с затяж-

ным (более 1 недели наблюдения) сохранением обструкции нижних дыхательных путей риск обострения через 1 и 3 месяца оказался примерно в 2,5 раза выше, чем у больных без первичного затяжного обострения. Так, из 30 пациентов, исходно имевших затяжное обострение заболевания, у 11 (36,7%) человек не было дальнейших обострений, у 15 (50,0%) детей отмечались обострения через месяц и у 4 (13,3%) — через 3 месяца. Среди 70 пациентов без затяжного обострения 57 (81,4%) больных не имели дальнейших обострений, у 9 (12,9%) обследованных наблюдались обострения через месяц и у 4 (5,7%) — через 3 месяца.

При изучении ФВД исходно в подгруппе легкой БА ОФВ<sub>1</sub> более 80% от нормы выявлен у 11 пациентов (16,2%), менее 80% — у 57 (83,8%); в подгруппе среднетяжелой БА ОФВ<sub>1</sub> менее 80% от нормы обнаружен у всех пациентов. В период затяжного обострения у детей с легкой и среднетяжелой БА показатели ОФВ<sub>1</sub> менее 80% от нормы сохранялись более недели, восстановление происходило в течение 2–3 недель после обострения. Средний показатель ФЖЕЛ при легкой БА составил  $78,3 \pm 2,2\%$  от должного, при среднетяжелой —  $68,2 \pm 1,8\%$ ; ОФВ<sub>1</sub> при легкой БА —  $73,7 \pm 2,6\%$  от должного, при среднетяжелой —  $65,7 \pm 2,8\%$ .

### ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время применение ЛДФ находит широкое применение в различных областях теоретической и практической медицины. Метод имеет особенно большое значение в кардиологии, диабетологии, при онкологических заболеваниях, болезнях дыхательной системы.

В ходе анализа среднеарифметического значения показателя МЦ в период обострения заболевания установлены статистически значимые различия между пациентами со среднетяжелой БА и детьми контрольной группы ( $p < 0,05$ ), а также не имевшие статистической значимости изменения при легкой БА. Снижение показателя МЦ при обострении связано с тяжестью обострения и, возможно, с недостаточной эффективностью терапии приступа (обращения к врачу происходили в среднем на 6-й день). У пациентов с обострением, развившимся через месяц от начала наблюдения, длительно сохранялось снижение ПМ. Следует отметить, что среди пациентов с продолжительным обострением симптомы через 1 и 3 месяца наблюдения повторялись чаще, чем у больных без первичного затяжного обострения. Если обострение эффективно купировалось в первую неделю, повторных обострений через 1 и 3 месяца зафиксировано не было. В случае контроля заболевания независимо от исходной тяжести БА через 3 месяца происходило увеличение ПМ.

Полученные данные о состоянии микроциркуляторного русла отражают активность воспаления. В период обострения БА отмечаются спазм артериол и расширение венул, механизмы модуляции кровотока становятся менее активными. Это ведет к снижению МЦ, что соответствует ранее проведенным исследованиям у взрослых и детей с БА [10, 11]. В период ремиссии микровороток практически восстанавливается. Однако персистирующее воспаление при БА может приводить к структурным изменениям в стенке бронхов и микроциркуляторным изменениям [4]. Можно предположить, что степень снижения показателя МЦ у пациентов с легким и среднетяжелым течением БА обусловлена частотой возникающих обострений, их тяжестью и длительностью, а также временем начала терапии обострения. Среднеарифметический показатель МЦ у детей с персистирующим воспалением не восстанавливается до опорных

Рис. 2. Динамика нормированного значения амплитуды миогенного компонента, %.

\*  $P < 0,01$  при сравнении с контрольными данными

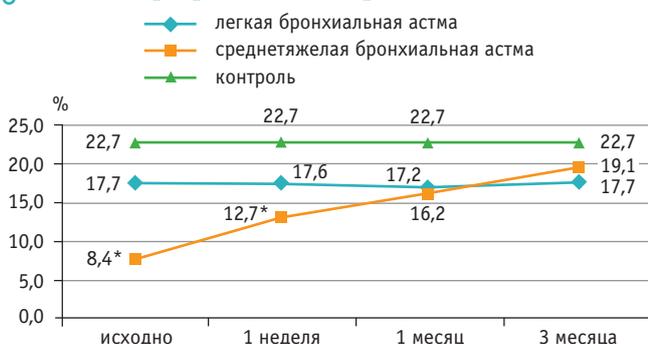
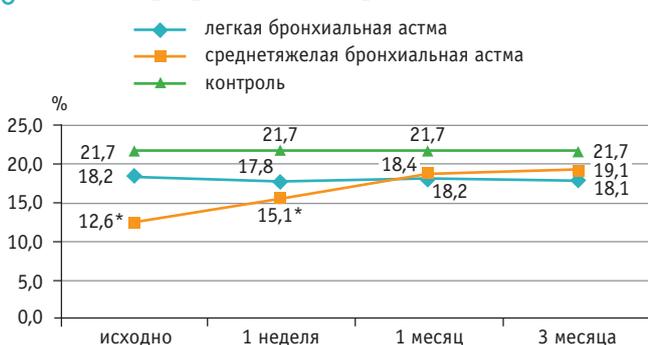


Рис. 3. Динамика нормированного значения амплитуды нейроргенного компонента, %.

\*  $P < 0,05$  при сравнении с контрольными данными



значений группы контроля в течение 3 месяцев наблюдения, и гипоксемия, возникающая при бронхообструкции, сопровождается нарушением баланса между транспортом кислорода и потребностями ткани.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможно, у пациентов с выявленными нарушениями микроциркуляции (МЦ) недооценена тяжесть бронхиальной астмы (БА), поздно и в недостаточной степени проведена терапия обострения и требуется усиление базисной терапии в соответствии с современными рекомендациями [8]. Больные с длительно сохраняющимися проявлениями бронхообструкции имеют повышенный риск повторных обострений. Изменение МЦ при обострении БА запускает механизмы компенсации через модуляцию кровотока для поддержания метаболизма.

Модуляция кровотока при легкой и среднетяжелой БА происходит за счет включения факторов активного контроля (нейрогенного, миогенного). Вазоконстрикция носит функциональный характер и уменьшается по мере стихания обострения, что отчетливо видно при среднетяжелой БА.

Изменения МЦ при легкой БА имеют незначительную выраженность и кратковременны. Наблюдаемое при этом увеличение притока крови необходимо для улучшения обменных процессов, нормализации метаболизма тканей.

Влияние активных факторов модуляции способствует вазодилатации, устраняя спазм артериол, имеющий место при обострении, при этом снижается периферическое сопротивление артериол, открываются артериовенулярные шунты. Наблюдаемые при БА изменения вязкости крови, полицитемия, агрегация и деформация эритроцитов с образованием сладжа, а также агрегация и адгезия тромбоцитов с развивающейся на этом фоне эндотелиальной дисфункцией способствуют снижению МЦ. На фоне адекватной терапии отмечается восстановление кровотока и механизмов регуляции сосудистого тонуса. Таким образом, использование лазерной доплеровской флоуметрии у детей с БА дает возможность оценить тяжесть обострения и эффективность проводимой противоастматической терапии, что позволяет применять данный метод в качестве дополнительного критерия диагностики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ларюшкина Р. М., Рывкин А. И., Линькова Ю. А., Глазова Т. Г., Томилова И. К., Кадыкова Е. Л. и др. Характеристика отдельных компонентов сосудисто-тромбоцитарного звена гемостаза при бронхиальной астме у детей. *Аллергология*. 2004; 4: 20–3. [Laryushkina R.M., Ryvkin A.I., Lin'kova Yu.A., Glazova T.G., Tomilova I.K., Kadykova E.L. i dr. Kharakteristika otdel'nykh komponentov sosudisto-trombotsitarnogo звена gemostaza pri bronkhial'noi astme u detei. *Allergologiya*. 2004; 4: 20–3. (in Russian)]
2. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность. *Руководство для врачей*. М.: Либроком; 2014. 498 с. [Krupatkin A.I., Sidorov V.V. *Funktsional'naya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem: kolebaniya, informatsiya, nelineinost'*. *Rukovodstvo dlya vrachei*. М.: Librokom; 2014. 498 s. (in Russian)]
3. Тихонова И. В., Косякова Н. И., Танканаг А. В., Чемерис Н. К. Влияние обструкции верхних дыхательных путей на микроциркуляцию кожи у больных бронхиальной астмой. *Вестник РАМН*. 2016; 71 (3): 233–9. DOI: 10.15690/vramn661. [Tikhonova I.V., Kosyakova N.I., Tankanag A.V., Chemeris N.K. *Vliyanie obstruktsii verkhnikh dykhatel'nykh putei na mikrotsirkulyatsiyu kozhi u bol'nykh bronkhial'noi astmoi*. *Vestnik RAMN*. 2016; 71(3): 233–9. DOI: 10.15690/vramn661. (in Russian)]
4. Федосеев Г. Б. Механизмы воспаления бронхов и легких и противовоспалительная терапия. СПб.: Нордмедиздат; 1998. 429–40. [Fedoseev G.B. *Mekhanizmy vospaleniya bronkhov i legkikh i protivovospalitel'naya terapiya*. SPb.: Nordmedizdat; 1998. 429–40. (in Russian)]
5. Чучалин А. Г. Бронхиальная астма: новые перспективы в терапии. *Терапевт. арх*. 2012; 84 (3): 5–11. [Chuchalin A.G. *Bronkhial'naya astma: novye perspektivy v terapii*. *Terapevt. arkh*. 2012; 84(3): 5–11. (in Russian)]
6. Рывкин А. И., Андрианова Е. Н., Побединская Н. С., Решетова Т. Г., Пашин М. В., Глазова Т. Г. и др. Состояние микроциркуляции при бронхиальной астме у детей. *Педиатрия*. Журн. им. Г. Н. Сперанского. 2005; 6: 7–13. [Ryvkin A.I., Andrianova E.N., Pobedinskaya N.S., Reshetova T.G., Pashin M.V., Glazova T.G. i dr. *Sostoyanie mikrogemotsirkulyatsii pri bronkhial'noi astme u detei*. *Pediatrics*. Zhurn. im. G. N. Speranskogo. 2005; 6: 7–13. (in Russian)]
7. Barnes P.J. Severe asthma: advances in current management and future therapy. *J. Allergy Clin. Immunol.* 2012; 129(1): 48–59. DOI: 10.1016/j.jaci.2011.11.006.
8. Национальная программа «Бронхиальная астма у детей. Стратегия лечения и профилактики». 5-е изд., перераб. и доп. М.: Оругинал-макет; 2017. 160 с. [Natsional'naya programma 'Bronkhial'naya astma u detei. *Strategiya lecheniya i profilaktika*'. 5-e izd., pererab. i dop. М.: Original-maket; 2017. 160 s. (in Russian)]
9. Геппе Н. А., Колосова Н. Г., Герасимов А. Н., Денисова А. Р., Ботнева А. В., Лозко Н. И. и др. Возрастные параметры нормы компьютерной капилляроскопии и лазерной доплеровской флоуметрии. *Вопр. практ. педиатрии*. 2018; 13 (1): 40–4. DOI: 10.20953/1817-7646-2018-1-40-44. [Geppe N.A., Kolosova N.G., Gerasimov A.N., Denisova A.R., Botneva A.V., Lozko N.I. i dr. *Vozrastnye parametry normy komp'yuternoï kapillyaroskopii i lazernoï dopplerovskoi floumetrii*. *Vopr. prakt. pediatrii*. 2018; 13(1): 40–4. DOI: 10.20953/1817-7646-2018-1-40-44. (in Russian)]
10. Козлов В. И., Гурова О. А., Морозов М. В. Показатели ЛДФ-грамм в коже различных областей тела человека и их морфофункциональное обоснование. *Вестн. РУДН. Серия: Медицина*. 2013; 1: 20–6. [Kozlov V.I., Gurova O.A., Morozov M.V. *Pokazateli LDF-gramm v kozhe razlichnykh oblastei tela cheloveka i ikh morfofunkcional'noe obosnovanie*. *Vestn. RUDN. Seriya: Meditsina*. 2013; 1: 20–6. (in Russian)]
11. Малахов С. Б., Макаров С. А., Рыжова Е. Г. Микроциркуляторные нарушения при сочетании хронического гастроудоденита и бронхиальной астмы у детей. *Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. «Проблемы гастроэнтерологии»*. Саратов; 2002: 61. [Malakhov S.B., Makarov S.A., Ryzhova E.G. *Mikrotsirkulyatornyye narusheniya pri sochetanii khronicheskogo gastroduodenita i bronkhial'noi astmy u detei*. *Mat-ly Vseros. nauch.-prakt. konf. 'Problemy gastroenterologii'*. Saratov; 2002: 61. (in Russian)]