

Е.А. Балашова, М.Ю. Гаврюшин, И.Л. Шадрина

## ФИЗИЧЕСКОЕ И ПОЛОВОЕ РАЗВИТИЕ МАЛЬЧИКОВ С ЛАТЕНТНЫМ ДЕФИЦИТОМ ЖЕЛЕЗА

DOI 10.25789/YMJ.2023.82.07

УДК: 616.155.194.8:616-095

Цель исследования – изучить возможное влияние латентного дефицита железа (ЛДЖ) на физическое и половое развитие мальчиков-подростков. Физическое развитие мальчиков с ЛДЖ, оцененное по традиционным антропометрическим параметрам, не отличалось от развития здоровых детей и не коррелировало с уровнем сывороточного ферритина. Избыточная масса тела и ожирение, определенные методом биоимпедансометрии, но не по ИМТ, ассоциированы с более высоким уровнем сывороточного ферритина. Дефицит железа ассоциирован с более низкими темпами полового развития у мальчиков.

**Ключевые слова:** биоимпедансометрия, дефицит железа, подростки, половое развитие, физическое развитие.

The aim of the study was to analyze the possible impact of iron deficiency without anemia on physical and sexual development of adolescent boys. Physical development of adolescent boys with iron deficiency without anemia did not differ from that of their healthy peers. Iron deficiency without anemia did not altered physical development of adolescent boys. Obesity or excess weight is associated with a higher serum ferritin level, which should be considered when diagnosing iron deficiency. Iron deficiency is associated with slower sexual development in boys.

**Keywords:** bioelectrical impedance, iron deficiency, adolescents, sexual development, physical development.

**Введение.** Дефицит железа является одним из наиболее распространенных нарушений обмена веществ. По результатам мета-анализа, в мире среди детей первых 5 лет жизни, являющихся основной группой риска по развитию данного состояния, 16,42% страдает железодефицитной анемией (ЖДА) и еще 17,95% – латентным дефицитом железа (ЛДЖ) [15]. Частота железодефицитных состояний (ЖДС) у подростков значимо ниже, кроме того, уже начиная с подросткового возраста выявляются существенные гендерные отличия. Например, по данным Захаровой И.Н. и соавт., дефицит железа у девушек-подростков встречается в 1,6 раза чаще, чем у юношей [8], а при исследовании эпидемиологии ЖДА в Ставропольском крае обнаружено, что в возрастной группе 12-18 лет 70% пациентов, получавших стационарное лечение с диагнозом ЖДА, составляли девочки [7]. Тем не менее некоторые исследования позволяют предполагать достаточно высокую частоту ЛДЖ у мальчиков подросткового возраста. Например, по результатам исследования Шаруха Г.В. и соавт., частота ЛДЖ у мальчиков в возрасте до 14 лет со-

ставляет 20,6% и возрастает до 32,1% в подростковом возрасте [2].

Дефицит железа, развивающийся в так называемые первые 1000 дней жизни, то есть в период с зачатия до 2 лет жизни, оказывает множественные негативные эффекты на здоровье детей, включая изменения иммунологической реактивности и повышенную инфекционную заболеваемость [19], задержку когнитивного [12] и психомоторного развития [26], а также задержку линейного роста и массы тела [10]. В то же время влияние дефицита железа, особенно в форме ЛДЖ, развивающегося в подростковом возрасте, на физическое развитие мало изучено. Влияние дефицита железа на репродуктивное здоровье достаточно полно изучено у девушек: ЛДЖ приводит к снижению овариального резерва [4], также в высоком проценте случаев (43%) он выявляется у женщин с бесплодием [6]. Исследования полового развития и репродуктивной функции у юношей преимущественно проводятся на популяции пациентов с перегрузкой железа [16, 22], тогда как влияние ЖДС практически не изучено.

**Цель исследования:** изучить возможную взаимосвязь латентного дефицита железа у мальчиков-подростков с физическим и половым развитием.

**Материалы и методы.** Исследование выполнено на базе ФГКОУ «Самарский кадетский корпус Министерства внутренних дел Российской Федерации» методом сплошной выборки в рамках планового профилактического осмотра. При проведении исследова-

ния было получено информированное согласие пациентов или их родителей либо законных представителей.

Критерии включения в исследование: возраст на момент проведения исследования от 12 до 15 полных лет, согласие родителей или законных представителей на участие в исследовании.

Критерии исключения – отказ от участия в исследовании, острые инфекционные заболевания, сопровождающиеся гипертермией, в течение всего периода исследования, диарея в течение 7 дней до лабораторного исследования, прием лекарственных препаратов, выраженные отеки конечностей, невозможность проведения общего анализа крови и/или биохимического анализа крови (образование сгустка, гемолиз, недостаточный объем материала для исследования).

Измерение окружностей (окружность головы, грудной клетки, бедер, плеча) производилось мягкой сантиметровой лентой [9]. Рост стоя и сидя измерялся ростометром, масса тела – электронными напольными весами с точностью до 100 г. Измерение толщины кожно-жировых складок в 4 точках проводилось пластиковым калипером с округлением до ближайших 0,5 см [1]. Избыточная масса тела констатировалась при индексе массы тела (ИМТ), превышающем средние значения более чем на 1 SD, ожирение – при ИМТ > +2SD, дефицит массы тела при ИМТ меньше средних значений на 2 SD. Биоимпедансный анализ проводился утром через 2,5-3 ч после завтрака, с помощью анализатора внутренних

**БАЛАШОВА Елена Анатольевна** – д.м.н. доцент, проф. Самарского ГМУ, e.a.balashova@samsmu.ru, ORCID 0000-0001-5766-6741, **ГАВРЮШИН Михаил Юрьевич** – к.м.н. доцент, зам. директора Ин-та профилактической медицины СГМУ, ORCID 0000-0002-0897-7700, **ШАДРИНА Инна Лерьевна** – ассистент кафедры СГМУ; зам. гл. врача Самарской городской б-цы №7, ORCID 0000-0002-6000-1959.

сред организма ABC-02 «Медасс» (Россия) на частоте зондирующего тока 50 кГц по октаполярной схеме [1]. Оценка процента жировой массы проводилась в соответствии с данными McCarthy H. et al. [11], избыточное содержание жировой ткани устанавливалось выше 85-го центиля для соответствующего возраста, ожирение – выше 95-го центиля, дефицит жировой ткани – ниже 2-го центиля. Оценка показателей полового развития проведена детским эндокринологом по методике Таннер в ходе планового осмотра [5].

Состояние запасов железа и красной крови у подростков оценивалось путем подсчета показателей общего анализа крови на автоматическом гематологическом анализаторе Sysmex XT-2000i («Sysmex», Япония) методом флуоресцентной проточной цитометрии и определения уровня сывороточного ферритина (СФ) на автоматическом биохимическом анализаторе Integra 400 plus («Roche», Швейцария) иммунотурбидиметрическим методом. Уровень С-реактивного белка для исключения ложноотрицательных результатов под влиянием воспаления определялся количественным методом. Анемией считалось снижение уровня гемоглобина ниже 120 г/л, дефицит железа устанавливался при уровне СФ менее 15 нг/мл при нормальном уровне СРБ [25]. Железодифицитная анемия устанавливалась при сочетании анемии и дефицита железа, ЛДЖ – при наличии дефицита железа и отсутствии анемии.

**Статистическая обработка.** Материалы исследования были подвергнуты статистической обработке с использованием методов параметрического и непараметрического анализа. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2016. Статистический анализ проводился с использованием программы STATISTICA 13.3 (разработчик - StatSoft.Inc). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению, для этого использовался критерий Колмогорова-Смирнова, а также показатели асимметрии и эксцесса. В случае описания количественных показателей, имеющих нормальное распределение, полученные данные объединялись в вариационные ряды, в которых проводился расчет средних арифметических величин (М) и стандартных отклонений (SD). Совокупности количественных

показателей, распределение которых отличалось от нормального, описывались при помощи значений медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>). При сравнении средних величин в нормально распределенных совокупностях количественных данных рассчитывался t-критерий Стьюдента. Для сравнения независимых совокупностей в случаях отсутствия признаков нормального распределения данных использовался U-критерий Манна-Уитни. С целью изучения связи между явлениями, представленными количественными данными, распределение которых отличалось от нормального, использовался непараметрический метод – расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

**Результаты и обсуждение.** В связи с ограниченным числом детей, обучающихся в кадетском корпусе, и малым размером группы подростков с ЖДС, выявленных при первоначальном обследовании, набор подростков в исследование проведен двукратно: в период с 18.03.2021 по 30.04.2021

и с 08.11.2022 по 16.12.2022 методом сплошной выборки в рамках планового профилактического осмотра. Лабораторное обследование с целью определения обеспеченности железом проведено 265 подросткам. ЖДС обнаружены у 51 подростка (19,2% обследованных), из которых ЖДА выявлена в 5 случаях. В связи с недостаточным количеством детей с ЖДА исключены из дальнейшего анализа и основную группу составили 46 подростков с ЛДЖ. В контрольную группу вошли 99 подростков с нормальными запасами железа и показателями общего анализа крови. Средний возраст подростков составил 14,8 (0,9) года, возраст в группах сравнения не отличался: в основной группе 14,6 (0,9) года, в контрольной группе 14,8 (0,7) года (p=0,278).

Основные антропометрические показатели в группах сравнения не отличались (табл. 1).

У большинства обследованных детей ИМТ был в пределах нормы: 63,0% (29) в основной и 58,6% (58) в контрольной группе (p=0,609). Из-

Таблица 1

Антропометрические параметры у детей групп сравнения

| Показатель                                             | Основная группа, n=46 | Контрольная группа, n=99 | p     |
|--------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------|
| *Рост, см                                              | 166,4 (8,0)           | 166,3 (9,4)              | 0,978 |
| *ИМТ                                                   | 21,6 (2,1)            | 21,3 (3,1)               | 0,464 |
| *Масса тела, кг                                        | 59,6 (8,0)            | 59,2 (11,0)              | 0,781 |
| **Окружность талии, см                                 | 71,0 (70,0; 76,0)     | 71,0 (65,0; 75,0)        | 0,196 |
| *Окружность бедер, см                                  | 90,5 (4,9)            | 89,7 (6,3)               | 0,389 |
| **Окружность запястья, см                              | 16,4 (16,0; 17,0)     | 16,0 (15,5; 16,5)        | 0,128 |
| *Окружность грудной клетки при максимальном выдохе, см | 89,2 (7,4)            | 87,9 (7,4)               | 0,331 |
| *Окружность грудной клетки при максимальном вдохе, см  | 82,1 (6,2)            | 81,3 (6,9)               | 0,485 |
| *Окружность плеча при максимальном напряжении мышц, см | 28,7 (3,1)            | 27,9 (3,2)               | 0,200 |
| *Окружность плеча в расслабленном состоянии, см        | 25,7 (2,3)            | 25,4 (2,7)               | 0,373 |
| *Окружность головы, см                                 | 55,5 (1,5)            | 55,4 (1,6)               | 0,829 |

\* Нормальное распределение, М (m). t критерий Уэлча;

\*\* распределение, отличное от нормального, Me (Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>). U критерий Манна-Уитни.

Таблица 2

Результаты калиперометрии детей групп сравнения

| Толщина складки, мм        | Основная группа, n=46 | Контрольная группа, n=99 | p     |
|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-------|
| В области двуглавой мышцы  | 8,0 (4,0; 9,0)        | 7,0 (4,0; 9,0)           | 0,625 |
| В области трехглавой мышцы | 10,0 (8,0; 12,0)      | 10,0 (6,0; 11,0)         | 0,703 |
| В области угла лопатки     | 10,0 (8,0; 12,0)      | 10,0 (8,0; 12,0)         | 0,885 |
| В области паховой складки  | 8,0 (7,0; 10,0)       | 8,0 (7,0; 10,0)          | 0,409 |

Примечание. Распределение, отличное от нормального, Me (Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>). U критерий Манна-Уитни.

быточная масса тела обнаружена у 28,3% (13) и 32,3% (32) детей групп сравнения соответственно, у 1 ребенка основной группы (2,2%) и 4 детей контрольной группы (4,0%) выявлено ожирение. Дефицит массы тела по ИМП установлен у 6,5% (3) и 5,1% (5) детей групп сравнения.

Также не отличалась толщина подкожно-жировой складки, измеренная при помощи калипера (табл. 2). Среднее значение в основной группе составило 7,5 мм (6; 9,5), тогда как в контрольной группе – 9,0 мм (6,75; 10,5) ( $p=0,228$ ).

Ни для одного из перечисленных антропометрических параметров не обнаружено корреляции с уровнем сывороточного ферритина.

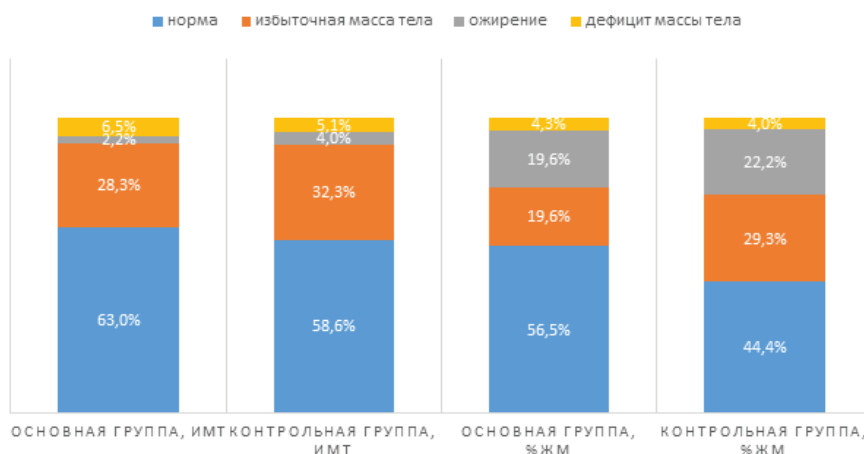
По результатам анализа биоимпедансометрии, средние значения объема жировой массы, ее процента, а также объем висцерального жира в группах не отличались. Так, жировая масса в основной группе составляла 12,7 (3,4), тогда как в контрольной группе – 13,0 (4,8),  $p=0,675$ , процент жировой массы 21,4 (5,4) и 21,5 (5,8) соответственно ( $p=0,874$ ).

Интересно отметить, что при использовании в качестве критерия избыточной массы тела не ИМТ, а процента жировой массы по данным биоимпедансометрии, значительно изменяется доля детей, которым может быть диагностирована избыточная масса тела и ожирение (рисунок), однако различия между группами остаются незначимыми ( $p=0,534$ ).

Из других показателей биоимпедансометрии в группах сравнения не отличались объем и процент активной клеточной массы и скелетной мышечной массы (табл. 3).

Несмотря на отсутствие различий в распространенности железодефицитных состояний в группах, мы проанализировали уровень сывороточного ферритина с учетом установленной избыточной массы тела и ожирения. В связи с вышеописанными отличиями в результатах оценки физического развития при определении антропометрических показателей и при проведении биоимпедансометрии, подгруппы сформированы двумя способами – по ИМТ и по проценту жировой ткани (табл. 4). Дети с дефицитом массы исключены.

Оказалось, что при учете процента жировой массы, определенной методом биоимпедансометрии, уровень сывороточного ферритина достоверно выше у детей с избыточной массой тела и, особенно, с ожирением.



Распределение детей групп сравнения по массе тела, оцененной по ИМТ и по % жировой ткани при биоимпедансометрии

Таблица 3

### Сравнение отдельных показателей биоимпедансометрии у детей групп сравнения

| Показатель                 | Основная группа, n=46 | Контрольная группа, n=99 | p     |
|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-------|
| Активная клеточная масса   | 25,4 (4,8)            | 25,2 (5,3)               | 0,826 |
| % активной клеточной массы | 53,9 (3,2)            | 54,4 (3,2)               | 0,415 |
| Скелетная мышечная масса   | 27,3 (4,1)            | 26,8 (4,1)               | 0,494 |
| % скелетной мышечной массы | 58,0 (1,9)            | 58,3 (4,2)               | 0,619 |

Примечание. Нормальное распределение, М (m).

Таблица 4

### Уровень сывороточного ферритина у детей в зависимости от массы тела, оцененной по ИМТ и по проценту жировой ткани при биоимпедансометрии (без учета первоначального разделения на подгруппы)

| Разделение на подгруппы по ИМТ                                    |                                        |                   |        |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|--------|
|                                                                   | Избыточная масса тела и ожирение, n=50 | Норма, n=87       | p      |
| Сывороточный ферритин, мкг/л                                      | 30,7 (19,3; 45,7)                      | 28,7 (17,2; 43,3) | 0,617  |
|                                                                   | Ожирение, n=5                          | Норма, n=87       | p      |
| Сывороточный ферритин, мкг/л                                      | 40,6 (36,7; 50,0)                      | 28,7 (17,2; 43,3) | 0,247  |
| Разделение на подгруппы по % жировой массы при биоимпедансометрии |                                        |                   |        |
|                                                                   | Избыточная масса тела и ожирение, n=69 | Норма, n=70       | p      |
| Сывороточный ферритин, мкг/л                                      | 35,15 (20,8; 48,6)                     | 18,8 (16,4; 20,0) | <0,001 |
|                                                                   | Ожирение, n=31                         | Норма, n=70       | p      |
| Сывороточный ферритин, мкг/л                                      | 40,8 (19,4; 56,3)                      | 18,8 (16,4; 20,0) | 0,012  |

Примечание. Распределение, отличное от нормального, Me (Q1; Q3). U критерий Манна-Уитни

Таблица 5

### Корреляция уровня СФ, мкг/л, с массой тела и отдельными показателями биоимпедансометрии, характеризующими жировой обмен

| Масса тела, кг               | ИМТ                          | Жировая масса                | Висцеральный жир             | % жировой массы              | % скелетной мышечной массы    |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| $r_s = 0,118$<br>$p = 0,165$ | $r_s = 0,037$<br>$p = 0,665$ | $r_s = 0,210$<br>$p = 0,013$ | $r_s = 0,208$<br>$p = 0,014$ | $r_s = 0,239$<br>$p = 0,005$ | $r_s = -0,136$<br>$p = 0,111$ |

Примечание. Rho коэффициент Спирмена, значимые различия при  $p < 0,05$ .

Литературные данные по вопросу взаимосвязи ожирения и дефицита железа можно характеризовать как неоднородные. С одной стороны, существуют исследования, в ходе которых не выявлено никакой взаимосвязи этих состояний [23, 24], с другой стороны, мета-анализ подтвердил связь ЖДА и ожирения у детей (ОШ 2,1, 95% ДИ 1,4-3,2) [21]. Объяснением таких различий может быть механизм развития дефицита железа при ожирении через хроническое воспаление, которое модулирует уровень гепсидина, что, в свою очередь, приводит к сниженной абсорбции железа в кишечнике [18]. Так как сывороточный ферритин является острофазовым показателем, его уровень также повышается при воспалении и тем самым маскирует существующий дефицит железа. Поэтому использование других параметров, отражающих запасы железа в организме и независимых от воспаления, например, растворимых трансферриновых рецепторов, или коррекция референсных значений для сывороточного ферритина на воспаление могут дать более достоверные результаты [23], а для определения избыточной массы тела и ожирения предпочтительно использование метода биоимпедансометрии.

Дальнейшее изучение возможной ассоциации с уровнем сывороточного ферритина показало корреляцию для показателей, характеризующих жировой обмен по результатам биоимпедансометрии, но не ИМТ (табл. 5).

Полученные результаты согласуются с данными других исследований, которые также не выявили связи ИМТ и отдельных антропометрических параметров с дефицитом железа [17].

Половое развитие всех мальчиков соответствовало возрастной норме, что объясняется широкими возрастными пределами начала пубертата: у мальчиков они составляют 9-14 лет [3]. Тем не менее оказалось, что, несмотря на отсутствие различий возраста обследованных детей, темпы полового развития в основной группе были ниже, чем в контрольной. Так, лобковое оволосение в основной группе оценено на 2,5 (2; 3), тогда как в контрольной группе – на 3 (3; 4) балла ( $p=0,009$ ), а развитие гениталий на 3 (2; 4) и 4 (3; 5) балла соответственно ( $p=0,022$ ). По степени аксиллярного оволосения достоверных различий не получено ( $p=0,296$ ). Кроме того, выявлена корреляция между уровнем полового развития и уровнем сывороточного ферритина у мальчиков-по-

ростков: для лобкового оволосения  $r_s = 0,186$ ,  $p = 0,028$ , для развития гениталий –  $r_s = 0,224$ ,  $p = 0,008$ .

В целом исследования по данному вопросу чаще сосредоточены на тяжелой перегрузке железом – известно крайне негативное влияние инфузионно-зависимой талассемии и наследственного гемохроматоза на половое развитие и репродуктивную функцию [14]. В то же время известна и критическая роль железа в сперматогенезе, числе и функциональной активности сперматозоидов [13, 20]. Кроме того, тестостерон является естественным регулятором обмена железа через ингибирование синтеза гепсидина [14], в связи с этим ЛДЖ может быть не причиной, а следствием некоторого запаздывания пубертата у мальчиков и отсутствия выраженного стимулирующего влияния увеличенной концентрации половых гормонов.

**Заключение.** Физическое развитие детей с ЛДЖ, оцененное по традиционным параметрам, не отличается от развития здоровых и не коррелирует с уровнем сывороточного ферритина. Избыточная масса тела или ожирение, определенные методом биоимпедансометрии, ассоциированы с более высоким уровнем сывороточного ферритина, вероятно, за счет присутствия хронического воспаления легкой степени. В связи с этим для оценки запасов железа у мальчиков с висцеральным ожирением использование референсных значений СФ, применяемых при воспалении – 30 мкг/л, может повысить точность диагностики. Необходимо дальнейшее изучение особенностей обмена железа у детей и подростков с ожирением для разработки практических рекомендаций по их ведению. Дефицит железа ассоциирован с более низкими темпами полового развития у мальчиков, что определяет необходимость проведения скрининга на ЖДС и последующей профилактики у мальчиков в период пубертата.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Самарской области в рамках Губернского гранта в области науки и техники.*

## Литература

1. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Николаев Д.В. [и др.] М.: Наука; 2009. 392 с.
2. Bioimpedance analysis of human body composition / Nikolaev D.V. [et al.]. Moscow, 2009. 392 p.
3. Возрастная оценка состояния латентного дефицита железа у детей в Тюменской об-

ласти / Г.В. Шаруха [и др.] // Медицинская наука и образование Урала. 2009. Т. 10, № 2(57). С. 46-48.

Age estimation of the latent deficiency iron condition of the children in Tyumen region / Sharukh G.V. [et al.] // Medical science and education of Ural. 2009. Vol. 10. 2(57). P. 46-48.

3. Дурманов Н.Д., Филимонов А.С. Диагностика и коррекция нарушений обмена железа в спорте высших достижений: Методические рекомендации для врачей клубов. М. [б/и]. 2010. 84 с.

Durmanov N.D., Filimonov A.S. Diagnosis and Correction of Iron Metabolism Disorders in Elite Sports: Guidelines for Club Doctors. Moscow. 2010. 84 p.

4. Ербактанова Т.А. Репродуктивное здоровье девушек-подростков Тюменской области на фоне латентного дефицита железа: специальность 14.01.01 «Акушерство и гинекология»: Автореф. дисс....канд.медицин. наук / Тюмень. 2014. 22 с.

Yerbaktanova T.A. Reproductive health of adolescent girls in the Tyumen Region against the background of latent iron deficiency: dis. ... of PhD in Medicine: 14.01.08, 14.01.01: defense of the thesis 05.06.2014. Tyumen. 2014. - 23 p.

5. Мазурин А.В., Воронцов И.М. Пропедевтика детских болезней. 3-е изд., доп. и перераб. СПб: ООО «Издательство Фолиант»; 2009. 1008 с.

Mazurin A.V., Voroncov I.M. Propedeutics of childhood diseases. 3d ed., Saint Petersburg; 2009. 1008 p.

6. Мельников В.М., Самыкина О.В., Скворчевская С.А. Распространенность латентного дефицита железа у женщин с бесплодием города Самары [электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=8349> (дата обращения: 23.02.2023).

Melnikov V.M., Samykina O.V., Skvorchevskaya S.A. The prevalence of latent iron deficiency in infertile women of Samara City [electronic resource]. Modern problems of science and education. 2013. 1. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=8349>

7. Самкина О.Н., Водовозова Э.В., Леденева Л.Н. Эпидемиология железодефицитной анемии у детей, проживающих в Ставропольском крае в период с 2012 по 2016 годы, по данным онкогематологического отделения ГБУЗ СК "КДКБ" // Евразийское Научное Объединение. 2018. № 1-2(35). С. 113-116.

Samkina O.N., Vodovozova Je.V., Ledeneva L.N., Rogov A.V. Epidemiology of iron deficiency anemia in children of Stavropol Region according to data of oncohematology department GBUZ SK "KDKB". Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics. 2018; 4(63): 188.

8. Факторы риска развития железодефицитных состояний у подростков города Москвы / Захарова И.Н. [и др.] // Педиатрическая фармакология. 2015. Т. 12. № 5. С. 609-613. DOI 10.15690/pf.v12i5.1464.

Risk factors of development of iron-deficiency conditions in Moscow adolescents / Zakharova I.N. [et al.] // Pediatric pharmacology. 2015. 12 (5): 609-613. doi: 10.15690/pf.v12i5.1464.

9. Физическое развитие детей и подростков школьного возраста: учебное пособие / Гаврюшин М.Ю. [и др.] М.: Издательство «Перо». 2019. 83 с.

Gavryushin M.Y. [et al.] Physical development of children and adolescents of school age: textbook. Moscow, 2019. - 83 p.

10. Antenatal Iron-Folic Acid Supplementation Is Associated with Improved Linear Growth and Reduced Risk of Stunting or Severe Stunting in

South Asian Children Less than Two Years of Age: A Pooled Analysis from Seven Countries / Nisar YB. [et al.] // *Nutrients*. 2020. Vol. 12(9). P. 2632. doi:10.3390/nu12092632.

11. Body fat reference curves for children / McCarthy HD. [et al.] // *Int J Obes*. 2006. Vol. 30. P. 598–602. doi: 10.1038/sj.ijo.0803232

12. Chronic Iron Deficiency and Cognitive Function in Early Childhood / Gingoyon A. [et al.] // *Pediatrics*. 2022. Vol. 150(6). P. e2021055926. doi:10.1542/peds.2021-055926

13. Effects of Iron Supplementation on Testicular Function and Spermatogenesis of Iron-Deficient Rats / Tsao CW. [et al.] // *Nutrients*. 2022. Vol. 14 (10). P. 2063. doi: 10.3390/nu14102063.

14. Gabrielsen JS., Lamb DJ., Lipshultz LI. Iron and a Man's Reproductive Health: the Good, the Bad, and the Ugly // *Curr Urol Rep*. 2018. Vol. 19 (8). P. 60. doi: 10.1007/s11934-018-0808-x.

15. Gedfie S, Getawa S, Melku M. Prevalence and Associated Factors of Iron Deficiency and Iron Deficiency Anemia Among Under-5 Children: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Glob Pediatr Health*. 2022. 9. 2333794X221110860. doi:10.1177/2333794X221110860.

16. Hypogonadism in male thalassemia major patients: pathophysiology, diagnosis and treatment / De Sanctis V. [et al.] // *Acta Biomed*. 2018. Vol. 89 (2-S). P. 6–15. doi:10.23750/abm.v89i2-S.7082

17. Iron deficiency anemia and megaloblastic anemia in obese patients / Arshad M. [et al.] // *Rom J Intern Med*. 2017. Vol. 55 (1). P. 3–7. doi: 10.1515/rjim-2016-0046.

18. Iron Metabolism in Obesity and Metabolic Syndrome / González-Domínguez A. [et al.] // *Int J Mol Sci*. 2020. Vol. 21 (15). P. 5529. doi: 10.3390/ijms21155529.

19. Kumar V, Choudhry VP. Iron deficiency and infection // *Indian J Pediatr*. 2010. Vol. 77(7). P. 789–793. doi:10.1007/s12098-010-0120-3

20. Nutrition, genetic variation and male fertility / Vanderhout SM. [et al.] // *Transl Androl Urol*. 2021. Vol. 10 (3). P. 1410–1431. doi:10.21037/tau-20-592

21. Obesity in young children and its relationship with diagnosis of asthma, vitamin D deficiency, iron deficiency, specific allergies and flat-footedness: A systematic review and meta-analysis / Malden S. [et al.] // *Obes Rev*. 2021.

Vol. 22 (3). P. e13129. doi: 10.1111/obr.13129.

22. Pubertal Development and its Determinants in Adolescents With Transfusion-Dependent Thalassemia / Singh P. [et al.] // *Indian Pediatr*. 2021. Vol. 58 (7). P. doi:635–638. doi.org/10.1007/s13312-021-2258-7

23. Relationship between Obesity and Iron Deficiency in Healthy Adolescents / Ortiz Pérez M. [et al.] // *Child Obes*. 2020. Vol. 16 (6). P. 440–447. doi: 10.1089/chi.2019.0276.

24. The Hepcidin and 25-OH-Vitamin D Levels in Obese Children as a Potential Mediator of the Iron Status / Aka S. [et al.] // *Clin Lab*. 2021. Vol. 67 (5). P. 10.7754/Clin.Lab.2020.200813. doi: 10.7754/Clin.Lab.2020.200813.

25. World Health Organization. Nutritional anaemias: tools for effective prevention and control [electronic resource]. Geneva: World Health Organization; 2017. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241513067>

26. Zheng J, Liu J, Yang W. Association of Iron-Deficiency Anemia and Non-Iron-Deficiency Anemia with Neurobehavioral Development in Children Aged 6–24 Months // *Nutrients*. 2021. Vol. 13(10). P. 3423. doi:10.3390/nu13103423

## МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ

С.Э. Аветисов, А.К. Дзамихова, Т.Ю. Шилова

# РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПНЕВМОАПЛАНАЦИИ РОГОВИЦЫ ПРИ МИОПИИ

DOI 10.25789/YMJ.2023.82.08

УДК 617.753.2

Внедрение в клиническую практику методов исследования, основанных на динамической пневмоаппланации роговицы, существенно расширило возможности клинической (прижизненной) оценки «биомеханики» глазных структур при миопии. В настоящем обзоре в обобщенном плане представлены результаты применения методов пневмоаппланации для оценки биомеханических показателей при исходной миопии и после ее лазерной коррекции.

**Ключевые слова:** роговица, биомеханические свойства, методы пневмоаппланации, миопия.

The introduction into clinical practice of research methods based on dynamic corneal pneumoapplanation significantly expanded the possibilities of clinical (in vivo) assessment of the "biomechanics" of eye structures in myopia. This review summarizes the results of using pneumoapplanation methods to assess biomechanical indices in initial myopia and after its laser correction.

**Keywords:** cornea, biomechanical properties, pneumoapplanation methods, myopia.

Размеры и форма фиброзной (корнеосклеральной) оболочки глаза являются основными компонентами формирования рефракционных нарушений. Миопический дефокус может

быть связан в первую очередь с увеличением переднезадней оси (ПЗО), а также усилением рефракции роговицы. При этом нестабильность ПЗО с тенденцией к увеличению из-за нарушения механических свойств склеры является, согласно трехфакторной теории патогенеза миопии Э.С. Аветисова, анатомической причиной прогрессирующей миопии [1]. Исходя из этого, основное направление биомеханических исследований фиброзной оболочки глаза при миопии связано с оценкой различных показателей склеры. На основании комплекса исследований (механические тесты in vitro, измерение ригидности глазного яблока, опре-

деление коэффициента деформации и акустической плотности склеры, офтальмомеханография) установлено, «что при прогрессировании миопии сокращается диапазон упругих деформаций склеры и увеличивается вклад вязкого компонента, что в результате приводит к необратимому растяжению склеральной оболочки и к увеличению ПЗО глаза» [2]. При высокой миопии склера характеризуется снижением прочности и модуля упругости преимущественно в экваториальной и задней областях, причем эти изменения сначала происходят в экваториальной зоне с последующим изменением задней части склеры.

ФГБНУ «НИИ глазных болезней им. М.М. Краснова»: **АВETISOB Сергей Эдуардович** – д.м.н., проф., акад. РАН, научн. руковод.; зав. кафедрой Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, ORCID: 0000-0001-7115-4275, **ДЗАМИХОВА Асият Касумовна** – аспирант, [asiat.abukerimova@yandex.ru](mailto:asiat.abukerimova@yandex.ru), ORCID: 0000-0002-2245-6346. **ШИЛОВА Татьяна Юрьевна** – д.м.н., проф., ООО «Клиника современной офтальмологии», ORCID: 0000-0002-6164-5393.