



Чиркин А.А.✉, Алтани М.С., Степанова Н.А., Чиркина А.А.  
Витебский государственный университет имени П.М. Машерова, Витебск, Беларусь

## Изменения биохимических показателей сыворотки крови у подростков женского пола при занятиях спортом

**Конфликт интересов:** не заявлен.

**Вклад авторов:** концепция и дизайн исследования, редактирование текста – Чиркин А.А.; создание базы данных и обработка материала – Алтани М.С.; написание текста – Степанова Н.А.; статистическая и компьютерная обработка материала – Чиркина А.А.

Подана: 22.06.2022  
Принята: 05.09.2022  
Контакты: chir@tut.by

### Резюме

**Цель.** Анализ показателей оценки состояния обменных процессов у подростков-спортсменов женского пола в пубертатном периоде их жизни с использованием применяемых в медицинских организациях лабораторных тестов для выявления рисков развития метаболических изменений, сопровождающихся формированием синдрома относительного дефицита энергии в спорте и предвестников развития метаболического синдрома.

**Материалы и методы.** Проанализирована обезличенная база данных, включающая 31 биохимический маркер здоровья 371 подростка женского пола (323 спортсменки и 48 подростков контрольной группы). Представлены данные о биохимических показателях риска развития синдромов напряжения метаболических процессов в зависимости от периода пубертатного возраста, спортивной квалификации и видов спорта.

**Результаты.** Занятия спортом в подростковом периоде сопряжены с более частым выявлением гипотрофии, проявляющейся чаще у девушек в рамках комплекса симптомов «триады женщин-атлеток», которая включает в себя недостаточное потребление энергии с нарушением питания (или без него), менструальную дисфункцию и снижение минеральной плотности костной ткани. По мере преодоления возрастающих спортивных нормативов в раннем пубертатном возрасте к биохимическим показателям энергетического обеспечения спортивной деятельности (снижение уровней глюкозы, ХС-ЛПНП, содержания альбумина, активности щелочной фосфатазы, величины коэффициента «АсАТ/АлАТ», повышение коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП») добавляется снижение ОЖСС, имеющей отношение к менструальному циклу, а также показатели повреждения мембранных структур (АлАТ, АсАТ, КФК, ЩФ). Установлено, что для циклических видов спорта характерно снижение уровней глюкозы, ОЖСС и коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП»; для скоростно-силовых видов спорта – снижение содержания альбумина, триглицеридов и ОЖСС; для спортивных единоборств – снижение ОЖСС и показателей коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП»; для сложно-координационных видов спорта – снижение уровня триглицеридов и



коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП». Концентрация общего кальция сохраняется на постоянном уровне, что не позволяет использовать этот показатель в предсказании развития остеопороза. Отбор спортсменов с факторами риска метаболического синдрома практически завершается после двух первых этапов оценки избыточной массы тела и уровня ХС ЛПВП. Вспомогательную роль играют содержание глюкозы и триглицеридов.

**Заключение.** Биохимические показатели риска развития синдрома «относительно-го дефицита энергии» чаще выявляются у спортсменок раннего пубертатного возраста, что может привести к патологическим компонентам «триады женщин-атлетов». Большую роль в развитии метаболического синдрома у небольшой части (0,4–1,8%) спортсменок пубертатного возраста играют избыточная масса тела и снижение уровня липопротеинов высокой плотности.

**Ключевые слова:** пубертатный период, занятия спортом, подростки женского пола, синдром относительного дефицита энергии, метаболический синдром

Chirkin A.✉, Altani M., Stepanova N., Chirkina A.  
Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Vitebsk, Belarus

## Changes in Biochemical Indicators of Blood Serum in Female Adolescents During Sports

**Conflict of interest:** nothing to declare.

**Authors' contribution:** concept and design of the study, text editing – Chirkin A.; database creation and material processing – Altani M.; text writing – Stepanova N.; statistical and computer processing of the material – Chirkina A.

Submitted: 22.06.2022

Accepted: 05.09.2022

Contacts: chir@tut.by

### Abstract

**Purpose.** Analysis of indicators for assessing the state of metabolic processes in adolescent female athletes in the puberty period of their life using laboratory tests used in medical organizations to identify the risks of developing metabolic changes accompanied by the formation of a "relative energy deficit syndrome in sports" and precursors of the development of "metabolic syndrome".

**Materials and methods.** An impersonal database was analyzed, including 31 biochemical markers of health of 371 female adolescents (323 athletes and 48 adolescents in the control group). Data on biochemical indicators of the risk of developing stress syndromes of metabolic processes depending on the period of puberty, sports qualifications and sports are presented.

**Results.** Participation in sports during adolescence is associated with a higher incidence of malnutrition, which is more common in girls as part of the symptom complex of the triad of female athletes, which includes insufficient energy intake with or without malnutrition, menstrual dysfunction, and a decrease in bone mineral density. As the increasing sports standards are overcome at early puberty, the biochemical indicators of the energy supply of sports activities (decrease in glucose levels, LDL-cholesterol, albumin content, alkaline

phosphatase activity, the value of the "AST / ALT" coefficient, increase in the coefficient "glucose / cholesterol-LDL") are added a decrease in TIBC (Total iron-binding activity of serum) related to the menstrual cycle, as well as indicators of damage to membrane structures (ALT, AST, CPK, alkaline phosphatase). It has been established that cyclic sports are characterized by a decrease in glucose levels, TIBC, and the coefficient "glucose/LDL-cholesterol"; for speed-strength sports - a decrease in the content of albumin, triglycerides and TIBC; for martial arts - a decrease in TIBC and indicators of the coefficient "glucose / cholesterol-LDL"; for complex-coordinating sports - a decrease in the level of triglycerides and the coefficient "glucose / LDL cholesterol". The concentration of total calcium remains at a constant level, which does not allow using this indicator in predicting the development of osteoporosis. The selection of athletes with risk factors for the metabolic syndrome is practically completed after the first two stages of assessing overweight and HDL cholesterol levels. An auxiliary role is played by the content of glucose and triglycerides.

**Conclusion.** Biochemical indicators of the risk of developing the syndrome of relative energy deficiency are more often detected in female athletes of early puberty, which can lead to pathological components of the triad of female athletes. An important role in the development of the metabolic syndrome in a small part (0.4-1.8%) of female athletes of puberty is played by overweight and a decrease in the level of high density lipoproteins.

**Keywords:** puberty, sports, female adolescents, relative energy deficiency syndrome, metabolic syndrome

---

## ■ ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь половое созревание у девочек начинается в 10–11 лет, в 12–13 лет наступает менструация, процесс полового созревания заканчивается в среднем в 13–18 лет [1]. Половое созревание (пубертатный период, пубертат) – процесс изменений в организме подростка, вследствие которых он становится взрослым и способным к продолжению рода. В этом периоде прирост массы тела у подростков женского пола составляет 25 кг с годовыми колебаниями прироста от 5,5 кг до 10,5 кг и увеличение роста на 24,5 см с годовыми колебаниями от 6 см до 10,5 см [2]. В последние десятилетия на процессы полового созревания накладываются занятия спортом с целью достижения высоких результатов. В 2018 г. была предложена классификация возрастных периодов у спортсменов. Выделяют первый спортивный возраст (3–6 лет), предпубертатный спортивный возраст (7–11 лет), первый (ранний) пубертатный спортивный возраст (12–15 лет), второй (поздний) пубертатный спортивный возраст (16–18 лет), возраст спортивной зрелости (19–35 лет) [3].

У спортсменок часто встречается так называемая триада женщин-атлетов (the female athlete triad), которая включает в себя три компонента: недостаточное потребление энергии с нарушением питания или без него, менструальную дисфункцию и снижение минеральной плотности костной ткани [4]. Частота ее, по данным разных авторов, колеблется в диапазоне 1–54% в зависимости от проявляющихся компонентов и вида спорта [5, 6]. В циклических видах спорта практически каждая пятая спортсменка имеет ее симптомы [7]. Впервые триада описана в 1997 г. специалистами Американского колледжа спортивной медицины. В 2005 г. рабочей группой Международного олимпийского комитета введено более широкое понятие, описывающее



негативное влияние занятий спортом на организм спортсменов обоих полов: синдром относительного дефицита энергии в спорте (relative energy deficiency in Sport, RED-S). Этот синдром включает в себя изменения основного обмена, менструальной функции, состояния костной, сердечно-сосудистой и иммунной систем, вызванные относительным дефицитом энергии. Причиной этого синдрома является дефицит энергии по отношению к балансу между потреблением энергии с пищей и ее расходом, необходимыми для сохранения здоровья и занятий спортом. Таким образом, триада – это проявления RED-S, которые негативно влияют на многие физиологические аспекты женского здоровья и спортивные результаты; в тяжелых случаях они могут привести к клиническим расстройствам пищевого поведения, аменорее и остеопорозу. Уменьшение минеральной плотности костной ткани у спортсменок является важным фактором риска развития стрессовых (спортивных) переломов, которые сложны в диагностике и лечении и в некоторых случаях могут стать причиной окончания спортивной карьеры. Нерегулярные менструации, или аменорея, продолжающиеся в течение нескольких лет, оказывают негативное влияние на костную ткань и в долгосрочной перспективе могут приводить к развитию остеопороза [8]. Дефицит энергии снижает гипоталамическое пульсирующее высвобождение гонадотропин-рилизинг факторов, что ухудшает высвобождение гонадотропинов передней долей гипофиза. У женщин сниженная пульсация секреции в кровь фолликулостимулирующего (ФСГ) и лютеинизирующего (ЛГ) гормонов вызывает гипоэстрогению, вызывающую функциональную гипоталамическую аменорею и снижение костной массы. Кроме того, изменяются сигнальные пути гормонов щитовидной железы, уровней лептина в крови, показателей углеводного обмена, оси «гормон роста / инсулиноподобный фактор роста-1» и симпатический/парасимпатический тонус [9]. Обнаружено сходство симптомов между тренировочной перегрузкой (с диагнозом синдрома перетренированности или без него) и относительным дефицитом энергии в спорте (RED-S) [10]. Вариантом таких нарушений обмена веществ может быть развитие метаболического синдрома у спортсменок, появлению которого, по данным Европейской программы «HELENA study», могут препятствовать занятия дозированными физическими нагрузками [11].

## ■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ показателей оценки состояния обменных процессов у подростков-спортсменок женского пола в пубертатном периоде их жизни с использованием применяемых в медицинских организациях лабораторных тестов для выявления рисков развития метаболических изменений, сопровождающихся формированием синдрома относительного дефицита энергии в спорте и предвестников развития метаболического синдрома.

## ■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В соответствии с одобрением этической комиссии Витебского государственного университета (ЭК-20.1) была создана и проанализирована неперсонализированная (обезличенная) база данных, включающая возраст, пол, индекс массы тела, спортивную квалификацию и 31 биохимический маркер сыворотки крови. Материал собирался на протяжении 2011–2019 гг. при обследовании 4 групп подростков женского (7–11 лет, 12–15 лет, 16–18 лет и 19–20 лет) пола согласно программе мероприятий,

принятых в Витебском областном диспансере спортивной медицины (Республика Беларусь). Все обследуемые лица входили в организованные группы, обследовались в присутствии тренера и врача и сдавали кровь добровольно. Исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта» (1964 г., с изменениями в период 1975–2008 гг.) с учетом международных норм и стандартов. Изменения биохимических маркеров здоровья при занятиях олимпийскими видами спорта в период полового созревания оценивались с учетом положений, регламентированных законом Республики Беларусь «О здравоохранении» от 18.06.1993 г. № 2435-XII, статья 46.

В обезличенную базу были введены данные 371 подростка женского пола, в том числе 323 спортсменок и 48 подростков, составивших контрольную группу. Биохимические исследования сыворотки крови подростков производились на базе лаборатории Витебского областного диагностического центра по методам, описанным ранее [12].

Статистическую обработку цифрового материала производили методами параметрической и непараметрической статистики (Statistica 10.0, StatSoft inc.). Множественное сравнение групп выполнялось с помощью критерия Краскела – Уоллиса. Если этот критерий показывал, что имеются различия между группами, то затем выполнялось попарное сравнение групп с помощью U-критерия Манна – Уитни. Различия принимались статистически значимыми при  $p < 0,05$ , при попарном сравнении учитывалась поправка Бонферрони ( $p < 0,01$ ). Результаты представлены в виде  $M \pm m$  или медианы и процентилей (Me (25%–75%)).

## ■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно канадскому проекту КАЛИПЕР, нацеленному на создание и поддержание базы данных современных педиатрических референсных интервалов для биохимических показателей сыворотки крови, в подростковом возрасте в сыворотке (плазме) крови уменьшается концентрация фосфатов и активность щелочной фосфатазы, лактатдегидрогеназы и аспартатаминотрансферазы. Содержание креатинина, а также концентрации общего холестерина, триглицеридов, мочевой кислоты и мочевины увеличивались. Снижение концентрации кальция и фосфатов в сыворотке крови отображает созревание костной ткани. У девочек на этапе полового созревания и появления менструаций возможно уменьшение концентрации альбумина сыворотки крови. Активность лактатдегидрогеназы наиболее высокая в детском возрасте при усиленном обновлении и росте тканей и затем уменьшается. Аналогичные изменения касаются щелочной фосфатазы и созревания костной ткани. Концентрация почечных маркеров в сыворотке крови (креатинина, мочевины и мочевой кислоты) увеличивается с возрастом. Количество креатинина, ежедневно производимого при распаде креатина в мышцах, коррелирует с увеличением мышечной массы. Точно так же уровни мочевины связаны с «деградацией» белка. Верхний предел мочевой кислоты для мужчины и женщины в 13 лет соответствует установленным пороговым значениям гиперурикемии. Повышение концентрации общего холестерина и ЛПНП (ХС-ЛПНП) от раннего детства до взрослой жизни может указывать на растущие потребности в них для синтеза стероидных гормонов, связанных с ростом и развитием. Содержание ЛПВП (ХС-ЛПВП) снижается с возрастом у мужчин, но фактически



увеличиваются у женщин. Это связано с ролью эстрогенов в модуляции содержания ЛПВП (ХС-ЛПВП) в крови. Концентрация глюкозы поддерживается на относительно постоянном уровне с участием механизмов регуляции концентрации инсулина и глюкагона на протяжении суток [13].

Для оценки региональных особенностей возрастной динамики биохимических показателей в таблице представлены данные обследования подростков Белорусского Поозерья. Для однотипности сравнения полученных результатов был использован параметрический способ статистической обработки цифрового материала. При половом созревании подростков мужского пола в сыворотке их крови отмечено увеличение содержания билирубина, креатинина, общего белка, мочевой кислоты и триглицеридов в позднем пубертатном периоде. Эти изменения сохраняются во взрослом состоянии и могут свидетельствовать о «созревании» систем биосинтеза транспортных белков, процессов распада эритроцитов и образования билирубина, «укрепления» системы эндогенных антиоксидантов и долгосрочных резервов энергии. В то же время у подростков мужского пола снижается уровень содержания в сыворотке крови общего холестерина, ХС ЛПВП и ХС ЛПНП, что указывает на возможность интенсивного использования холестерина для синтеза стероидных гормонов, и прежде всего половых. Кроме того, уменьшается активность циркулирующей в крови щелочной фосфатазы, что обычно наблюдается при завершении роста и развития скелета.

У подростков женского пола в позднем пубертате увеличивается содержание в сыворотке крови только общего белка и мочевой кислоты, на фоне снижения содержания ХС-ЛПНП и величины холестеролового коэффициента атерогенности, а также активности щелочной фосфатазы и аспартатаминотрансферазы. По всей вероятности, такие изменения означают, что половое созревание произошло раньше, но траты холестерина на синтез стероидных гормонов еще не компенсированы.

Констатировано, что в возрастном интервале 7–20 лет у лиц женского пола, включенных в обезличенную базу данных, ИМТ увеличивается с 17,2 (16,4–18,4) кг/м<sup>2</sup> до 22,7 (21,6–25,2) кг/м<sup>2</sup>. Причем в процессе пубертата величина ИМТ нарастает скачкообразно в возрастной группе 16–20 лет. На протяжении этого периода у подростков женского пола не изменяется содержание триглицеридов, мочевины, общего белка, альбумина, ХС-ЛПВП, ХС-ЛПНП, показатели индекса атерогенности, активность КФК, альфа-амилазы, концентрация калия, кальция, железа, величины ОЖСС, коэффициентов КФК/АсАТ, глюкоза/ХС-ЛПВП, глюкоза/ХС-ЛПНП. Вместе с тем обнаружено характерное уменьшение уровня мочевой кислоты – с 320 (280–320) мкмоль/л до 170 (170–210) мкмоль/л, активности щелочной фосфатазы – с 239 (200–876) Ед/л до 130 (124–143) Ед/л и нарастание коэффициента АсАТ/АлАТ – с 0,84 (0,80–0,91) ед. до 1,52 (1,33–1,98) ед. Перечисленные показатели характеризуют процессы обмена веществ на протяжении всего пубертатного периода жизни подростков женского пола. Кроме того, выявлены некоторые биохимические особенности для отдельных периодов пубертатного возраста. Так, в возрастной группе 12–15 лет содержание глобулинов увеличивается до 30 (26–33,5) г/л, уменьшается величина коэффициента альбумин/глобулины до 1,46 (1,28–1,65) ед.; в возрастной группе обследованных 16–18 лет уменьшается содержание глюкозы – до 4,39 (4,10–4,75) ммоль/л, но увеличивается уровень общего холестерина – до 5,04 (5,00–5,30) ммоль/л, а также уменьшается величина коэффициента глюкоза/ОХС до 0,86 (0,81–0,91) ед.

**Возрастная динамика биохимических показателей сыворотки крови у жителей Белорусского Поозерья в периоде полового созревания**  
**Age-related dynamics of biochemical parameters of blood serum in residents of the Belarusian Poozerie during puberty**

Показатели	Возрастные интервалы, годы					
	<15 (ранний пубертат)		15–19 (поздний пубертат)		20–24 (взрослые)	
	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины
Мочевина	5,26±0,12	5,20±0,09	5,49±0,14	5,30±0,14	5,55±0,13	5,22±0,12
Билирубин	8,59±0,18	8,66±0,16	11,0±0,22 <sup>1</sup>	8,58±0,17	11,3±0,53 <sup>1</sup>	9,88±0,49 <sup>2</sup>
Глюкоза	4,68±0,04	4,68±0,04	4,73±0,06	4,77±0,04	4,84±0,06 <sup>1</sup>	4,73±0,05
Креатинин	74,5±1,29	73,8±1,61	86,7±2,23 <sup>1</sup>	75,2±2,49	87,2±2,84 <sup>1</sup>	76,0±2,64
Белок	73,0±0,44	74,1±0,44	76,0±0,46 <sup>1</sup>	75,9±0,51 <sup>2</sup>	76,9±0,54 <sup>1</sup>	75,3±0,66
Мочевая к-та	264±8,21	230±7,44	321±7,87 <sup>1</sup>	254±8,92 <sup>2</sup>	334±6,81 <sup>1</sup>	266±7,18 <sup>2</sup>
ОХС	4,32±0,04	4,44±0,04	4,09±0,04 <sup>1</sup>	4,37±0,05	4,52±0,05 <sup>1</sup>	4,53±0,05 <sup>2</sup>
ХС ЛПВП	1,31±0,02	1,40±0,02	1,24±0,01 <sup>1</sup>	1,45±0,02	1,28±0,02	1,47±0,02 <sup>2</sup>
Триглицериды	0,95±0,02	0,91±0,02	1,07±0,02 <sup>1</sup>	0,88±0,02	1,28±0,03 <sup>1</sup>	0,96±0,02
ХС ЛПНП	2,70±0,04	2,78±0,04	2,48±0,03 <sup>1</sup>	2,63±0,05 <sup>2</sup>	2,81±0,04	2,75±0,05
ИА	2,44±0,05	2,26±0,04	2,41±0,04	2,08±0,05 <sup>2</sup>	2,75±0,06 <sup>1</sup>	2,18±0,05
ГГТ	23,1±1,12	17,8±1,04	22,6±1,18	16,9±1,09	27,1±0,92 <sup>1</sup>	18,5±1,18
ЩФ	274±10,0	219±12,9	159±10,5 <sup>1</sup>	99,9±4,26 <sup>2</sup>	95,0±4,43 <sup>1</sup>	76,7±1,98 <sup>2</sup>
АсАТ	35,0±0,76	34,0±1,00	33,7±1,36	28,0±0,93 <sup>2</sup>	37,2±1,66	29,4±1,19 <sup>2</sup>
АлАТ	24,4±0,70	23,0±0,73	25,9±1,29	21,2±0,76	31,3±0,81	24,4±1,05

Примечания:

В каждой группе обследовано от 100 до 600 человек; значения показателей представлены в виде М±m.

Мочевина – ммоль/л, билирубин общий – мкмоль/л, глюкоза – ммоль/л, креатинин – мкмоль/л, белок общий – г/л, мочевая кислота – мкмоль/л, ОХС – общий холестерол – ммоль/л, ХС-ЛПВП – холестерол липопротеинов высокой плотности – ммоль/л, триглицериды – ммоль/л, ИА – индекс атерогенности – (ОХС – ХС-ЛПВП/ХС-ЛПНП) – ед., ГГТ – гамма-глутамил-транспептидаза, ЩФ – щелочная фосфатаза, АсАТ – аспаратаминотрансфераза и АлАТ – аланинаминотрансфераза (Ед/л).

<sup>1</sup> P<0,05 при сравнении с показателями группы «мужчины» (ранний пубертат);

<sup>2</sup> P<0,05 при сравнении с показателями группы «женщины» (ранний пубертат).

У 38,2% спортсменок в возрасте до 15 лет выявлена гипотрофия (ИМТ <18,5 кг/м<sup>2</sup>). Нормальная масса тела констатирована у 55,8% спортсменок (18,6–24,9 кг/м<sup>2</sup>). У спортсменов мужского пола гипотрофия в этом возрасте была выявлена в 24,7% случаев, а нормальная масса тела отмечена у 67,9%. Следовательно, занятия спортом в подростковом периоде сопряжены с более частым выявлением гипотрофии, проявляющейся чаще у девушек, вероятно, в рамках комплекса симптомов «триады женщин-атлеток». Кроме того, можно отметить, что у юношей состояние гипотрофии выявляется в 6,4 раза, а у девушек – в 10,3 раза чаще, по сравнению с ее встречаемостью у взрослых спортсменов. Нормальная масса тела у девушек встречается в 1,5 раза реже по сравнению со взрослыми. Избыточная масса тела зарегистрирована в 3,5 раза чаще у взрослых спортсменов-мужчин по сравнению с подростками, тогда как у взрослых женщин-спортсменок избыточная масса тела встречается всего лишь в 1,5 раза чаще по сравнению с подростками. Приведенные данные обращают внимание на то, что, во-первых, занятия спортом в подростковом периоде сопряжены с более частым выявлением гипотрофии, а во-вторых, существенно больше взрослых мужчин-спортсменов относятся к диапазонам «избыточная масса тела» и «ожирение».



Таким образом, из всех полученных результатов целесообразно выделить те, которые могли бы свидетельствовать о возможном развитии триады женщин-атлеток и метаболического синдрома у занимающихся спортом в периоде полового созревания.

### **Синдром RED-S**

Для установления показателей лабораторных тестов, способных указывать на развитие триады женщин-атлеток, был проведен анализ полученных биохимических данных у подростков женского пола, занимающихся спортом, по сравнению с незанимающимися спортом [12]. Установлено, что у девочек-спортсменок в возрастной группе 7–11 лет имеет место статистически достоверное снижение уровней мочевины, мочевой кислоты, альбумина, коэффициента «альбумин/глобулины» и повышение активности АсАТ и коэффициента «АсАТ/АлАТ». Такие изменения в связи с наличием гипотрофии могут свидетельствовать о возможном развитии синдрома энергетической недостаточности. В возрастной группе 12–15 лет у девочек-спортсменок оказались сниженными уровни глюкозы, ХС-ЛПНП, содержание альбумина, активность щелочной фосфатазы, величины коэффициента «АсАТ/АлАТ», но повышена величина коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП». Эти изменения сопряжены с повышением величины ИМТ по отношению к его контрольным значениям. Анализируя эти изменения, можно предположить, что связанное с систематическими физическими нагрузками увеличение массы тела требует относительно большего использования глюкозы как транспортной формы энергии. Это может привести к алиментарной недостаточности энергетического обеспечения спортсменок, что может проявиться в будущем в виде первого компонента триады женщин-атлеток. В возрастной группе 16–18 лет снижено содержание ОХС, но повышены уровни общего билирубина, активности АсАТ и величины коэффициентов «глюкоза/ОХС» и «глюкоза/ХС-ЛПВП». Эти изменения подтверждают, что в данном возрастном периоде глюкоза играет ведущую роль в энергетическом обеспечении спортсменок. В постпубертатном возрасте индекс массы тела у спортсменок оказался ниже по сравнению с незанимающимися спортом при повышении уровней билирубина и мочевой кислоты как продуктов усиленного катаболизма гемсодержащих белков и нуклеиновых кислот.

На втором этапе исследования синдрома RED-S был произведен поиск информативных диагностических биохимических показателей метаболического статуса подростков в зависимости от их спортивной квалификации [14]. Показано, что у девушек-спортсменок возрастной группы 12–15 лет, имеющих юношеские спортивные разряды, повышены величины ИМТ, а также снижено содержание мочевины, креатинина, ОХС, ХС-ЛПНП, активности щелочной фосфатазы и ОЖСС по сравнению с контролем, а также повышены показатели активности АсАТ, щелочной фосфатазы и значения коэффициентов «глюкоза/ОХС» и «глюкоза/ХС-ЛПНП». Следовательно, для достижения юношеских разрядов необходимо наличие энергетического обеспечения спортивной деятельности преимущественно за счет глюкозы с алиментарным путем поступления. У подростков, преодолевших планки спортивных разрядов взрослых, повышены значения ИМТ на фоне снижения содержания глюкозы и триглицеридов, а также альбумина, величины индекса атерогенности, ХС-ЛПНП, ОЖСС и активности щелочной фосфатазы. У девушек – мастеров спорта в наибольшей степени увеличены уровни ИМТ на фоне снижения уровней глюкозы, мочевины, альбумина,

ХС-ЛПВП, активности щелочной фосфатазы и повышения активности АлАТ, АсАТ и величины коэффициента «КФК/ЩФ». Таким образом, по мере преодоления возрастающих спортивных нормативов в раннем пубертатном возрасте к биохимическим показателям энергетического обеспечения спортивной деятельности добавляется снижение ОЖСС, имеющей отношение к менструальному циклу, а также показатели повреждения мембранных структур (АлАТ, АсАТ, КФК, ЩФ). У девушек-спортсменок позднего пубертатного периода возрастной группы 16–18 лет при достижении квалификации в диапазоне «взрослые разряды – мастер спорта» отмечено повышение активности АсАТ и величины коэффициентов «глюкоза/ОХС» и «глюкоза/ХС-ЛПНП». У кандидатов в мастера спорта и мастеров спорта выявлено повышение уровней общего билирубина, а у мастеров спорта обнаружено дополнительное снижение триглицеридов. В постпубертатном периоде (19–20 лет) установлено снижение значений ИМТ и повышение содержания общего билирубина по сравнению с контролем у кандидатов в мастера спорта и мастеров спорта. Приведенные материалы показывают, что основную опасность по развитию триады женщин-атлетов представляют занятия спортом в первом пубертатном периоде.

На третьем этапе исследования синдрома RED-S был произведен поиск диагностических биохимических показателей у подростков в зависимости от видов спорта [15]. Установлено, что для циклических видов спорта характерно снижение уровней глюкозы, ОЖСС и коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП»; для скоростно-силовых видов спорта – снижение количества альбумина, триглицеридов и ОЖСС; для спортивных единоборств – снижение ОЖСС и коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП»; для сложно-координационных видов спорта – снижение триглицеридов и коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП».

### **Метаболический синдром**

В работе использован оригинальный алгоритм выявления метаболического синдрома [16], включающий в себя следующие этапы:

1. Отбор обследуемых лиц с повышенными величинами индекса массы тела (ИМТ). Было предложено выделять 2 группы – первая с ИМТ 25,0–29,9 кг/м<sup>2</sup> (избыточная масса тела) и вторая с ИМТ  $\geq 30$  кг/м<sup>2</sup> (ожирение).
2. Отбор обследуемых лиц с уровнем холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС-ЛПВП) –  $< 0,9$  ммоль/л у мужчин и ХС-ЛПВП  $< 1,2$  ммоль/л у женщин.
3. Отбор из оставшихся обследуемых лиц с гипергликемией (уровень глюкозы сыворотки  $> 5,55$  ммоль/л).
4. Выделение пациентов с уровнем триацилглицеролов (ТГ)  $> 1,8$  ммоль/л среди лиц с тремя элементами метаболического синдрома.
5. Отбор пациентов, у которых выставлен диагноз «артериальная гипертензия» (АГ). Установлено, что отбор спортсменов с факторами риска МС практически завершается после двух первых этапов: избыточная масса тела и уровень ХС-ЛПВП. Вспомогательную роль играют значения уровней глюкозы и триглицеридов.

При пересчете на 1000 обследуемых среди юношей-спортсменов можно выявить 17 человек с двумя факторами риска МС и 8 человек – с тремя факторами риска МС; среди девушек-спортсменок 18 человек имели два фактора риска МС и 4 человека – три фактора риска МС. Эти данные показывают, что показатель ХС-ЛПВП является



важнейшим для скрининга метаболического синдрома у спортсменов. Анализ данных состава тела с использованием технологии биоэлектрического импедансного анализа (аппарат BODY Analyzer 2040, Италия) показал возможный путь развития метаболического синдрома у спортсменов: увеличение массы тела за счет жировой составляющей; активация эндогенных антиоксидантов (в роли которых может выступать у девушек повышение содержания билирубина, а у юношей – мочевого кислоты); нарушение систем гомеостаза (у девушек – изменение транспорта железа, у юношей – недостаточность ХС-ЛПВП; нарушения функции состояния почек, печени, водно-солевого обмена; у женщин – нарушение функциональных показателей реактивности организма, у мужчин проявления проатеросклеротических изменений транспорта липидов.

## ■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в статье материалы являются результатом наложения сложных биохимических процессов, вызванных различными спортивными нагрузками на биохимические процессы полового созревания подростков женского пола. Занятия спортом в подростковом периоде сопряжены с более частым выявлением гипотрофии, проявляющейся чаще у девушек в рамках комплекса симптомов «триады женщин-атлеток». По мере преодоления возрастающих спортивных нормативов в раннем пубертатном возрасте к биохимическим показателям энергетического обеспечения спортивной деятельности добавляется снижение ОЖСС, имеющей отношение к менструальному циклу, а также показатели повреждения мембранных структур (АлАТ, АсАТ, КФК, ЩФ). Установлено, что для циклических видов спорта характерно снижение уровней глюкозы, ОЖСС и коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП»; для скоростно-силовых видов спорта – снижение концентрации альбумина, триглицеридов и ОЖСС; для спортивных единоборств – снижение уровня ОЖСС и коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП»; для сложно-координационных видов спорта – снижение уровня триглицеридов и коэффициента «глюкоза/ХС-ЛПНП». Уровень общего кальция сохраняется постоянным, что не позволяет использовать этот показатель в предсказании развития остеопороза. Возможно, использование метода определения ионизированного кальция может решить эту проблему.

Отбор спортсменов с факторами риска метаболического синдрома практически завершается после двух первых этапов оценки избыточной массы тела и уровня ХС-ЛПВП. Вспомогательную роль играет содержание глюкозы и триглицеридов.

Биохимические показатели риска развития синдрома относительного дефицита энергии чаще выявляются у спортсменок раннего пубертатного возраста, что может привести в будущем к патологическим компонентам «триады женщин-атлеток».

Раннее развитие метаболического синдрома в процессе полового созревания девушек-спортсменок может привести к клиническим проявлениям инсулинорезистентности и ее клиническим проявлениям.

Таким образом, своевременная оценка биохимических показателей, связанных с энергообеспечением организма, может обеспечить сохранение здоровья подростков женского пола и повысить эффективность их спортивных занятий.

## ■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Solntseva A.V., Sukalo A.V. (2010) *Premature sexual development in children: textbook. Method. allowance.* Minsk: BGMU, 31 p. (in Russian)
2. Brown K.A., Patel D.R., Darmawan D. (2017) Participation in sports in relation to adolescent growth and development. *Transl. Pediatr.* vol. 6, no 3, pp. 150–159.
3. Pogosyan T.A. (2018) Classification of age periods in athletes. *Scientific notes of the University named after P.F. Lesgaft.* № 6 (160). pp. 178–182. (in Russian)
4. Nattiv A., Loucks A.B., Manore M.M., Sanborn C.F. et al. (2007) The female athlete triad. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 39, no 10, pp. 1867–1882.
5. Javed A., Tebben P.J., Fischer P.R., Lteif A.N. (2013). Female Athlete Triad and Its Components: Toward Improved Screening and Management. *Mayo Clinic Proceedings*, vol. 88, no 9, pp. 996–1009.
6. Weiss Kelly A.K., Hecht S. (2016). The Female Athlete Triad. *Pediatrics*. vol. 138, no 2. e20160922. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-0922>.
7. Melin A., Tornberg A.B., Skouby S., Muller S.S. et al. (2014) Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, vol. 25, no 5, pp. 61–622.
8. Bezuglov E.N., Lazarev A.M., Khaytin V.Yu. (2020) Effects of professional sports on menstrual function. reproduction problems. *Reproduction problems*, vol. 26, no 4, pp. 37–47. (in Russian)
9. Kuikman M.A., Mountjoy M., Stellingwerff T., Burr J.F. (2021) A Review of Nonpharmacological Strategies in the Treatment of Relative Energy Deficiency in Sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, vol. 31, no 3, pp. 268–275.
10. Stellingwerff T., Heikura I.A., Meeusen R. et al. (2021) Overtraining Syndrome (OTS) and Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): Shared Pathways, Symptoms and Complexities. *Sports Med*, vol. 51, pp. 2251–2280.
11. Castro-Pinero J., Laurson K.R., Artero E.G. (2019) Muscle strength-based tests to identify European adolescent at risk of metabolic syndrome: The HELENA study. *JSAMS (Journal of Science and Medicine in Sport)*, vol. 22, no 8, pp. 929–934.
12. Chirkin A., Altani M., Stepanova N., Chirkina A. (2019) Dependence of Health Biochemical Markers on Age and Gender during Sports in Puberty. *Laboratory Diagnostics. Eastern Europe*, vol. 8, no 3, pp. 420–429. (in Russian)
13. Adeli K., Higgins V., Nieuwesteeg M., Raizman J.E. et al. (2015) Biochemical marker reference values across pediatric, adult, and geriatric ages: establishment of robust pediatric and adult reference intervals on the basis of the Canadian Health Measures Survey. *Clin Chem*. vol. 61, no 8, pp. 1049–1062.
14. Chirkin A., Altani M., Stepanova N., Chirkina A. (2020) Dependence of Biochemical Health Markers on the Level of Sport Skills in Puberty. *Laboratory Diagnostics. Eastern Europe*, vol. 9, no 1–2, pp. 87–97. (in Russian)
15. Chirkin A., Altani M., Stepanova N., Chirkina A. (2020) Changes of Biochemical Health Markers in Olympic Sports Exercise during Puberty. *Laboratory Diagnostics. Eastern Europe*, vol. 9, no 3, pp. 302–313. (in Russian)
16. Chirkin A., Stepanova N., Chirkina A. (2017) Development of the metabolic syndrome in athletes. Metabolic syndrome: experiment, clinic, therapy: Proceedings of the III International Symposium, Grodno, Republic of Belarus, September 20–22, Grodno, "YurSaPrint", pp. 85–93. (in Russian)