

© Коллектив авторов, 2008

З.Г. Орджоникидзе, В.И. Павлов, Е.М. Цветкова

ЭВОЛЮЦИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ В ПОДРОСТКОВОМ ПЕРИОДЕ

Московский научно-практический центр спортивной медицины, Москва

Обследованы 69 спортсменов в возрасте от 14 до 20 лет, профессионально занимающихся футболом. Игрокам проводили максимальное нагрузочное тестирование со стандартным ступенчатым протоколом нагрузки. Полученные абсолютные значения VO_2max (мл/мин) были достоверно ниже у спортсменов 14–15 лет в сравнении с футболистами 16–17 лет и 18–20 лет. В противоположность абсолютным значениям, относительные цифры VO_2max (мл/мин/кг) оказались выше у футболистов 14–15 лет. Наличие более низкого относительного уровня VO_2max у старших спортсменов можно объяснить увеличением массы тканей, не участвующих активно в аэробном метаболизме. В то же время проделанная работа, максимальная мощность, время выполнения теста, а также максимальная концентрация лактата капиллярной крови у спортсменов 14–15 лет были ниже, чем у игроков 16–17 и 18–20 лет. Полученные данные говорят о том, что основным лимитирующим фактором работоспособности в раннем подростковом периоде является недостаточное развитие системы бескислородного метаболизма. В то же время формирование аэробной системы энергообеспечения, функция которой лимитируется деятельностью сердечно-сосудистой системы, большей частью завершается к 16–17 годам.

Ключевые слова: аэробная работоспособность, максимальное потребление кислорода, анаэробная работоспособность, молодые спортсмены-футболисты, лактат.

Maximal loading test with standard graduate protocol of load was performed in 69 athletes (professional footballers) aged 14–20 years. Absolute parameters of VO_2max (ml/min) were significantly lower in athletes aged 14–15 years in comparison with footballers aged 16–17 and 18–20 years. Quite the contrary, relative VO_2max parameters (ml/min/kg of body weight) in athletes aged 14–15 years were higher. More low relative VO_2max in elder athletes perhaps due to increases mass of tissue which was not included into aerobic metabolism. However, performed work, maximal power, time of test execution and maximal lactate concentration in capillary blood were more low in athletes aged 14–15 years than in athletes aged 16–17 and 18–20 years. These data showed that insufficient development of oxygen-free metabolism was limited factor of work capacity in early adolescence. However forming of aerobic system of energy provision is mostly completed in the age 16–17 years.

Key words: aerobic work capacity, maximal oxygen consumption, anaerobic work capacity, young athletes-footballers, lactate.

Существуют различия в проведении и интерпретации максимальных нагрузочных тестов у детей. Даже в фундаментальных трудах ведущих специалистов этот вопрос освещается относительно размыто и неоднозначно [1]. Это обусловлено особенностями физиологии детского возраста, разбросом во времени становления тех или иных основных функций организма (акселераты и ретарданты), влиянием различных типов активности на формирование ана-

томо-физиологических особенностей и др. Для того, чтобы провести близкий к истине сравнительный анализ возрастных групп, необходимо исследование схожих, сопоставимых по большинству параметров представителей популяции; одинаковый тип нагрузки и протокол стендовых испытаний; одинаковые критерии прекращения теста и др. Большинству исследователей трудно выполнить весь набор этих требований, вследствие чего отсутствует однозначная

Контактная информация:

Павлов Владимир Иванович – зав. отделением функциональной диагностики МНПЦСМ

Адрес: 105120 г. Москва, Земляной вал, 53

Тел.: (495) 916-42-54, E-mail: mnpcsm@mail.ru

Статья поступила 04.09.08, принята к печати 10.06.09

интерпретация реакции организма в детско-юношеском возрасте на физическую работу.

Нами было исследовано 69 здоровых спортсменов из состава коллективов, профессионально занимающихся футболом в различных возрастных категориях. Большинство спортсменов входит в состав сборных России по футболу (молодежная, юношеская, взрослая).

Всем футболистам для допуска к основному виду деятельности проводили углубленное медицинское обследование (УМО) [2–4]. В процессе нагрузочного тестирования проводили процедуру газоанализа (breath-by-breath). Тест выполняли до отказа спортсмена от продолжения тестирования вследствие развития утомления. Все исследуемые были предельно мотивированы к выполнению максимального аэробного тестового испытания, так как результаты исследования в значительной мере решали вопрос дальнейшей карьеры (место в сборной, в основном составе команды и др.).

Исследуемые были разделены на 3 возрастных группы: 1-я – 14–15 лет – 20 человек (средний возраст $14,35 \pm 0,50$ лет); 2-я – 16–17 лет – 24 человека (средний возраст $17,46 \pm 0,66$ лет); 3-я – 18–20 лет (взрослые) – 25 человек (средний возраст $19,4 \pm 0,5$ лет).

Испытание в тесте ступенчатого повышения нагрузки проводили с использованием эргоспирометрической установки Oxuson Alpha фирмы Jaeger (Германия). В тесте использовали стандартный протокол проведения испытаний [5]:

- отдых в течение 1 мин (психологическая подготовка к проведению теста);
- разминка: бег со скоростью 5 км/ч при уровне подъема дорожки 0,2 (процент от максимально возможного угла наклона дорожки) в течение 1 мин;
- основная нагрузка: начальная скорость бега – 7 км/ч, уровень подъема дорожки 0,2; возрастание скорости бега на следующей ступени 1,5 км/ч.

Перед началом испытаний проводили калибровку газоанализаторов с использованием газовой смеси со стандартными концентрациями O_2 и CO_2 , а также осуществляли объемную калибровку волюметра используемого прибора.

По окончании теста на 3-й минуте восстановления определяли цифры максимальной концентрации молочной кислоты в капиллярной крови [6].

В качестве критериев достижения максимального потребления кислорода (МПК, или VO_{2max}) были приняты [5–7]:

- наличие феномена «выполживания» (level off) на кривой зависимости уровня потребления O_2 от мощности выполняемого упражнения;

- учащение пульса свыше до значений не менее 95% от расчетных максимальных «220–возраст» (т.е. 180 уд./мин);

- превышение значений дыхательного коэффициента (ДК) более чем на 0,4;

- достижение значений концентрации лактата крови свыше 7 ммоль/л.

Исключения по некоторым из критериев делали для спортсменов 14–15 лет, в связи с наиболее высоким уровнем мотивации у лиц данной группы, несмотря на закономерности, полученные нами в дальнейшем (см. результаты и выводы).

Определение индивидуальных значений порога анаэробного обмена проводили с использованием «перекрестного метода» по К. Wasserman et al. [7].

При статистическом анализе результатов проведенного исследования использовали пакет компьютерных программ SPSS 12.0. Достоверность различий устанавливали с использованием критерия t-Стьюдента при 5%-уровне значимости, принятом в медицинском и биологических исследованиях. Все значения представлены в виде $m \pm \sigma$.

При проведении антропометрии были получены следующие данные (табл. 1). Из представленных данных видно, что процессы роста и развития у игроков мужского пола схожего уровня приводят к тому, что в возрасте 16–17 лет игроки становятся в среднем на 8,16 см, а в 18–20 лет – на 8,59 см выше, чем в возрасте 14–15 лет. Масса тела возрастает соответственно в 16–17 лет на 11,04 кг, а в 18–20 лет – на 12,45 кг. Эти различия носят высокий уровень достоверности. Отличия в антропометрических параметрах между возрастными категориями 16–17 лет и 18–20 лет достоверных различий не имеют.

При проведении тестирования достижение уровня МПК у всех испытуемых было расценено как «определенное», либо «вероятное». По показателям VO_{2max} нами были получены следующие возрастные различия (табл. 2).

МПК в возрасте 14–15 лет в нашем исследовании при выражении в абсолютных цифрах является наименьшим – на 339,39 мл ниже, чем в возрасте 16–17 лет и на 191,25 мл меньше, чем в возрасте 18–20 лет. В относительных цифрах (при пересчете на 1 кг массы тела), напротив, МПК в возрасте 14–15 лет наи-

Таблица 1

Антропометрические данные у спортсменов различных возрастов

Спортсмены	Возраст, годы			Итого
	14–15	16–17	18–20	
Рост, см	$173,65 \pm 6,84$	$181,81 \pm 4,84^*$	$182,24 \pm 5,25^*$	$179,60 \pm 6,74$
Масса тела, кг	$63,45 \pm 7,71$	$74,48 \pm 7,01^*$	$75,90 \pm 7,75^*$	$71,80 \pm 9,15$

Здесь и в табл. 2–4 и на рисунке: * $p < 0,01$ при сравнении с группой 14–15 лет.

Таблица 2

Различия в максимальном потреблении кислорода у спортсменов различных возрастов

Спортсмены	Возраст, годы			Итого
	14–15	16–17	18–20	
VO ₂ max, мл/мин	3487,75±419,64	3827,14±602,92*	3679,29±518,00	3667,58±530,81
VO ₂ max, мл/мин/кг	55,29±4,28	52,00±7,04	50,01±5,79*	52,39±6,14

Таблица 3

Различия в показателях выполненной работы и ее мощности в различных возрастных группах спортсменов

Спортсмены	Возраст, годы			Итого
	14–15	16–17	18–20	
Wmax, Вт	212,30±40,06	267,14±32,10*	293,91±30,64*	358,52±47,99
Wtotal, Вт · мин	1926,95±421,89	2456,00±241,39*	2754,29±429,17*	2324,81±561,00

Таблица 4

Показатели, отражающие соотношение механизмов энергообеспечения у спортсменов различных возрастов

Спортсмены	Возраст, годы			Итого
	14–15	16–17	18–20	
VCO ₂ max, мл/мин	3582,35±418,00	4556,48±485,56*	5009,52±701,50*	4395,69±805,34
RERmax	1,22±0,09	1,46±0,25*	1,70±0,28*	1,46±0,30
Tprot, с	899,43±94,09	1020,19±92,64*	1001,25±111,24*	957,92±110,01
Tanaer, с	116,79±59,22	332,63±129,90*	311,25±94,63*	222,57±142,83

большее. В 16–17 лет этот показатель снижается в среднем на 3,29 мл/мин/кг, а в 18–20 лет – на 5,28 мл/мин/кг, что больше допустимой погрешности значений показателей при эргоспирометрии. Представленные различия являются достоверными.

Выполненная работа в условиях ступенчато возрастающей нагрузки у спортсменов старших возрастных групп достоверно выше, чем у спортсменов 14–15 лет: в возрасте 16–17 лет – на 527,05 Вт · мин, а в возрасте 18–20 лет – 827,34 Вт · мин (табл. 3).

Подобные различия свойственны и максимальной мощности выполняемой нагрузки – в возрасте 16–17 лет этот показатель выше на 54,84 Вт, а в возрасте 18–20 лет – на 81,61 Вт в сравнении с футболистами 14–15 лет.

Интересным представляется анализ показателей, косвенно отражающих соотношение аэробного и анаэробного гликолитического механизмов энергообеспечения в процессе формирования организма спортсмена (табл. 4).

В более старших возрастных группах (16–17 и 18–20 лет) в сравнении с лицами 14–15 лет нарастает время работы, которую спортсмен может осуще-

ствить по протоколу нагрузки. Причем, как это видно, в значительной мере данный параметр растет за счет увеличения работы в анаэробной зоне, то есть после пересечения уровня анаэробного порога. Возрастание способности к анаэробному метаболизму в старших возрастных группах подтверждается более высокими значениями показателей максимально выводимого легкими объема CO₂, а также более высокими максимальными значениями ДК.

Схожую картину можно увидеть при анализе максимальных цифр лактата при ступенчатой нагрузке, отражающих уровень анаэробного гликолитического метаболизма (см. рисунок).

Способность достигать наивысших значений лактата в капиллярной крови при физической нагрузке в младшей возрастной группе спортсменов является наименьшей. В 16–17 лет максимальные значения лактата при ступенчатой нагрузке на 2,57 ммоль/л выше, а в 18–20 лет – на 3,67 ммоль/л больше, чем в возрасте 14–15 лет. Цифры различий максимальной концентрации лактат-иона имеют высокий уровень достоверности.

К положительным особенностям проведенного исследования следует отнести хорошую рандоми-

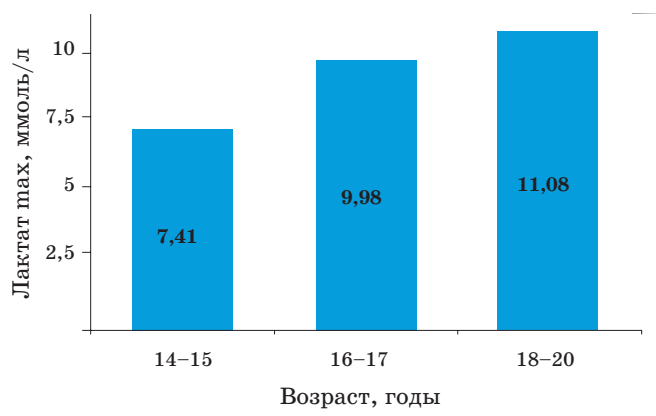


Рисунок. Максимальные цифры лактата крови (на 3-й минуте восстановления) у обследованных спортсменов.

зацию лиц, вошедших в исследование. Следует подчеркнуть, что все вошедшие в исследование спортсмены были не только одного пола и исповедовали один и тот же вид физической активности, но и были сопоставимы по своему уровню физической подготовки для каждой возрастной группы. Другими словами, все спортсмены выступали на самом высоком для России уровне в своей возрастной категории. Все это позволяет нам считать полученные результаты близкими к действительному положению физиологических закономерностей роста и созревания, несмотря на ряд возможных воздействий, провоцирующих случайные ошибки, влияние которых в данном случае должно быть минимальным.

Как видно из результатов исследования, рост абсолютных цифр VO_{2max} (мл/мин) является достоверным у спортсменов 16–17 лет в сравнении с футболистами 14–15 лет, в то время как у взрослых игроков (18–20 лет) уровень этого показателя уже не нарастает. Схожие данные были получены рядом исследователей, занимающихся оценкой аэробной работоспособности юных футболистов [8–12].

Этот факт позволяет нам считать, что уровень максимально возможного кислородного метаболизма у спортсменов формируется именно к 16–17 годам. А, так как транспорт кислорода у спортсменов лимитирован большей частью функцией сердечно-сосудистой системы (сердце и периферическое кровоснабжение), то полученные результаты, с нашей точки зрения, позволяют считать формирование основных участков данной системы законченным к этому возрасту.

В противоположность абсолютным значениям МПК, для относительных цифр VO_{2max} (мл/мин/кг) в различные возрастные периоды свойственна другая картина. В пересчете на 1 кг веса этот показатель ниже для каждой последующей возрастной категории. У взрослых (18–20 лет) в сравнении с лицами 14–15 лет это различие становится достоверным. Данная картина возникает

вследствие того, что с возрастом растет масса тела. Однако, несмотря на возрастание абсолютно го уровня VO_{2max} (который у взрослых стабилизируется), рост массы тела идет более быстрыми темпами, в том числе за счет тканей, не участвующих активно в аэробном метаболизме. В итоге, все это приводит к наблюдаемому нами явлению. Неудивительно, что рядом исследователей отмечается, что молодые игроки могут иметь более высокий уровень МПК, выраженный в мл/мин/кг, чем взрослые футболисты [10, 11].

Исходя из полученных параметров кислородного метаболизма, которые стабилизируются и даже имеют тенденцию к снижению во взрослом периоде, логичным было бы предположить стабилизацию или снижение физико-механических показателей работоспособности (время выполнения теста, пройденное расстояние, выполненная работа и др.). Однако дело обстоит совсем не так, что видно из данных табл. 3 и 4. По мере приближения к взрослому периоду видно прогрессирующее нарастание общей выполненной работы, максимальной мощности, времени выполнения теста. Анализ этих показателей позволил некоторым зарубежным ученым сделать вывод, что у взрослых спортсменов имеется нарастание показателя «экономичности работы», то есть снижение уровня потребления кислорода на единицу мощности выполненной работы ($\Delta W/\Delta VO_2$) [10, 11]. Это явление относится ими за счет более развитой рациональности и координированности движений, то есть вследствие лучшего развития функций ЦНС [10, 11]. Однако мы считаем это не совсем правильной трактовкой наблюдаемого явления. По результатам исследования видно, что общая продолжительность выполнения теста возрастает в значительной мере за счет времени работы в анаэробной зоне, то есть после пересечения уровня анаэробного порога (англ. АТ, или рус. ПАНО). Другими словами, механические показатели работоспособности возрастают за счет увеличения доли анаэробного метаболизма, что, возможно, связано с активным формированием медленных («белых», гликолитических) мышечных волокон. На возрастание способности переносить нагрузки в анаэробной зоне указывают и более высокие показатели максимальной экскреции CO_2 легкими (VCO_{2max}) и ДК (RER_{max}).

Особо следует подчеркнуть невысокие, достоверно более низкие показатели лактата у спортсменов 14–15 лет (см. рисунок). Несмотря на это, все футболисты были максимально мотивированы выполнять физическую нагрузку, и отнести эти данные к отсутствию достижения истинных максимальных параметров не представляется правильным. Наиболее реально предположить, что низкая концентрация максимального лактата в младшем возрасте связана с несовершенством и незрелостью систем анаэробного энергообеспе-

чения, отсутствием должного развития гликолитических мышечных волокон, низким уровнем депонированного в них гликогена.

В футболе уже в 16–17 лет наиболее талантливые игроки начинают появляться в основном составе команд. Однако в этом возрасте игрок редко выделяется по показателям игровой активности среди партнеров по команде. Это связано как с несовершенством психологической устойчивости, так и с недостаточной способностью проявлять себя в ключевых игровых эпизодах из-за неспособности кратковременно и относительно длительно генерировать высокий уровень мощности выполняемой работы. «Взрывная мощь», как известно, представляет собой элемент бескислородного метаболизма, недостаточно развитого у спортсменов младшего возраста.

Выводы

1. Формирование аэробной системы энергообеспечения, функция которой лимитируется деятельностью сердечно-сосудистой системы, большей частью заканчивается к 16–17 годам.

2. Увеличение общих показателей максимальной выполняемой работы и ее мощности во взрослом периоде, связано с развитием системы бескислородного метаболизма, то есть гликолитических мышечных волокон и буферной емкости жидких сред организма.

3. Учитывая полученные закономерности, следует обращать внимание на адекватность трактовки показателей, получаемых у спортсменов различных возрастов в процессе выполнения максимальных нагрузочных тестов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тхоревский В.И.* Физиология человека. М.: Изд-во «Физкультура, образование и наука», 2001.
2. Приказ Минздрава РФ от 20.08.01 № 337. «О мерах по дальнейшему развитию и совершенствованию спортивной медицины и лечебной физкультуры». Бюлл. Министерства Юстиции РФ, 2001; 11.
3. *Орджоникидзе З.Г., Павлов В.И., Дружинин А.Е., Иванова Ю.М.* Функционально-диагностическое обследование спортсменов и физически активных лиц. Методические рекомендации №16 Департамента здравоохранения г. Москвы. М., 2007.
4. *Волков Н.И., Нессен Э.Н., Осипенко А.А. и др.* Биохимия мышечной деятельности. Киев: Олимпийская литература, 2000.
5. *Орджоникидзе З.Г., Павлов В.И., Волков Н.И., Дружинин А.Е.* Состояние функциональной подготовленности спортсменов из состава ведущих футбольных команд России. Физиология человека, 2007; 33 (4): 114–118.
6. *Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А.* Тестирование в спортивной медицине. М.: ФиС, 1988.
7. *Wasserman K, Hansen JE, Sue DY et al.* Exercise testing and interpretation. Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
8. *Lean P, Shepard RJ, Plyley MI.* Specific muscular development in under-18 soccer players. J. Sports Sci. 1987; 5 (2): 165–175.
9. *Rahkila P, Luthanen P.* Physical fitness profile of Finnish national soccer team candidates. Sci. Football. 1989; 2: 30–33.
10. *Stolen T, Chamari K, Castagna C et al.* Physiology of soccer. Sports Med. 2005; 35 (6): 501–536.
11. *Stroyer I, Hansen L, Hansen K.* Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. Med. Sci. Sports Exerc. 2004; 36 (1): 168–174.
12. *Vanderford ML, Meyers MC, Skelly WA et al.* Physiological and sport-specific skill response of Olympic youth soccer athletes. J. Strength. Cond. Res. 2004; 18 (2): 334–342.

