

Биоимпедансный анализ депонирования крови в периферических регионах во время тилт-теста у спортсменов

¹ Ярославский государственный педагогический университет
им. К. Д. Ушинского

² ЗАО «Научно-технический центр „МЕДАСС“», Москва
e-mail: meln1974@yandex.ru

Реферат

Изучены величины депонирования крови во всех периферических регионах тела, а также ударный объем крови во время тилт-теста с помощью импедансного метода у спортсменов, тренированных на выносливость, до и в течение двух часов после физической нагрузки. До нагрузки величины депонируемой крови в нижних регионах тела, а также степень снижения УОК в ответ на тилт-теста у спортсменов не отличались от показателей в контроле. После стандартной аэробной нагрузки (40 мин, ЧСС=156±7 уд./мин) степень снижения УОК при тилт-тесте у спортсменов в целом стала повышенной, указывая на развитие ортостатической неустойчивости, однако величины накопления крови в нижних конечностях или абдоминальном регионе тела не отличались от контрольных значений. Таким образом, повышенная склонность к ортостатической неустойчивости у спортсменов на фоне утомления не связана с повышенным депонированием крови в нижних регионах тела.

Ключевые слова: кровообращение, ортостатический стресс, биоимпедансный анализ, децентрализация крови, спортсмены, физическая нагрузка.

Melnikov A. A.¹, Popov S. G.¹, Nikolaev D. V.²

Bioimpedance analysis of blood pooling in peripheral regions of the body during tilt-test in athletes

¹ State Pedagogical University, Yaroslavl

² Scientific Research Centre «Medass», Moscow
e-mail: meln1974@yandex.ru

Abstract

In the study we investigated blood pooling in all peripheral regions of the body, as well as stroke volume during a tilt-test using impedance method in endurance-trained athletes before and two hours after aerobic exercise session. Before exercise the deposition of blood in the lower regions of the body and cardiac stroke volume (CSV) in response to the tilt-test in athletes do not differ from the control. After standard aerobic exercise (40 min, HR=156±7 b/m) the degree of a CSV reduction during tilt-test in athletes has increased, indicating the development of orthostatic intolerance, but the magnitude of accumulation of blood in the legs or abdominal region of the body does not differ from the control values. Thus, the increased predisposition to orthostatic instability in athletes during fatigue is not associated with an increased deposition of blood in the lower regions of the body.

Keywords: circulation, orthostatic stress, blood pooling, impedance analysis, athletes, exercise.

Введение

Под влиянием физической нагрузки происходит снижение ортостатической устойчивости [4, 7]. В работе [7] показано, что после марафона у 30 % спортсменов выявлен синдром ортостатической неустойчивости в виде предобморочных симптомов в ответ на активную ортостатическую пробу.

Один из механизмов, ответственных за снижение ортостатической устойчивости после физической нагрузки, — децентрализация кровенаполнения в организме, т. е. депонирование значительной части крови в периферических сосудах конечностей, что уменьшает ее доступность для сердца [17, 18].

Данный механизм играет важную роль в ортостатической неустойчивости при таких синдромах, как постуральная тахикардия [18] и ортостатическая гипотензия [11].

При изучении этих нарушений показано, что одним из определяющих факторов, ответственных за снижение ортостатической устойчивости, является центральная (торакальная) гиповолемия в ортоположении, связанная с депонированием крови в нижних конечностях и висцеральном регионе тела [17, 18].

Схожие изменения происходят в период восстановления после длительных физических нагрузок:

центральный объем крови быстро и значительно снижается [2], а объем кровотока в нижних конечностях и подкожных тканях длительное время остается повышенным вследствие повышенной температуры тела [12]. Можно предположить, что децентрализация кровотока может вносить вклад в снижение ортостатической устойчивости после физической нагрузки. Вместе с тем, роль децентрализации крови в механизмах ортостатической неустойчивости после физической нагрузки остается недостаточно изученной.

По данным [15], интенсивное развитие выносливости может приводить к снижению ортостатической устойчивости. Один из механизмов, по мнению этих авторов, является повышенная растяжимость и емкость венозного русла нижних конечностей, в результате это может вести к повышенному депонированию крови в положении стоя и снижать сердечный выброс и, далее, церебральный кровоток.

Цель исследования

Исследовать влияние депонирования крови в периферических регионах на снижение кардиогемодинамической устойчивости к ортостатическому стрессу после длительной аэробной нагрузки у спортсменов.

Материал и методы исследования

Испытуемые. В качестве испытуемых обследованы 12 спортсменов-мужчин (средний возраст — $22,4 \pm 5,5$ года), занимающихся лыжными гонками и бегом на средние дистанции. Все спортсмены имели общий спортивный стаж 4–8 лет и тренировались в последний месяц перед обследованием 10–15 часов в неделю. Контрольная группа включала мужчин такого же возраста ($n=23$, средний возраст — $19,4 \pm 1,6$ года), не занимающихся спортом. Спортсмены не отличались от контроля по росту ($175,9 \pm 4,7$ см в контроле и $179,9 \pm 7,8$ см у спортсменов) и массе тела ($67,4 \pm 8,3$ кг в контроле и $71,8 \pm 6,0$ кг у спортсменов), рассчитанным объемам измеряемых регионов тела: головы ($3,72 \pm 0,42$ л в контроле и $4,05 \pm 0,55$ л у спортсменов), рук ($2,68 \pm 0,43$ л в контроле и $2,85 \pm 0,36$ л у спортсменов), абдоминальной части туловища ($20,2 \pm 2,9$ л в контроле и $22,0 \pm 1,8$ л у спортсменов), только объем ног был достоверно больше у спортсменов ($9,3 \pm 1,4$ л в контроле и $10,5 \pm 0,8$ л у спортсменов, $p=0,008$).

Все испытуемые были практически здоровы и не имели симптомов ортостатической неустойчивости в бытовых и/или спортивных видах деятельности ранее. Регистрация ЧСС с помощью ЭКГ во время тилт-теста до физической нагрузки показала, что реакция ЧСС на ортостаз составила 21 ± 6 уд./мин в контроле и 15 ± 5 уд./мин у спортсменов, при этом ЧСС в положении стоя у всех испытуемых была меньше 120 уд./мин, что указывает на отсутствие симптомов ортостатической тахикардии (реакция ЧСС >30 уд./мин или уровень ЧСС >120 уд./мин) [11, 13], также ни у кого не было зарегистрировано постуральной брадикардии. Кроме того, оценка среднего артериального давления (САД) (автоматический

тонометр Omron HEM-907) во время тилт-теста показала, что реакция САД составила $3,9 \pm 7,7$ мм рт. ст. в контроле и $1,5 \pm 6,6$ мм рт. ст. у спортсменов, а уровень среднего АД у всех испытуемых был выше 70 мм рт. ст., также величина реакции систолического и диастолического артериального давления была в пределах физиологической нормы — менее 20 мм рт. ст. для систолического и 10 мм рт. ст. для диастолического АД, что указывает на отсутствие симптомов ортостатической гипотензии [13]. Таким образом, обе группы испытуемых характеризовались нормальными реакциями ЧСС и САД на ортостатический стресс, что позволило провести дальнейший сравнительный анализ.

Количество крови в центральном (торакальном) и периферических регионах тела определялось косвенным методом с помощью экспериментального импедансного анализатора (НТИЦ «МЕДАСС», Москва). В основе измерений лежит метод полисегментной биоимпедансметрии [1, 3]. Изменения импеданса одновременно регистрировались в 6 регионах тела: в обеих верхних конечностях («руки», от подмышечной впадины до кистей рук), нижних конечностях («ноги», от паха до щиколотки), шее («шея», от основания шеи до височной области) и абдоминальной части туловища («абдом», от мечевидного отростка до паха), а также регистрировалась ЭКГ в первом стандартном отведении. Для измерения импеданса использовались 5 пар (токовый и потенциальный) электродов, которые располагались на щиколотках ног, запястьях рук и висках головы. Измерения в каждом из исследованных регионов достигались с помощью автоматического переключения токовых и потенциальных электродов. Полученные данные по постоянной составляющей импеданса представлены как базовый импеданс (БИ, ом), для каждого периферического региона. Данные для левой и правой рук и ног усреднялись.

Ударный объем крови (УОК, мл) оценивался стандартным методом импедансной кардиографии по Кубичеку. Хотя этот метод в последнее время подвергнут серьезной критике в отношении точности оценки УОК, особенно при функциональных тестах [5], однако он может быть использован в качестве косвенной оценки УОК и динамики его реакции на тилт-тест в процессе восстановления, учитывая распространенность метода в нашей стране и за рубежом [20]. Реакция БИ и УОК на тилт-тест выражали в процентах отклонения от значений в положении лежа.

Тилт-тест. Ортостатический стресс вызвали с помощью тилт-теста (угол поворота 85°) на механическом ортостоле с упором для ног. Измерение показателей в положении лежа проводили на 6-й минуте после принятия этого положения.

Сначала измеряли БИ во всех периферических регионах (30 с), затем — БИ в торакальном регионе (30 с). Измерение показателей в ортоположении выполняли через 3 минуты после перехода в это положение. В целом тилт-тест продолжался 10 мин. Выбор таких условий тилт-теста (10 мин и угол наклона 85°) обусловлен следующими причинами. Одной из задач работы была оценка скорости восстановления

децентрализации и изменений кардиогеодинамической устойчивости к ортострессу после длительной нагрузки, поэтому мы выбрали наименьшее время, необходимое для проведения тилт-теста (10 мин). Это позволило сократить интервал времени между этапами тестирования и более точно определять время восстановления показателей.

Для достижения максимальной величины децентрализации и депонирования крови в периферических регионах за относительно короткий период ортоположения, величина угла наклона была увеличена с рекомендованных 70° до 85°.

Известно, что с ростом угла наклона повышается величина ортостатического стресса, степень децентрализации крови в грудном регионе и депонирования крови в нижних регионах тела [19], что, вероятно, способствует сокращению времени достижения обморока [14]. При проведении тилт-теста постоянно регистрировались ЧСС и АД с целью предупреждения появления обморока особенно после нагрузки.

Протокол обследования. Реакцию показателей БИ на тилт-тест определяли в исходном состоянии до нагрузки и в течение 2-х часов после аэробной физической нагрузки с интервалом 10 мин: «0-0» — до нагрузки, «0-10; 0-20; 0-30; 0-40 и т. д., 2-0» — 10 мин, 20 мин, 30 мин, 40 мин и т. д., 2 ч — время проведения тилт-теста (момент перехода в ортоположение) после нагрузки. Во время периода восстановления испытуемые находились в положении лежа на ортостоле без употребления жидкости и пищи.

Испытуемых инструктировали, что во время тилт-теста возможно появление симптомов ортостатической неустойчивости (головокружение, тошнота и «туман» в глазах) различной степени, при значительной выраженности которых тест будет прекращен. Однако все испытуемые успешно и полностью выполнили тилт-тест на всех этапах восстановления.

Физическую нагрузку выполняли на велоэргометре «Kettler FX1» в течение 30 мин с мощностью нагрузки, соответствующей значениям ЧСС (монитор ЧСС «Polar RS-800») на уровне 140 уд./мин и скоростью вращения педалей 70–75 об./мин. Вначале испытуемый выполнял ступенчато-возрастающую нагрузку для достижения уровня ЧСС=140±2 уд./мин (с 50 Вт по 2 мин с шагом 30 Вт). Далее испытуемый продолжал выполнять упражнение при стандартной нагрузке в течение 30 мин. Общая продолжительность физической нагрузки составляла 40–45 мин.

Статистика. Данные представлены как М±Ст. Отк., при $p=0,05$ на рисунках. Для сравнительного анализа показателей между группами в положении лежа и стоя использован критерий t-Стьюдента.

Для анализа различий в динамике показателей лежа и стоя, а также различий в реакции показателей на ортостресс между группами использован однофакторный анализ для повторных измерений (ANOVA).

Для сравнения с уровнем до нагрузки использован критерий наименьшей значимой разности. Для определения степени связи между показателями использована корреляция Пирсона.

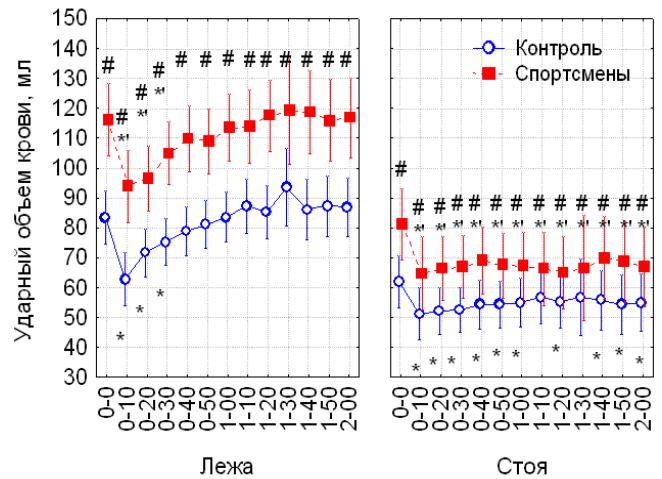


Рис. 1. Динамика ударного объема крови (мл) в положении лежа и стоя до (0-0) и в течение двух часов после нагрузки с 10-минутным интервалом в группах. Здесь и далее: ^, *, **, *** и ^', *, **, *** — $p<0,1$; 0,05; 0,01; 0,001 по сравнению с величинами до нагрузки в группах «Контроль» и «Спортсмены» соответственно; +, # — $p<0,1$; 0,05 — значимость различий между группами «Контроль» и «Спортсмены»

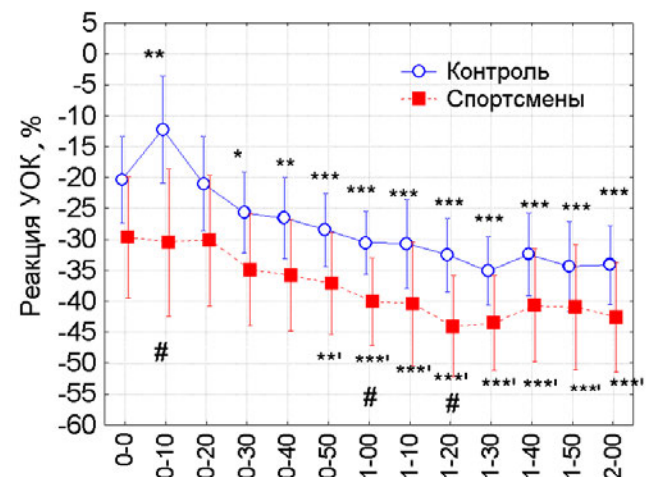


Рис. 2. Реакция УОК на тилт-тест до (0-0) и в течение двух часов после нагрузки с 10-минутным интервалом в группах

Результаты исследования

Децентрализация объема крови до нагрузки (этап 0-0). У спортсменов величины УОК до нагрузки были выше как в положении лежа, так и в положении стоя (рис. 1), а степень снижения УОК в ответ на тилт-тест была одинаковой в группах (рис. 2).

Величины БИ в исходном состоянии в положении лежа были одинаковы в грудном регионе (рис. 3), в нижних (рис. 4) и верхних конечностях (рис. 5), а также в шейном регионе (рис. 6), только в абдоминальном регионе БИ у спортсменов был значительно ниже ($p<0,001$, рис. 7), чем в контроле.

В ответ на ортостаз наблюдалось увеличение БИ в грудном (рис. 8) и шейном регионах (рис. 9), напротив, БИ снижался в нижних конечностях (рис. 10) и абдоминальном регионе (рис. 11).

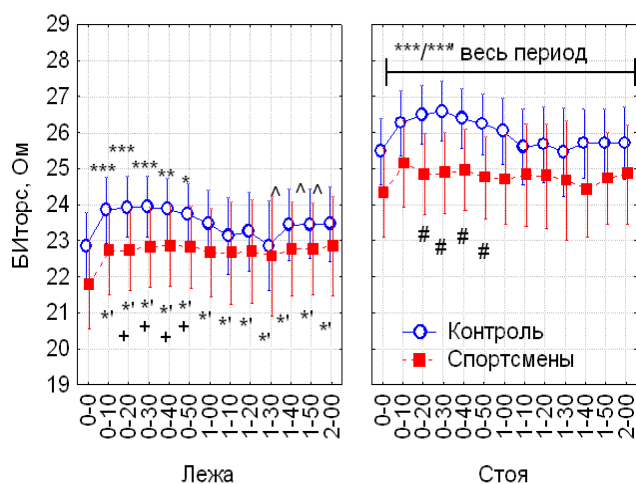


Рис. 3. Динамика БИ грудного региона в положении лежа и стоя до (0-0) и в течение двух часов после нагрузки с 10-минутным интервалом в группах

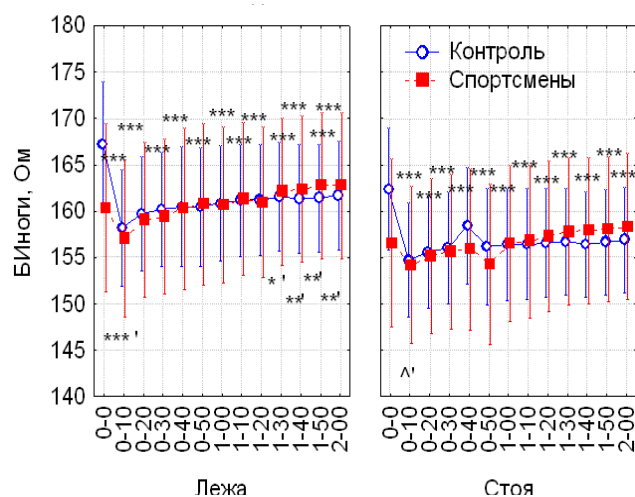


Рис. 4. Динамика БИ в нижних конечностях (ноги) в положении лежа и стоя до (0-0) и в течение двух часов после нагрузки с 10-минутным интервалом в группах

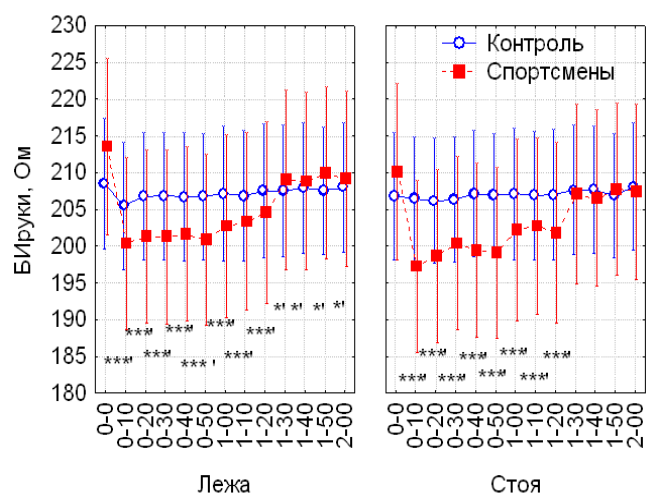


Рис. 5. Динамика БИ в верхних конечностях (руки) в положении лежа и стоя до (0-0) и в течение двух часов после нагрузки с 10-минутным интервалом в группах

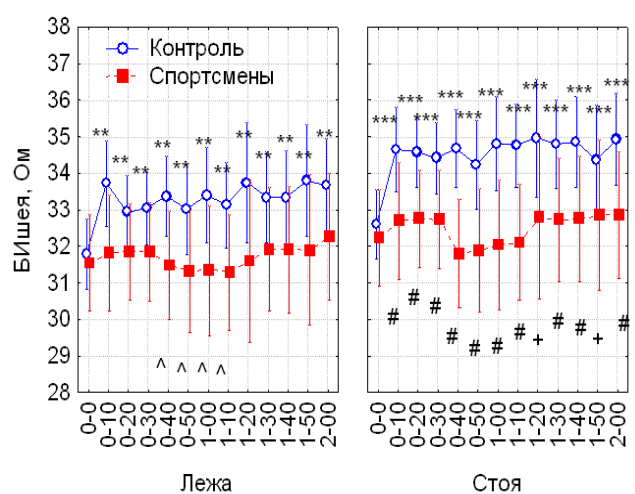


Рис. 6. Динамика БИ в шейном регионе (шея) в положении лежа и стоя до (0-0) и в течение двух часов после нагрузки с 10-минутным интервалом в группах

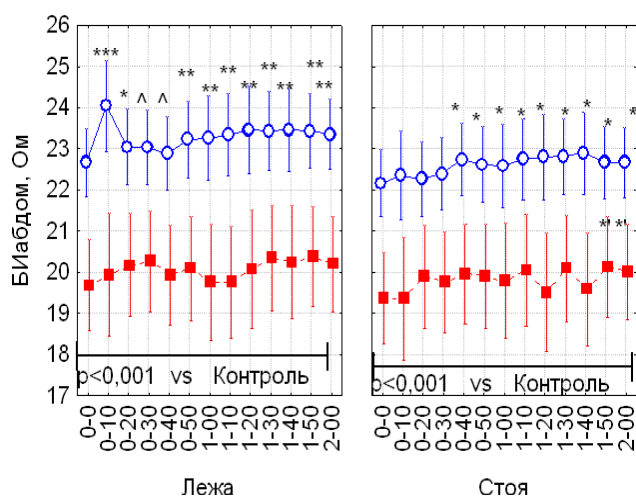


Рис. 7. Динамика БИ в абдоминальном регионе (абдом) в положении лежа и стоя до (0-0) и в течение двух часов после нагрузки с 10-минутным интервалом в группах

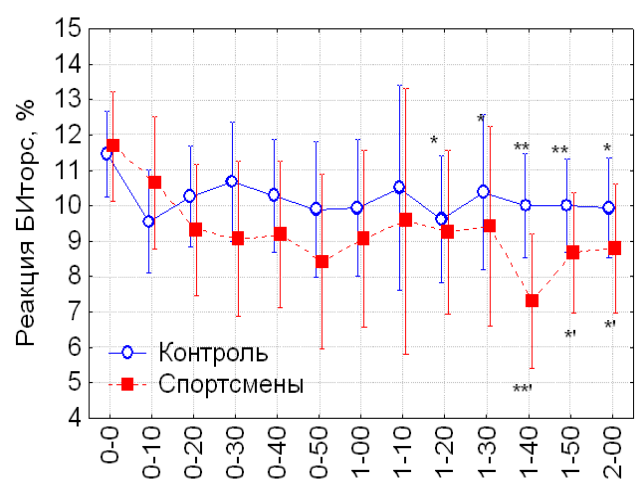


Рис. 8. Реакция БИ_{торс} на тилт-тест до нагрузки (0-0) и в течение двух часов после нагрузки с 10-минутным интервалом в группах

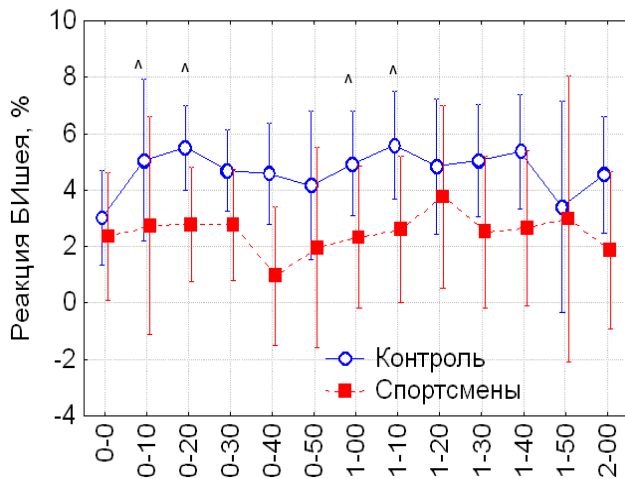


Рис. 9. Реакция БИ в шейном регионе (шея) на тилт-тест до нагрузки (0-0) и в течение двух часов после аэробной нагрузки с 10-минутным интервалом в группах

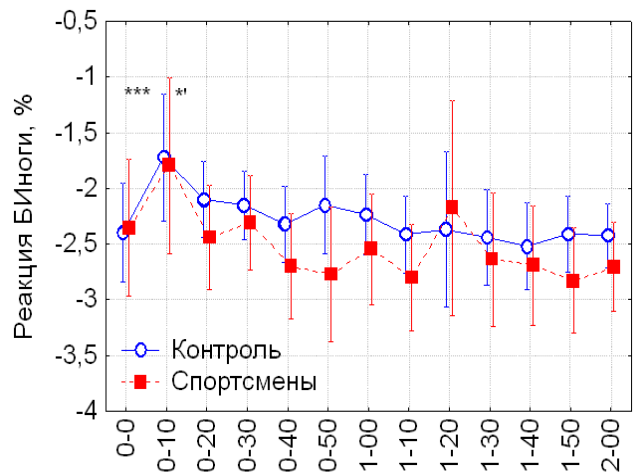


Рис. 10. Реакция БИ в нижних конечностях (ноги) на тилт-тест до нагрузки (0-0) и в течение двух часов после аэробной нагрузки с 10 минутным интервалом в группах

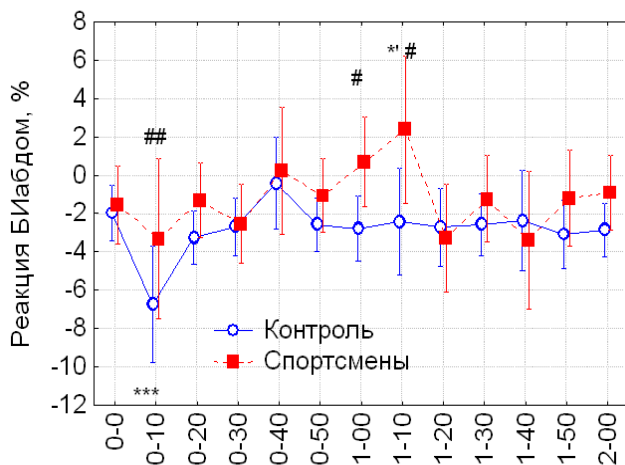


Рис. 11. Реакция БИ в абдоминальном регионе (абдом) на тилт-тест до нагрузки (0-0) и в течение двух часов после аэробной нагрузки с 10-минутным интервалом в группах

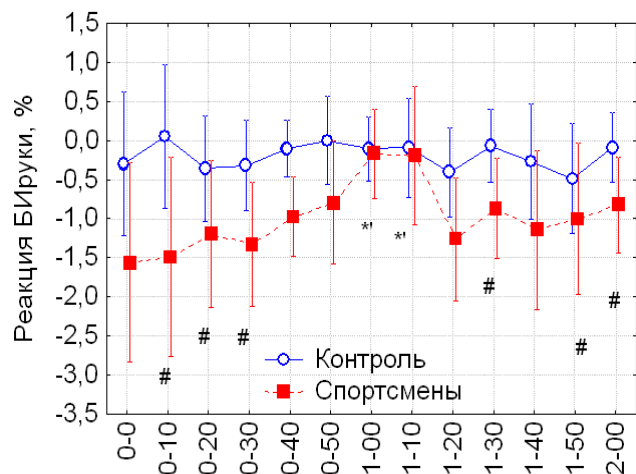


Рис. 12. Реакция БИ в верхних конечностях (руки) на тилт-тест до нагрузки (0-0) и в течение двух часов после аэробной нагрузки с 10-минутным интервалом в группах

В верхних конечностях изменения БИ были недостоверны в группах (рис. 12). Величины изменений БИ во время тилт-теста во всех регионах тела не отличались между группами. Реакция УОК на тилт-тест была корреляционно связана с изменениями БИ в абдоминальном ($r=0,38$, $p=0,025$) и грудном регионах ($r=-0,53$, $p<0,001$), корреляций с изменением БИ в нижних конечностях и шейном регионе не установлено.

Децентрализация объема крови после нагрузки (этапы 0-10 – 2-00). Несмотря на одинаковую относительную интенсивность физической нагрузки (средняя ЧСС составила 157 ± 7 в контроле и 155 ± 6 у спортсменов, максимальная ЧСС — 166 ± 9 в контроле и 164 ± 8 у спортсменов), абсолютная мощность нагрузки у спортсменов была больше (121 ± 22 Вт в контроле и 208 ± 25 Вт у спортсменов, $p<0,001$). Как результат большей величины мощности и общего объема выполненной работы спортсмены потеряли больше воды с потом: $0,28\pm 0,13$ кг в контроле и

$0,65\pm 0,24$ кг у спортсменов ($p<0,001$). Величины УОК у спортсменов оставались в течение всего периода восстановления выше, чем в контроле, как в положении лежа, так и в положении стоя (рис. 1).

Динамика УОК во время восстановления, в целом, была схожей в группах: сразу после нагрузки УОК в положении лежа был снижен в обеих группах и восстанавливался к исходному уровню к 40-й минуте. В ортоположении УОК оставался сниженным в обеих группах в течение всего двухчасового периода восстановления.

Оценка степени снижения УОК при тилт-тесте показала, что в среднем в течение всего периода восстановления, она была повышена у спортсменов ($p=0,05$), а сразу после нагрузки и на этапах 1-00 и 1-20 различия в степени снижения были статистически значимыми ($p<0,05$, рис. 2).

Исходное состояние после нагрузки. После аэробной физической нагрузки уже в положении лежа наблюдалась децентрализация объема крови в орга-

низме. На это указывало увеличение БИ в грудном регионе (рис. 3), который был повышен в течение всего 2-часового периода у спортсменов ($p < 0,01-0,05$) и в течение первого часа восстановления в контроле ($p < 0,001-0,05$). Также после нагрузки в положении лежа БИ становился выше в шейном (рис. 6) и абдоминальном регионах (рис. 7), но только в контроле, у спортсменов данных изменений отмечено не было. Напротив, БИ в нижних конечностях был снижен после нагрузки в положении лежа в обеих группах (рис. 4). Степень снижения БИ_{ноги} была меньше, а период восстановления — короче в группе спортсменов (2 часа — в контроле и до 20 минут — у спортсменов; $p < 0,001$, рис. 4). Снижение БИ отмечалось также в верхних конечностях, однако это было характерно только для спортсменов (рис. 5).

Хотя период повышенного уровня БИ_{торс} в положении лежа у спортсменов был длиннее, его величины были несколько ($p < 0,08$, рис. 3) ниже в положении лежа с 20-й по 60-ю минуту восстановления, а в положении стоя значения БИ_{торс} были существенно ниже с 20-й по 60-ю минуту восстановления ($p < 0,05$). Таким образом, после физической нагрузки уже в положении лежа длительный период (2 часа и более) наблюдается децентрализация объема крови за счет ее оттока из центрального, грудного региона, и депонирования в нижних конечностях, а у спортсменов — еще и в верхних конечностях. Однако в первый час после нагрузки степень децентрализации (по индексу БИ_{торс} в положении лежа) у спортсменов была ниже (при $p < 0,1$), чем в контроле.

Реакция на тилт-тест. Так же, как и до нагрузки, после нагрузки БИ в нижних конечностях снижался в ответ на тилт-тест (рис. 10) в одинаковой мере в обеих группах, однако сразу после нагрузки величина снижения уменьшилась. Снижение реакции, вероятно, было связано как с уменьшением объема крови в грудном регионе, так и скоплением крови в нижних конечностях уже в положении лежа.

В шейном регионе реакция БИ на тилт-тест также не отличалась между группами (рис. 9), но в положении стоя значения БИ_{шея} у спортсменов были меньше в течение всего периода восстановления (рис. 6).

В ответ на ортостатический стресс степень снижения БИ_{абдом} в контрольной группе в течение всего периода восстановления была выше ($p < 0,05$), чем у спортсменов, а сразу после нагрузки степень снижения в контроле была резко увеличена ($p < 0,001$, рис. 11).

Напротив, у спортсменов реакция не сильно изменилась в период восстановления, а в середине периода восстановления (этапы 1-00 и 1-10) реакция БИ_{абдом} поменяла знак и стала положительной.

Другими словами, в абдоминальном регионе объем крови у спортсменов при ортоположении снижался. После нагрузки у спортсменов БИ был снижен в верхних конечностях в обоих положениях лежа и стоя ($p < 0,001$, рис. 5) почти в течение всего периода восстановления, при этом степень снижения БИ_{руки} была практически всегда выше у спортсменов (рис. 12).

Обсуждение результатов

Основной целью работы было исследовать связь между величиной депонирования крови в периферических регионах и степенью снижения УОК в ответ на тилт-тест у спортсменов до и после аэробной нагрузки. Исходя из литературных данных о повышенной растяжимости венозных сосудов [8] и сниженной ортостатической устойчивости у спортсменов [15], мы предположили, что повышенное снижение УОК в ответ на тилт-тест у спортсменов может быть связано с большим депонированием крови в нижних конечностях и/или абдоминальном регионе туловища. Для проверки этой гипотезы мы определяли базовый импеданс в 5 регионах тела: шейном, грудном, абдоминальном, а также в верхних и нижних конечностях во время тилт-теста. Поскольку антропометрические данные испытуемых в течение теста остаются одинаковыми, то степень изменения БИ определяется перемещением под влиянием сил гравитации общего объема жидкости, содержащегося в данном регионе. Учитывая, что продолжительность тилт-теста достаточно кратковременна (испытуемые находились 4 мин в положении стоя), то реакция БИ в основном определяется величиной кровенаполнения данного региона, которая в значительной мере, отражает венозный объем крови. Действительно, повышение БИ в грудном и шейном регионах указывает на уменьшение объема крови в результате ее сниженного поступления из нижних регионов тела, напротив, снижение БИ в нижних конечностях и абдоминальном регионе — на скопление крови в этих отделах. Такая динамика изменений БИ в периферических регионах тела согласуется с результатами полученными другими авторами [19] при применении метода импедансной плетизмографии. Поскольку известно, что при ортостатическом стрессе отмечается активация симпатической нервной системы и констрикция артериальных сосудов в абдоминальном регионе, в верхних и нижних конечностях, что сопровождается уменьшением объема крови в артериях [18], можно утверждать, что снижение БИ в этих регионах отражает увеличение объема крови в венозных сосудах, а также, в меньшей мере, увеличение объема внеклеточной жидкости вследствие ее фильтрации из сосудов в ткани. Таким образом, импедансный анализ может быть использован для адекватной оценки перераспределения объемов крови в различных регионах организма человека во время тилт-теста [18].

Депонирование крови в периферических регионах в ответ на тилт-тест до нагрузки. Группа спортсменов практически не отличалась от контроля по снижению УОК, а также по реакции БИ во всех регионах тела во время тилт-теста до нагрузки. Эти результаты указывают, что в исходном состоянии до нагрузки у спортсменов не наблюдается признаков снижения ортостатической устойчивости по реакции УОК, а также по величинам депонирования крови в абдоминальном регионе и нижних конечностях в ответ на тилт-тест. Схожие результаты с применением импедансного метода были получены в работе [10], показавшей отсутствие различий в депонировании

объема крови в сосудах голени во время тилт-теста между высоко тренированными велосипедистами и контрольными лицами.

Важной особенностью спортсменов был более низкий уровень БИ в абдоминальном регионе туловища в положении лежа и стоя, что указывает на скопление большего объема крови в этой части. Можно полагать, что именно здесь функционально депонируется значительная часть объема крови, которая накапливается в результате длительной адаптации к физическим нагрузкам на выносливость.

Действительно, венозная система висцерального региона туловища считается самой растяжимой, и в этой части скапливается около 20 % всего объема крови [6]. Сосуды этого региона считаются наиболее чувствительными к сосудосуживающим влияниям со стороны симпатической нервной системы, которые обеспечивают мобилизацию венозной крови в условиях различных стрессов [6].

Установленная нами положительная корреляция между реакцией УОК и реакцией БИ в абдоминальном регионе позволяет предположить, что центральная гемодинамика тесно связана именно с реактивностью сосудистой системы этого региона туловища. Депонирование крови в абдоминальном регионе может быть обусловлено сниженной вазоконстрикцией артериальных и/или венозных сосудов в этом регионе в ответ на сосудосуживающие стимулы, в результате чего значительная часть крови в сосудах этого региона депонируется, тем самым уменьшает венозный возврат и способствует падению УОК.

В ряде работ показано, что недостаточность вазоконстрикции в висцеральных органах является важным фактором, способным вызвать ортостатическую неустойчивость, например, при синдромах ортостатической тахикардии и гипотензии [11, 18].

Депонирование крови в периферических регионах в ответ на тилт-тест после физической нагрузки. После длительной (около 40 мин) аэробной (при средней ЧСС=155–157 уд./мин) физической нагрузки у всех испытуемых отмечалась децентрализация объемов крови уже в положении лежа. Объем крови в грудном, центральном, регионе в положении лежа был значительно снижен в течение всего наблюдаемого периода восстановления.

Напротив, количество крови, депонированное в нижних конечностях, было повышено. Величина, а также длительность децентрализации у спортсменов была ниже, чем в контроле. На это указывало меньшая степень и продолжительность снижения БИ в нижних конечностях в положении лежа, а также более низкий уровень БИ в грудном регионе у спортсменов и, кроме того, повышение БИ в шейном и абдоминальном регионе в контроле.

Менее выраженная децентрализация объема крови у спортсменов, полученная на фоне большей физической работы и большей дегидратации организма, свидетельствует о высокой способности к восстановлению регионального кровотока после физической нагрузки.

С другой стороны, большая физическая нагрузка может, напротив, частично сохранять центральный

МЕЛЬНИКОВ А. А., ПОПОВ С. Г., НИКОЛАЕВ Д. В.

объем крови в сосудах грудного региона, поскольку усиленная работа дыхательных мышц, требует и большего притока крови к снабжающим их сосудам, снижая БИ_{торс}.

После физической нагрузки величины УОК были снижены в течение 40 мин в положении лежа и в течение всего периода восстановления в положении стоя в обеих группах, что является важным механизмом снижения кардиогемодинамической устойчивости к ортостатическому стрессу после нагрузки [15]. Хотя имеются работы, указывающие на поддержание исходного уровня УОК после нагрузки в положении лежа за счет повышенной сократимости сердца, однако во многих исследованиях, так же как, и в нашей, показано снижение УОК в восстановительном периоде после нагрузки [12, 16]. Мы полагаем, что уменьшение УОК в обоих положениях в обеих группах связано с влиянием двух факторов — децентрализации крови и общей дегидратации организма после нагрузки. Действительно наши результаты показывают, что БИ грудного региона в положении лежа был повышен в течение 40 мин у спортсменов и в течение 50 мин в контроле (рис. 3), и в течение всего периода восстановления в ортоположении, что может отражать уменьшение центрального венозного объема крови, способствующее падению УОК в обоих положениях. Хотя уровень дегидратации был не столь значительный, однако, по данным работы [12], он также может вносить вклад в снижение УОК после нагрузки.

В целом степень снижения УОК в ответ на тилт-тест в течение всего восстановительного периода у спортсменов была повышена ($p=0,05$), а сразу после нагрузки УОК снижался наиболее существенно по сравнению с контролем ($p<0,01$), подтверждая данные литературы о большей склонности спортсменов с высоким развитием выносливости к ортостатическим обморокам [15]. Ведущим механизмом большего падения УОК в ответ на ортостатический стресс у спортсменов считают гипертрофию и высокую растяжимость полостей сердца [15].

Однако степень снижения БИ в нижних конечностях, а также увеличение БИ в грудном и шейном регионах в ответ на тилт-тест не отличалась между группами. Кроме этого, БИ в грудном регионе в ортоположении был ниже у спортсменов, указывая на большее кровенаполнение центрального региона. Все эти данные указывают на отсутствие как повышенного оттока крови из центрального региона, так и повышенного скопления крови в нижних регионах тела, что противоречит нашей гипотезе. Таким образом, процессы артериального (притока) и венозного (оттока) кровотока в периферических регионах в ортостазе у спортсменов достаточно сбалансированы, в том числе и после физической нагрузки, что обеспечивает нормальные значения децентрализации и депонирования объемов крови в ответ на ортостатический стресс. Более того, реакция БИ в абдоминальном регионе (увеличение БИ_{абдом} при тилт-тесте) у спортсменов указывает, что объем крови в этом регионе имел тенденцию к снижению в ортоположении, что можно рассматривать как положительный

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

эффект в поддержании центральной гемодинамики. Снижение объема крови в абдоминальном регионе может отражать или перераспределение артериальной крови в сторону жизненно важных органов, или повышение венозного возврата к сердцу, способствуя поддержанию УОК.

Таким образом, на основе наших данных можно предположить, что после физической нагрузки величина депонирования крови в нижних конечностях и абдоминальном регионе в ортостазе у спортсменов не отличалась от контрольных значений и не являлась фактором, увеличивающим степень снижения УОК. Можно отметить, только парадоксальное снижение БИ в верхних конечностях в ответ на тилт-тест у спортсменов, чего не наблюдалось в контроле.

Данное указывает, что у спортсменов в положении стоя значительно больше крови депонируется в верхних конечностях, что, все-таки, может способствовать падению УОК во время тилт-теста.

Более того, между реакциями УОК и БИ_{руки} установлена корреляционная связь ($r=0,38$, $p=0,026$). Причины большего снижения величин БИ в верхних конечностях у спортсменов после нагрузки не ясны.

Мы предполагаем, что, во-первых, у спортсменов в работу вовлекались также мышцы верхнего плечевого пояса и рук, поскольку абсолютная мощность нагрузки была значительно выше.

Во-вторых, активность миогенного рефлекса во время тилт-теста существенно (в 2,5 раза) ниже в руках по сравнению с его активностью в ногах, как следствие при одинаковой симпатической активно-

сти вазоконстрикция в артериях рук в ортоположении значительно ниже, чем в ногах [9].

Выводы

1. В исходном состоянии до нагрузки децентрализация и депонирование крови в периферических регионах при ортостазе, определенные на основе изменений базовых импедансов регионов тела, у спортсменов не отличается от величин, характерных для неспортсменов.

2. Под влиянием физической нагрузки в обеих группах отмечается децентрализация объема крови уже в положении лежа, причем у спортсменов ее величина и продолжительность были ниже, чем в контроле. Величины депонирования крови в периферических регионах в ответ на тилт-тест у спортсменов оставались схожими с контрольной группой. Более того, реакция БИ в абдоминальном регионе была более благоприятна для поддержания центральной гемодинамики у спортсменов в восстановительном периоде. Вместе с тем, несмотря на отсутствие различий в депонировании крови в нижних регионах тела, степень снижения УОК у спортсменов была больше, что указывает на большую склонность к ортостатической неустойчивости на фоне физического утомления.

3. Таким образом, можно заключить, что у спортсменов повышенное снижение УОК и в целом кардиогемодинамическая неустойчивость к ортостазу не связаны с повышенным депонированием крови в нижних регионах тела.

Литература

1. Цветков А. А. Биоимпедансные методы контроля системной гемодинамики. М.: Слово, 2010. 316 с.
2. Carter R., Watenpugh D. E., Wasmund W. L. et al. Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans // *J. Appl. Physiol.* 1999. № 87 (4). P. 1463–1469.
3. Danilov A. A., Kramarenko V. K., Nikolaev D. V., Rudnev S. G. Sensitivity field distributions for segmental bioelectrical impedance analysis based on real human anatomy // *J. of Physics: Conf. Series.* 2013. № 434. 012001. doi:10.1088/1742-6596/434/1/012001.
4. Davis J. E., Fortney S. M. Effect of fluid ingestion on orthostatic responses following acute exercise // *Int. J. Sports Med.* 1997. № 18 (3). P. 174–178.
5. Fellahi J. L., Caille V., Charron C. et al. Noninvasive assessment of cardiac index in healthy volunteers: a comparison between thoracic impedance cardiography and Doppler echocardiography // *Anesth. Analg.* 2009. № 108 (5). P. 1553–1559.
6. Gelman S. Venous function and central venous pressure: a physiologic story // *Anesthesiology.* 2008. № 108 (4). P. 735–748.
7. Gratze G., Mayer H., Skrabal F. Sympathetic reserve, serum potassium, and orthostatic intolerance after endurance exercise implications for neurocardiogenic syncope // *Eur. Heart J.* 2008. № 29 (12). P. 1531–1540.
8. Hernandez J. P., Franke W. D. Effects of a 6-month endurance-training program on venous compliance and maximal lower body negative pressure in older men and women // *J. Appl. Physiol.* 2005. № 99 (3). P. 1070–1077.
9. Imadojemu V. A., Lott M. E., Gleeson K. et al. Contribution of perfusion pressure to vascular resistance response during head-up tilt // *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.* 2001. № 281 (1). P. H371–H375.
10. Kilfoil P. J. Calf hemodynamics during venous occlusion and head-up tilt. University of Kentucky Master's Theses. 2007. № 52. URL: http://uknowledge.uky.edu/gradschool_theses/446.
11. Krediet C. T., Go-Schön I. K., Kim Y. S. et al. Management of initial orthostatic hypotension: lower body muscle tensing attenuates the transient arterial blood pressure decrease upon standing from squatting // *Clin. Sci. (Lond).* 2007. № 113 (10). P. 401–407.
12. Lynn B. M., Minson C. T., Halliwill J. R. Fluid replacement and heat stress during exercise alter post-exercise cardiac haemodynamics in endurance exercise-trained men // *J. Physiol.* 2009. № 587 (14). P. 3605–3617.
13. Moya A., Sutton R., Ammirati F. et al. The Task Force for the Diagnosis and Management of Syncope of the European Society of Cardiology (ESC). Guidelines for the diagnosis and management of syncope (version 2009) // *Eur. Heart Journ.* 2009. № 30. P. 2631–2671.

14. Natale A., Akhtar M., Jazayeri M. et al. Provocation of hypotension during head-up tilt testing in subjects with no history of syncope or presyncope // *Circulation*. 1995. № 92. P. 54–58.

15. Raven P. B., Pawelczyk J. A. Chronic endurance exercise training: a condition of inadequate blood pressure regulation and reduced tolerance to LBNP // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1993. № 25 (6). P. 713–721.

16. Senitko A. N., Charkoudian N., Halliwill J. R. Influence of endurance exercise training status and gender on postexercise hypotension // *J. Appl. Physiol.* 2002. № 92. P. 2368–2374.

17. Stewart J. M., Weldon A. The relation between lower limb pooling and blood flow during orthostasis in the postural

МЕЛЬНИКОВ А. А., ПОПОВ С. Г., НИКОЛАЕВ Д. В.
orthostatic tachycardia syndrome of adolescents // J. Pediatr. 2001. № 138 (4). P. 512–519.

18. Stewart J. M., Montgomery L. D. Regional blood volume and peripheral blood flow in postural tachycardia syndrome // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2004. № 287 (3). P. H1319–H1327.

19. Taneja I., Moran C., Medow M. S. Different effect of lower body negative pressure and upright tilt on splanchnic blood volume // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2007. № 292. P. H1420–H1426.

20. Wray D. W., Formes K. J., Weiss M. S. et al. Vagal cardiac function and arterial blood pressure stability // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2001. № 281. P.H1870–H1880.