

ФИЗИОЛОГИЯ СПОРТА

УДК 577.3+612.014

А. П. Хачатрян

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА ПРИ ДОЗИРОВАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ У СТУДЕНТОВ-СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

Статья является результатом анализа физиологических показателей функционального состояния и электропроводящих свойств кожи рук студентов-спортсменов различной квалификации. Показано, что изменения электрического импеданса отражают реакцию организма на физическую нагрузку у лиц с разной степенью и характером тренированности.

Ключевые слова: показатели электрического импеданса кожи, спортсмены, физические нагрузки.

Функциональные изменения в организме человека под влиянием физических нагрузок, в том числе в процессе спортивных тренировок и соревнований, связаны с активацией обменных процессов, изменением состояния сердечно-сосудистой, дыхательной и других систем. Следует ожидать, что эти процессы оказывают влияние и на изменение электропроводящих свойств биологических тканей. Согласно данным литературы [1, с. 21; 2, с. 42] динамическая работа мышц приводит к изменению величины полного электрического сопротивления (импеданса) кожи и подлежащих тканей внешнему электрическому току. Однако возможно ли по показателям электрического импеданса и его изменению оценить характер физиологической реакции на физическую нагрузку у лиц с разной степенью тренированности, оставалось неясным.

Целью настоящей работы явился сравнительный анализ электропроводящих и поляризационных свойств тканей и функционального состояния организма студентов-спортсменов с различной степенью и характером тренированности при дозированных физических нагрузках.

Проведено комплексное обследование студентов-спортсменов (мужчины 18–27 лет), разделенных на группы согласно выбранному виду спорта – лыжники (15), баскетболисты (12) и 25 студентов, занимающихся в группах общей физической подготовки, составивших контрольную группу.

Все испытуемые находились в одинаковых условиях учебного процесса, распорядка дня, питания, отдыха и сна. При оценке состояния здоровья испытуемых использовали комплекс стандартных физиологических методов.

Состояние сердечно-сосудистой системы оценивали на основании измерения частоты сердечных сокращений (ЧСС), артериального давления (АД). Энергетические показатели организма опре-

деляли по потреблению кислорода (PO_2) и расчета соответствующих показателей – кислородная стоимость работы (Кд/А), кислородный долг (КД), коэффициент полезного действия (КПД) [3, с. 118]. Физическую работоспособность испытуемых определяли методом ступенчатых нагрузок при работе на велоэргометре [1, с. 21]. Для лыжников средняя рабочая нагрузка на килограмм веса (кгм/мин кг) составила 19.1 ± 1.36 , для баскетболистов – 15.5 ± 0.53 , для нетренированных испытуемых – 10.7 ± 0.64 .

В ходе эксперимента все испытуемые в течение 10 мин выполняли на велоэргометре индивидуальную дозированную нагрузку, после которой регистрировали в течение 30 мин процесс восстановления.

Параллельно оценивали полный электрический импеданс предплечья, учитывая его особенности покоящегося участка тела при работе на велоэргометре, на двух фиксированных частотах – 10 кГц ($R_{нч}$) и 1 мГц ($R_{вч}$) и рассчитывали коэффициент поляризации K_p , равный их соотношению [4, с. 75]. В качестве измерительного прибора использовали стандартный электроимпедансометр типа «Тонус-2» [5, с. 53; 6, с. 37].

Статистическую обработку проводили с использованием t-критерия Стьюдента. Различия считались достоверными при $p < 0.05$.

Исходные физиологические показатели состояния студентов-спортсменов и испытуемых контрольной группы находились в пределах физиологической нормы и были близки между собой. По нашему мнению, это свидетельствовало об отсутствии существенных межгрупповых различий между группами испытуемых в состоянии покоя. Изменение электрического импеданса при дозированных физических нагрузках, предъявляемых спортсменам и нетренированным лицам (контрольная груп-

па), носили однотипный и однонаправленный характер и были статистически достоверны ($p < 0.01$).

При этом была выявлена четкая тенденция к повышению ЧСС от 69 до 74 уд./мин и потребления кислорода (от 4.16 до 5.22 мл/кг в ряду – лыжники – баскетболисты – нетренированные) (табл. 1). Это свидетельствовало, по-нашему мнению, о постепенном снижении эффективности работы сердечной мышцы у испытуемых и увеличении энергетической стоимости работы в зависимости от спортивной специализации.

Показатели импеданса у лыжников были достоверно ниже, а Кп выше, чем у баскетболистов и нетренированных.

Таблица 1
Физиологические и электрические параметры состояния студентов-спортсменов при дозированной нагрузке ($M \pm m$)

Параметр	Спортсмены-лыжники	Спортсмены-баскетболисты	Контроль
ЧСС, уд./мин	69.0±0.8	70.0±3.8	74.0±3.6
АДс, мм рт. ст.	118.0±0.8	118.0±1.8	118.0±1.2
ПО ₂ покоя, мл/кг	4.16±0.08	4.80±0.61	5.22±0.16
О ₂ ст, мл/кгм	1.55±0.12	1.82±0.09	2.07±0.06
КД, %	18.2±1.2	28.7±2.15	18.1±1.8
Кд/А, 10 ⁻⁵ , мл/кг/кгм	232.0±16	381.0±45	330.0±21
КПД, %	24.7±1.6	18.52±0.9	17.2±0.5
Рвч, Ом	78.0±1.3	150.0±19.3	145.0±15.1
Рнч, Ом	518.0±22.1	685.0±47.2	661.0±23.2
Кп	6.76±0.22	4.86±0.26	4.97±0.65

Примечание: $p < 0.01$.

В начале работы на велоэргометре у испытуемых происходило небольшое увеличение импеданса на обеих частотах и уменьшение Кп. Первые три минуты работы на велоэргометре характеризовались сравнительно низким КПД и высокой кислородной стоимостью, что находится в хорошем соответствии с данными работы [1, с. 23].

Реакция сердечно-сосудистой системы на нагрузку происходила с некоторой задержкой, вследствие чего возникало ограничение доставки кислорода к тканям и возрастание кислородного долга. Это свидетельствовало о снижении функциональной активности систем организма, сопровождающейся увеличением кислородной стоимости работы, т. е. об ухудшении общего тонуса организма.

Мы полагаем, что в это время для обеспечения повышенного кислородного запроса работающих мышц в организме происходит перераспределение крови в сторону работающих органов. У неработающих мышц в это время имеет место снижение кровотока, что определяет повышение импеданса и уменьшение Кп предплечья.

Эффективность восстановительных процессов, судя по величине КД, отнесенного к единице рабо-

ты А, и скорости восстановления ЧСС и АДс у спортсменов-лыжников и баскетболистов была выше, чем у нетренированных испытуемых (табл. 1, 2).

Увеличение длительности нагрузки до 10 мин приводило уже к снижению импеданса на обеих частотах (табл. 2).

По-видимому, значительную роль в данном случае играет газотранспортная функция крови [2, с. 51] и система утилизации кислорода мышцами. Рост ЧСС при увеличении нагрузки обеспечивает усиленный транспорт кислорода к мышцам.

При этом, однако, относительное снижение импеданса на высоких частотах было больше, чем на низких, обусловленных кровотоком и внеклеточными электролитами, а изменения Кп определялись главным образом величиной $R_{вч}$, т. е. структурно-функциональными перестройками в тканях.

Таблица 2

Изменение показателей при дозированной нагрузке ($M \pm m$)

Показатель, группа	Исходные значения	Нагрузка	Период восстановления
Рвч, Ом			
Лыжники	76.0±1.2	-6.0±1.3	-8.0±0.8
Баскетболисты	150.0±18.7	-55.0±14.2	-53.0±10.6
Контроль	144.0±13.4	-18.0±9.3	-31.0±11.2
Рнч, Ом			
Лыжники	516.0±21.6	-13.0±1.9	-22.0±5.8
Баскетболисты	684.0±46.2	-93.0±15.3	-96.0±13.6
Контроль	660.0±22.3	-18.0±9.5	-43.0±12.2
Кп			
Лыжники	6.76±0.23	0.33±0.13	0.33±0.13
Баскетболисты	4.85±0.57	1.43±0.29	1.25±0.16
Контроль	4.96±0.46	0.42±0.21	0.70±0.19
ЧСС, уд./мин			
Лыжники	69.0±0.8	154.0±3.8	80.0±3.2
Баскетболисты	70.0±3.5	161.0±3.7	96.0±4.2
Контроль	74.0±3.6	150.0±3.5	94.0±2.7
АДс, мм рт. ст.			
Лыжники	118.0±0.8	192.0±7.5	120.0±2.5
Баскетболисты	118.0±1.8	207.0±7.4	123.0±3.1
Контроль	118.0±1.1	178.0±3.9	121.0±1.7

Примечание: ($p < 0.01$).

Например, у спортсменов-лыжников исходные значения импеданса были ниже, чем у баскетболистов и в контроле и соответствовали меньшим ПО₂ покоя, т. е. соответствовали такой структурно-функциональной организации, которая обеспечивает экономное поддержание физиологических показателей в состоянии покоя. Показатели импеданса при нагрузке у лыжников сохранялись на более низком уровне и соответствовали меньшим величинам кислородного долга, чем у нетренированных лиц, причем разброс показателей у них был ниже. Более заметной была реакция на дозированную нагрузку по сравнению с контролем и у спортсменов-баскетболистов. Тем не менее она оставалась ниже, чем у лыжников.

Четкая тенденция к повышению ЧСС и потребления кислорода у спортсменов-баскетболистов по сравнению с контролем, в том числе и при нагрузке, свидетельствует, по-нашему мнению, о снижении у них эффективности работы сердечно-сосудистой системы и большей энергетической стоимости работы.

Таким образом эффективность работы и восстановительных процессов выше у спортсменов, занимающихся тренировкой выносливости (лыжники).

У нетренированных лиц изменения показателей импеданса происходили уже во время нагрузки, у баскетболистов достигали максимума к концу работы на велоэргометре. У спортсменов-лыжников высокие функциональные резервы и готовность к подобной физической работе позволяли отсрочить и сократить объем структурно-функциональных перестроек в организме (малые изменения импеданса). При этом интенсификация работы сердечной мышцы не приводила к ее перенапряжению.

Реакция со стороны сердечнососудистой системы у нетренированных и баскетболистов свидетельствовали о форсированном режиме работы и некотором напряжении в работе сердечной мышцы.

Относительно высокие изменения импеданса у спортсменов-баскетболистов по сравнению с лыжниками, по-нашему мнению, могут свидетельствовать о весьма существенных структурно-функциональных перестройках в тканях организма и недостаточности его резервов.

Приведенные результаты позволяют утверждать, что показатели электрического импеданса и его изменения, являясь интегральной характеристикой всего комплекса перестроек в тканях, отражают различия физиологической реакции на дозированную нагрузку у лиц с разной степенью и характером тренированности.

Поведение электрических и физиологических показателей при физических нагрузках подтверждает известный факт увеличения интенсивности восстановительных процессов с повышением уровня тренированности организма. При этом повышение эффективности работы и восстановительного периода оказывается более значительным у спортсменов, занимающихся видами спорта, связанными с тренировкой выносливости, чем в игровых видах спорта.

Наблюдения за спортсменами в течение рабочей недели, вынужденно подвергавшихся нагрузкам на велоэргометре, показали, что изменения со стороны сердечно-сосудистой системы в первые дни не были значительны. Однако в последующие дни у лыжников функциональные возможности сохранялись на высоком уровне, а у баскетболистов наблюдалось их снижение.

При этом необходимо учитывать и то обстоятельство, что предъявляемая нагрузка (работа на велоэргометре) носила циклический характер, была привычна для лыжников и чужда баскетболистам.

Анализ динамики электрического импеданса кожи и энергетических показателей функционирования организма дает нам основание считать, что несоответствие этих параметров виду спорта вызывает напряжение функциональных систем и, как следствие, хронический стресс. В этих условиях, по-нашему мнению, возможно развитие патологических состояний.

Мы считаем, что при занятиях спортом имеет место естественный отбор лиц с определенным типом индивидуально-психологических качеств, в частности функциональной асимметрией головного мозга, которые более комфортно чувствуют себя в тех или иных группах. Это обстоятельство, по-видимому, способствует более гармоничному развитию личности без ущерба для состояния здоровья. Надо полагать, что существует непосредственная связь между особенностями межполушарной организации моторных и сенсорных функций и теми требованиями, которые предъявляются отдельными видами спортивной деятельности [7, с. 22].

Так, спортсмены, выполняющие стереотипные циклические движения (в нашем случае это относится к лыжникам), стремятся показать лучший результат в технике выполнения движений, мышечной силе, скорости движений. Каждый цикл движения непосредственно связан с предыдущим и последующим. Для таких спортсменов, по данным нашей оценки, был характерен высокий процент чистых правшей, леворукие практически отсутствовали. То есть правостороннее доминирование, по-видимому, благоприятно для успешности в этом виде спорта. Работа на велоэргометре им значительно ближе, чем испытуемым других групп.

Для баскетболистов, напротив, характер движений спортсменов не определен заранее и изменяется ситуационно. Здесь необходимо одинаковое освоение приемов как на правую, так и на левую стороны.

Выполнение циклических движений при работе на велоэргометре для этих спортсменов чуждо. По типу латеральной организации такие спортсмены, по-видимому, ближе к нетренированным в специальных видах спорта испытуемым. Правостороннее доминирование для них не столь важно, как при выполнении циклических движений. Таким образом, число чистых правшей в группе баскетболистов оказалось меньше, однако возросло число левшей и амбидекстров.

Вполне возможно, что выбор спортсменом какого-либо вида спорта, его результативность в со-

ревнованиях и при тренировках во многом определяется (может быть, не всегда осознанно) его индивидуально-типологическими особенностями [7, с. 42; 8, с. 22]. Однако в связи с малым объемом выборки подобное объяснение используется нами только в качестве рабочей гипотезы.

Список литературы

1. Пальчиков В. Е. Двухчастотная импедансметрия участков тела человека в покое и при функциональных воздействиях: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1987. 24 с.
2. Торнуев Ю. В. Патологическое исследование электродермальной активности при хронических общепатологических состояниях: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1996. 54 с.
3. Кривошеков С. Г., Охотников С. В. Производственные миграции и здоровье человека. Новосибирск: СО РАМН, 2000. 118 с.
4. Махнев В. П., Торнуев Ю. В. Физиологические корреляты электрических параметров кожи человека // Бюл. СО РАМН. 1994. № 2. С. 73–78.
5. Алейников А. Ф. Вещественные и энергетические преобразования измерительных сигналов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 1997. 53 с.
6. Осенний А. С., Алейников А. Ф. Оценка интегрального функционального состояния по показателям электрической поляризуемости тканей. Новосибирск, 1993. 40 с.
7. Колышкин В. В. Особенности психофизиологических механизмов адаптации в зависимости от латерального фенотипа человека: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 1997. 42 с.
8. Кучко Т. И. Роль индивидуальных психофизиологических особенностей в адаптации к игровым видам спорта: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новокузнецк, 2004. 22 с.

Хачатрян А. П., доктор медицинских наук, профессор кафедры.
Томский государственный педагогический университет.
Ул. Киевская, 60, г. Томск, Томская область, Россия, 634061.
E-mail: narinebalance@ngs.ru

Материал поступил в редакцию 25.05.2010.

A. P. Khachatryan

DYNAMICS FEATURES OF INDICATORS OF ELECTRIC IMPEDANCE AT THE MEASURED PHYSICAL ACTIVITIES OF STUDENTS-SPORTSMEN OF VARIOUS SPECIALIZATIONS

The comparative analysis of physiological indicators of the functional condition and electro-conducting properties of the hands' skin of students-sportsmen of various qualifications is carried out. It is shown that changes of electric impedance reflect distinctions of physiological reaction to physical activity at persons with different degree and character of training.

Key words: *properties of the hands' skin, electric impedance, physical activity.*

Tomsk State Pedagogical University.
Ul. Kiyevskaya, 60, Tomsk, Tomsk region, Russia, 634061.
E-mail: narinebalance@ngs.ru