

## ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.7

Е.П. Горбанёва, Д.В. Медведев, И.Н. Солопов

### Влияние специфической мышечной деятельности на параметры функциональной мобилизации и экономизации у спортсменов

Выявлена зависимость качественных характеристик функциональной подготовленности, проявляющихся при различных мощностях физической нагрузки и в период восстановления, от особенностей привычной мышечной деятельности (спортивной специализации). Установлены специфические различия мобилизации и экономизации функций организма у легкоатлетов, пловцов и футболистов.

**Ключевые слова:** функциональная мобилизация, функциональная экономизация, реакции физиологических систем на нагрузку, спортивная специализация, качественные характеристики.

E.P. Gorbanyova, D.V. Medvedev, I.N. Solopov

### The Influence of the Specific Muscle Activity on Parameters of Sportsmen's Functional Mobilization and Economization

It's been defined the dependence of quality characteristics of functional preparedness which appear at the recover period, of features of the habitual muscle activity (sports speciality). We have found out the specific differences of athletes', swimmers', and football players' organism mobilization and economization functions.

**Key words:** functional mobilization, functional economization, physiological systems' reactions on the loading, sports specialiation, quality characteristics.

В настоящее время для теории и методики спортивной тренировки, спортивной физиологии и смежных с ними научных дисциплин представляется актуальным изучение физиологических механизмов, специфических особенностей развития и совершенствования физиологических характеристик и свойств, функциональных возможностей организма спортсмена в зависимости от характера привычной мышечной деятельности на разных этапах многолетней адаптации к физическим нагрузкам [1, 5, 7, 9]. В связи с этим цель настоящей работы заключалась в изучении особенностей мобилизации и экономизации функций физиологических систем у спортсменов, адаптированных к различной специфической мышечной деятельности, в условиях покоя, в процессе выполнения физической нагрузки и при восстановлении.

#### Методика

Для достижения поставленной цели были осуществлены комплексные спирометрические исследования с участием спортсменов квалификации кандидат в мастера и мастер спорта, специализирующихся в беге на средние дистанции ( $n = 17$ ), плавании ( $n = 18$ ) и футболе ( $n = 25$ ), в возрасте 17–18 лет.

Показатели функциональной экономизации регистрировались в условиях покоя, в начальной фазе стандартной дозированной мышечной нагрузки, в конце работы максимальной мощности и на 1-й и 5-й минутах восстановительного периода ( $V_1$ ,  $V_5$ ). Параметры функциональной мобилизации изучали после работы максимальной мощности и на 1-й, 5-й минутах восстановительного периода. В качестве функциональной пробы применялась прерывистая (отдых 5 минут) трёхступенчатая велоэргометрическая физическая нагрузка, дозированная по частоте сердечных сокращений (fh): 1-я нагрузка (5 мин.) – fh<sub>1</sub> в пределах 120–150

уд/мин ( $W_1$  – стандартная); 2-я нагрузка –  $fh_2 > fh_1$  на 40 уд/мин; 3-я нагрузка максимальной мощности ( $W_{max}$ ) –  $fh_3 \geq 180$  уд/мин выполнялась 2–3 мин с целью достижения испытуемым уровня максимального потребления кислорода ( $VO_{2max}$ ) [3].

Регистрация основных параметров внешнего дыхания – легочной вентиляции ( $VE$ ), частоты дыхания ( $fb$ ), дыхательного объема ( $V_T$ ) и газообмена – осуществлялась при помощи метаболога *Ergoocyscreen* (Jaeger). Измерение жизненной емкости легких ( $VC$ ) и максимальной вентиляции легких ( $MMV$ ) производили посредством электронного спирометра *Spirosift-3000* (Fukuda, Япония). Частоту сердечных сокращений ( $fh$ ) рассчитывали по интервалам R-R электрокардиограммы.

Числовой массив полученных результатов обрабатывали методами вариационной статистики с вычислением t-критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ . Проверка выборки на нормальность осуществлялась путем определения интервала распределения ( $\chi \pm 1, 1\sigma$ ) и сравнения его с действительными данными. К интервалу относилось 75 % частоты изучаемой совокупности. Для обеспечения возможности комплексного сравнения различных параметров

часть показателей была нормализована (приведена к единой шкале) путем построения оценочной шкалы «выбранных точек» [2, 10].

### Результаты и обсуждение

Важными характеристиками мобилизационных возможностей организма являются показатели предельного уровня усиления функций физиологических систем, скорость выхода на необходимый уровень функционирования и эффективность использования резервного потенциала.

В связи с этим мобилизация функций оценивалась по комплексу параметров, отражающих величину прироста (реактивности) показателей относительно уровня покоя (в конце нагрузки максимальной мощности –  $fh_{max}/fh_{покоя}, \%$ ;  $fb_{max}/fb_{покоя}, \%$ ;  $V_{Tmax}/V_{Tпокоя}, \%$ ;  $VE_{max}/VE_{покоя}, \%$ ;  $VO_{2max}/VO_{2покоя}, \%$ ; на 1-й и 5-й минутах восстановления –  $fh_{B1}/fh_{покоя}$ ,  $fb_{B5}/fb_{покоя}$  и далее соответственно), а также по величине утилизации морфофункционального потенциала внешнего дыхания ( $V_{Tmax}/VC, \%$ ;  $VE_{max}/MMV, \%$ ).

Анализ максимальной реактивности при нагрузке предельной мощности установил, что по большинству показателей она была выше у пловцов (рис. 1А).

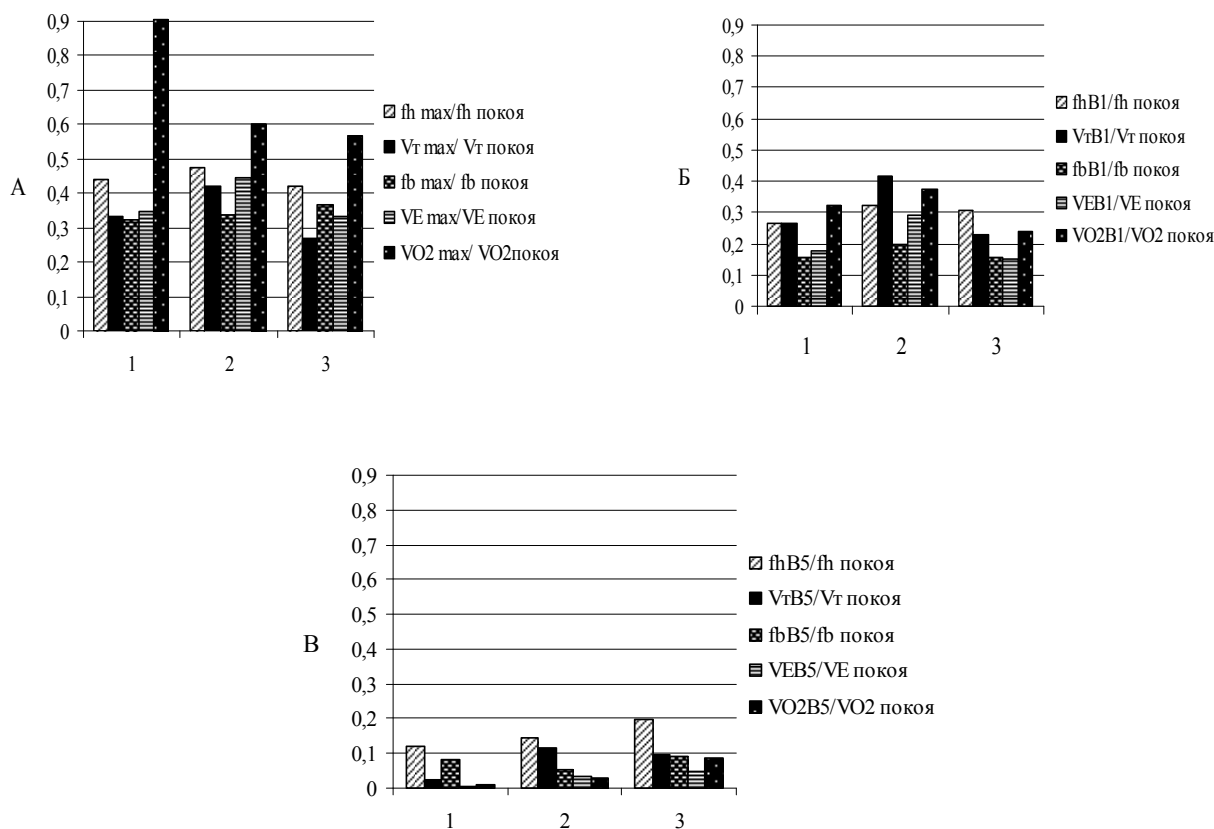


Рис.1. Динамика показателей функциональной мобилизации у спортсменов различной специализации при предельной нагрузке (А), в фазы срочного (Б) и отставленного (В) восстановления после мышечной нагрузки максимальной мощности (нормализованные величины): 1 – футбол; 2 – плавание; 3 – легкая атлетика.

У пловцов выявлена достоверно наибольшая ( $p < 0,05$ ) величина максимальной мощности кратковременной работы ( $1735,0 \pm 107,1$  кГм/мин). При этом у футболистов и бегунов величины  $W_{\max}$  составили  $1292,0 \pm 27,6$  кГм/мин и  $1296,0 \pm 27,3$  кГм/мин соответственно и практически не различались, однако реактивность функциональных систем выше у футболистов (рис. 1А). У них же зарегистрирован больший, чем у представителей других специализаций, показатель усиления потребления кислорода относительно уровня покоя  $1595,0 \pm 109,2$  %, тогда как у пловцов он составил  $1109,8 \pm 97,1$  %, а у легкоатлетов –  $1058,4 \pm 109,9$  %.

Особо следует отметить, что при равной мощности предельной нагрузки у легкоатлетов достижение оптимальной величины легочной вентиляции осуществлялось путем неэффективного соотношения таких параметров внешнего дыхания, как частота и объем, то есть за счёт большего прироста частоты дыхания и меньшего увеличения дыхательного объема.

В то же время из числа представителей трех специализаций у пловцов соотношение объемно-временных параметров выглядит наиболее предпочтительным – обеспечение потребности в повышенной легочной вентиляции осуществляется за счет большего прироста дыхательного объема по отношению к частоте дыхания (рис. 1А).

Степень утилизации резервов вентиляционной функции при максимальной нагрузке наибольшей оказалась у бегунов. Легочная вентиляция при  $W_{\max}$  у них составила в среднем  $84,5 \pm 4,1$  % от  $MMV$ , а дыхательный объем находился на уровне  $43,9 \pm 1,5$  % от  $VC$ , ( $p < 0,01$ ). У футболистов данные соотношения были равны  $69,2 \pm 3,4$  % и  $36,9 \pm 1,5$  %, а у пловцов –  $50,5 \pm 3,1$  % и  $37,3 \pm 1,5$  % соответственно.

Возможно, меньшая реализация собственного морфофункционального потенциала у пловцов определяется условиями выполнения привычной мышечной работы. Затруднение легочной вентиляции при большом гидростатическом давлении на грудную клетку в водной среде неизбежно приводит к повышению показателей эффективности и экономичности газообмена [6, 8]. Такая ситуация и отражается в величинах обозначенных показателей у пловцов, которые, вероятно, и демонстрируют определённый стереотип вегетативной реакции.

На рисунке 1Б, отражающем динамику срочного восстановления показателей, можно видеть, что пловцы в большей степени сохраняют уси-

ленное и эффективное (по соотношению  $V_t$  и  $f_b$ ) функционирование систем вентиляции и кровообращения, чем спортсмены других специализаций. Вероятно, это связано с более значительными истощением энергоресурсов и сдвигами в гомеостазе у пловцов, демонстрирующих, как показано ранее, и большую мощность предельной нагрузки, и более значительную реактивность физиологических систем.

Что касается срочного восстановления у футболистов и легкоатлетов, то при практически равных показателях  $f_b V_1 / f_b$  покоя у футболистов выше значения параметров  $V_t V_1 / V_t$  покоя,  $VE V_1 / VE$  покоя,  $VO_2 V_1 / VO_2$  покоя, а у легкоатлетов –  $f_h V_1 / f_h$  покоя. Можно предположить, что сравнительно одинаковая с легкоатлетами предельная мощность физической нагрузки, у футболистов вызывает большее напряжение системы вентиляции и более эффективную её производительность по устранению сдвигов газового гомеостаза после работы максимальной мощности, а у легкоатлетов в наибольшей мере сохраняется активность системы циркуляции (рис. 1Б).

Течение отставленного восстановления у представителей специализации плавание характеризуется достоверно большей скоростью возвращения параметров практически к исходному уровню покоя и лучшей согласованностью работы систем вегетативного обеспечения. В то же время у футболистов при лучшем проценте возвращения показателей к исходному уровню наблюдается рассогласование в механизмах регуляции внешнего дыхания, поскольку обеспечение легочной вентиляции стало осуществляться за счет частоты дыхания, а не дыхательного объема (рис. 1В). Медленнее всех изучаемые параметры возвращались к исходному уровню к 5-й минуте восстановления у бегунов, при этом практически по всем позициям статистически достоверно по отношению как к футболистам, так и к пловцам.

Сравнительный анализ показателей экономизации кровообращения и внешнего дыхания у представителей различных спортивных специализаций позволил установить, что величины частоты сердечных сокращений в покое у спортсменов разных специализации достоверно не различаются (рис. 2). В то же время по параметру частоты дыхания предпочтительнее выглядят пловцы, а по величине дыхательного объема – бегуны. Однако сравнение коэффициента соотношения объемно-временных параметров паттерна дыхания ( $V_t / f_b$ ) показало, что он больше у плов-

цов ( $51,1 \pm 7,3$  у.е.), несколько меньше у бегунов ( $48,0 \pm 6,2$  у.е.) и на самом низком уровне – у футболистов ( $36,3 \pm 4,7$  у.е.). Можно предположить, что это в полной мере отражает более эффективную и экономичную производительность внеш-

него дыхания и газообмена у пловцов в состоянии покоя по отношению к представителям лёгкой атлетики и футбола (рис. 2).

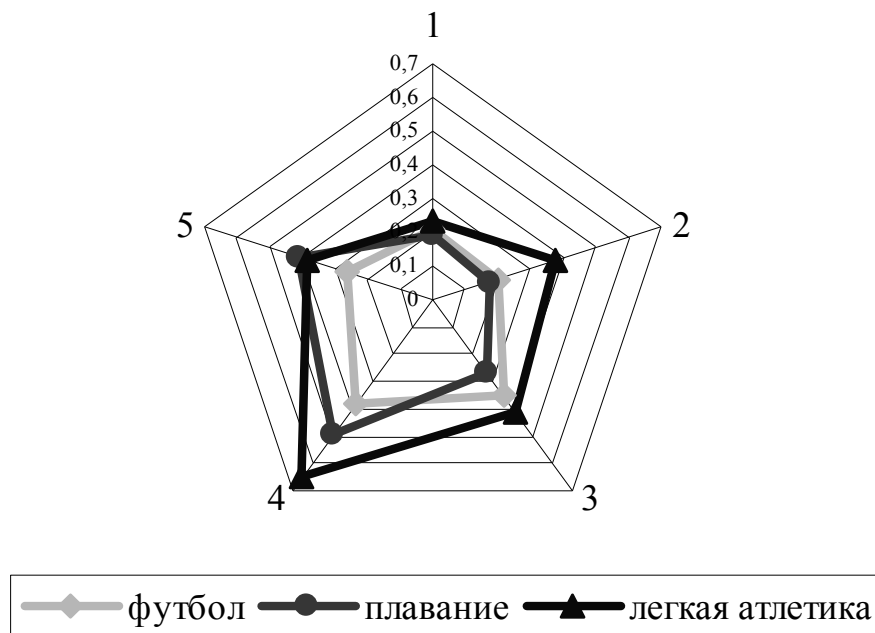


Рис. 2. Функциональная экономичность и эффективность у спортсменов различной специализации в условиях мышечного покоя (нормализованные величины): 1 –  $f_{h_{\text{покоя}}}$ ; 2 –  $VE_{\text{покоя}}$ ; 3 –  $f_{b_{\text{покоя}}}$ ; 4 –  $V_{T_{\text{покоя}}}$ ; 5 –  $V_{T/fb_{\text{покоя}}}$ .

Экономичность и эффективность функционирования кислородтранспортной системы оценивалась по показателям эффективности вегетативного обеспечения – кислородному пульсу ( $VO_2/fh$ , мл/уд/мин), коэффициенту использования кислорода из вдыхаемого воздуха ( $VO_2/VE$ , мл/л/мин), кислородному эффекту дыхательного цикла ( $VO_2/fb$ , мл/цикл/мин), ватт-пульсу ( $W/fh$ , кГм/уд/мин) и коэффициенту соотношения дыхательного объема к частоте дыхания ( $V_{T/fb}$ , у.е.).

На рисунке 3 можно видеть, что из трёх изучаемых специализаций при стандартной нагрузке наиболее предпочтительно выглядят параметры экономичности у пловцов, затем у легкоатлетов и, в значительно меньшей степени, у футболистов. Кроме того, у пловцов достоверно выше, чем у футболистов и легкоатлетов, величина

показателя экономичности вегетативного обеспечения мышечной работы – ватт-пульса:  $7,2 \pm 0,5$ ;  $3,8 \pm 0,2$ ;  $3,6 \pm 0,1$  кГм/уд/мин соответственно.

При выполнении кратковременной мышечной нагрузки максимальной мощности у пловцов экономичность аэробной производительности по большинству показателей выше, чем у футболистов и бегунов (рис. 3). И лишь величина  $VO_{2max}/VE_{max}$  у пловцов практически на одном уровне с футболистами. В свою очередь, у футболистов экономичнее вентиляторный компонент кислородного обеспечения работы, а у бегунов – циркуляторный (рис. 3). Экономичность вегетативного обеспечения предельной мышечной работы по показателю ватт-пульса у пловцов составила  $9,2 \pm 0,5$  кГм/уд/мин, у футболистов –  $7,1 \pm 0,2$  кГм/уд/мин, у легкоатлетов –  $6,9 \pm 0,2$  кГм/уд/мин, ( $p < 0,01$ ).

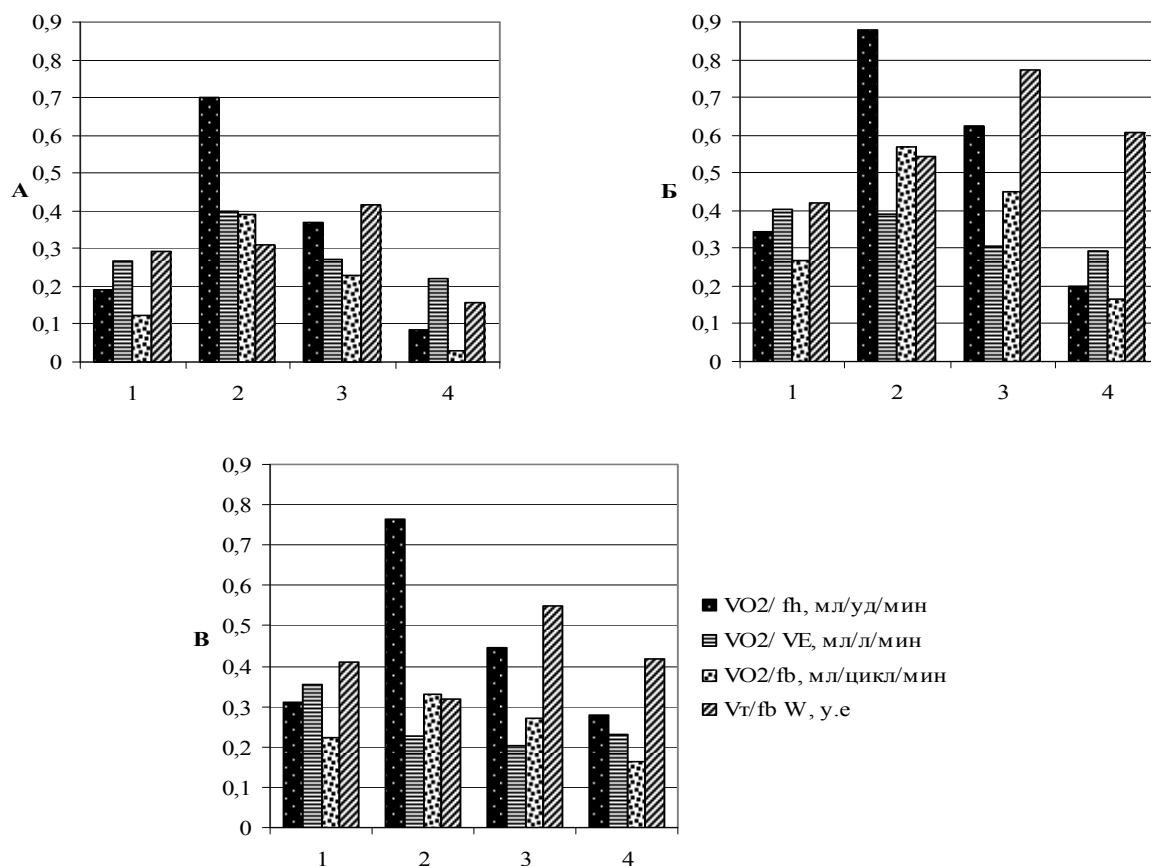


Рис. 3. Функциональная экономизация спортсменов разной специализации (нормализованные величины): А – футбол; Б – плавание; В – легкая атлетика; 1 – стандартная дозированная нагрузка; 2 – нагрузка максимальной мощности; 3 – фаза срочного восстановления; 4 – фаза отставленного восстановления.

Кроме того, у пловцов выявлена большая величина коэффициента  $V_t/fb$ , который у них составил  $64,4 \pm 4,2$  у.е, тогда как у бегунов –  $41,9 \pm 2,4$  у.е. и у футболистов –  $40,8 \pm 2,2$  у.е ( $p < 0,01$ ). Весьма вероятно, что это обстоятельство является следствием специфики такого вида спорта, как плавание, поскольку в условиях водной среды дыхание у человека характеризуется увеличением дыхательного объема при снижении частоты дыхательных циклов, что обеспечивает уменьшение скоростей дыхательных потоков, а тем самым и снижение энергетической стоимости дыхательных движений [4, 6, 8].

Анализ показателей функциональной экономизации в фазу срочного и отставленного восстановления показал, что большинство параметров экономичности – эффективности функций сердечно-сосудистой и дыхательной систем были наилучшими у пловцов. Только по величине кислородного пульса на пятой минуте восстановления они уступали бегунам, функциональ-

ная экономизация которых имела преимущество над футболистами (рис. 3).

Следует отметить, что футболисты значительно уступали другим специализациям в экономичности процессов восстановления. У них выявлены меньшие величины кислородного пульса, кислородного эффекта дыхательного цикла и соотношения объемно-временных параметров внешнего дыхания. Коэффициент  $V_t/fb$  у футболистов составил  $51,7 \pm 3,0$  у.е (1 мин),  $25,7 \pm 2,0$  у.е. (5 мин), по сравнению с величиной этого показателя у бегунов ( $65,0 \pm 7,1$  у.е. и  $51,9 \pm 5,6$  у.е. соответственно) и особенно у пловцов –  $87,1 \pm 6,5$  у.е. и  $70,8 \pm 9,3$  у.е. соответственно.

#### Заключение

Таким образом, полученные в исследовании результаты показывают вполне определенную зависимость параметров функциональной мобилизации и экономизации от характера привычной мышечной деятельности спортсменов. При этом такая зависимость неоднозначна в условиях оперативного покоя, при выполнении физической

нагрузки и в период восстановления после нее. Обнаруживаемые различия, на наш взгляд, определяются как спецификой привычной мышечной деятельности и условиями ее осуществления, к которой у спортсменов формируется устойчивая адаптация, так и характером, интенсивностью и объемом тренирующих воздействий.

Вероятно, выявленные особенности в функциональной мобилизации и экономизации у спортсменов разной специализации можно объяснить формированием специфической координации физиологических механизмов в процессе многолетней адаптации к специфической мышечной деятельности.

### Библиографический список

1. Верхошанский, Ю.В. Основы специальной физической подготовки спортсменов [Текст] / Ю.В. Верхошанский. – М. : Физкультура и спорт, 1988. – 331 с.
2. Зациорский, В.М. Спортивная метрология [Текст] / В.М. Зациорский. – М. : Физкультура и спорт, 1982. – 256 с.
3. Кучкин, С.Н. Физиологические методы исследования в спорте [Текст] / С.Н. Кучкин, В.М. Ченегин. – Волгоград, 1981. – 84 с.
4. Майлс, С. Подводная медицина [Текст] / С. Майлс. – М. : Медицина, 1971. – 328 с.
5. Мищенко, В.С. Функциональные возможности спортсменов [Текст] / В.С. Мищенко. – Киев : Здоровья, 1990. – 200 с.
6. Солопов, И.Н. Реакция функциональных систем организма на произвольное урежение дыхания при плавании [Текст] / И.Н. Солопов // Тез. докл. Куйбышевской обл. конф. – Куйбышев, 1988. – С. 112–113
7. Солопов, И.Н. Функциональная подготовленность и функциональная подготовка спортсменов [Текст] / И.Н. Солопов // Проблемы оптимизации функциональной подготовленности спортсменов. – Вып. 3. – Волгоград, 2007. – С. 4–12.
8. Солопов, И.Н. Физиология спортивного плавания [Текст] : учебное пособие / И.Н. Солопов, С.А. Бакулин. – Волгоград, 1996. – 84 с.
9. Солопов, И.Н., Шамардин, А.И. Функциональная подготовка спортсменов [Текст] / И.Н. Солопов, А.И. Шамардин. – Волгоград : ПринТерра-Дизайн, 2003. – 263 с.
10. Фомин, В.С. Физиологические основы управления подготовкой высококвалифицированных спортсменов [Текст] : учебное пособие / В.С. Фомин. – М. : МОГИФК, 1984. – 64 с.