

## МОДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЫШЕЧНОЙ И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМ В РАЗЛИЧНЫХ СОСТОЯНИЯХ ПРИ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У СПОРТСМЕНОВ

*Виявлено, що виконання фізичного навантаження великої потужності на велоергометрі до відмови спортсменами-велосипедистами високої кваліфікації (15 чоловіків) підсилює активність і взаємозв'язки м'язової й серцево-судинної систем. У стані спокою й при стомленні проявляється лінійний характер взаємозв'язків двох систем, при впрацюванні й у стійкому стані – експонентний. Розвиток компенсованого стомлення, не міняючи провідної ролі чотириглавої, двоголової й ікроножної м'язів нижніх кінцівок у реалізації зусилля, змінює їхні взаємозв'язки й парціальну роль на різних ділянках циклічного руху, підвищує їхню електричну активність. При розвитку некомпенсованого стомлення знижується електрична активність і порушується лінійний характер у взаємозв'язках м'язової і серцево-судинної систем.*

**Ключові слова:** активність, взаємозв'язки, м'язи, серцево-судинна, система, спортсмени.

**Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема взаємозв'язей систем організму в різних станах при м'язовій діяльності є однією з слабо вивчених проблем системної фізіології. Незважаючи на те, що фізіологічна характеристика різних станів при м'язовій діяльності дана в роботах багатьох авторів [2, 3, 5, і ін. др.], питання інтеграції систем організму, специфіки їх взаємодії в процесі адаптації до фізичних навантажень розглянуті в літературі недостатньо [4, 5, 6].

К актуальним і відносно слабо розглянутим питанням системної фізіології належать моторно-висцеральні взаємодії, від яких, в значній мірі, залежить рівень, оцінка і прогнозування функціональних резервів організму людини.

Якщо функціональні резерви окремих систем організму при занятті спортом вивчені достатньо повно [2, 3, 7], то питання їх міжсистемних взаємозв'язей в умовах напруженої м'язової діяльності у спортсменів розглянуті недостатньо [4, 5, 6].

Недостатність вивченості функціональних резервів організму людини з позицій взаємодії м'язової (МС) і серцево-судинної (ССС) систем визначає актуальність поставлених питань.

**Цілью нинішньої роботи** є дослідження активності і взаємозв'язей м'язової і серцево-судинної систем в різних станах при м'язовій діяльності у спортсменів: в спокої, в процесі виконання, стійкого стану, втоми.

**Методи і організація досліджень.** В якості тестуючої навантаження спортсмени-велосипедисти високої кваліфікації (15 чоловіків) виконували роботу на велоергометрі потужністю 300 Вт до вимушеного відмови. Така навантаження за ступенем фізіологічних зсувів належить до роботи великої потужності, при якій організм проходить через різні фізіологічні стани: виконання, стійкого стану, втоми. Перед навантаженням виконувалося розминувальне педалювання (5 хв) потужністю 50 Вт.

До і в процесі всього тестування через кожні 2 хв реєструвалася частота серцевих скорочень (ЧСС) і екстремальні значення сигналу електроміограми (ЕМГ) з ікроножною (ІМ), довгою малоберцевою (ДММ) м'язом гомі, двугловою (ДМБ) і прямою голівкою чотириглавою (ЧМБ) м'язом стегна. В окремі періоди роботи (при виконанні, в стійкому стану, при втомі) реєструвалася середня амплітуда (в мкВ) і частота (в Гц) ЕМГ м'язів нижніх кінцівок, зусилля в циклі велоергометрії (F).

Для обробки експериментального матеріалу використовувалися методи скользящего сглаживания, кореляційного і регресійного аналізу [1].

**Результати досліджень.** В результаті проведених досліджень виявлено, що при переході від стану спокою до м'язової діяльності середньої (50 Вт) і великої (300 Вт) потужності посилюється діяльність МС і ССС пропорційно інтенсивності виконуваної фізичної навантаження (рис. 1). Визначені відмінності в ступені зсувів досліджуваних показників проявляються в різних періодах однотонної роботи в 300 Вт.

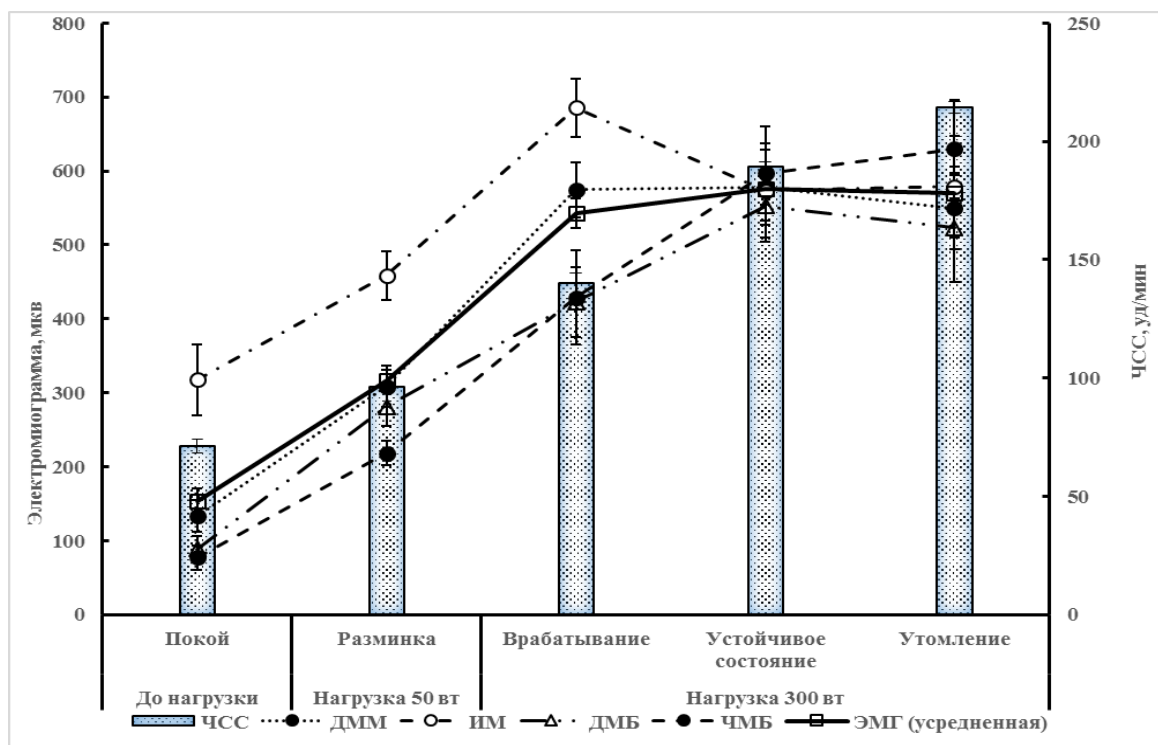


Рис. 1. Электрическая активность мышц (в мкв) и ЧСС (уд/мин) в различных состояниях при мышечной деятельности у велосипедистов

Анализ изменений ЭМГ и ЧСС при нагрузке показывает, что в процессе вработывания наблюдается параллелизм в повышении активности исследуемых систем, отражающий определенную взаимосвязь МС и ССС. Однако сопряженность в их изменениях проявляется при вработывании и в устойчивом состоянии, после чего показатели изменяются разнонаправленно.

Так, кривые, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что после короткого периода стабилизации взаимосвязь ЧСС с усредненной по всем мышцам ЭМГ становится отрицательной.

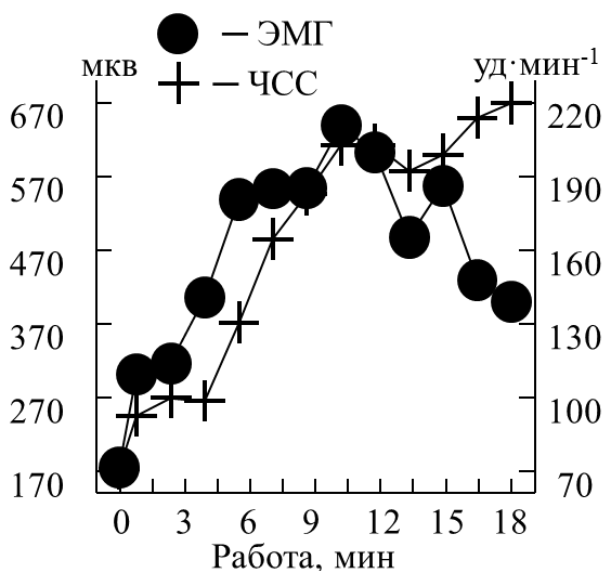


Рис. 2. Сдвиги ЭМГ и ЧСС мышц нижних конечностей при выполнении работы на велоэргометре мощностью 300 Вт (усредненные показатели)

Характер кривых на рис. 2 свидетельствует о том, что, как ЧСС, так и ЭМГ изменяются в динамике выполнения нагрузки в 300 Вт нелинейно, проявляя различную взаимосвязь двух систем по ходу тестирования.

Дифференцированный анализ взаимосвязей ССС и МС в различные периоды тестирующей нагрузки позволил выявить линейные зависимости ЧСС от активности отдельных мышц: высокие – в покое и при утомлении, и невысокие или средние – при вработывании и в устойчивом состоянии (табл. 1).

Таблица 1

**Парные корреляционные взаимосвязи  
отдельных мышц нижних конечностей и ЧСС  
в различных состояниях при мышечной деятельности.**

Состояния	Показатели	ЧСС		ДМБ		ЧММ		ИМ	
		г	Р	г	Р	г	Р	г	Р
Покой	ДММ	0,99	<0,01	0,665	<0,05	0,800	<0,01	0,914	<0,01
	ИМ	0,936	<0,01	0,308	>0,05	0,445	>0,05	-	-
	ЧМБ	0,704	<0,01	0,837	<0,01	-	-	-	-
Вработывание	ДМБ	0,449	<0,05	-	-	0,037	>0,05	-	-
	ЧМБ	0,883	<0,01	-0,475	<0,05	-	-	0,659	<0,01
	ИМ	-0,05	>0,05	-0,880	<0,01	-	-	-	-
Устойчивое состояние	ДМБ	0,526	<0,05	-	-	-0,967	<0,01	-0,77	<0,01
	ИМ	-0,124	>0,01	-	-	0,902	<0,01	-	-
	ДММ	-0,48	<0,05	-	-	-0,505	<0,05	-0,808	<0,01
Утомление	ИМ	-0,934	<0,01	0,852	<0,01	0,945	<0,01	-	-
	ЧМБ	-0,800	<0,01	0,956	<0,01	-	-	-	-
	ДМБ	-0,720	<0,01	-	-	-	-	-	-

Корреляционный анализ позволил разработать модели множественной регрессии, отражающие высокие зависимости ЧСС от взаимосвязанной активности нескольких мышц нижних конечностей в покое, при вработывании, в устойчивом состоянии, при утомлении (табл. 2).

Таблица 2

**Модели зависимости ЧСС от электрической активности мышц нижних конечностей  
в различных состояниях при мышечной деятельности  
(исходные показатели обработаны методом скользящего сглаживания)**

Детерминирующие показатели	Состояния	d	Уравнения (y)
ДММ $x_1$ ,	Покой	1,0	$63,25+0,08x_1-0,034x_4-0,0005x_2\pm 0,11$
ИМ ( $x_2$ ),	Вработывание	1,0	$88,8+0,042x_3+0,27x_4-0,18x_2\pm 0,003$
ДМБ $x_3$ ,	Устойчивое состояние	1,0	$261,2-0,08x_1-0,0387x_2-0,0075x_3$
ЧМБ ( $x_4$ )	Утомление	1,0	$201,5+0,08x_4-0,048x_2-0,013x_3$

Представленные в табл. 2 модели, свидетельствуют о том, что степень взаимодействующего влияния мышц на ЧСС выше, чем их отдельное влияние, или сумма их отдельных воздействий, что проявляется в высоких коэффициентах детерминации (d).

Меняющееся долевое участие и соотношение мышц нижних конечностей по ходу нагрузки, обуславливает, как различный, так и сходный характер изменений ЧСС в различных состояниях.

Так, выявлено, что изменчивость ЧСС от 64 до 76 ударов/мин в состоянии покоя зависит от активности и взаимодействия ДММ, ИМ, ЧМБ, среди которых наибольший влияние на активность ССС оказывают ДММ и ЧМБ. Если эти взаимосвязи в покое и при утомлении линейны, то при вработывании и в устойчивом состоянии являются экспоненциальными.

Экспоненциальный характер изменений ЧСС во время вработывания обусловлен, в первую очередь, активностью ЧМБ (рис. 3).

Графическая и математическая модели, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что ЧМБ является одной из ведущих мышц в процессе детерминации активности ССС (d=0,998, p<0,001).

Экспоненциальный характер кривой свидетельствует о том, что в начальный период вработывания, при относительно небольших величинах ЭМГ зависимость ЧСС от активности ЧМБ является невысокой.

Линейный участок, отражающий высокую взаимосвязь двух показателей, находится в диапазоне от 500 до 630 мкв мышечной активности.

ИМ и ДМБ также входят в состав математических моделей зависимости ЧСС от активности мышц в процессе вработывания (табл. 2). Слабо взаимодействуя с ЧСС, между собой и с другими мышцами при парном анализе, они проявляют сильные взаимосвязи между собой и с ЧМБ при совместной активности. В результате проявляется сильная функциональная зависимость ЧСС от их совокупного и взаимодействующего влияния ( $d=1,0$ ).

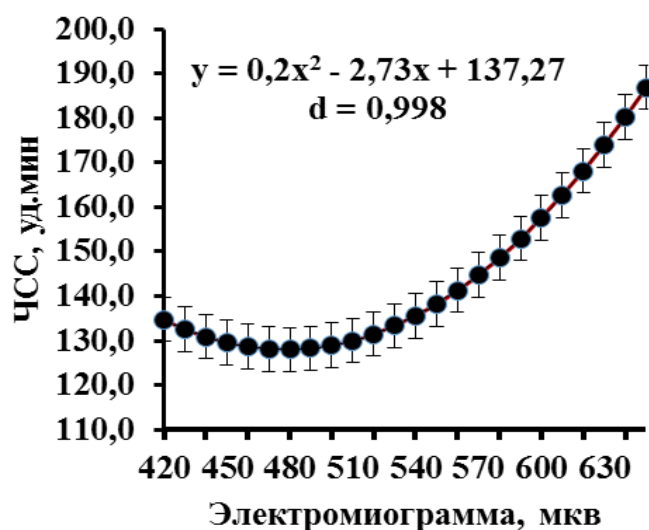


Рис. 3. Изменения ЧСС в зависимости от изменений ЭМГ четырехглавой мышцы бедра в процессе вработывания

В устойчивом состоянии ЧСС проявляет экспоненциальную зависимость от совокупного влияния ДММ, ДМБ и ИМ, взаимодействие которых детерминирует повышение реактивности ССС от МС.

Экспоненциальный характер изменений ЧСС при росте мышечной активности свидетельствует об усилении интеграции исследуемых систем во второй половине периода вработывания и к концу устойчивого состояния.

Так, расчеты с помощью регрессионных уравнений свидетельствуют о том, что, если увеличение амплитуды ЭМГ ЧМБ на 40 % в покое детерминирует рост ЧСС на  $5,8 \pm 0,3$  уд/мин, то в конце вработывания – на  $28,1 \pm 2,7$  уд/мин, что отражает повышение реактивности ССС на электрическую активность ЧМБ, усиление их взаимосвязей.

К концу устойчивого состояния и при утомлении характер взаимосвязей приобретает обратную направленность: с уменьшением электрической активности исследуемых мышц перед отказом от работы, в стадии декомпенсированного утомления ЧСС продолжает увеличиваться. При этом получены сильные внутрисистемные взаимосвязи мышц.

Сильные отрицательные взаимосвязи ЧСС с ЭМГ мышц нижних конечностей отражают уменьшение зависимости ЧСС от их активности, так как повышение ЧСС происходит на фоне снижения амплитуды биопотенциалов.

Детальный анализ электрической активности мышц в начале развития процесса утомления (компенсированная фаза) и в конце его (декомпенсированная фаза) позволил выявить преимущественно повышение ЭМГ-активности в начале данного периода и существенное снижение амплитуды всех ведущих мышц перед отказом от работы непосредственно (табл. 3).

**Заключение.** Результаты проведенных исследований показали, что активность и взаимосвязи МС и ССС зависят от условий функционирования (покой, работа различной мощности) и периода работы.

Переход от состояния покоя к работе, усиливая деятельность мышечной и ССС, синхронизирует их активность и степень взаимосвязей, изменяет характер взаимодействия: от линейного – в покое и при утомлении, к экспоненциальному – при вработывании и устойчивом состоянии.

Экспоненциальный характер зависимости ЧСС от ЭМГ-активности при вработывании и в устойчивом состоянии характеризует усиление степени интеграции исследуемых систем к концу каждого из этих периодов.

Таблица 3

**Электрическая активность мышц нижних конечностей в стадии компенсированного и декомпенсированного утомления (мкв).**

ЭМГ	Устойчивое	Утомление	
	состояние	компенсированное	декомпенсированное
	X ± m	X ± m	X ± m
$\bar{X}_{\Sigma \text{ЭМГ}}$	575,2 20,7	764,4 39,2	425,2 47
ДММ	578,4 51,1	690,8 104,1	399,5 66,4
ДМБ	573,2 63,9	896,2 57	267,7 45,5
ИМ	552,6 48,8	763,4 57,6	354,8 80,0
ЧМБ	596,7 64,1	753,2 37,7	526,3 103,8

Анализ показал, что в каждом состоянии имеются как сходные, так и специфические особенности функционирования систем, и их взаимосвязей.

К сходным особенностям следует отнести комплексный характер детерминации активности ССС исследуемыми мышцами нижних конечностей, высокую зависимость ЧСС от активности четырехглавой и икроножной мышц.

К специфическим – различный состав компонентов моделей и их различную парциальную роль в детерминации значений ЧСС, различный характер, степень и форма их комплексного взаимодействия в каждом состоянии: линейная в покое и при утомлении, и экспоненциальная – при вработывании и в устойчивом состоянии.

В каждом периоде работы в функциональной системе формируются ведущие компоненты и оптимальные взаимосвязи, влияющие на ЧСС: в покое наиболее важными детерминантами ЧСС являются активность и взаимосвязи ЧМБ, ИМ и ДММ, при вработывании – ЧМБ и ИМ, ДМБ, в устойчивом состоянии – ИМ, ДММ и ДМБ, при утомлении – ЧМБ, ДМБ и ИМ.

Результаты свидетельствуют о том, что определенное соотношение взаимодействующих компонентов комплекса изменяет силу воздействия каждого из них, не имеющую места при парных взаимосвязях. При совместном функционировании степень внутримышечных взаимосвязей возрастает, усиливается влияние МС на активность ССС.

Выполнение одной и той же работы, детерминируя разную активность мышц в начале, в середине и в конце нагрузки, обнаруживает преимущественно линейный характер межмышечного взаимодействия.

Анализ межмышечных взаимосвязей в процессе управления одиночным циклическим движением в разных состояниях отражает преимущественно жесткий, программный характер регулирования в двигательной функциональной системе, в которой взаимосвязи ИМ, ЧМБ и ДМБ являются ведущими, определяющими биодинамическую структуру движения.

Развитие компенсированного утомления, не меняя внешней структуры движения и ведущей роли исследуемых мышц в его реализации, повышает их электрическую активность, изменяет их взаимосвязи и парциальную роль на различных участках циклического движения. При декомпенсированном утомлении снижается электрическая активность и нарушается координация во взаимосвязях ведущих мышц правой и левой конечности.

Нарушение взаимосвязей ЧСС с ЭМГ исследуемых мышц при развитии утомления, когда ЧСС растет, а ЭМГ снижается, можно объяснить, с одной стороны, компенсаторным повышением активности других мышц [4], а с другой – воздействием гуморальных факторов активизации сердечной деятельности, концентрация которых при тяжелой мышечной деятельности увеличивается экспоненциально [5].

#### Использованные источники

1. Боровиков В.П. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows (основы теории и интенсивная практика на компьютере) / В.П. Боровиков, Г.И. Ивченко. – 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 368 с.
2. Давиденко Д.Н. Мобилизация физиологических резервов при напряженной мышечной деятельности / Давиденко Д.Н., Мозжухин А.С., Телегин В.В. // Физиология человека. – 1987. – Т.13. – №1. – С. 127-132.

3. Мищенко В.С. Функциональные возможности спортсменов / В.С. Мищенко. – К. : Здоров'я, 1990. – 200 с.
4. Приймаков А.А. Активность мышц и межмышечные взаимодействия при управлении программными движениями в условиях напряженной мышечной деятельности у спортсменов / А.А. Приймаков, В.Д. Моногаров // Наука в олимпийском спорте. – 2000. – Спец. Выпуск. – С. 47 – 55.
5. Приймаков А.А. Взаимосвязи соматической и висцеральных систем при напряженной мышечной деятельности у спортсменов / А.А. Приймаков // IX Международная научно-практическая конференция "Адаптаційні можливості дітей та молоді": 13-15 вересня 2012 р. / Південноукраїнський державний педагогічний університет ім. К.Д. Ушинського, 2012. Одеса. – С. 148-153.
6. Фельдман Г.Л. Разработка алгоритмов оценки взаимодействия физиологических систем при эмоциональной нагрузке / Фельдман Г.Л., Лебединская Е.Н., Воронова Н.В. // Тезисы докладов XI международной конференции по нейрокибернетике, Ростов-на-Дону. 1995 г, стр. 261.
7. Tucker W.S., Bruenger A.J., Doster C.M., Hoffmeyer D.R. Scapular muscle activity in overhead and nonoverhead athletes during closed chain exercises // Clinical Journal of Sport Medicine. 2011, vol. 21(5), pp. 405-410.

*Pryimakov A., Archipov A., Eyder P.*

#### THE MODEL SPECIFICATIONS RELATIONSHIPS MUSCULAR AND CARDIOVASCULAR SYSTEMS IN THE VARIOUS CONDITION IN THE MUSCLE ACTIVITY OF THE ATHLETES

*We study the activity and the relationship of muscle (MS) and cardiovascular system (CVS) in athletes, cyclists qualifications (15 men) during exercise of moderate (50 v) and high (300 v – to failure) power on the veloergometer. Before and during the test were recorded heart rate (HR) and the electrical activity of the gastrocnemius muscle, the long low tibia leg muscles, biceps femoris, and head straight quadriceps s. In various states in the muscle activity were recorded as a separate force that veloergometry cycle (F). It was found that an increase in physical activity enhances the activity and the relationship MS and CVS. At rest and fatigue manifests linear relationships MS and CVS at go to work in steady state – exponential. Development compensated fatigue increases electrical activity, and changes the relationship quadriceps, biceps femoris and the gastrocnemius muscle in the implementation efforts in a cyclic motion. The development of decompensated fatigue leads to a decrease in the electrical activity of the muscles of the lower extremities and violates the linear relationships in the MS and the CVS. In each period cyclic load functional system formed by the leading components and the optimal relationship, affecting the heart rate: alone – activity and relationship quadriceps, calf muscles and a long low tibia calf muscles when at go to work – quadriceps, calf muscles and a long low tibia calf muscles, in a steady state – calf length small tibia calf muscles and biceps hip, with fatigue – quadriceps, biceps femoris, and the calf muscle. Developed multiple regression models, indicating that the degree of interaction influence on the muscle changes in heart rate higher than their separate effect, or the sum of their individual effects, and that the quadriceps muscle is one of the major muscles in the process of determination of cardiovascular activity vascular system.*

**Key words:** activity, relationship, muscle, cardiovascular, system, athletes.

*Стаття надійшла до редакції 15.09.2015 р.*