

8. Попадюха Ю.А. Комп'ютеризована система Multi-Joint System MJS 403 Plus у превентивній реабілітації пошкоджень і захворювань плечового суглоба / Ю.А.Попадюха, М.О.Демиденко // Молодіжний науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія : Фізичне виховання і спорт. Випуск 23, Луцьк, 2016. - С. 104 - 111.
9. **Попадюха Ю.А.** Современные СPM-тренажеры для восстановления двигательных функций кисти и пальцев руки / Ю.А.Попадюха // «Современные здоровьесберегающие технологии». Научно-практический журнал № 4, 2017. - С. 364 - 376.
10. <http://qalmedical.com/s3-shoulder-cpm-device/> - Пристрій СPM Shoulder S3.
11. [https://www.teampostop.net/products\\_services/t-rex-shoulder-unit-total-range-exerciser/](https://www.teampostop.net/products_services/t-rex-shoulder-unit-total-range-exerciser/) - Система T-REX реабілітації плеча.
12. <http://www.delo.si/gospodarstvo/podjetja/slovenski-podjetji-do-50-000-evropskih-evrov.html>. - Реабілітаційна система Bimeo PRO.
13. <http://www.roboticare.nl/bimeo-pro/> - Система Bimeo PRO.
14. <https://www.omniagmd.com/product/bimeo-pro-0>. - Реабілітаційна система для верхніх кінцівок Bimeo PRO.
15. <http://www.beka.ru/ru/katalog/vosstanovlenie-funktsiy-verkhnikh-konechnostey/myro/> - Пристрій для інтерактивної і когнітивної реабілітації верхніх кінцівок Myro.
16. <https://www.bioniklabs.com/products/inmotion-arm> - Комп'ютерна система для відновлення рук InMotion ARM.
17. <https://www.rehatechnology.com/en/products/armotion> - Інноваційний роботизований комплекс Armotion.

**Приймаков А.А.<sup>1,2</sup>, Ейдер Ежи<sup>1</sup>, Коленков А.В.<sup>3</sup>**

**<sup>1</sup>Щецинський університет, Щецин, Польща**

**<sup>2</sup>Национальный педагогический университет имени М.П. Драгоманова, Киев, Украина**

**<sup>3</sup>Мариупольський гуманітарний університет, Мариуполь, Украина**

#### **СОПРЯЖЕННАЯ АКТИВНОСТЬ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЦИКЛИЧЕСКИМ ДВИЖЕНИЕМ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭРГОМЕТРИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ СПОРТСМЕНОВ**

*В работе изучены закономерности сопряженной мышечной активности при управлении циклическим движением в различных условиях функционирования организма спортсменов-велосипедистов. Выявлено, что управление циклическими движениями характеризуется жестким, программным механизмом регулирования. Явное утомление нарушает генетически обусловленные реципрокные взаимоотношения мышц-антагонистов при управлении циклическим движением на велоэргометре. Отмечена важная роль межмышечных перестроек в компенсации утомления при мышечной деятельности, в поддержании высокого уровня работоспособности. Выявлены ведущие показатели и критерии утомления во взаимосвязях мышц у спортсменов, разработаны математические модели, имеющие оценочную и прогностическую значимость.*

**Ключевые слова:** *мышцы, взаимосвязи, циклическая работа, управление движением, утомление, математические модели.*

**Приймаков О.О., Ейдер Ежи, Коленков О.В.** *Сполучена активність м'язів нижніх кінцівок при управлінні циклічним рухом в різних режимах ергометричного тестування спортсменів. Вивчено закономірності м'язової активності і міжм'язових взаємозв'язків при управлінні повторюваним циклічним рухом в різних умовах функціонування організму спортсменів-велосипедистів. Виявлено, що управління циклічними рухами характеризується жорстким, програмним механізмом регулювання. Явна втома порушує генетично обумовлені реципрокні взаємозв'язки м'язів-антагоністів при управлінні циклічним рухом на велоергометрі. Відзначено важливу роль міжм'язових перебудов в компенсації втоми при напруженій м'язовій діяльності, в підтриманні високого рівня працездатності. Виявлено провідні показники і критерії втоми у взаємозв'язках м'язів у спортсменів, розроблені математичні моделі, що мають оцінну і прогностичну значимість.*

**Ключові слова:** *м'язи, взаємозв'язку, циклічна робота, управління рухом, стомлення, математичні моделі.*

**Pryimakov O.O., Ejder E., Kolenkov A.V.** *United activity of muscles of lower limbs in controlling cyclic motion in various regimes of ergometric testing of athletes. The patterns of muscle interconnections in the control of repeated cyclic movement in various conditions of the functioning of the organism of athletes who specialize in bicycle sport are studied. It was revealed that cyclic movement control is characterized by a rigid programmable control mechanism: in the process of increasing the capacity of the exercise and in different states in muscle activity, the output parameters of the central power regulation program are scaled. In this case, there is a relative stability of the time of the performed movement and the duration of the electrical activity of the muscles. The most interconnected with veloergometry are the quadriceps muscles of the right and left thighs, the strength of the exercise performed and the efforts exerted on the pedal. When the physical load is exercised to failure, the degree of integration of the muscles of the lower limbs increases. The quadriceps and biceps muscles of the thigh and the calf muscles of the lower leg are the most important contributors to the effort. When the person is fatigue there is a redistribution of the share of muscle involvement and a change in muscle relationships. Explicit fatigue disrupts the reciprocal interactions of the antagonist muscles during cyclic movement on the veloergometer. The important role of reorganizations of muscular interrelations in compensation of fatigue at intense muscular activity, in maintenance of high level of working capacity is marked. Leading indicators and criteria of fatigue in the*

*interrelations of muscles in athletes have been identified, mathematical models have been developed that have an estimated and prognostic significance.*

**Key words:** *muscles, interrelations, cyclic work, movement control, fatigue, mathematical models.*

**Постановка и актуальность проблемы.** Основу управления движениями в спорте составляют врожденные и приобретенные механизмы регулирования, определяющие специфику кинематического рисунка движения, характер активности мышц и их вегетативного обеспечения в границах сформированной двигательной функциональной системы [1, 2, 7, 13].

Если координационная структура врожденных локомоций, базирующаяся на жестких программах регулирования, исследована достаточно глубоко, то многие вопросы управления движениями, приобретенных в онтогенезе, изучены недостаточно. В частности, слабо освещенными остаются вопросы сопряженной мышечной активности при управлении произвольными движениями.

Вариативный характер сопряженной мышечной активности при управлении движениями в экстремальных условиях спортивной деятельности определяется различными факторами: величиной и интенсивностью физической нагрузки, реактивными и инерционными силами, степенью развиваемого утомления [12] и подготовленностью спортсменов [6] уровневой структурой движения [1], и другими факторами.

Отличаясь у спортсменов разной степени подготовленности, изменяясь в процессе выполнения движения, активность мышц и межмышечные взаимосвязи отражают пластичность координационных перестроек управляющих нервных центров, срочные и долговременные адаптационные перестройки, и резервы системы управления движениями [3, 8, 14, 15].

В работах ряда авторов [3, 5, 14, 15, 17] отмечается, что резервы систем управления произвольными движениями связаны с мощностью механизмов координационных перестроек.

Однако оценка мощности этих резервов, устойчивости механизмов поддержания координационной структуры движений в экстремальных условиях спортивной деятельности является недостаточно разработанной [3, 5, 13, 16].

В частности, недостаточно изучены компенсаторные механизмы межмышечных перестроек при управлении движениями различной координационной структуры, при разных формах, типах и режимах мышечного сокращения, при выполнении движений в различных состояниях при мышечной деятельности - вработывании, устойчивом состоянии, развитии компенсированного и декомпенсированного утомления, при выполнении нагрузок различной мощности, отказе от работы и т.п.

Недостаточно освещена структура межмышечных взаимосвязей, их компенсаторные перестройки в различные фазы выполняемого движения, как и критерии утомления при управлении движениями различной координационной структуры в разных состояниях организма при мышечной деятельности [2, 9].

Изучение межмышечных взаимосвязей при управлении движениями в экстремальных условиях деятельности спортсменов, выявление компенсаторных межмышечных перестроек при изменении параметров нагрузки, выполнении движений в условиях нарастающего утомления и при отказе от работы необходимы для раскрытия механизмов управления движениями различного координационного состава в различных условиях, использования их для эффективного управления тренировочным процессом, поддержания высокой работоспособности, отдаления наступления утомления. Освещение их имеет большое теоретическое и практическое значение.

В связи с недостаточной освещенностью и актуальностью рассматриваемой проблемы **целью работы** является изучение структуры межмышечных взаимосвязей при управлении стереотипно повторяющимся движением в обычных и экстремальных условиях функционирования организма спортсменов.

**Организация и методы исследований.** Обследования были проведены в условиях лаборатории. В качестве **объекта исследований** было определено циклическое движение на велоэргометре, выполняемые спортсменами - велосипедистами, в качестве **предмета** - электрическая активность мышц нижних конечностей.

Активность и взаимосвязи мышц нижних конечностей изучались у велосипедистов в динамике мышечной работы на велоэргометре, выполняемой до вынужденного отказа. В процессе тестирования осуществлялась синхронная регистрация биоэлектрической активности четырехглавой (ЧМБ) и двуглавой (ДМБ) мышц бедра, икроножной (ИМ) и передней большеберцовой (ПБМ) мышц голени, усилий при велоэргометрии (максимальной [Fmax], взрывной (I) и ускоряющей (G) силы), мощности выполняемой работы (Wt).

Обследованы спортсмены разной квалификации, включая мастеров спорта международного класса и заслуженных мастеров спорта по велосипедному спорту.

**Результаты исследований.** В результате исследований выявлено, что, из всех регистрируемых показателей, амплитуда электромиограммы (ЭМГ) мышц нижних конечностей является наиболее изменчивым соматическим показателем, тесно коррелирующим с параметрами физической нагрузки (ФН): мощностью и усилиями, прилагаемыми на педаль.

Амплитуда ИМ и четырехглавых мышц нижних конечностей, проявляя высокие и близкие корреляционные взаимосвязи с мощностью ФН, в разной степени детерминирована ее интенсивностью - мощность ФН в большей мере определяла сдвиги амплитуды ЧМБ ( $\eta^2 = 0,692$ ,  $P < 0,01$ ) и в меньшей - ИМ ( $\eta^2 = 0,294$ ,  $P < 0,05$ ). Эти данные также свидетельствуют о том, что ЧМБ вносит наибольший парциальный вклад в развиваемое усилие.

Рост амплитуды ЭМГ мышц нижних конечностей в процессе увеличения мощности нагрузки сопровождается также удлинением электрической активности этих мышц, снижением частоты импульсации.

Увеличение усилия до максимума в одиночном цикле педалирования происходит на фоне растущей активности

ИМ, ЧМБ (лев), ДМ. ПБМ лишь наиболее активна при развитии усилия в начале цикла педалирования.

Нелинейный характер увеличения прилагаемых на педаль усилий ( $F_{\text{пед}}$ ) при пропорциональном росте электрической активности ЧМБ, ИМ, ДМБ в динамике возрастающей ФН косвенно свидетельствует о дополнительном включении неосновных мышц, перераспределении степени долевого их участия в реализации параметров нагрузки [2, 6, 8], об изменении парциальной роли отдельных мышц в проявляемых к концу тестирования усилиях.

К концу тестирования снижается участие ЧМБ левой ноги в проявляемых усилиях (коэффициент детерминации ( $d$ ) в начале тестирования равен  $-0,509$  ( $p < 0,05$ ), перед отказом от работы  $-0,093$ ) и компенсаторно усиливается вклад ИМ ( $d$  в начале тестирования  $-0,327$ , в конце  $-0,629$ ,  $P < 0,01$ ). ДМ проявляет относительно невысокую электрическую активность. Однако вклад ее в развиваемое усилие к концу тестирования остается стабильно высоким.

В целом же, ЧМБ вносит наибольший парциальный вклад в развиваемые усилия, мощность выполняемой нагрузки и, как показали наши исследования, детерминирует в большей степени активность висцеральных систем [7, 9].

Рост мощности, выполняемой ФН, характеризуется стабильностью кинематического рисунка движения (развития отдельных компонентов усилия во времени, их продолжительности, участия отдельных мышц в одиночном цикле педалирования на каждой ступени нагрузки, последовательности их включения).

Выполнение двух ФН мощностью 175 Вт и 225 Вт характеризуется незначительным изменением общего рисунка движения (рис. 1). При развитии более мощного движения парциальное участие ИМ несколько снижается, а ЧМБ (лев) - повышается.

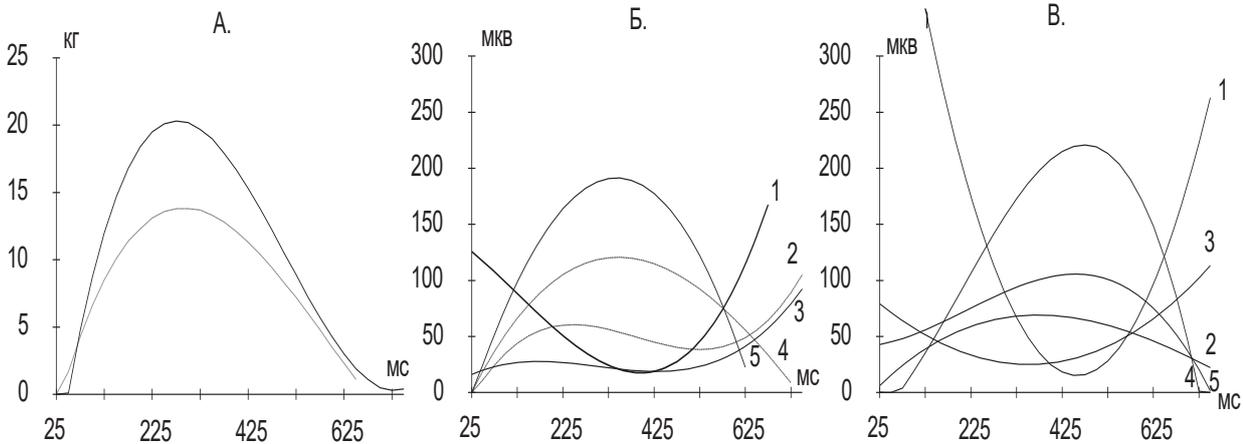


Рис. 1. Развиваемые усилия (А) и электрическая активность мышц в цикле педалирования при выполнении нагрузки в 175 Вт (Б) и 225 Вт (В). Усл. обознач.: 1 - четырехглавая мышца правого бедра; 2 - двуглавая мышца бедра; 3 - передняя большеберцовая мышца; 4 - четырехглавая мышца левого бедра; 5 - икроножная мышца голени; А: - - - , — - - - усилия при нагрузке 175 и 225 Вт, соответственно.

Развитие усилия во времени в одиночном цикле педалирования при работе разной мощности осуществляется, в первую очередь, синхронизированной активностью ИМ, ЧМБ (лев), ДМ. Из них, вначале более активна ИМ, затем к ней "подключаются" ДМ и ЧМБ.

На рис. 2 отражена активность исследуемых мышц в различных состояниях организма при выполнении физической нагрузки большой мощности на велоэргометре до отказа: в устойчивом состоянии, в процессе развития компенсированного и декомпенсированного утомления.

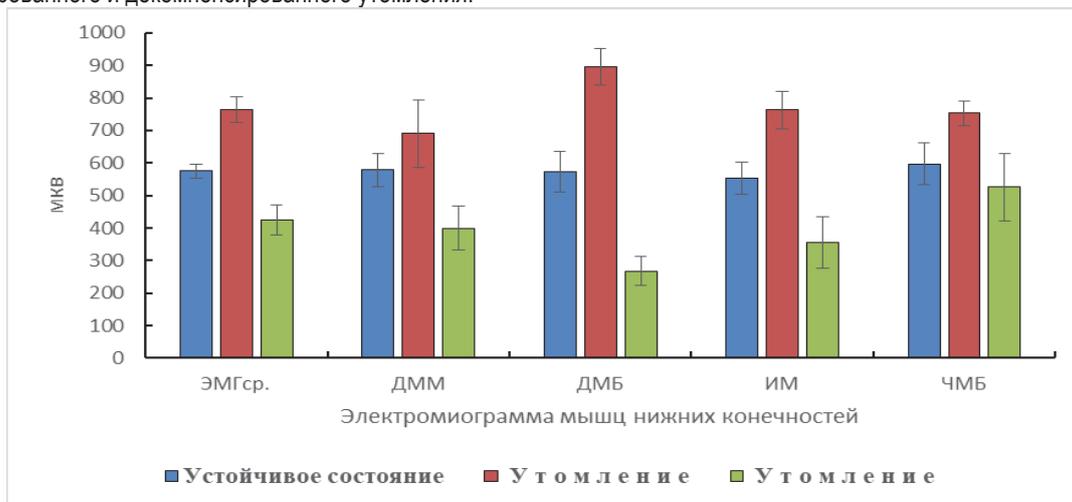


Рис. 2. Активность мышц нижних конечностей при выполнении физической нагрузки большой мощности на велоэргометре до отказа.

Корреляционный анализ показал, что при велоэргометрии, выполняемой до отказа, взаимосвязи мышц нижних конечностей усиливаются (табл. 1).

Таблица 1.

Взаимосвязи мышц нижних конечностей при выполнении физической нагрузки на велоэргометре до отказа

Системы:	До нагрузки		В начале нагрузки		В конце нагрузки	
	r	± m	r	± m	r	± m
МС	0,211	0,07	0,917	0,03	0,992	0,003

Наиболее взаимосвязанными при велоэргометрии являются параметры электрической активности четырехглавых мышц правого и левого бедра, мощности ФН и усилий, прилагаемых на педаль.

Множественный регрессионный анализ показал, что совместная активность мышц нижних конечностей определяет линейный характер изменения  $Wt$  ФН и слабо выраженный экспоненциальный – развиваемого усилия ( $F_{\text{пед}}$ ) (уравнения 1 и 2):

$$Y_{wi}=152,2+0,57X_1-0,352X_2-1,83/X_3\pm 39,8; d=0,831, \quad [1]$$

где  $X_1$ - ЧМБ (лев),  $X_2$ - ЧМБ (прав),  $X_3$ -ДМБ;

$$Y_{F_{\text{пед}}}=0,03X_1+2,13X_2^{0,385}-4,57\pm 4,3; d=0,529 \quad [2]$$

где  $X_1$ - ИМ,  $X_2$ -ЧМБ (прав).

Регрессионные модели отражают доленое участие ЧМБ, ДМБ и ИМ в детерминации развиваемой мощности и усилия при велоэргометрии. Определяя большую часть дисперсии линейно растущей физической нагрузки ( $d=0,831$ ), ЧМБ и ДМБ изменяют степень своего влияния по ходу тестирования: доленое участие ЧМБ, оставаясь ведущим на протяжении всего тестирования, несколько снижается к концу тестирования, а участие ДМБ компенсаторно возрастает.

На рис. 3 отражены взаимосвязи ЧМБ (лев), ДМ, ИМ и ПБМ между собой и с развиваемым усилием в различных состояниях организма при мышечной деятельности (при вработывании, в устойчивом состоянии, при утомлении).

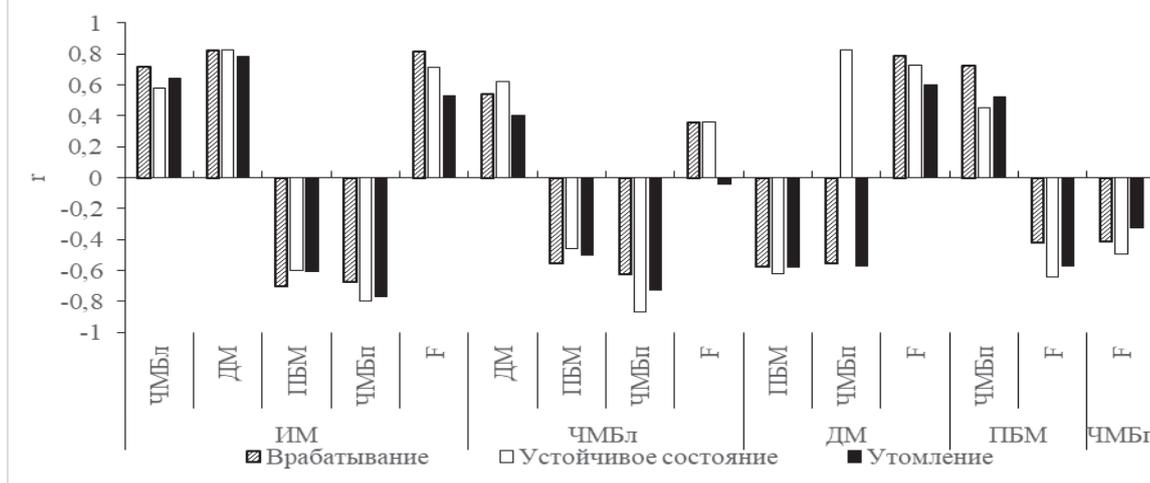


Рис. 3. Взаимосвязи мышц нижних конечностей «г» в различных состояниях организма при выполнении физической нагрузки большой мощности на велоэргометре до отказа.

В целом, результаты исследования свидетельствуют о том, что ЧМБ, ДМБ и ИМ оказывают наибольший вклад в развиваемые усилия.

**Заключение.** Коэффициенты корреляций, дисперсионного и регрессионного анализа, характер проявления электрической активности мышц и развиваемого усилия во времени свидетельствуют о том, что выполнение циклического движения при нагрузке повышающейся мощности осуществляется программой, масштабируемой по величине развиваемого усилия и амплитуде электрической активности мышц, при относительной стабильности времени выполняемого движения и длительности электрической активности мышц.

О жестком, программном механизме управления циклическим движением, функционированием физиологических систем свидетельствуют также высокие коэффициенты корреляций между биодинамическими и физиологическими характеристиками предыдущего и последующего циклических движений [7].

Т.о., сохранность кинематического рисунка движения, относительная инвариантность временных характеристик, постепенный прирост электрической активности мышц, сходный характер их взаимодействия и частичного участия в каждом цикле педалирования, высокие, стабильно сохраняющиеся коэффициенты корреляций и регрессий дают основание считать, что имеющиеся отличия при переходе к работе большей мощности характеризуется не созданием новой программы управления движением на каждой ступени нагрузки, а изменением ее масштабирования во времени и по мощности в зависимости от интенсивности обратной проприоцептивной афферентации, растущей с ростом мышечного напряжения при повышении нагрузки.

Результаты согласуются с параметрической концепцией центральных программ управления движениями [4, 10, 11, 18] и дополняют ее, раскрывая механизмы взаимодействия мышц нижних конечностей при развитии усилия в системе произвольного циклического движения в процессе возрастающей ФН.

Результаты также свидетельствуют о том, что структура мышечных взаимосвязей, компенсаторные перестройки мышечной активности, изменение парциальной роли отдельных мышц в сохранении параметров нагрузки и работоспособности спортсменов являются важными характеристиками резервных возможностей системы управления

движеннями.

**Выводы и перспективы дальнейшего развития в этом направлении.** Управление циклическим движением характеризуется жестким, программным механизмом регулирования, осуществляющим в процессе увеличения мощности физической нагрузки и в разных состояниях при мышечной деятельности масштабирование выходных параметров центральной программы регулирования по мощности, при относительной инвариантности времени выполняемого движения и длительности электрической активности мышц.

Наиболее взаимосвязанными при велоэргометрии являются параметры электрической активности четырехглавых мышц правого и левого бедра, мощности ФН и усилий, прилагаемых на педаль. Степень интеграции активности мышц нижних конечностей растет при выполнении работы до отказа. Четырехглавая и двуглавая мышцы бедра, икроножная мышца голени оказывают наибольший вклад в развиваемые усилия.

При утомлении происходит перераспределение долевого участия мышц и изменение межмышечных взаимосвязей. Явное утомление нарушает генетически обусловленные реципрокные взаимоотношения мышц-антагонистов при управлении циклическим движением на велоэргометре.

Перспективы дальнейшего развития выбранного направления состоят в углублении исследований, направленных на определение оптимальных соотношений и взаимосвязей мышц при управлении циклическими движениями, разработку критериев, нормативных шкал, дифференцированных по квалификации, полу, возрасту, уровню подготовленности и т.д., оценочных и прогностических моделей структуры управляемого движения, что важно для эффективного управления процессом подготовки и отбора спортсменов.

### Литература

1. Бернштейн Н. А. О построении движений/ Н. А. Бернштейн. – М.: Медгиз, 1947. – 255 с.
2. Братковский В.К. Особенности координационной структуры движений квалифицированных велосипедистов в период преодолеваемого утомления в занятиях различной направленности/ В.К. Братковский // Медико-биологические основы оптимизации тренировочного процесса в циклических видах спорта. - Киев. - КГИФК, 1980. – С. 88-97.
3. Голубев В. Н. Оценка функциональных резервов в системе управления движением / В.Н. Голубев, Д.Н.Давиденко, А.С. Мозжухин, А.И. Шабанов // Системные механизмы адаптации и мобилизации функциональных резервов организма в процессе достижения высшего спортивного мастерства. ГДОИФК им П. Ф. Лесгафта. – Л., 1987. – С. 12–18.
4. Гурфинкель В.С., Левик Ю.С. Центральные программы и многообразие движений / В.С. Гурфинкель, Ю.С. Левик // Управление движениями: Отв. ред. А.А. Митькин, Г. Пик. - М.: Наука, 1990. - С. 32 - 41.
5. Давиденко Д.Н. Мобилизация физиологических резервов при напряженной мышечной деятельности/ Д.Н. Давиденко, А.С. Мозжухин, В.В. Телегин // Физиология человека. - 1987. - Т.13. - №1. - С. 127-132.
6. Моногаров В.Д. Развитие и компенсация утомления при напряженной мышечной деятельности / В.Д. Моногаров // Теория и практика физ. культуры. — 1990. - №2. - С. 43 - 46.
7. Приймаков А.А. Структурно-функциональная организация взаимодействия систем организма при регулировании позы и движения человека: Дисс. докт. биол. наук. - Киев, 1995. - 517 с.
8. Приймаков А.А., Моногаров В.Д. 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.
9. Приймаков А.А. Активность и взаимосвязи мышечной и сердечно-сосудистой систем в различных состояниях при мышечной деятельности у спортсменов / А.А. Приймаков // Физическое воспитание студентов: сб. научн. тр. под ред. проф. Ермакова С.С. - Харьков: ХГАДИ, 2012. - №6. - С.93-99. ISSN 2075-5279 (print), ISSN 2223-2125 (online).
10. Enoka R.M. Neuromechanical basis of kinesiology/ R.M. Enoka // Cleveland: Human Kinetics; 1994. 446 s.
11. Ghez C. Introduction to the motor system. In E.R. Kandel and J.H. Schwartz (Eds.), Principles of Neural Science (2nd ed). New York: Elsevier, 1985; 429-442.
12. Jascaninas I., Monogarov V. Peripheral compensation mechanisms of muscle fatigue/ J. Jascaninas, V. Monogarov // Svecatos Apsauge. - 1987. - 12. - P. 27-29.
13. Moosmann, K. Erfolgreiche Koordinationsspiele /K. Moosmann // Übungsformen für Schule und Verein. Wiebelsheim: Limpert; 2008. 104 s.
14. Pryimakov O. Criteria of athlete neuromuscular system reserve capacities during performance of speed-strength work/ O. Pryimakov, J. Jashchanin, A. Shchegolkov// Centr Eur J Sport Med. 2014; 6 [2]: 35–43.
15. Pryimakov A.A. Reliability of functioning and reserves of system, controlling movements with different coordination structure of special health group girl students in physical education process / A.A. Pryimakov, E. Eider, M.O. Nosko, S.S. Iermakov// Physical education of students, 2017;2:84–89. doi:10.15561/20755279.2017.0206.
16. Samokish I. Monitoring system of functional ability of university students in the process physical education / I. Samokish, A. Bosenko, O. Pryimakov, V. Biletskaya // Central European Journal of Sport Sciences and Medicine. – Vol. 17. – № 1, 2017. – P. 75-80.
17. Schnabel G. Bewegungsregulation als Informationsorganisation/ G. Schnabel // Trainingswissenschaft. Berlin: Sportverlag, 1994; 60-92.
18. Wilmore, J.H. Physiology of Exercise and Sport/ J.H. Wilmore, D.L. Costill // Champaign, IL: Human Kinetics, 2005. 726 s.