

**ВОРОН Андрей Васильевич, канд. пед. наук, доцент**

*Белорусский государственный университет физической культуры,  
Минск, Республика Беларусь*

## **ГАРМОНИЧНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ДВИЖЕНИЙ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА ПРИ БЕГЕ**

Приводятся данные временных параметров движений конечностей спортсменов в беговом цикле. На основании константы «золотой пропорции» показаны гармоничные инвариантные отношения временной структуры исследуемых движений. Приводится интерпретация полученных результатов с позиции феномена «золотой пропорции». Даются рекомендации для использования в учебно-тренировочном процессе знаний о гармоничных отношениях временной структуры движений человека при беге.

**Ключевые слова:** гармония; «золотая пропорция»; инвариантное отношение; временная структура; движение конечности; параметр бега.

## **HARMONIOUS RELATIONS IN THE TEMPORAL STRUCTURE OF HUMAN LIMBS MOVEMENTS WHILE RUNNING**

Time parameters data of athletes' limbs movements in a running cycle are given. On the basis of the "golden ratio" constant, harmonious invariant relations of the temporal structure of the studied movements are shown. Interpretation of the obtained results from the position of the "golden ratio" phenomenon is presented. Recommendations on application in the training process the knowledge concerning the harmonious relationship of the temporal structure of human movements while running are proposed.

**Keywords:** harmony; "golden ratio"; invariant relation; temporal structure; limb movement; running parameter.

**Введение.** Первое упоминание о пропорции, названной впоследствии «золотой», можно отнести ко времени написания произведения «Тимей» Платоном (около 360 года до н. э.), где философ высказывает свои взгляды на сотворение Мира, излагает свою космологию. Описывая составление тела Вселенной, Платон пишет: «... Два члена сами по себе не могут быть хорошо сопряжены без третьего, ибо необходимо, чтобы между одним и другим родилась некая объединяющая их связь. Прекраснейшая же из связей такая, которая в наибольшей степени единит себя и связуемое, и задачу эту наилучшим образом выполняет пропорция, ибо, когда из трех чисел ... при любом среднем числе первое так относится к среднему, как среднее к последнему, и соответственно последнее к среднему, как среднее к первому, тогда при перемещении средних чисел на первое и последнее место, а последнего

и первого, напротив, на средние места выяснится, что отношение необходимо остается прежним, а коль скоро это так, значит, все эти числа образуют между собой единство» [1].

Мера «золотой пропорции» является структурным инвариантом систем живой и неживой природы [2]. С позиции парадигмы естествознания мера «золотой пропорции» рассматривается как феномен, проявляющийся как в физико-химической «неживой» природе (кристаллах), так и в «живой» природе (филлотаксис растений, функционирование сердечно-сосудистой системы, строение тела человека) [3]. В связи с этим нами сделано предположение: беговой цикл «двойной шаг» локомоций человека – объект структурной гармонии, структурные связи которого характеризует отношение «золотой» пропорции.

**Основная часть.** Объектом исследования явились локомоции человека,

а предметом – временная структура движений конечностей человека при беге.

**Методы исследования.** В исследовании применялась инструментальная методика – скоростная видеосъемка. Использовались фотокамеры «Casio EX-F1» и «Canon PowerShot SX510 HS». Скорость видеосъемки – 300 и 240 кадров в секунду. Точность измерений – от 1/240 секунды (0,04166...с) до 1/300 секунды (0,03333...с). Разрешение видеокадров при съемке на камеру Casio EX-F1 – 512×384 пикселей (по горизонтали и вертикали), а при съемке на камеру Canon PowerShot SX510 HS – 320×240 пикселей.

В исследовании принимали участие 10 бегунов на средние и длинные дистанции различной квалификации (3 спортсмена, имеющих квалификацию I разряда, 3 – кандидата в мастера спорта, 3 – мастера спорта, 1 – мастер спорта международного класса). Расчет длительности исследуемых движений двойного шага бега проведен при посредстве программы «VirtualDub» на основании

подсчета фактического количества кадров видеофайла.

По материалам видеосъемки рассчитаны временные параметры движений конечностей спортсменов-бегунов различной квалификации (таблицы 1, 2).

По результатам расчетов движений конечностей бегунов в цикле «двойной шаг» (таблицы 1, 2) выявлены следующие инвариантные отношения «противоположностей» (несмотря на некоторые различия значений процентного отношения табличных данных от заявленных далее значений по тексту в связи с малыми их различиями – менее 5 %):

– равное время затрачивается на выполнение движений сгибания-разгибания плеч и бедер (по 50 % всего времени цикла);

– время фиксации предплечий рук, сгибание и разгибание голеней (61,8 % всего времени цикла) соотносится ко времени сгибания-разгибания предплечий рук и фиксации голеней ног (38,2 % всего времени цикла) в пропорции 1,618...

Таблица 1. – Временные параметры движений плеч и предплечий спортсменов-бегунов различной квалификации в беговом цикле «двойной шаг»

№ п/п, 100 %, с	Движение конечности в цикле «двойной шаг» (100 %)									
	плечо (100 %)					предплечье (100 %)				
	сгибание		разгибание		сгибание		разгибание		фиксация	
	с	%	с	%	с	%	с	%	с	%
1. 0,55833	0,275	49,254	0,2833	50,746	0,10833	19,403	0,1083	19,403	0,3417	61,194
2. 0,49167	0,2458	50	0,2458	50	0,075	15,254	0,075	15,254	0,3417	69,492
3. 0,56667	0,2867	50,589	0,28	49,411	0,11	19,412	0,11	19,412	0,3467	61,176
4. 0,64	0,32	50	0,32	50	0,11	17,187	0,11	17,187	0,42	65,625
5. 0,60667	0,3067	50,549	0,3	49,051	0,11	18,132	0,11	18,132	0,3867	63,736
6. 0,66667	0,33	49,5	0,3366	50,5	0,13333	20	0,1333	20	0,4	60
7. 0,64167	0,3208	50	0,3208	50	0,10833	16,883	0,10833	16,883	0,425	66,234
8. 0,54167	0,2708	50	0,2708	50	0,10417	19,231	0,1042	19,231	0,3333	61,538
9. 0,65833	0,3333	50,633	0,325	49,367	0,125	18,987	0,125	18,987	0,4083	62,026
10. 0,66667	0,3333	50	0,3333	50	0,1375	20,625	0,1375	20,625	0,3917	58,75
$\bar{X} \pm \sigma$	0,30225 0,0308	50,0525 0,45067	0,3016 0,03046	49,907 0,5131	0,11217 0,01747	18,511 1,6395	0,1122 0,0175	18,512 1,6395	0,3795 0,0353	62,977 3,279

Таблица 2. – Временные параметры движений бедер и голени спортсменов-бегунов различной квалификации в беговом цикле «двойной шаг»

№ п/п, 100%, с	Движение конечности в цикле «двойной шаг» (100 %)										
	бедро (100 %)					голень (100 %)					
	сгибание		разгибание			сгибание		разгибание		фиксация	
	с	%	с	%	с	%	с	%	с	%	
1. 0,55833	0,275	49,254	0,2833	50,746	0,175	31,343	0,1708	30,597	0,2125	38,06	
2. 0,49167	0,25	50,847	0,2417	49,153	0,15	30,508	0,15	30,508	0,1917	38,984	
3. 0,56667	0,28	49,411	0,2867	50,589	0,1733	30,588	0,1733	30,588	0,22	38,824	
4. 0,64	0,32	50	0,32	50	0,20333	31,771	0,2033	31,771	0,2333	36,458	
5. 0,60667	0,3	49,051	0,3067	50,549	0,18667	30,769	0,1867	30,769	0,2333	38,462	
6. 0,66667	0,3366	50,5	0,33	49,5	0,20668	31,003	0,2067	31,003	0,2533	37,994	
7. 0,64167	0,3208	50	0,3208	50	0,1875	29,221	0,1896	29,545	0,2646	41,234	
8. 0,54167	0,2708	50	0,2708	50	0,175	32,3075	0,175	32,307	0,1917	35,385	
9. 0,65833	0,325	49,367	0,3333	50,633	0,19583	29,746	0,2	30,38	0,2625	39,874	
10. 0,66667	0,3333	50	0,3333	50	0,2	30	0,2	30	0,2667	40	
$\bar{X} \pm \sigma$	0,3012 0,0303	49,843 0,5701	0,3026 0,031	50,117 0,5202	0,18533 0,01738	30,725 0,9352	0,1855 0,0180	30,747 0,8022	0,2329 0,0287	38,527 1,7084	

На основании временных параметров движений спортсменов-бегунов различной квалификации в беговом цикле «двойной шаг» нами была создана подограмма временной структуры движений (рисунок 1). В подограмме отражены выявленные соотношения затрачиваемого времени на отдельные движения в цикле «двойной шаг» бега.

Для теоретического анализа полученных данных нами условно определен и рассматривается цикл «двойной шаг» как объект-система (рисунок 2), содержащий отдельные подсистемы-движения: подсистема № 1 – «сгибание-разгибание предплечий рук», подсистема № 2 – «сгибание-разгибание голени ног», подсистема № 3 – «фиксация голени ног», подсистема № 4 – «разгибание и сгибание плеча, бедра», подсистема № 5 – «фиксация предплечий рук». Каждая из подсистем получила свою размерность по отношению к самой малой из них – структурной «единице», т. е. подсистеме № 1. Таким образом получе-

ны: подсистема № 1 – тождественна единице или сумме констант  $\Phi + \Phi_2$  (19,1 % всего времени цикла), подсистема № 2 – тождественна числу 1,618... или константе  $\Phi$  (30,09 % всего времени цикла), подсистема № 3 тождественна числу 2 или сумме констант  $\Phi + \Phi_2$  (38,2 % всего времени цикла), подсистема № 4 тождественна числу 2,618... или константе  $\Phi_2$  (50 % всего времени цикла), подсистема № 5 тождественна числу 3,236... или сумме констант  $\Phi + \Phi$  (61,8 % всего времени). Объект-система «двойной шаг бега», таким образом, тождественна числу 5,236... или сумме констант  $\Phi_2 + \Phi_2$  (100 % всего времени).

Среди подсистем можно выделить следующие отношения: объект-система соотносится к подсистеме № 5 в отношении «золотой пропорции», подсистема № 5 соотносится к подсистеме № 3 в отношении «золотой пропорции», подсистема № 3 соотносится к подсистеме № 1 в отношении «золотой пропорции», подсистема № 5 соотносится к удвоенному

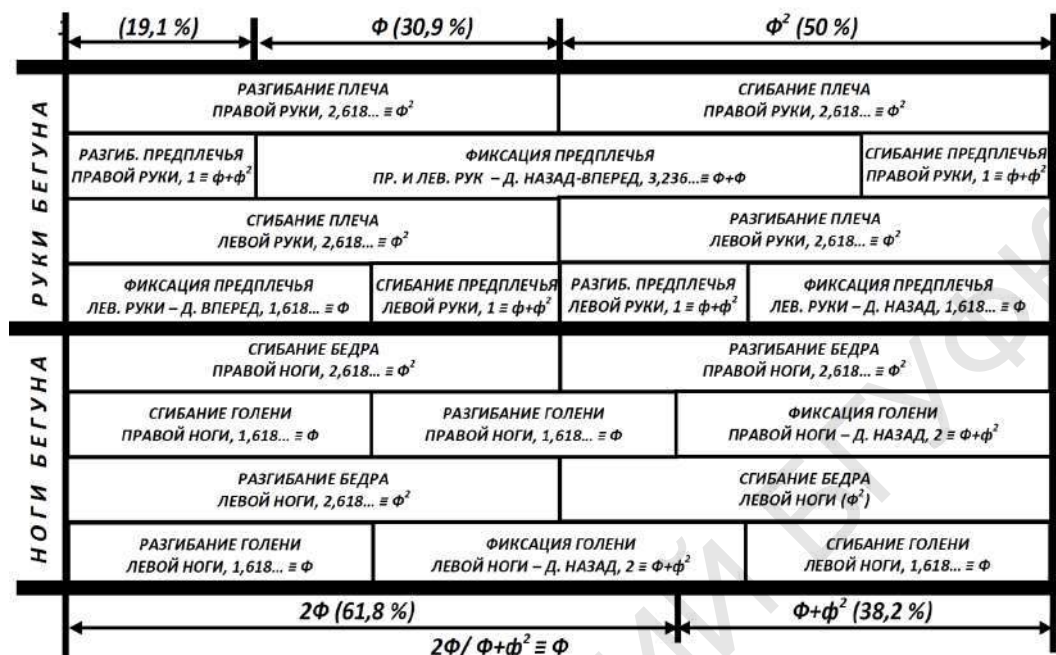


Рисунок 1. – Подограмма временной структуры движений «двойного шага» в беге, где «Φ» и «Φ» – константы «золотой» пропорции (1,61803... и 0,61803...)

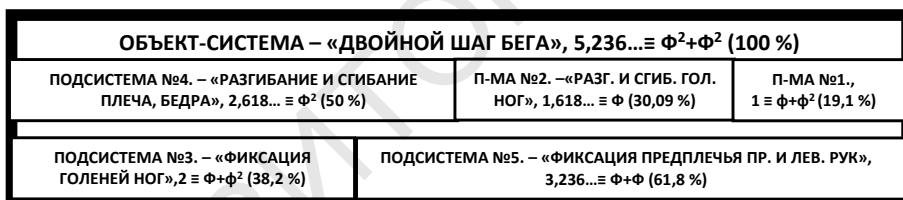


Рисунок 2. – Блок-схема временных параметров движений спортсменов в цикле «двойной шаг» бега как отношений объекта-системы к объектам-подсистемам

значению подсистемы № 1 в отношении «золотой пропорции» и тождественна удвоенному значению подсистемы № 2, сумма значений подсистем № 2 и № 1 тождественна значению подсистемы № 4, удвоенная сумма значений подсистемы № 4 тождественна значению объекта-системы, удвоенное значение подсистем № 2 и № 1 тождественно объекту-системе, сумма значений подсистем № 3 и № 5 тождественна объекту-системе.

Следует отметить, что техника локомоторных движений (при их временной инвариантности) бывает различной. На-

пример, движения предплечий рук могут быть различны. На рисунке 3 представлено сравнительное представление движений бега Haile Gebrselassie (слева) и Kenenisa Bekele (справа). Движения сгибания предплечий различно. Haile Gebrselassie сгибает предплечье в начале движения сгибания плеча, а Kenenisa Bekele – в конце движения. В то же время движения сгибания предплечья обеих бегунов сопоставимы по времени выполнения, как и соотношения времени выполнения движений предплечья и плеча.

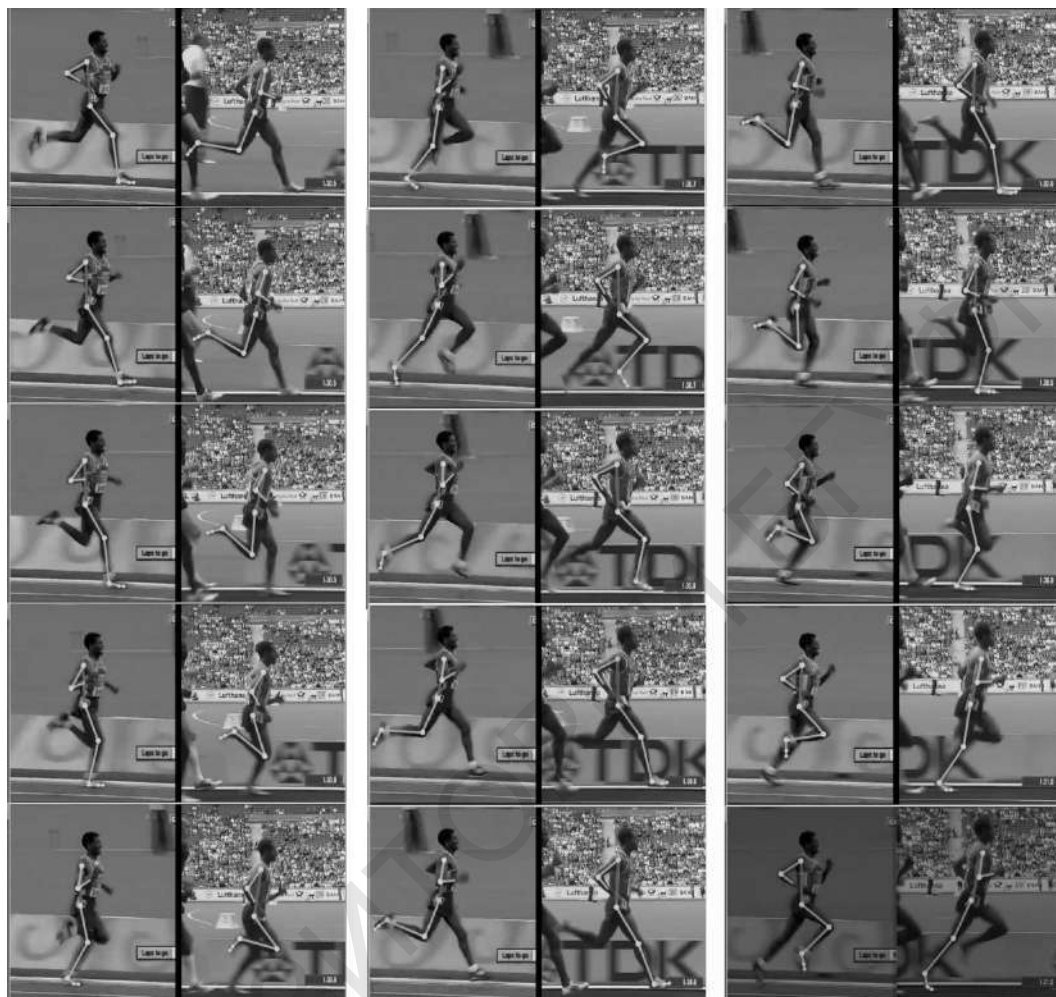


Рисунок 3. – Кинограмма: сравнительного представления движений бега Haile Gebrselassie (слева) и Kenenisa Bekele (справа)

Интерпретация результатов исследования. «Золотая пропорция» – феномен, единственный в своем роде, где для сравнения двух объектов (подсистем) не требуется третий объект, а содержит требуемую меру в первых двух. Следуя методологическому принципу «бритва Оккама» (который можно показать следующим примером: если некое явление может быть объяснено двумя способами: первым – через привлечение терминов, факторов, фактов А, В и С, либо вторым – через сущности А, В, С и D, если

оба способа дают одинаковый результат, то следует предпочесть первое объяснение), можно заключить, что из всех возможных мер для сравнения должна быть избрана именно пропорция «золотого сечения». Именно в таком случае в природных объектах-системах параметры системы или подсистем могут быть оптимальным образом сравнимы без привлечения нового объекта (сущности) для сравнения. Таким образом, нами мера «золотой пропорции» определяется как универсальная качественная и количе-

ственная характеристика объекта-системы, отражающая его меру целостности, дифференцированности и подобия частей целому.

Интерпретируя проявление феномена «золотой пропорции» в движениях человека как качественную характеристику системы локомоций, необходимо дать более точное представление о ней и о возможности ее количественного измерения. Нами эта качественная сторона определяется как определенный параметр или характеристика, отражающая «оптимум» и «добротность» системы локомоторных движений человека (которые можно измерить и отобразить в цифровом значении). «Золотую пропорцию» «в чистом виде» (около значения 1,618...) мы практически всегда фиксируем во временных параметрах движений именно у квалифицированных спортсменов-легкоатлетов. Ведь качества оптимальности и добротности системы локомоторных движений непосредственно определяют, на наш взгляд, возможности для достижения высоких результатов в таких дисциплинах легкой атлетики, где требуется от спортсмена максимальная экономия сил и энергии – в беге на 400 м, средние и длинные дистанции, или ее оптимальное распределение – при отталкивании в прыжках.

О «золотой пропорции» как об оптимуме системы движений мы говорим в связи с полученными данными наших исследований [4] и с результатами ученого-биолога В.Д. Цветкова о деятельности сердечной системы. На основе системного анализа экспериментальных данных множества исследований автором впервые выдвинут и обоснован оптимальный критерий гармонии сердца человека и млекопитающих – «принцип оптимального вхождения», который можно сформулировать следующим образом: «...

каждая из «простых» сердечных систем, совместно образующих «сложную» кардиосистему, включена в последнюю оптимальным образом, вследствие чего сложная система исполняет свою функцию с минимальными затратами энергии и строительного материала» [3]. При этом «...в каждой из «простых» систем, составляющих сложную систему, присутствует дуальность оптимальных «противоположностей», обеспечивающих наиболее эффективную работу всей сложной системы в целом. Показано, что во многих сердечных системах оптимальность гармонии «противоположностей» обеспечивается уникальными математическими свойствами пропорции «золотого сечения» и чисел ряда Фибоначчи. «Золотая гармония» «противоположностей» выступает как своего рода «Знак качества» сердечных систем и всего сердца в целом» [3]. В связи с этим нами выдвигается гипотеза, требующая дальнейшей экспериментальной проверки: соотношение «золотой пропорции» является оптимумом биомеханических систем локомоций человека.

Наше представление о качественной характеристике системы локомоторных движений человека – «добротности» – связано с аналогией о подобной характеристике в физике, где добротность рассматривается как параметр колебательной системы, определяющий ширину резонанса и характеризующий, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за время изменения фазы. Чем выше добротность колебательной системы, тем меньше потери энергии за каждый период и тем медленнее затухают колебания. Аналогия системы локомоций человека с добротностью колебательной системы в физике оправдана, как представляется, на том основании, что в обеих сравни-

ваемых системах мы выделяем и анализируем одни и те же сущности – «противоположности» – запасы энергии и ее потери в колебательных системах и энергия локомоторных движений и ее рассеивание (диссипация) в локомоциях человека.

«Добротность» локомоций человека и отталкивания в прыжке в длину с разбега, таким образом, предлагается определять по выделенному нами критерию – приближению к эталонному соотношению, значению «золотой пропорции» (100 %). Отклонение в ту или иную сторону определяется, таким образом, как отклонение от эталонного значения, выраженное в единицах процентного отношения, например, значения 1,732 и 1,598 будут соответственно равны 107,044 % и 98,762 %. Нами, например, рассчитаны значения критерия «добротность» для фазы отталкивания в прыжке в длину исходя из данных нашего исследования [4] (таблица 3).

#### Практические рекомендации.

В связи с полученными результатами временных параметров движений конечностей бегунов и знаний о гармоничных

отношениях временной структуры этих движений нами рекомендуется:

- периодически использовать в учебно-тренировочном процессе легкоатлетов-бегунов видеосъемку движений бега с последующим анализом техники движений конечностей при беге;

- определять как количественные, так и качественные показатели – «оптима» и «добротности», системы локомоций на основе знаний о гармоничных отношениях ее временной структуры;

- вносить требуемые коррективы (при отклонении в ту или иную сторону от эталонного значения) в виде использования отдельных специально-подготовительных и специально-подводящих упражнений или использования системы коррекционных упражнений.

#### Заключение.

1. Анализ научно-методической литературы показал, что мера «золотой пропорции» является структурным инвариантом систем живой и неживой природы и рассматривается как феномен, проявляющийся как в физико-химической «неживой» природе (кристаллах), так и в «живой» природе (филлотаксис

Таблица 3. – Длительность моментов опоры «амортизация» и «отталкивание» при отталкивании в прыжках в длину с разбега и отклонение от эталонного значения

Спортсмены, №	Длительность моментов опоры, с		Отношение моментов опоры, усл. ед.	Отклонение от эталонного значения, %
	амортизация	отталкивание		
1	0,0458	0,075	1,6364	101,135
2	0,05	0,075	1,5	92,705
3	0,0542	0,0792	1,4615	90,326
4	0,0417	0,0792	1,9	117,427
5	0,0375	0,0583	1,5556	96,142
6	0,0417	0,0667	1,6	98,886
7	0,0375	0,0625	1,6667	103,008
8	0,0458	0,075	1,6364	101,135
$\bar{X} \pm \sigma$	0,0443 0,0059	0,0714 0,0079	1,6196 0,1337	100,0955 8,2651

растений, функционирование сердечно-сосудистой системы, строение тела человека). В связи с этим нами сделано предположение, что беговой цикл «двойной шаг» локомоций человека является объектом структурной гармонии, структурные связи которого характеризует отношение «золотой пропорции».

2. По результатам расчетов движений конечностей бегунов в цикле «двойной шаг» выявлены следующие инвариантные отношения «противоположностей»:

– равное время затрачивается на выполнение движений сгибания-разгибания плеч и бедер (по 50 % всего времени цикла);

– время фиксации предплечий рук, сгибание и разгибание голеней (61,8 % всего времени цикла) соотносится ко времени сгибания-разгибания предплечий рук и фиксации голеней ног (38,2 % всего времени цикла) в пропорции 1,618...

3. Для качественной характеристики движений на основе полученных в исследовании эталонных значений соотношений предлагается использовать

критерий (условно названный нами как «добротность» локомоций) приближения к эталонному соотношению. Отклонение в ту или иную сторону определяется, соответственно, как отклонение от эталонного значения и выражается в единицах процентного отношения.

4. В связи с результатами проведенного исследования рекомендуется периодически использовать в учебно-тренировочном процессе легкоатлетов-бегунов для совершенствования технического мастерства видеосъемку движений бега с последующим анализом техники движений конечностей при беге. Это позволит:

– определить как количественные, так и качественные показатели – «оптимума» и «добротности» – системы локомоций на основе знаний о гармоничных отношениях ее временной структуры;

– внести требуемые коррективы (при отклонении в ту или иную сторону от эталонного значения) в виде использования специально-подготовительных и специально-подводящих упражнений.

1. Платон. Тимей : собр. соч. в 4 т. / Платон. – М. : Мысль, 1994. – Т 3. – 654 .

2. Сороко, Э. М. Структурная гармония систем / Э. М. Сороко. – Минск : Наука и техника, 1984. – 264 с.

3. Цветков, В. Д. Золотая гармония и сердце / В. Д. Цветков. – Пущино : Фотон-век, 2008. – 204 с.

4. Ворон, А. В. «Золотая пропорция» и локомоции человека / А. В. Ворон // Ученые записки : сб. рец. науч. тр. / редкол.: С. Б. Репкин (гл. ред.) [и др.] ; Белорус. гос. ун-т физ. культуры. – Минск : БГУФК, 2018. – Вып. 21. – С. 86–92.

Поступила 23.04.2019