

ВОРОН Андрей Васильевич, канд. пед. наук, доцент
*Белорусский государственный университет физической культуры,
Минск, Республика Беларусь*
ГАРБАЛЬ Ольга Александровна
СЕДНЕВА Анастасия Владимировна
*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь*

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ СТРУКТУР ОПТИМАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ХОДЬБЫ И БЕГА

По результатам теоретического исследования, показано, что локомоцию ходьбы в «привычном» темпе (благодаря наличию «золотой» пропорции между двумя противоположностями – фазами опоры и переноса) можно охарактеризовать как оптимальную, а оптимальный вариант техники бега возникает в условиях, когда соотносится в отношении «золотой» пропорции: длительность фазы отталкивания опорного периода – к длительности фазы амортизации, длительность безопорного периода – к длительности фазы отталкивания опорного периода. По результатам эмпирического исследования выявлены «золотые» соотношения движений в локомоциях бега. Сформулированы методические рекомендации, которые предполагают использование скоростной видеосъемки для решения задач совершенствования техники бега у бегунов на дистанциях 3000, 5000, 10000 метров.

Ключевые слова: математическое соотношение; временная структура; оптимальный способ; длительность; период опоры; период полета; «золотая» пропорция; ходьба; бег; модель техники.

MATHEMATICAL RELATIONS OF TIME STRUCTURES OF OPTIMAL WAYS OF WALKING AND RUNNING

According to the results of theoretical research, it is shown that the locomotion of walking at a “familiar” pace (due to the presence of a “golden” proportion between two opposites – the phases of support and transfer) can be characterized as optimal, and the optimal variant of running technique arises in conditions when it correlates with respect to the “golden” proportion: the duration of the repulsion phase of the reference period – to the duration of the depreciation phase, the duration of the unsupported period – to the duration of the repulsion phase of the reference period. According to the results of an empirical study, the “golden” ratios of movements in running locomotives have been revealed. Methodological recommendations have been formulated that involve the use of high-speed video shooting to solve the problems of improving the running technique of runners at 3,000, 5,000, and 10,000 meter distances.

Keywords: mathematical relation; time structure; optimal method; duration; period of support; period of flight; “golden” proportion; walking; running; model of technique.

Введение. Исследованию локомоций человека посвятили свои исследования ряд ученых, среди которых можно выделить Braune W. [1], Eberhart H. [2, 3], Elftman H. [4, 5, 6, 7, 8], Murray M. [9, 10], Perry J. [11, 12], Winter D.A. [13, 14] и других. Отдельно следует выделить исследования, труды советского ученого, основоположника концепции физиологии активности Н.А. Бернштейна [15, 16, 17].

В основе современного понимания двигательных действий заложен системно-структурный подход, который позво-

ляет рассматривать тело как движущуюся систему. Системно-структурный подход к изучению движений реализуется в теории структурности движений Н.А. Бернштейна. Ученый утверждает, что «Движение не есть цепочка деталей, а структура, дифференцирующаяся на детали» [15]. Выявление закономерностей системы локомоций человека представляет значимую проблему биомеханики. В связи с этим предпринято настоящее исследование.

Основная часть. Объектом настоящего исследования явились локомоции

ходьбы и бега. Предметом исследования в работе явилась длительность движений локомоций ходьбы и бега.

Эмпирическое исследование состоялось в период проведения Открытого чемпионата Республики Беларусь по легкой атлетике. Соревнования были проведены с 27 июня 2024 года по 29 июня 2024 года по двум адресам: г. Минск, ул. Кирова, 8 (Национальный олимпийский стадион «Динамо») и г. Минск, ул. Калиновского, 111 (РЦОП по легкой атлетике).

В исследовании принимали участие 32 бегуна и 23 бегуни Республики Беларусь различной квалификации (от первого взрослого разряда до мастера спорта международного класса Республики Беларусь).

Методы исследования. Данные длительности движений локомоций ходьбы и бега получены с использованием методики скоростной видеосъемки. При этом применялся цифровой фотоаппарат Canon PowerShot SX510HS (рисунок 1). Скоростная видеосъемка велась указанным фотоаппаратом с частотой 240 кадров в секунду и со сравнительно больших расстояний от 30 до 50 метров. При этом использовались большие фокусные расстояния объектива фотоаппарата – до 720 миллиметров в эквиваленте. Погрешность измерения длительности движений составила 1/240 секунды.



Рисунок 1 – Цифровой фотоаппарат Canon PowerShot SX510HS

Расчет длительности движений локомоций ходьбы и бега проводился с использованием компьютерной программы «Kinovea». При этом длительность движений и соотношение длительности рассчитывалась посредством суммирования количества кадров на рассматриваемое движение. Соотношение длительности движений рассчитывалось до округления полученных значений.

Статистическая обработка данных производилась с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

Теоретическое исследование проводилось с использованием методов формальной логики.

В своей монографии [18, с. 27] А.С. Витензон отмечает, что «... каждый цикл ходьбы состоит из двух фаз: опоры и переноса, составляющих вместе двойной шаг. Соотношение этих фаз зависит от темпа ходьбы. Если весь цикл принять за 100 %, то при произвольном (привычном) темпе ходьбы по длинной дорожке фаза опоры составляет 61,4 % для правой ноги и 61,6 % для левой ноги, а фаза переноса соответственно 38,6 % и 38,4 %». Скорость «при произвольном (привычном) темпе» ходьбы при этом была зафиксирована 1,37 м/с, длина шага – 0,75 м, длительность циклов ходьбы – 1,05 с, двухопорная фаза – 11,4 % и 11,7 % цикла (для правой и левой ноги). Указанные процентные соотношения длительности фаз опоры и переноса очень близки к процентному соотношению «золотой» пропорции – 61,8034... % и 38,1966... %. При этом наблюдается «золотая» математическая прогрессия: сумма длительности двух двухопорных периодов ходьбы меньше длительности фазы переноса в 1,618 раз, а фаза переноса, в свою очередь, – меньше в 1,618 раз одноопорного периода локомоции. Можно представить соотношения выделенных структурных частей локомоции ходьбы как «золотую» прогрессию $1 \propto$

1,618... \propto 2,618... . Таким образом, ходьбу в «привычном» темпе (благодаря наличию «золотой» пропорции между двумя противоположностями – фазами опоры и переноса) можно охарактеризовать как оптимальную, наиболее энергетически эффективную.

В качестве наглядного образного представления соотношения длительности исследуемых движений создана геометрическая модель оптимального способа ходьбы (рисунок 2, слева [19]). Эта модель содержит отрезки соразмерные длительности фазы амортизации опорного периода (отрезок АВ, красный), фазы отталкивания опорного периода (отрезок ВО, синий), периодов переноса в ходьбе и безопорного периода в беге (отрезок ОВ₁, зеленый). Направляющие АО, ОА₁ образуют окончательный вид геометрической модели в виде прямоугольных треугольников. На рисунке 2, по результатам исследований [19, 20, 21] отображена также оптимальная временная структура бега (справа).

Оптимальный вариант техники бега (на примере геометрической модели пред-

ставленной на рисунке 2, справа) возникает в условиях, когда соотносится в отношении «золотой» пропорции длительность фазы отталкивания к длительности фазы амортизации в опорном периоде и, соответственно, длительность безопорного периода – к длительности фазы отталкивания опорного периода [19, 20, 21, 22, 23] (согласно формуле 1) (таблица 1).

$$BO/AB = OB_1/BO \quad (1)$$

Имея цифровые данные о длительности амортизации опорного периода бегового шага и используя геометрическую модель периодов опоры и полета беговых шагов в беге (рисунок 2), а также теорему Пифагора, можно рассчитать длительность отталкивания опорного периода бегового шага по формуле 2.

$$BO = \sqrt{AO^2 - AB^2} \quad (2)$$

Зная длительность отталкивания опорного периода бегового шага и используя геометрическую модель периодов опоры и полета беговых шагов в беге (ри-

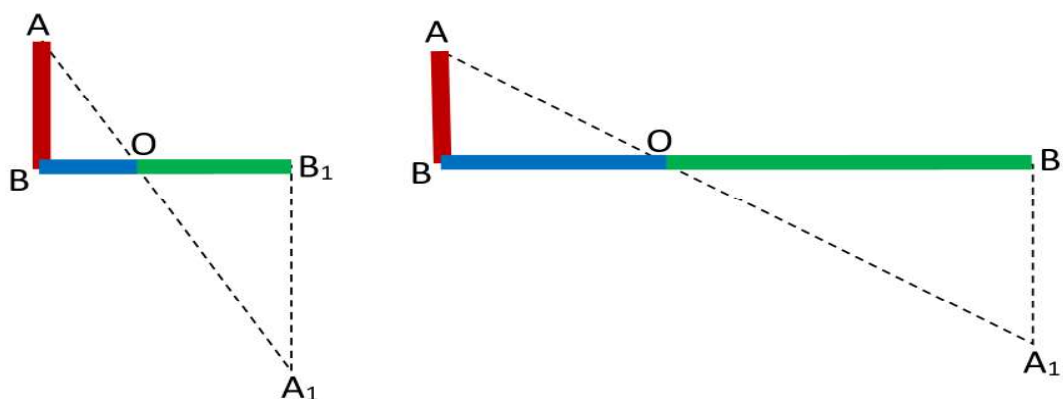


Рисунок 2 – Геометрические модели оптимальной временной структуры двойного шага ходьбы (слева) и периодов опоры и полета беговых шагов в беге (справа), где: АВ, ВО – соразмерное отображение длительности опорного периода в ходьбе и беге ($AB/BO = 1,618...$ – для ходьбы и $0,618...$ – для бега); АВ – длительность амортизации; ВО – длительность отталкивания; ОВ₁ – длительность переноса в ходьбе и безопорного периода в беге; АО/ОА₁ = 0,618... – направляющие

сунок 2), можно рассчитать, длительность безопорного периода бегового шага в соответствии с формулой 3.

$$OB_1 = BO \times 1,618... \quad (3)$$

Зная значение коэффициента активности бега (КА), можно рассчитать соотношение длительности отдельных периодов и фаз бегового шага следующим способом. Значение этого коэффициента (например, 1,3) делится на значение «золотого сечения» – 1,618... согласно предложенной нами формуле (4). Получаем относительное значение фазы отталкивания опорного периода ($\Phi_{от} = 0,8034441853748632...$). Если от условной единицы вычесть полученное значение фазы «отталкивание» – получим относительное значение фазы «амортизация» ($\Phi_{ам} = 0,1965558146251368...$) (формула 5). Таким образом, используя сравнительно простые математические операции, получаем ряд относительных значений (коэффициентов) двух периодов бегового шага – отталкивания (амортизации и отталкивания) и полета в виде

следующего ряда относительных величин: $0,196... \propto 0,803... \propto 1,3$.

$$\Phi_{от} = KA/1,618... \quad (4)$$

$$\Phi_{ам} = 1 - \Phi_{от} \quad (5)$$

Геометрические модели с увеличением скорости ходьбы и бега, по отношению к оптимальной (или энергоэффективной) модели, будут характеризоваться закономерным уменьшением фазы амортизации в опорном периоде названных локомоций. Оптимальный вариант временной структуры техники ходьбы и бега можно также представить в виде соответствующих подограмм (рисунок 3) и блок-схем (рисунок 4), где в качестве длительности периодов опоры, переноса, двухопорного периода, безопорного периода, фаз амортизации и отталкивания выбраны условные цифровые значения или относительные величины длительности. Они равны 1,618 (буквенное обозначение «А») и – 1 (буквенное обозначение «В») (рисунок 3). Следует подчеркнуть, что указанные подограммы лишь наглядно представляют умозрительную, гипотетическую модель оптимальных временных структур ходьбы и бега и выражены в относительных единицах длительности.

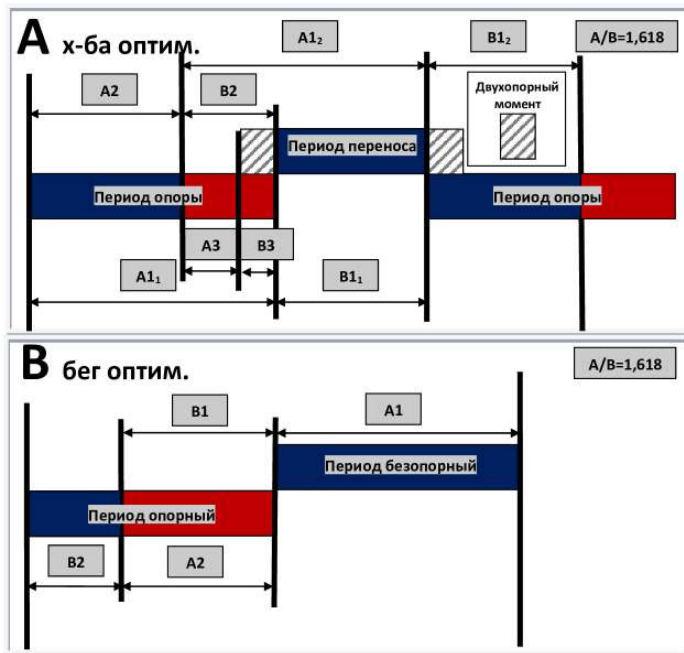


Рисунок 3 – Подограммы временных структур ходьбы (А) и бега (В) (одиночный шаг) представленные в относительных единицах времени, где: «А» – соразмерная длительности величина, равная 1,618; «В» – соразмерная длительности величина, равная 1; сверху представлена подограмма оптимальной структуры ходьбы; снизу представлена подограмма оптимальной структуры бега



Рисунок 4 – Блок-схемы временных структур ходьбы (А) и бега (В) при оптимальной технике движений ног бегуна, где: 1,618 и 1 – условные значения, соразмерные длительности движений ног (их фиксации и движению в коленном суставе), а также – длительности периодов опоры, переноса, опорного и безопорного периодов; в качестве примера выбрана длительность опоры и переноса ног при ходьбе равная значениям, указанным в монографии А.С. Витензона [18, с. 27], а при беге длительность фиксации и движения ног выбрана равной 0,37083 и 0,2329 секунды (согласно [20])

Эмпирическая проверка гипотезы о наличии оптимальных временных структур в локомоциях бега с экономией физических усилий (или при беге «на выносливость») проводилась в более ранних исследованиях [19, 20], а также и в настоящем исследовании в период Открытого чемпионата Республики Беларусь по легкой атлетике 2024 года. В этом исследовании принимали участие 32 бегуна и 23 бегуны. Исследованию подлежали:

- длительность движения в коленном суставе, его фиксации и их соотношение;
- длительность опорного (амортизация и отталкивание) и безопорного периодов бегового шага и их различные соотношения.

Результаты эмпирического исследования представлены в таблицах 1 и 2.

По результатам проведенного эмпирического исследования выявлены интересные значения соотношений движений в локомоциях бега: соотношение длительности движения в коленном суставе и его фиксации составило 1,6207 (с вариацией в 4,0785 %) у мужчин и 1,6045 (с вариацией в 2,1377 %) – у женщин; соотношение длительности отталкивания опорного периода и без-

опорного периодов бегового шага составило 1,6151 (с вариацией в 2,8667 %) у мужчин и 1,6071 (с вариацией в 1,9289 %) – у женщин. Значения 1,6151 и 1,6071 близки к соотношению «золотой» пропорции (1,618). Полученные в исследовании значения соотношений согласуются с подограммой (рисунок 3, В) и блок-схемой (рисунок 4, В) структуры бега.

Обсуждение результатов исследования. По результатам корреляционного анализа получены высокие значения коэффициента корреляции между значениями показателей длительности безопорного периода и длительности отталкивания ($r = 0,942$ у мужчин и $r = 0,983$ – у женщин). При этом зафиксировано соразмерное изменение длительности безопорного периода бега и длительности отталкивания независимо от скорости бега (таблицы 1 и 2). О различиях в скорости бега в исследовании косвенно свидетельствуют коэффициенты активности бега (К.а.) (таблицы 1 и 2), которые находятся в диапазоне значений от 0,7333 до 1,1351 у мужчин и от 0,6000 до 1,1000 – у женщин. Полученные результаты можно интерпретировать на основании предлагаемой геометрической модели оптимальной

Таблица 1 – Длительность движения в коленном суставе, его фиксации и соотношение этой длительности, длительность опорного и безопорного периодов бегового шага и их соотношение у мужчин

Спортсмен, №, Имя	Дистанция, м	Движение в коленном суставе ноги, с (1)	Фиксация в коленном суставе ноги, с (2)	Соотношение, (1) / (2), усл. ед	Опорный период, с (3)		Безопорный период, с	Соотношение, усл. ед		
					Амортизация	Отталкивание		Безопорный период / Опорный период, К.а.	Отталкивание / Амортизация	Безопорный период / Отталкивание
1. Пр-в	10000	0,3542	0,2167	1,6346	0,0583	0,1000	0,1500	0,9473	1,7142	1,5000
2. Те-к	10000	0,4500	0,2583	1,7419	0,0667	0,1083	0,1792	1,0238	1,6250	1,6538
3. Ко-в	10000	0,4000	0,2541	1,5738	0,0625	0,1042	0,1625	0,9750	1,6667	1,5600
4. Ча-й	10000	0,4375	0,2708	1,6154	0,0667	0,1042	0,1833	1,0732	1,5625	1,7600
5. Ав-ч	10000	0,3958	0,2417	1,6379	0,0708	0,0958	0,1542	0,9250	1,3529	1,6087
6. Пл-в	10000	0,3542	0,2292	1,5455	0,0833	0,0833	0,1250	0,7500	1,0000	1,5000
7. Ан-к	10000	0,4042	0,2500	1,6667	0,1000	0,0875	0,1375	0,7333	0,8750	1,5714
8. Ку-ч	10000	0,4208	0,3042	1,3835	0,0917	0,1042	0,1667	0,8511	1,1364	1,6000
9. Ка-в	10000	0,4042	0,2458	1,6441	0,0792	0,0958	0,1500	0,8571	1,2105	1,5652
10. Не-т	5000	0,4125	0,2500	1,6500	0,0458	0,1083	0,1750	1,1351	2,3636	1,6154
11. Те-к	5000	0,4083	0,2542	1,6066	0,0833	0,0917	0,1500	0,8571	1,1000	1,6364
12. Пр-в	5000	0,3583	0,2250	1,5926	0,0583	0,0875	0,1458	1,0000	1,5000	1,6667
13. Ча-й	5000	0,4250	0,2500	1,7000	0,0542	0,1083	0,1750	1,0769	2,0000	1,6154
14. Ав-ч	5000	0,4083	0,2417	1,6896	0,0625	0,1000	0,1625	1,0000	1,6000	1,6250
15. Че-ч	5000	0,4000	0,2417	1,6552	0,0917	0,0875	0,1417	0,7907	0,9545	1,6190
16. Пу-й	5000	0,4042	0,2458	1,6441	0,0750	0,0958	0,1542	0,9024	1,2778	1,6087
17. Ду-о	5000	0,4250	0,2583	1,6452	0,0667	0,1042	0,1708	1,0000	1,5625	1,6400
18. Фе-к	5000	0,4208	0,2458	1,7119	0,0500	0,1083	0,1750	1,1053	2,1667	1,6154
19. До-р	5000	0,4167	0,2542	1,6393	0,0708	0,1000	0,1625	0,9512	1,4118	1,6250
20. Шк-а	5000	0,4083	0,2542	1,6066	0,0917	0,0917	0,1500	0,8182	1,0000	1,6364
21. Ше-о	5000	0,4125	0,2625	1,5714	0,0958	0,0917	0,1500	0,8000	0,9565	1,6364
22. Ге-ч	5000	0,4125	0,2542	1,6229	0,0833	0,0958	0,1542	0,8605	1,1500	1,6087
23. Ив-о	3000	0,4125	0,2542	1,6229	0,0625	0,1042	0,1667	1,0000	1,6667	1,6000
24. Пи-н	3000	0,4125	0,2458	1,6780	0,0458	0,1083	0,1750	1,1351	2,3636	1,6154
25. Ли-к	3000	0,4083	0,2542	1,6066	0,0792	0,0958	0,1583	0,9048	1,2105	1,6522
26. Сл-й	3000	0,4125	0,2458	1,6780	0,0958	0,0875	0,1458	0,7954	0,9130	1,6667
27. Пу-й	3000	0,4083	0,2500	1,6333	0,0667	0,1000	0,1625	0,9750	1,5000	1,6250
28. Зм-о	3000	0,3958	0,2542	1,5574	0,0750	0,0958	0,1542	0,9024	1,2778	1,6087
29. Ко-в	3000	0,4083	0,2667	1,5313	0,0667	0,1042	0,1667	0,9756	1,5625	1,6000
30. Ту-в	3000	0,4333	0,2625	1,6508	0,0667	0,1083	0,1750	1,0000	1,6250	1,6154
31. Кл-к	3000	0,4250	0,2750	1,5455	0,0875	0,1000	0,1625	0,8667	1,1429	1,6250
32. Ан-о	3000	0,4083	0,2583	1,5806	0,0833	0,0958	0,1542	0,8605	1,1500	1,6087
Хср., ± σ v %		0,4081	0,2523	1,6207	0,0730	0,0986	0,1592	0,9328	1,4250	1,6151
		0,0208	0,0153	0,0661	0,0149	0,0074	0,0132	0,1089	0,3995	0,0463
		5,0968	6,0642	4,0785	20,411	7,5051	8,2915	11,674	28,035	2,8667

временной структуры двойного шага (рисунк 2).

На основании сформулированной гипотезы [23] «наличие в структуре биологических систем соотношения «золотого сечения» между ее противоположными в функциональном отношении элементами придает этим системам качества целостности, соразмерности, согласован-

ности, что позволяет сохранять основные свойства этих систем и позволяет им оптимально функционировать» – нами рассматривается (в циклической последовательности множества циклов бега) цикл «двойной шаг» как единая объект-система, которая состоит из ряда подсистем (движений) (рисунок 5).

Таблица 2 – Длительность движения в коленном суставе, его фиксации и соотношение этой длительности, длительность опорного и безопорного периодов бегового шага и их соотношение у женщин

Спортсмен, №, Имя	Дистанция, м	Движение в коленном суставе ноги, с (1)	Фиксация в коленном суставе ноги, с (2)	Соотношение, (1) / (2), усл. ед	Опорный период, с (3)		Безопорный период, с	Соотношение, усл. ед		
					Амортизация	Отталкивание		Безопорный период / Опорный период. К.а.	Отталкивание / Амортизация	Безопорный период / Отталкивание
1. Не-й	10000	0,4333	0,2667	1,6250	0,0875	0,1000	0,1625	0,8667	1,1428	1,6250
2. До-ч	10000	0,3833	0,2375	1,6140	0,0917	0,0833	0,1333	0,7619	0,9091	1,6000
3. Бу-я	10000	0,4292	0,2708	1,5846	0,0875	0,1042	0,1583	0,8261	1,1905	1,5200
4. Ко-а	10000	0,4167	0,2667	1,5625	0,0917	0,0958	0,1542	0,8222	1,0454	1,6087
5. Де-а	10000	0,3792	0,2292	1,6545	0,0958	0,0792	0,1292	0,7380	0,8261	1,6316
6. Па-а	10000	0,4250	0,2625	1,6190	0,1083	0,0917	0,1458	0,7292	0,8461	1,5909
7. До-я	10000	0,3792	0,2500	1,5167	0,0917	0,0875	0,1375	0,7674	0,9545	1,5714
8. Са-а	5000	0,3708	0,2333	1,5893	0,0708	0,0875	0,1417	0,8947	1,2352	1,6190
9. Но-к	5000	0,3875	0,2458	1,5763	0,0792	0,0917	0,1458	0,8537	1,1579	1,5909
10. Тю-й	5000	0,4083	0,2500	1,6333	0,0750	0,0958	0,1583	0,9268	1,2778	1,6522
11. Ру-к	5000	0,3958	0,2458	1,6102	0,0708	0,0958	0,1542	0,9250	1,3529	1,6087
12. Се-я	5000	0,3833	0,2375	1,6140	0,0833	0,0875	0,1417	0,8293	1,0500	1,6190
13. За-а	5000	0,3917	0,2417	1,6207	0,0750	0,0917	0,1500	0,9000	1,2222	1,6363
14. Ле-н	5000	0,3917	0,2417	1,6207	0,0583	0,1000	0,1583	1,0000	1,7143	1,5833
15. Бу-я	5000	0,3958	0,2458	1,6102	0,0792	0,0917	0,1500	0,8780	1,1579	1,6364
16. Су-к	5000	0,3625	0,2208	1,6415	0,0958	0,0750	0,1208	0,7073	0,7826	1,6111
17. Ша-а	3000	0,4250	0,2583	1,6452	0,0667	0,1042	0,1708	1,0000	1,5625	1,6400
18. Ил-а	3000	0,3958	0,2458	1,6102	0,0667	0,0958	0,1583	0,9744	1,4375	1,6522
19. Ру-к	3000	0,4125	0,2542	1,6229	0,0625	0,1042	0,1667	1,0000	1,6667	1,6000
20. Тю-й	3000	0,4167	0,2583	1,6229	0,0583	0,1083	0,1708	1,0250	1,8571	1,5769
21. Зе-о	3000	0,4333	0,2708	1,6000	0,0542	0,1125	0,1833	1,1000	2,0769	1,6296
22. Су-к	3000	0,3625	0,2375	1,5263	0,1167	0,0708	0,1125	0,6000	0,6071	1,5882
23. Ви-а	3000	0,4292	0,2708	1,5846	0,1250	0,0875	0,1375	0,6471	0,7000	1,5714
Хср., ± σ v %		0,4004	0,2496	1,6045	0,0822	0,0931	0,1496	0,8597	1,2075	1,6071
		0,0227	0,0141	0,0343	0,0186	0,0103	0,0167	0,1277	0,3778	0,0310
		5,6693	5,6490	2,1377	22,628	11,063	11,163	14,854	31,288	1,9289



Рисунок 5 – Блок-схема оптимальной длительности движений рук и ног бегуна в цикле «двойной шаг» как отношений объекта-системы к объектам-подсистемам (длительность сгибания, разгибания и фиксации ног и рук бегуна в суставах) на основании результатов исследования [20], где: 1,618 у. е. – значение «золотой» пропорции выраженное в условных единицах, 2,618 у. е. – значение квадрата «золотой» пропорции выраженное в условных единицах

Единство объекта-системы, согласно нашей гипотезе, обусловлено пропорциональными отношениями объекта-системы к своим подсистемам и между самими подсистемами. Например, отношением «золотой» пропорции между фиксацией предплечья и его движением, между движением голени и ее фиксацией. Таким образом, единство временной структуры отдельных движений локомоций бега может быть обусловлено наибольшим (из возможных вариантов) количеством «золотых» соотношений между подсистемами, а значит – и наибольшим количеством структурных связей (математических отношений) между ними. Любой другой коэффициент при математическом расчете показывает меньшее количество структурных связей в рассматриваемой системе. В соответствии с этим доводом предполагается, что оптимальная организация временной структуры локомоций бега будет построена таким образом, когда (среди множества подсистем) меньшая ее подсистема будет соотноситься к большей как большая ее подсистема – к их сумме.

На философском уровне осмысления можно интерпретировать наличие в объ-

екте исследования двух противоположностей (дихотомии) – движения и его отсутствия (фиксации) – как диалектические противоположности, которые определенным образом связаны или согласованы посредством пропорции. В данном случае – так называемой пропорции «золотого» сечения. О подобной связи философ Платон в диалоге «Тимей» писал следующее: «Прекраснейшая ... из связей такая, которая в наибольшей степени единит себя и связуемое, и задачу эту наилучшим образом выполняет пропорция, ибо, когда из трех чисел ... первое так относится к среднему, как среднее к последнему ..., тогда при перемещении средних чисел на первое и последнее место (с исходными числами), а (полученные таким способом) с 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» [24]. Например, по указанному выражению философа, такие числа Фибоначчи, как 144, 233, 377 образуют подобное единство среди полученных указанным способом чисел 377, 987, 610.

Несмотря на ряд проведенных исследований [19, 20, 21, 22], предметом которых стала длительность отдельных движений локомоций ходьбы и бега в спортивной практике, доказательством существования феномена «золотого сечения» в рассматриваемых объектах могут служить исследования на сравнительно большой выборке испытуемых с использованием методов математической статистики, формальной логики. Это положение в необходимой мере соответствует строгим правилам научного метода в деятельности профессионального исследователя.

Методические рекомендации. Сформулированные закономерности временной структуры движений локомоций бега уже сегодня позволяют сделать некоторые методические рекомендации для использования их в учебно-тренировочном процессе легкоатлетов-бегунов:

- систематически использовать скоростную видеосъемку (200 кадров в секунду и более) для решения задач совершенствования техники бега у бегунов на дистанциях 3000, 5000, 10000 метров. Выбор названных легкоатлетических дисциплин обусловлен необходимостью решения в учебно-тренировочном процессе проблемы энергетической оптимизации локомоций бега. После проведения видеосъемки на основе полученных видеоматериалов должен производиться анализ техники движений конечностей легкоатлетов при беге с использованием предложенных нами формул (см. формулы 1–5);

- при отклонении искомого соотношения от коэффициента «золотого сечения» требуется вносить коррективы в соответствии с характером этого отклонения. Для этого используется метод упражнения – выполнение специально-подготовительных и специально-подводящих упражнений или использования системы специальных коррекционных упражнений.

Заключение

1. По результатам теоретического исследования выявлено, что:

- локомоцию ходьбы в «привычном» темпе (благодаря наличию «золотой» пропорции между двумя противоположностями – фазами опоры и переноса) можно охарактеризовать как оптимальную, наиболее энергетически эффективную;

- оптимальный вариант техники бега (на примере геометрической модели) возникает в условиях, когда соотносится в отношении «золотой» пропорции длительность фазы отталкивания к длительности фазы амортизации в опорном периоде и, соответственно, длительность безопорного периода – к длительности фазы отталкивания опорного периода.

2. По результатам проведенного эмпирического исследования выявлены «золотые» соотношения движений в локомоциях бега:

- соотношение длительности движения в коленном суставе и его фиксации составило 1,6207 (с вариацией в 4,0785 %) у мужчин и 1,6045 (с вариацией в 2,1377 %) – у женщин;

- соотношение длительности отталкивания опорного периода и безопорного периодов бегового шага составило 1,6151 (с вариацией в 2,8667 %) у мужчин и 1,6071 (с вариацией в 1,9289 %) – у женщин.

3. Сформулированы методические рекомендации, которые предполагают систематическое использование скоростной видеосъемки для решения задач совершенствования техники бега у бегунов на дистанциях 3000, 5000, 10000 метров. На основе полученных видеоматериалов должен производиться анализ техники движений конечностей легкоатлетов при беге с использованием предложенных нами формул.

1. Braune, W. Der gang des menshen / W. Braune, O. Fisher. – Bd. I–IV, Leipzig, 1895–1904.
2. Eberhart, H. An evaluation of experimental procedures used in a fundamental study of human locomotion / H. Eberhart, V. Inman. – «Ann. N.Y. Acad. Sci.», 1951, vol. 51, pp. 1213–1228.
3. Eberhart, H. The principal elements in human locomotion / Eberhart H., Inman V., Bresler B. - In: «Human limbs and their substitutes», ed. P. Klopsteg, P. Wilson, New York, Mc. Craw-Hill, Book Co., 1954, pp. 437–472.
4. Elftman, H. Forces and energy changes in the leg during walking / H. Elftman. – «Amer. J. Physiol.», 1939, vol. 125, pp. 339–356.
5. Elftman, H. Knee action and locomotion / H. Elftman. – «Bull. Hosp. Joint Diseases», 1955, vol. 16, pp. 103–110.
6. Elftman, H. The basic pattern of human locomotion / H. Elftman. – «Annals New York Acad. Sci.», 1951, vol. 51, № 7, pp. 1207–1212.
7. Elftman, H. The force exerted by the ground in walking / H. Elftman. – «Arbeitsphysiologie», 1939, vol. 10, pp. 485–491.
8. Elftman, H. The function of the arms in walking / H. Elftman. – «Human Biology», Baltimore, 1939, vol. 11, pp. 529–535.
9. Murray, M. Gait as a total pattern of movement / M. Murray. – «Amer. J. Phys. Med.», 1967, vol. 46, № 1, pp. 290–333.
10. Murray, M. Walking patterns of normal men / M. Murray, A. Drought, R. Kory. – «J. Bone Joint Surg.», 1964, vol. 46-A, № 2, pp. 335–360.
11. Perry, J. Gait analysis normal and pathological function / J. Perry. – Slack Incorporated, 1992, 524 p.
12. Perry, J. The mechanics of walking. A clinical interpretation / J. Perry. – «J. Phys. Therapy», 1967, vol. 47, pp. 777–801.
13. Winter, D. A. Biomechanics and motor control of human movement. Second edition / D. A. Winter. – John Wiley and Sons Inc., 1990, 277 p.
14. Winter, D.A. The biomechanics and motor control of human gait / D. A. Winter. – Waterloo, Ontario: University of Waterloo Press, Second edition, 1991, 143 ps.
15. Бернштейн, Н. А. Исследования по биодинамике ходьбы, бега, прыжка / Н. А. Бернштейн. – М., «Физкультура и спорт», 1940. – 312 с.
16. Бернштейн, Н. А. О построении движений / Н. А. Бернштейн. – М., Медгиз, 1947. – 254 с.
17. Бернштейн, Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности / Н. А. Бернштейн. – М.: Медицина, 1966. – 349 с.
18. Витензон, А. С. Закономерности нормальной и патологической ходьбы человека / А. С. Витензон; Центр. НИИ протезирования и протезостроения. – М., Зеркало-М, 1998. – 271 с.
19. 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, 2018. – Вып. 21. – С. 86–92.
20. Ворон, А. В. Гармоничные отношения временной структуры движений конечностей человека при беге / А. В. Ворон // Ученые записки : сб. рец. науч. тр. / редкол.: С.Б. Репкин (гл. ред.) [и др.]; Белорус. гос. ун-т физ. культуры. – Минск, 2019. – Вып. 22. – С. 256–263.
21. Ворон, А. В. Инвариантные отношения временной структуры движений конечностей человека при беге / А. В. Ворон // II Европейские игры – 2019: психолого-педагогические и медико-биологические аспекты подготовки спортсменов: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 апр. 2019 г.: в 4 ч. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры; редкол.: С. Б. Репкин (гл. ред.), Т. А. Морозевич-Шилюк (зам. гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУФК, 2019. – Ч. 2. – С. 73–76.
22. Ворон, А. В. Структурная гармония локомоций человека / А. В. Ворон // Научное обоснование физического воспитания, спортивной тренировки и подготовки кадров по физической культуре, спорту и туризму: материалы XV Междунар. науч. сессии по итогам НИР за 2016 год, посвященной 80-летию университета, Минск, 30 марта – 17 мая 2017 г.: в 4 ч. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры; редкол.: Т. Д. Полякова (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2017. – Ч. 1. – С. 47–51.
23. Юшкевич, Т. П. Некоторые аспекты использования пропорции «золотого сечения» в физической культуре и спорте // Т. П. Юшкевич, А. В. Ворон // Мир спорта. – 2022. – № 2. – С. 77–83.
24. Платон. Тимей / Собр. соч. в 4-х т. Т. 3. – М.: Мысль, 1994. – 654 с.

Поступила в редакцию: 11.09.2024