

НЕПРЯМЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИОКИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В СЛОЖНОКООРДИНИРОВАННЫХ ДВИЖЕНИЯХ

Ашанин В. С., Петренко Ю. И., Басенко Е. В., Пугач Я. И.
Харьковская государственная академия физической культуры

Аннотация. Впервые приведены биокинематические характеристики движения, которые не изменяются в различных функциональных состояниях человека и поэтому могут выступать как паспортные данные, отражающие индивидуальные особенности его сложнокоординированных движений. Осуществление этой задачи стало возможным благодаря разработке непрямых методов определения центров масс и масс отдельных биокинематических звеньев. Данные методики описаны впервые.

Ключевые слова: биокинематические звенья, центр масс, общий центр масс, циклоида, конус различимости, логарифмическая спираль.

Анотація. Ашанин В. С., Басенко О. В., Петренко Ю. І., Пугач Я. І. Непрямі методи оцінки біокинематичних характеристик у складнокоординованих рухах. Уперше приведені біокинематичні характеристики руху, які не змінюються в різних функціональних станах людини і тому можуть виступати як паспортні дані, що відбивають індивідуальні особливості складнокоординованих рухів. Здійснення цього завдання стало можливим завдяки розробці непрямих методів визначення центрів мас і мас окремих біокинематичних ланок. Ці методи описані вперше.

Ключові слова: біокинематичні ланки, центр мас, загальний центр мас, циклоїда, конус розрізненості, логарифмічна спіраль.

Abstract. Ashanin V., Basenko E., Petrenko J., Pugach Ya. Indirect methods of estimation of biokinematics descriptions are in difficultly co-ordinating motions. This article was first shows the kinematic characteristics motion characteristics that do not change in different functional states of the person and therefore can serve as passport data, reflecting the individual characteristics of its complex coordination of movements. The implementation of this task was made possible by the development of indirect methods of determining the center of mass and the mass of individual biokinematic links. These methods are described for the first time.

Key words: biokinematic links, center of mass, the common center of mass, the cycloid, the cone of legibility, the logarithmic spiral.

Постановка проблемы. Проблема совершенствования техники сложнокоординированных действий человека представляла большой интерес при изучении трудовых процессов. Значимость этой проблемы возросла в связи с необходимостью развития робототехники. В области спорта это один из наиболее важных вопросов, так как техническая подготовка спортсмена является одной из наиболее слабых сторон в организации тренировочного процесса. Сложность биомеханических исследований состоит, прежде всего, в том, что отсутствуют достаточно точные методы оценки индивидуальных характеристик масс и центров масс биокинематических звеньев, что и определило задачу поиска непрямых методов решения этой проблемы.

Цель работы: разработка методики оценки биокинематических характеристик в сложнокоординированных движениях.

Методы и организация исследования: теоретический анализ и обобщение научных литературных источников.

Задачи исследования:

1. Установить взаимосвязь прилагаемой силы и ускорения центра масс биокинематического звена для конкретного индивида.
2. Разработать методику определения центра масс и массы биокинематического звена на основании использования закона Архимеда.
3. Определить основные факторы-составляющие координационной деятельности, обеспечивающие построение динамического стереотипа.

Изложение основного материала. Организация движения предполагает приложение определенного усилия, которое обеспечивает перемещение отдельного биокинематического звена либо всего тела в целом. В зависимости от определенной силы приведенная в движение масса достигает определенной скорости. В этом случае можно говорить о быстроте нарастания скорости либо ускорении. Зная массу и время, за которое была достигнута определенная скорость, можно говорить о приложенной силе. Практически все три характеристики, входящие во взаимодействие, можно определить опытным путем. Из условия $F=ma$, где F – сила, a – ускорение, m – масса тела, приведенного в движение. Только масса, из этих трех величин, остается неизменной в процессе всего выполнения двигательной деятельности. Условия постоянства отношений двух величин $F/a=m$, позволяют осуществлять контроль динамики изменения силы при выполнении физических упражнений относительно каждого биокинематического звена. Исходя из того, что выражение $F/a=m$ отражает постоянство отношений, можно установить допустимые границы вариации силы для разгона массы до определенной скорости.

Если представить эти отношения как величины двух векторов, расположенных на одной прямой, и критерий постоянства их отношений (m) является точкой, разделяющей эти векторы и выступающей началом координат, то эта точка опишет окружность в декартовой системе координат, в которой ось X является продолжением отмеченной прямой [10] (рис. 1).

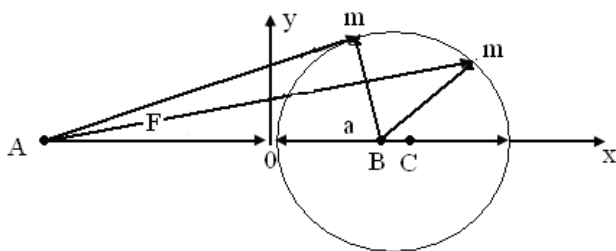


Рис. 1. Динамика изменения силы при выполнении физических упражнений

Обозначим $AO=F$, а $BO=a$, тогда $AO/BO=m$.

Задача заключается в определении геометрического места концов радиуса векторов F и a , сохраняющих отношение m .

$$F = \sqrt{y^2 + (d+x)^2}; \quad a = \sqrt{y^2 + (x-a)^2}$$

$$\text{Из } F/a=m \Rightarrow \frac{y^2 + (d+x)^2}{y^2 + (x-a)^2} = m$$

$$y^2 + F^2 + 2Fx + x^2 = m^2 y^2 + m^2 a^2 - 2am^2 + m^2 x^2$$

$$m^2 y^2 - y^2 + m^2 x^2 - x^2 - 2akm^2 - 2Fx = F^2 - m^2 a^2$$

$$\text{Так как } F=ma \Rightarrow F^2 - m^2 a^2 = 0$$

$$y^2(m^2 - 1) + x^2(m^2 - 1) - 2x(m^2 a + F) = 0$$

$$y^2 + x^2 - 2x \left(\frac{m^2 a + F}{m^2 - 1} \right)$$

$$y^2 + x^2 - 2x \frac{F(m+1)}{m^2 - 1}$$

$$y^2 + x^2 - 2x \frac{F}{(m-1)} = 0$$

$$y^2 + x^2 - 2x \frac{F}{m-1} + \frac{F^2}{(m-1)^2} = \frac{F^2}{(m-1)^2}$$

$$y^2 + \left(x - \frac{F}{m-1}\right)^2 = \frac{F^2}{(m-1)^2} \Rightarrow \text{смещение центра}$$

геометрического места точек m равно $F/(m-1)$, то есть $OC=R=F/m-1$.

Процесс построения окружности Апполония можно повторить с определенным шагом уменьшения одной из величин. При определенном количестве шагов построений окружности Апполония возникают условия, когда минимальное значение (a) в первом построении будет соответствовать его максимальному значению на n -ом шаге. Причем это значение во всех промежуточных построениях также присутствует, проходя поворот вокруг оси вращения от 0° до 180° .

Если шаг смещения устремить к 0, то будет получен усеченный конус, что указывает на ограниченность диапазона постоянных отношений при заданном критерии подобия. Такая закономерность связи $F=am$ представлена на рис. 2.

Особенностью данного геометрического построения является тот факт, что на протяжении всего изменения величины F , от своего максимального значения до минимального, всегда присутствует одно из значений (a), в то время как наибольшее и наименьшее ее значение встречаются только по одному разу.

Данное геометрическое построение раскрывает целый ряд фактов проявления силовых усилий, которые в прямых исследованиях установить не удастся. В описанной закономерности можно по отдельному построению окружности Апполония или даже ее части восстановить полностью всю структуру проявления

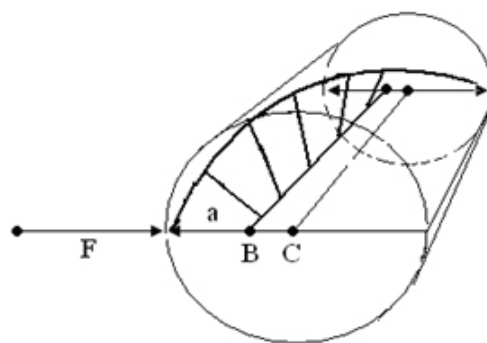


Рис. 2. Усеченный конус, указывающий на ограниченность диапазона постоянных отношений при заданном критерии подобия

встречаемости одинаковых отношений, а по характеру сходимости конуса установить такие качества, как быстрота изменений протекаемых процессов, допустимая ошибка различимости усилия при выполнении двигательного акта, мера утомления при повторном его выполнении и целый ряд других свойств, вытекающих из анализа полученного геометрического построения [1].

Обоснованность используемого подхода определяется тем, что, выбирая в качестве геометрических понятий точек, прямых и плоскостей иные предметы и определения, их взаимные отношения с соблюдением условий аксиом евклидовой геометрии, получаем другие конкретные формы пространства Евклида. Каждой конкретной форме пространства Евклида соответствует свое истолкование евклидовых теорем.

Таким образом, удаляя из геометрии все ссылки на наглядную очевидность и оставляя лишь ее логический каркас, достигается возможность заполнить его различным конкретным материалом. Следовательно, при абстрактно-логическом построении геометрии не только не теряется реальная почва, но и расширяется область геометрических приложений [6].

Такого рода широкий взгляд на геометрические элементы и геометрические аксиомы открывает возможность и саму систему аксиом избирать с большой степенью произвола, приспособляя этот выбор к той конкретной области, которую желательно подвергнуть исследованию. Таким путем аксиоматический метод переносится из геометрии в другие отделы математики, в механику, физику, биологию и приводит к совершенным абстрактным пространствам, элементы которых являются множества, функции, преобразования и т. п. [11].

Не менее интересным являются геометрические представления изменения проявления величины силы в различных режимах мышечного напряжения. Если фиксировать положение биокинематических звеньев и наблюдать скорость развития силы, то можно говорить о величине приращения силы на единицу времени, то есть dF/dT , но приращение усилия наблюдается не только во времени, но и от угла между биокинематическими звеньями. То есть следует учитывать еще и значение $dF/d\phi$.

Если рассмотреть динамику развития усилия на угол разгиба биокинематических звеньев двухзвневой цепи, то процесс его приращения протекает по

логарифмической спирали. Индивидуальные особенности такого приращения усилия проявляются только в кривизне спирали. Данную зависимость можно представить следующим образом (рис. 3).

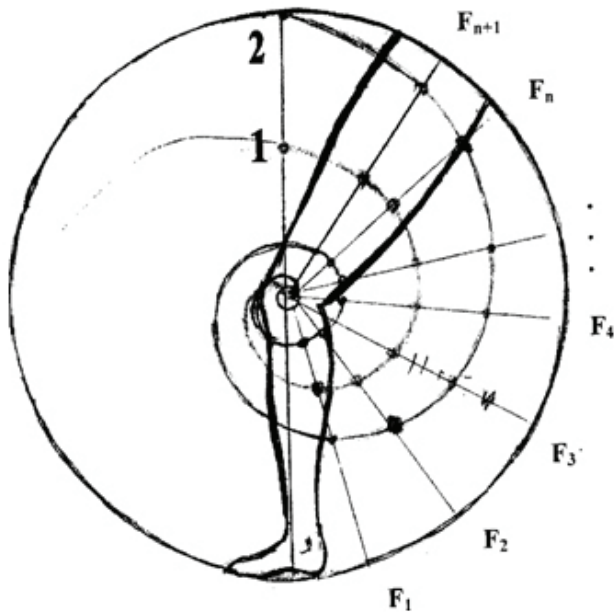


Рис. 3. Динамика приращения усилий на примере логарифмической спирали

В зависимости от текущего состояния величины усилия при каждом конкретном значении разгиба биокинематической цепи может изменяться в некотором пределе. При повышенной работоспособности эти значения выше, при низкой работоспособности они достигают своих минимальных проявлений. Эта особенность проявления динамики изменения величины $dF/d\varphi$ является объективным показателем текущего состояния готовности к выполнению предлагаемой физической нагрузки. Кроме этого, кривизна получаемой спирали отражает степень проявления координационных способностей индивида относительно временных и пространственных оценок прилагаемых усилий.

Благодаря особенностям строения логарифмической спирали появляется возможность относительно быстро и с достаточной точностью определять текущее состояние индивида. Вращая определенный для конкретного индивида сектор логарифмической спирали вокруг ее фокуса можно точно определить необходимый угол его поворота, когда значение величины усилия совпадает с аналогичным значением на «поворотной» шкале его оценки. Совмещая показатели скорости нарастания силы во времени и скорости нарастания ее от угла разгибания элементов биокинематической цепи, получим общую структуру проявления силы на каждом участке разгона массы тела.

Такое геометрическое построение выявляет характеристики, которые отражают индивидуальные особенности организации двигательной деятельности. Кроме этого, в основе построения данных геометрических зависимостей лежат известные аналитические выражения, что позволяет по полученным отдельным характеристикам полностью восстановить

целостную структуру с оценкой относительно ее текущего состояния лица, выполняющего соответствующую двигательную деятельность. Не менее важной особенностью представленной закономерности организации мышечного усилия является тот факт, что в ней отражаются такие характеристики, как быстрота его нарастания и точность дозирования этого приращения как во времени, так и пространственной оценки расположения биокинематических звеньев.

Наличие хорошо известных аналитических выражений в описании динамики проявления силы позволяет обеспечить компьютеризированную обработку получаемого сигнала.

Проводимые исследования в области биомеханики движения человека связаны с изучением закономерностей построения техники сложнокоординационных видов деятельности. Как учебный предмет, биомеханика появилась в высшей школе с 1958 года. Однако научные основы этой дисциплины были заложены в физиологии и биомеханике трудовых движений [3; 4]. Вся сложность проводимых исследований заключается в определении масс и центра массы каждого биокинематического звена.

Классическая методика была основана на прямом взвешивании отдельных биокинематических звеньев тела при расчленении трупного материала. Установленные среднестатистические материалы, полученные различными авторами, имеют существенные различия. Это не позволяет использовать их для получения индивидуальных характеристик динамики изменения усилий при выполнении исследуемых двигательных действий. Контроль траекторий определенных точек биокинематических звеньев без учета их масс и центров масс не позволяет установить интересующие закономерности.

Решение данной проблемы возможно несколькими способами. При исследовании П. Н. Башкировым удельного веса человека было установлено, что его величина у взрослых мужчин равна $1,0413 \pm 0,0011 \text{ г·см}^{-3}$. Естественно он может изменяться с возрастом и иметь индивидуальные проявления [2; 7]. Используя этот метод, дополнительно определяется вес частей тела по мере подъема уровня воды в резервуаре. Основываясь на получаемых данных об объеме соответствующей погруженной в воду части тела, определялось уменьшение веса относительно его величины до погружения, и на основании этого устанавливался вес любого кинематического звена с определением его горизонтальной плоскости, в которой находится центр объема и центр массы. Графическая запись этих характеристик позволяет иметь дополнительные сведения о структуре строения биокинематического звена. Принцип измерения представлен на рис. 4.

Описанная методика позволяет с достаточно высокой точностью определить индивидуальные характеристики строения биокинематических звеньев. Ее существенный недостаток заключается в необходимости стационарной установки.

Второй способ определения необходимых характеристик биокинематических звеньев связан с использованием физических закономерностей их движения. Любое из биокинематических звеньев осуществляет колебательное движение относительно определенной оси. Таким образом, задача сводится

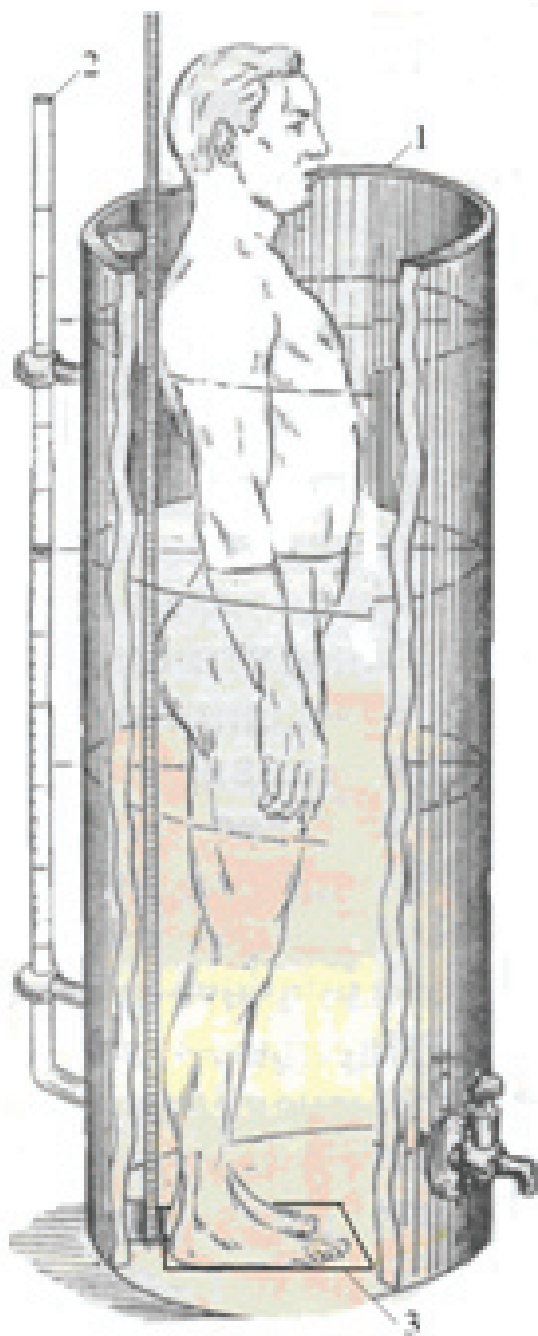


Рис. 4. Определение горизонтальной плоскости центра объема тела, весовых характеристик биокинематических звеньев и центров их масс:

1 – резервуар для определения объема тела, 2 – измерительная шкала заполненного объема резервуара, 3 – весы для измерения погруженного тела

к исследованию движения физического маятника. В силу того, что его колебания не зависят от массы, а при его отклонениях относительно равновесного состояния не более 5° период колебания может быть рассчитан по закону движения материального маятника, на основании которого определяется центр массы звена. Частота колебаний и их амплитуда определяется с помощью геометрических измерений. Установив таким образом место нахождения центра

массы биокинематического звена, расчетным путем устанавливается вес этого звена. Расчет осуществляется следующим образом:

$$l_1 P = l p_1; l_1 = \frac{l p_1}{P}$$

$$l P_2 = (l_1 - x) P$$

$$\frac{l_1 P - l P_2}{P} = x$$

$$\frac{(l_1 - x) P}{l_2} = P$$

$$\frac{(l_1 - x) P}{l} = P_x$$

Установленные центры масс и массы биокинематических звеньев позволяют в любой позе определить общий центр тяжести и при этом установить его истинную траекторию движения. Однако основная задача определения массы и центров масс заключалась не в определении общих закономерностей движения ОЦТ, а в возможности построения компьютерной анимации индивидуальной техники движения, которую должен освоить спортсмен.

Оптимальные траектории движения являются эталоном, относительно которого строится реальное движение на стадии его освоения. Фактически каждое биокинематическое звено может совершать только вращательное движение, а совокупность уже двух сочлененных биокинематических звеньев могут обеспечить любую траекторию передвижения конечного элемента этой цепи. Но, наиболее экономичными из них будут те, выполнение которых требует минимального расхода энергии.

Такой траекторией является брахиетохона или циклоида. Именно свойства этой кривой обеспечивают наиболее экономичные и оптимальные условия перемещения материальной точки в условиях гравитационного поля. Процесс эволюции построения сложнокоординированной деятельности был связан с созданием сложной биокинематической структуры двигательного аппарата живых существ, в которой не может быть лишних либо недостающих звеньев [12]. Поэтому можно говорить только о диапазоне обеспечения двигательной деятельности при наличии индивидуальных особенностей структуры построения биокинематической системы. Эти характеристики сводятся к возможности осуществления колебательных движений каждого звена по доступной им амплитуде и частоте. Именно совокупность одновременно осуществленных колебательных движений биокинематических звеньев тела создает все многообразие форм движения тела. Имея характеристики структуры тела, можно на основании биокинематических характеристик определить двигательные возможности каждого индивида. При этом, зная структуру идеального выполнения определенного двигательного акта и уровень реального выполнения, открывается возможность контроля процесса обучения и оценки приближения к идеальному уровню его выполнения. Данная характеристика определяет уровень обучаемости

индивида, и при правильном построении процесса освоения образовательной среды можно прогнозировать уровень достижимости ее освоения.

Одной из важных сторон биокинематического анализа двигательной деятельности является возможность оценки ряда качественных характеристик ее выполнения и по их показателям определения меры утомления индивида, за пределами которой целесообразность совершенствования техники выполнения движения утрачивает свою целесообразность.

Совокупность кинематических цепей двигательной системы организма составляет структурную организацию тела. Согласование ее деятельности зависит от уровня сенсорных систем, различимость которых обеспечивает взаимообусловленность в участии различных компонентов биокинематических цепей. Чем менее точная оценка взаимодействия элементов, тем более ограничена сложность построения выполняемых движений. Следовательно, сенсорика определяет качественную сторону организации двигательной деятельности. И наконец, функциональное предназначение в общении с образовательной средой определяет особенности построения динамических стереотипов двигательной деятельности применительно к условиям взаимодействия с образовательной средой.

Таким образом, конечный результат организации двигательной деятельности представлен производением трех базисных характеристик, что можно представить как степенной одночлен $P=CK\Phi$. Такая зависимость указывает на наличие некоторого множества, порождающего эквивалентный результат. В зависимости от морфологической структуры (С) или типа телосложения, качественного развития сенсорики (К) и функциональных особенностей проявления работы высшей нервной деятельности, определяющей формирование динамического стереотипа поведения (Ф), формируется конечный результат (Р) координационной деятельности индивида.

В данных исследованиях учитывалось только биомеханические особенности формирования построения движения, то есть речь шла о компоненте С. В свою очередь составной компонент конечного результата построения движения (К) определяет допустимую точность в оценке прилагаемой силы, пространственной направленности и продолжительности осуществляемых кинематических и динамических составляющих движения. Компонент (Ф) определяет качественный характер протекания процесса двигательной деятельности, который составляют быстрота

и продолжительность реагирования, скорость формирования и переключение направленности действия, что относится к разделу психической регуляции поведения.

Выводы. Установленная связь прилагаемой силы и наблюдаемого ускорения центра масс биокинематического звена позволяют установить весь диапазон постоянных отношений $F/a=m$, характерных для конкретного индивида, что невозможно осуществить с помощью ранее применяемых методик.

Вскрытая закономерность приращения усилий на угол разгиба биокинематических звеньев может быть выражена логарифмической спиралью, что позволяет прогнозировать величину усилия, развиваемого индивидом, на основании результатов любого промежуточного измерения. По изменению наблюдаемого усилия при конкретном взаимоотношении биокинематических звеньев возможна оценка меры утомления. Данная методика описывается впервые.

Предлагаемая методика определения центра масс и массы биокинематического звена на основании использования закона Архимеда даст возможность с высокой точностью устанавливать индивидуальные характеристики биоиндивидуума тела человека. Не менее эффективным является использование метода физического маятника, позволяющего с высокой точностью установить место нахождения центра массы биоиндивидуума.

Использование данных методик и наличие аналитических выражений, определяющих оптимальные условия перемещения ОЦТ, позволяет построить компьютерную анимационную структуру индивидуального выполнения техники движения, которую предстоит еще освоить. Использование такого стандарта относительно текущего уровня освоения соответствующего движения позволяет установить уровень обучаемости индивида.

Представление координационной деятельности в виде степенной одночлена указывает на необходимость учета трех составляющих факторов, в которые входят морфометрические характеристики телосложения; сенсорная система, оценивающая точность кинематических характеристик двигательной деятельности и ВНД, обеспечивающая построение динамического стереотипа движения.

Перспективы дальнейших исследований. Дальнейшие наши исследования будут направлены на построение единых теоретических представлений о механизме сложнокоординированной деятельности человека.

Литература:

1. Ашанин В. С. Характеристики, определяющие индивидуальные особенности построения двигательной деятельности / В. С. Ашанин, В. А. Друзь, А. А. Боляк // Слобожанський науково-спортивний вісник : [наук.-теор. журн.]. – 2009. – № 4. – С. 168–173.
2. Башкиров К. А. Учение о физическом развитии человека / К. А. Башкиров. – М. : МГУ, 1962. – 206 с.
3. Біомеханіка спорту : [навч. посібник] / А. М. Лапутін, В. В. Гамалій, О. А. Архипов та ін. : [під заг. ред. А. М. Лапутіна]. – К. : Олімпійська література, 2005. – 319 с.
4. Виноградов М. И. Физиология трудовых процессов / М. И. Виноградов. – Л. : Лениздат, – 1958. – 462 с.
5. Дубровский В. И. Биомеханика / В. И. Дубровский, В. Н. Федорова. – М. : ВЛАДОС-ПРЕСС, 2008. – 669 с.
6. Ефимов Н. В. Высшая геометрия / Н. В. Ефимов. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. – 576 с.
7. Иваницкий М. Ф. Анатомия человека : [учебник для студентов физической культуры] / М. Ф. Иваницкий. – М. : Олимпия, 2008. – 624 с.



МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ І СПОРТУ

8. Савелов А. А. Плоские кривые. Систематика, свойства, применения / А. А. Савелов. – М. : Либроком, 2010. – 296 с.
9. Самсонкин В. Н. Теоретические основы автоматизированного контроля человеческого фактора в человеко-машинных системах на железнодорожном транспорте : дис. д.т.н. / В. Н. Самсонкин. – Х., 1997. – 427 с.
10. Сеп Е. К. История развития нервной системы у позвоночных / Е. К. Сеп. – М. : Медгиз, 1959. – 428 с.