

УДК 796.85-316.628

*О.Б. Дмитриев, Э.Р. Ахмедзянов***МЕТОДИКО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «МУЛЬТИМЕДИА БИОМЕХАНИКА»  
В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ  
ИНСТИТУТА ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА**

Рассматриваются разработанный методико-программный комплекс «Мультимедиа биомеханика» (МПК «МБ») и практика его использования. МПК «МБ» базируется на методе видеоциклографии, в котором объемное трехмерное пространственное движение заменяется на плоскопараллельное. Исходными материалами для биомеханического исследования двигательных действий в МПК «МБ» являются видеозапись спортивной техники и видеоциклограмма на основе стержневой модели. Целью исследования являются анализ и обобщение опыта использования МПК «МБ» в научно-исследовательской работе студентов Института физической культуры и спорта Удмуртского государственного университета. Проводится обзор дипломных работ и ВКР, в которых использовался МПК «МБ». Исследования студентов проводились в областях каратэ-до, кобудо (техника с оружием), степ-аэробика, оздоровительный бег, при этом всегда решались важные практические задачи биомеханики двигательных действий. В МПК «МБ» не применяются дорогие составляющие (скоростные видеокамеры, инерционные датчики, светоотражающие элементы и т. д.), но при этом многофункционален и обладает хорошей точностью определения численных характеристик движения. В работе подтверждается, что МПК «МБ» является эффективным средством для решения образовательных задач и проведения научно-исследовательской деятельности студентов.

*Ключевые слова:* биомеханика, видеоциклограмма, стержневая модель, биомеханический анализ, двигательное действие, компьютерная программа, методико-программный комплекс «Мультимедиа биомеханика».

DOI: 10.35634/2412-9550-2020-30-4-421-429

**Введение**

Циклография – метод изучения движений и действий человека с помощью последовательного фотографирования светящихся меток или лампочек, укрепленных на движущихся частях тела [8].

Первые эксперименты, приведшие к созданию метода, были проведены в 1877–1878 гг. американским ученым Э. Майбриджем, который получил последовательные автоматические снимки (всадник, скакавший на лошади вдоль ряда фотоаппаратов). Французский исследователь Ж. Марей и французский физиолог и педагог Ж. Дементи разработали метод хронографии [2; 10]. Немецкие биомеханики В. Брауне и О. Фишер вместо блестящих полос и точечных лампочек применили газосветные лампы – гейслеровы трубки [2; 10]. Метод хронофотографии был значительно усовершенствован Н.А. Бернштейном, разработавшим метод циклограмметрии [2; 7; 10]. При помощи обтюратора на пластинке получают точечные траектории лампочек – циклограмму. По координатам точек на циклограмме вычисляют их перемещения, скорости и ускорения, а по массам и ускорениям звеньев рассчитывают приложенные силы. Д.Д. Донской продолжил развитие данного направления и на основе кино- и видеоциклограммы двигательного действия сформулировал метод биомеханического анализа спортивной техники на основе стержневой модели [7]. На практике модели могут быть разные: Д.Д. Донской использовал стержневую модель, состоящую из 14 звеньев, а в некоторых задачах – из 6 звеньев [7]; В.П. Аксенов и А.В. Самсонова использовали 20-звенную модель [1]; разработчиками комплекса, в зависимости от поставленных целей исследования, применялись 14-, 15- и 16-звенные модели [9] и т. д.

В настоящее время для проведения биомеханического анализа все чаще применяются сложные дорогостоящие аппаратно-программные комплексы на основе технологии захвата движения (Motion Capture или MoCap) (рис. 1, а) и высокоскоростных камер. Так, комплекс Virtual Sensei [13], ориентированный на технику каратэ, позволяет на основе видеoinформации, полученной скоростными видеокамерами, выполнять автоматическое построение трехмерной модели двигательного действия (рис. 1, б). Существуют и другие мощные многофункциональные аппаратно-программные комплексы, например Xsens System [15] (рис. 1, в), Vicon Products [14] (рис. 1, г), AnyBody Modeling System [12], предназначенные для формирования трехмерных моделей человека на основе инерционных датчиков и световых элементов. Системы, как правило, ориентированы на исследования в трудовой и спортивной областях, а также в медицинской сфере.

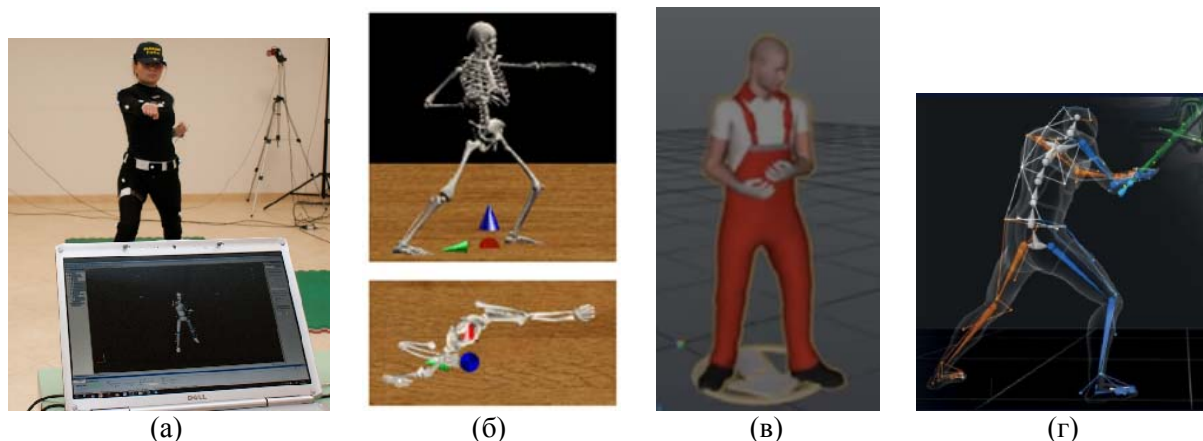


Рис. 1. Современные аппаратно-программные комплексы: а) захват движения с помощью костюма, оснащенного датчиками; б) скелетная твердотельная модель, созданная Virtual Sensei; в) трехмерная модель Xsens System для исследования эргономики; г) имитационная трехмерная модель Vicon Products

К сожалению, высокая цена и малая распространенность подобных, несомненно интересных, решений приводят к невозможности их практического использования во многих российских вузах. Однако применение данных инструментов является не единственным возможным путем решения задач биомеханики с использованием мультимедийных технологий.

Большая работа в направлении использования мультимедийных технологий при биомеханическом анализе спортивной техники единоборств и некоторых других видов спорта была проведена авторами на базе Института физической культуры и спорта Удмуртского государственного университета. Созданный нами методико-программный комплекс «Мультимедиа биомеханика» (далее – МПК «МБ») (рис. 2) описывался как в сборниках материалов научно-практических конференций [3; 4; 6], так и в периодических изданиях [5]. На сегодняшний день целесообразно оценить практику использования МПК «МБ» в научных исследованиях и образовательной сфере.

**Цель исследования.** Анализ и обобщение опыта использования методико-программного комплекса «Мультимедиа биомеханика» в научно-исследовательской работе студентов (в дипломных исследованиях, УИРС и ВКР) Института физической культуры и спорта Удмуртского государственного университета.

**Краткая характеристика комплекса.** МПК «МБ» базируется на методе видеоциклографии. Главное допущение метода видеоциклографии – это замена объемного трехмерного пространственного движения на плоскопараллельное (т. е. происходит проецирование движения на вертикальную плоскость, ортогональную оптической оси видеокамеры).

Исходными материалами для биомеханического исследования двигательных действий в МПК «МБ» являются видеозапись спортивной техники и видеоциклограмма на основе стержневой модели (рис. 4, б). Структурный анализ биомеханической системы в МПК «МБ» выполняется в полуавтоматическом режиме, т. е. координаты рабочих точек спортсмена задаются вручную, а далее, автоматически формируется стержневая модель и проводится кинематический, динамический и энергетический анализ двигательного действия.

## Результаты исследования

В дипломной работе *А.В. Чигвинцева* (2000 г.), с помощью МПК «МБ», проводилось исследование двух ударных техник каратэ-до – *ой-дзуки* и *гяку-дзуки*, каждая из которых выполнялась двумя спортсменами (рис. 2) одинаковой квалификации, но с разными антропометрическими параметрами [6]. В результате было выявлено, что каждый удар имеет свою особенную «энергетическую картину», свои графики кинетической энергии [6] (рис. 3). Из графиков на рис. 3 видно, что в момент удара (момент контакта с мишенью) энергия удара *гяку-дзуки* больше, чем у удара *ой-дзуки*, т. е. *гяку-дзуки* является более мощной техникой. Антропометрические характеристики спортсменов не влияют на общую энергетическую картину, могут лишь сжимать или растягивать графики энергии вдоль осей.

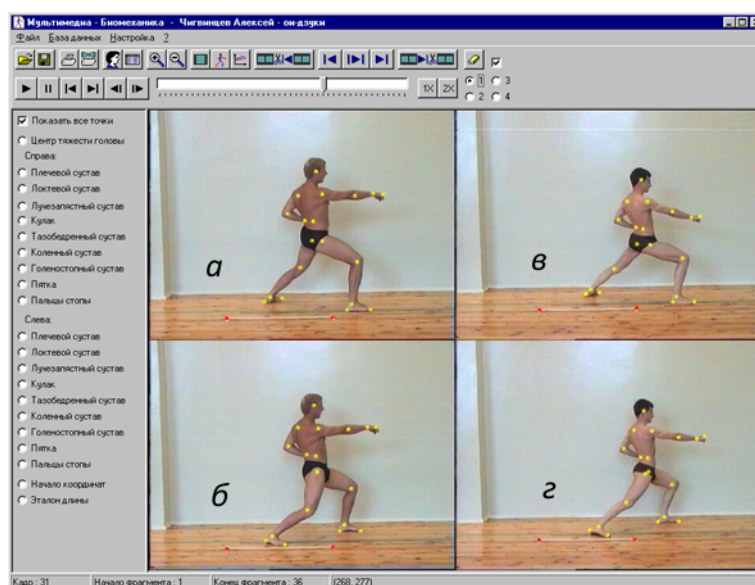


Рис. 2. МПК «МБ» в биомеханическом исследовании ударных техник ой-дзуки и гяку-дзуки: а) спортсмен 1 выполняет удар ой-дзуки; б) спортсмен 1 выполняет удар гяку-дзуки; в) спортсмен 2 выполняет удар ой-дзуки; г) спортсмен 2 выполняет удар гяку-дзуки

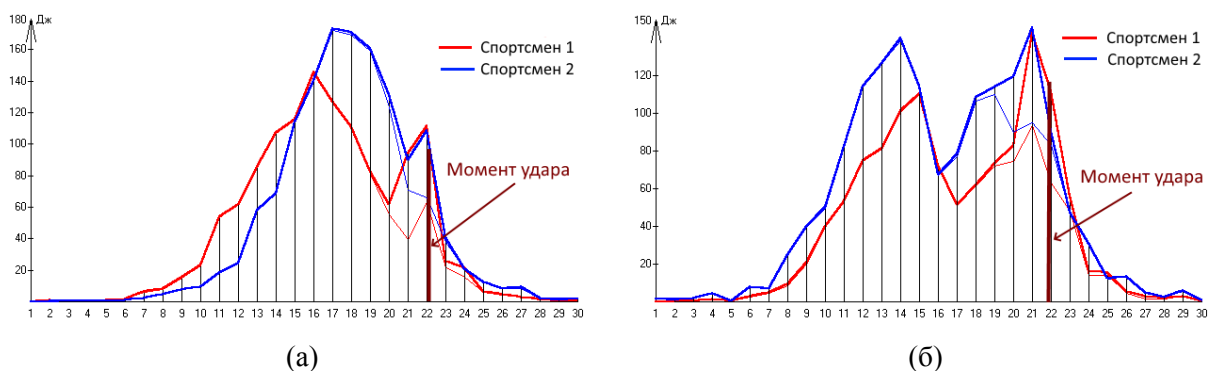
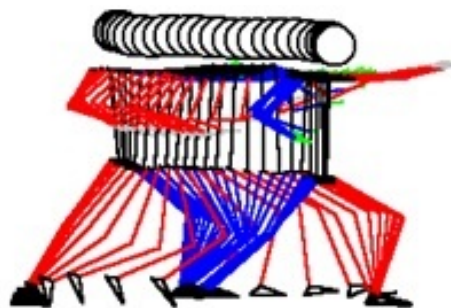
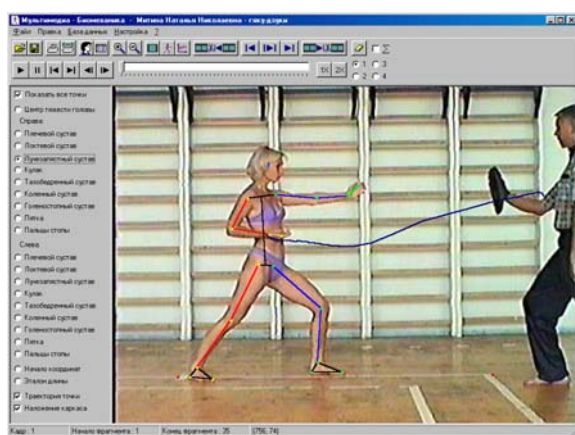


Рис. 3. Графики кинетической энергии ударных техник: а) удар ой-дзуки; б) удар гяку-дзуки



(а)

(б)

Рис. 4. МПК «МБ» при проведении биомеханического анализа техник каратэ-до в исполнении женщин: а) траектория ударной руки в технике ой-дзуки; б) видеоциклограмма удара ой-дзуки

В дипломном исследовании *Н.О. Митиной* (2002 г.) с помощью МПК «МБ» проводился биомеханический анализ ударных техник каратэ-до в исполнении женщин (рис. 4). Рассматривались те же удары (ой-дзуки и гяку-дзуки), что и в работе *А.В. Чигвинцева*, и сравнение проводилось в выполнении этих техник женщинами и мужчинами. В исследовании участвовали 4 спортсмена: две женщины и двое мужчин. У всех спортсменов одинаковая квалификация.

В ходе исследования были выявлены сравнительные особенности техники каратэ-до в исполнении женщин по отношению к технике мужчин, такие как относительно слабые разгонные характеристики, более поздний момент нанесения удара, большая длительность выполнения ударных техник; низкая кинетическая энергия ударов, а также разработаны рекомендации для улучшения выполнения ударной техники каратэ-до у женщин.

В 2012–2013 гг. в выпускной квалификационной работе *А.Н. Санникова* МПК «МБ» использовался для проведения биомеханического анализа базового двигательного действия «Степ-шаг» (Basic Step). В исследовании принимали участие профессиональный инструктор по степ-аэробике и две студентки первого курса ИФКиС (рис. 5).

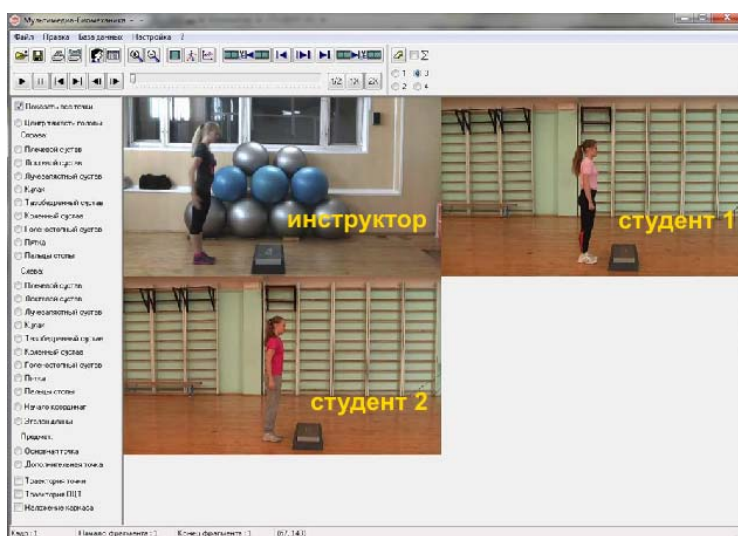


Рис. 5. МПК «МБ» и группа испытуемых при проведении биомеханического анализа базового степ-шага (Basic Step)

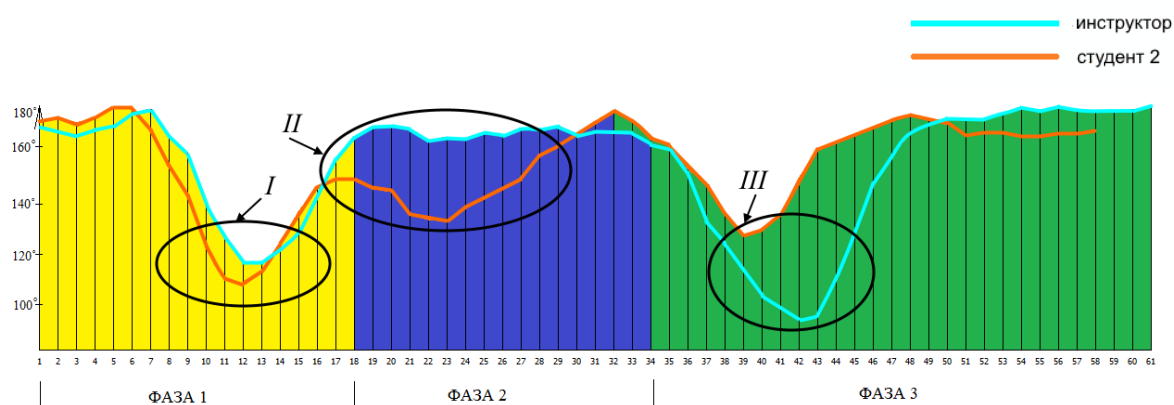
Эксперимент заключался в следующем: студентки-новички прошли обучение базовой степ-технике. Каждую из них сняли на видео в начале и в конце эксперимента при выполнении базового степ-шага и были проведены измерения углов в коленных суставах с помощью МПК «МБ». Выполнение техники степ-шага инструктором рассматривалось в качестве эталона. Сравнение проводилось между результатами в начале и в конце эксперимента и с эталоном.

Базовый степ-шаг выполняется на четыре счета и состоит из трех фаз: 1) фаза 1 – восхождение на степ-платформу; 2) фаза 2 – двухопорная остановка на платформе; 3) фаза 3 – спхождение со степ-платформы (рис. 6, а). За время эксперимента техника обеих студенток улучшилась и приблизилась к технике инструктора, однако различия все равно остались. Очень важно в фазе 2 выдерживать вертикальное положение туловища, чтобы нагрузить и лучше использовать ягодичные мышцы и разгрузить, за счет этого, четырехглавые мышцы бедра (рис. 6, а, фаза 2); в фазах 1 и 3 небольшой наклон туловища вперед позволяет облегчить восхождение на платформу и спхождение с платформы (рис. 6, а).

На рис. 6, б представлено сравнение графиков изменения угла  $\alpha$  – угла в коленном суставе при выполнении степ-шага инструктором и студенткой 2 в конце эксперимента. В положении I (фаза 1) различия практически отсутствуют; в положении II (фаза 2) студентка 2 поднимается на платформу на согнутых ногах, что приводит к неустойчивому равновесию; в положении III (фаза 3) у студентки 2 при спхождении с платформы гораздо меньше сгибается нога в коленном суставе, у инструктора происходит более интенсивная мышечная работа и сжигание калорий.



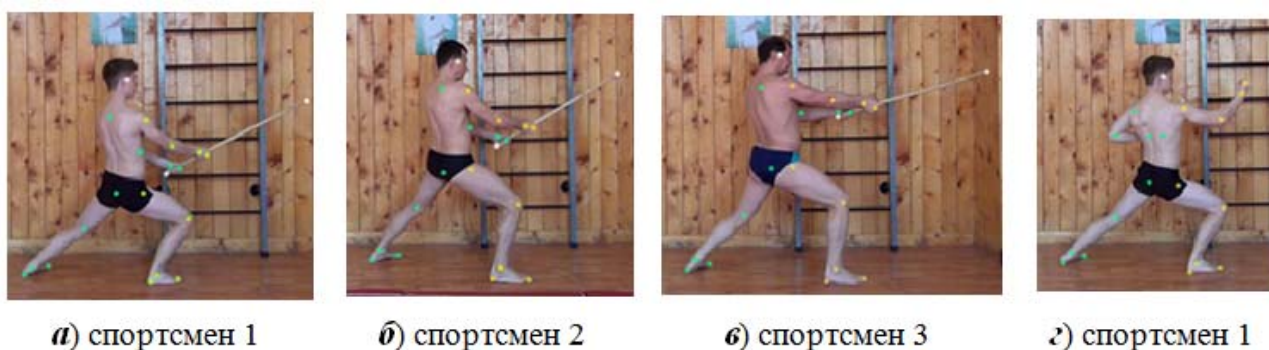
(а)



(б)

Рис. 6. Выполнение студенткой 2 двигательного действия «Базовый степ-шаг» (Basic Step) в конце эксперимента: а) фазовое строение степ-шага; б) графики изменения угла  $a$  – угла в коленном суставе при выполнении степ-шага инструктором и студентом 2

В 2013–2014 гг. проводился биомеханический анализ выполнения ударной техники кобудо с оружием в рамках дипломного исследования Э.Л. Шамигурина и УИРС студента А.А. Никешкина. В эксперименте рассматривали три вида традиционного оружия: 1) *бо* – длинный шест; 2) *дзэ* – палка средней длины; 3) *сай* – металлический трезубец. Анализировался рубящий удар сверху *атоси-учи*, применимый ко всем видам традиционного оружия. Все техники выполнялись тремя спортсменами высокой квалификации, но с разными антропометрическими параметрами (рис. 7, а-в).



а) спортсмен 1

б) спортсмен 2

в) спортсмен 3

г) спортсмен 1

Рис. 7. Примеры выполнения техники кобудо с оружием *дзэ* (а, б, в) и техники каратэ-до *атоси-учи* (г)

Двигательные действия с использованием оружия *бо*, *дзэ*, *сай*, относятся к ударным взаимодействиям с применением спортивных снарядов малой массы (по Д.Д. Донскому). Из сравнения графиков на рис. 8, а и 8, б видно, что импульс силы биосистемы «спортсмен» при выполнении ударной техники с оружием больше, чем без оружия, и длительность выполнения техники с оружием больше.

Скорость кисти в двигательном действии с оружием достоверно меньше, но незначительно. Масса оружия и, следовательно, момент сопротивления от оружия создают дополнительную нагрузку на лучезапястный, локтевой и плечевой суставы, на позвонки поясничного отдела, на мышцы-синергисты и антагонисты и на связки ударной руки. А.В. Самсонова отмечает, что мышцы к дополнительному сопротивлению адаптируются быстрее, чем связки, и что такое противоречие является весьма травмоопасным [2; 11]. Данную особенность необходимо учитывать при совершенствовании ударных техник с оружием и при выполнении их с большой скоростью.

В 2015 г. рамках УИРС студент А.А. Никешкин провел сравнительное исследование выполнения ударной техники Атоси-учи с традиционным оружием и без оружия (рис. 7, г). В таблице представлены вариации некоторых важных характеристик этой техники каратэ-до в зависимости от антропометрических параметров спортсменов.

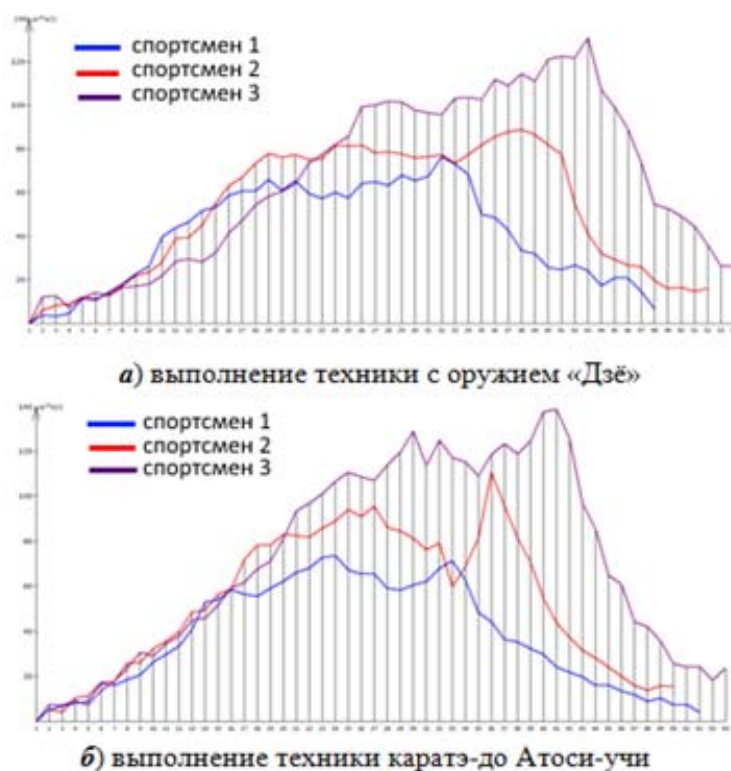


Рис. 8. Графики импульса силы при выполнении различных ударных техник с оружием дзё (а) и без оружия (б)

Из графиков количества движения (импульса силы) на рис. 8, б и из таблицы видно, что проявляется четкое ранжирование спортсменов по их массе, скоростным и силовым параметрам ударной техники. Отсюда вытекает важный вывод, что соревнования по кумитэ (в поединках) необходимо проводить обязательно по весовым категориям.

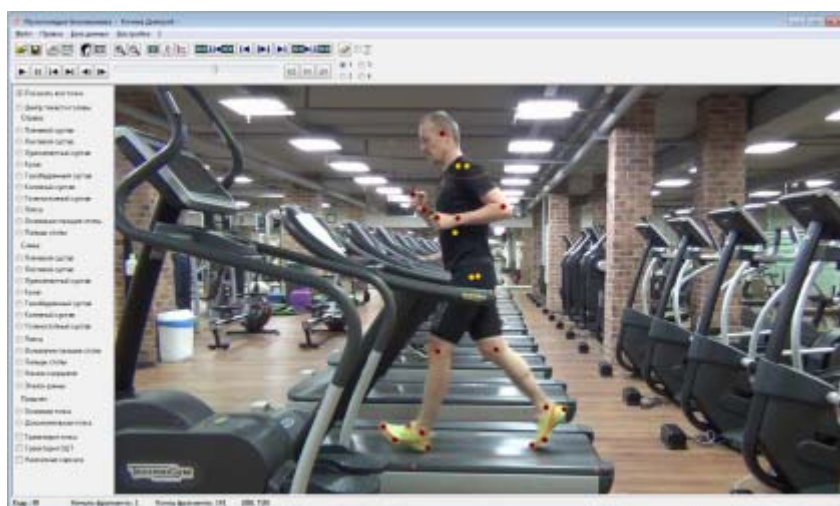
#### Вариация скоростных и силовых характеристик для удара рукой атоси-учи в зависимости от веса спортсменов

№ спортсмена	Вес спортсмена (кг)	Разгон до максимальной скорости туловища (№ кадра)	Начало ударного воздействия (№ кадра)	Скорость ударной руки в момент удара (м/с)	Величина ударного импульса в момент удара (кг·м/с)
Спортсмен 1	53	16	33	8,0	60
Спортсмен 2	74	18	37	7,2	90
Спортсмен 3	83	24	43	6,4	114

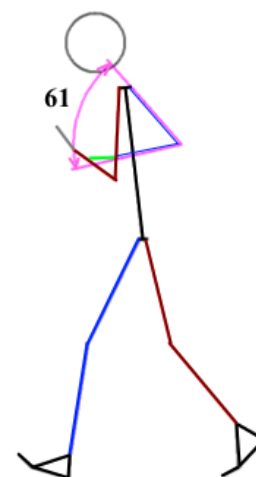
В выпускной квалификационной работе *Д.В. Кочнева* (2019 г.) МПК «МБ» использовался для биомеханического анализа оздоровительного бега на беговом тренажере (рис. 9, а) [9].

Для проведения данного исследования в МПК «МБ» 14-звенная стержневая модель была заменена на 16-звенную (рис. 9.б). Анализ моторики оздоровительного бега проводился в начале и в конце эксперимента, с отслеживанием координат выделенных рабочих точек (рис. 9, а) и траекторий их движения, а также угловых межзвенных величин (рис. 9, б).

В результате исследования были выявлены характерные ошибки в моторике бега, дана их численная характеристика, сформирована база данных и определены методы коррекции этих ошибок.



(а)



(б)

Рис. 9. МПК «МБ» при проведении биомеханического анализа моторики оздоровительного бега:

- а) видеозапись оздоровительного бега на беговом тренажере с выделенными рабочими точками;  
б) 16-звенная стержневая модель с показом межзвенной угловой характеристики

### Заключение и обобщение опыта

1. МПК «МБ» был разработан в 1998 г., и в этом же году были проведены первые биомеханические исследования ударной техники каратэ-до на основе видеозаписи со скоростью съемки 25 кадров в секунду. В комплексе используется одна видеокамера, поэтому МПК «МБ» эффективен в тех случаях, когда при проецировании реального трехмерного двигательного действия спортсмена на плоскость объектива видеокамеры возникает незначительная погрешность. Для повышения точности отображения действия в настоящее время используются видеокамеры со скоростью съемки 50–60 кадров в секунду.

2. Структурный анализ биомеханической системы в МПК «МБ» выполняется в полуавтоматическом режиме: в системе координат экрана монитора, вручную, производится выделение суставов и других характерных рабочих точек на всех кадрах видеозаписи двигательного действия. Для учебного процесса в этой процедуре проявляется междисциплинарная связь между анатомией и биомеханикой, что очень важно для осознания и понимания студентами механических основ движения биосистемы «человек».

3. Важной положительной стороной является то, что в зависимости от цели биомеханического исследования можно формировать различные стержневые модели: от 6-звенной до 16-звенной.

4. В МПК «МБ» не используются дорогие составляющие (скоростные видеокамеры, инерционные датчики, светоотражающие элементы и т. д.), т. е. комплекс недорог, но при этом многофункционален и обладает хорошей точностью определения численных характеристик движения.

5. Практика использования показала, что происходит постоянное увеличение количества видов спорта и двигательных действий, в которых применялся МПК «МБ»: каратэ-до, кобудо, степ-аэробика, оздоровительный бег, учебные занятия. Повышаются сложность, актуальность и значимость практических исследований. МПК «МБ» является эффективным средством для проведения научно-исследовательской работы студентов и для выполнения лабораторных работ в учебном процессе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов В.П. Компьютерная программа, имитирующая позы спортсмена с определением ОЦМТ и величины углов его устойчивости / В.П. Аксенов, А.В. Самсонова // Труды кафедры биомеханики: междисциплинарный сб. ст. / НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург. СПб.: Олимп, 2009. Вып. 2. С. 16–18.
2. Бегун П.И., Самсонова А.В. Биомеханика опорно-двигательного аппарата человека: монография. Сер. Биомеханика. СПб: Кинетика, 2020. 179 с.
3. Дмитриев О.Б., Ахмедзянов Э.Р., Калинина Е.А. База данных каратэ-до и комплекс «Мультимедиа биомеханика» для компьютерного класса (дидактическое и методическое обеспечение курса «Восточные единоборства») // Новые направления в системе подготовки специалистов физической культуры и спорта и оздоровительной работе с населением: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию образования факультета физической культуры (ФФК). Ижевск: Изд. дом «Удмуртский университет», 1999. С. 133–134.
4. Дмитриев О.Б., Ахмедзянов Э.Р., Калинина Е.А. Методико-программный комплекс «Мультимедиа биомеханика» для исследования двигательных действий в восточных единоборствах // Восточные единоборства – воинское искусство, спорт и система оздоровления: сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф., 18–20 ноября 1998 г. / под ред. О.Б. Дмитриева Ижевск: Изд-во УдГУ, 1998. С. 48–55.
5. Дмитриев О.Б., Ахмедзянов Э.Р., Калинина Е.А. Совершенствование учебного процесса по курсу «Биомеханика» на основе применения компьютерных мультимедиа информационных технологий // Теория и практика физ. культ. 1999. № 10. С. 10–14.
6. Дмитриев О.Б., Ахмедзянов Э.Р., Чигвинцев А.В. Сравнительный анализ энергетических картин техник каратэ с помощью МПК «Мультимедиа Биомеханика» // Восточные единоборства и новые виды спорта в системе образования: Материалы Международной научно-практической конференции, 18-19 ноября 2000 г. / под ред. проф. П.К. Петрова и О.Б. Дмитриева. Ижевск: Изд-во УдГУ, 2000. С. 112–121.
7. Донской Д.Д. Биомеханика с основами спортивной техники. М.: Физкультура и спорт, 1971. 288 с.
8. Ефремова Т.Ф. Новый словарь русского языка. Толково-образовательный. М.: Рус. яз., 2000. В 2 т. 1209 с.
9. Кочнев Д.В., Ахмедзянов Э.Р. Методика корректировки моторики оздоровительного бега на беговом тренажере на основе применения информационных технологий // Сб. ст. XXV Междунар. науч.-практ. конф. «Advances in Science and Technology» (Москва, 15 декабря 2019 г.). Ч. 1. М.: Актуальность. РФ, 2019. С. 202–205.
10. Попов Г.И., Самсонова А.В. Биомеханика двигательной деятельности: Учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования. М.: Академия, 2011. 320 с.
11. Самсонова А.В. Причины травм опорно-двигательного аппарата спортсменов с точки зрения биомеханики // Материалы VII Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. М.–Малаховка, 2019. С. 191–197.
12. AnyBody Modeling System [Electronic resource]. URL: <http://www.anybodytech.com/software/> (дата обращения: 20.05.2020).
13. Eng. Alessandro Timmi, Prof. Ettore Pennestri, Prof. Pier Paolo Valentini and Prof. Pierluigi Aschieri. Biomechanical analysis of Karate techniques based on the evaluation of the body kinetic energy from 3D mocap data // 1st IMACSSS International Conference – “Game, Drama, Ritual in Martial Arts and Combat Sports”. Genova (Genoa, Italy), 8–10 June 2012.
14. Vicon Products [Electronic resource]. URL: <https://www.vicon.com/> (дата обращения: 20.05.2020).
15. Xsens. Mocap Tech. [Electronic resource]. URL: <https://mocap-tech.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).

Поступила в редакцию 26.07.2020

Дмитриев Олег Борисович, кандидат педагогических наук, доцент

E-mail: [obdmit@mail.ru](mailto:obdmit@mail.ru)

Ахмедзянов Эдуард Ронисович, кандидат технических наук, доцент

E-mail: [akhmedzianov@gmail.com](mailto:akhmedzianov@gmail.com)

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1

*O.B. Dmitriev, E.R. Akhmedzyanov*

**METHODICAL-SOFTWARE COMPLEX “MULTIMEDIA BIOMECHANICS” IN THE RESEARCH WORK OF STUDENTS OF THE INSTITUTE OF PHYSICAL CULTURE AND SPORTS**

DOI: 10.35634/2412-9550-2020-30-4-421-429

We consider the methodical-software complex “Multimedia Biomechanics” (MSC “MB”), developed by us in 1998 and the practice of its use. MSC “MB” is based on the method of video cyclography, in which three-dimensional spatial



motion is replaced by plane-parallel. The source material for biomechanical research of motor actions in the MSC “MB” is a video recording of sports equipment and a video cyclogram based on a rod model. The purpose of the research is to analyze and generalize the experience of using MSC “MB” in the research work of students of the Institute of physical culture and sports of Udmurt State University. A review of the diploma works and graduate qualification works, in which the MSC “MB” was used, is given. Students’ research was carried out in the fields of karate-do, kobudo (weapons technique), step aerobics, health running, always solving important practical problems of biomechanics of motor actions. The MSC “MB” does not use expensive components (high-speed video cameras, inertial sensors, reflective elements, etc.), so the complex is not expensive, but, at the same time, it is multifunctional and has a good accuracy in determining the numerical characteristics of movement. MSC “MB” is an effective tool for solving educational problems and conducting students’ research.

*Keywords:* biomechanics, video cyclogram, rod model, biomechanical analysis, motor action, computer program, methodical-software complex “Multimedia Biomechanics”.

Received 26.07.2020

Dmitriev O.B., Candidate of Pedagogy, Associate Professor

E-mail: obdmit@mail.ru

Akhmedzyanov E.R., Candidate of Technical sciences, Associate Professor

E-mail: akhmedzyanov@gmail.com

Udmurt State University

Universitetskaya st., 1, Izhevsk, Russia, 426034