

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРИКЛАДНЫХ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СПОРТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ

В статье рассматривается проблема точности измерений при проведении биомеханического исследования физического упражнения специалистами в области физической культуры и спорта, перспективы развития этого направления исследований, предлагается ряд методических рекомендаций позволяющих осуществлять измерения корректно.

Ключевые слова. Прикладное биомеханическое исследование, измерения, статистическая обработка данных, методика измерений.

Постановка проблемы. Тенденции развития биомеханики спортивных движений таковы, что прикладные аспекты науки выходят на передний план. **Обоснованием** этого является необходимость предоставления возможности специалистам по физической культуре и спорту эффективно решать профессиональные задачи, а **основанием** – лавинообразное развитие информационных технологий, позволяющее реализовать указанные выше тенденции.

"На протяжении всего периода своего существования, начиная с момента возникновения и до самого последнего времени, биомеханика оставалась теоретической дисциплиной, изучающей механику движения живых существ с учетом их анатомо-физиологических особенностей. Однако стремительные темпы развития информационного пространства, информатизация всех сторон общественной жизни, возможности, предоставляемые этим процессом исследователю, выдвигают на передний план следующую насущную задачу.

Из инструмента ученых-исследователей биомеханика должна стать инструментом практического специалиста физического воспитания. Биомеханика, соединив в одно целое собственно свои методы с методами математического моделирования и оптимизации целевой функции двигательного действия, должна предоставить специалисту-практику информационную технологию, позволяющую ответить на извечные вопросы практики физического воспитания: "Чему учить?" и "Как учить?". Короче говоря, биомеханика должна стать не только теоретической, но и прикладной дисциплиной" [1].

Коллективом кафедры биомеханики Белорусского государственного университета физической культуры на протяжении последних восьми лет разрабатывается методика биомеханического анализа и технологии ее реализации для практических специалистов физической культуры и спорта, тех, кто непосредственно работает с людьми на стадионах, в залах и бассейнах.

Здесь следует обозначить проблему, обусловившую появление данной статьи. В ряде случаев пользователи метода, разработанного нами, получали результаты, не позволяющие сделать корректные выводы об исследуемом физическом упражнении. Решение проблемы возможно в рамках теории ошибок. При этом могут быть рассмотрены ошибки измерений, ошибки метода и ошибки округлений. Ошибки округлений в данной статье мы рассматривать не будем. Это объясняется тем, что в материалах по статистике эта тема широко освещена. При дальнейшем анализе объектом нашего изучения будут выступать ошибки измерений и ошибки метода.

Приступим к **анализу проблемы** ошибок измерений. "Теория ошибок измерений изучает свойства ошибок и законы их распределения, методы обработки измерений с учетом их ошибок, а также способы вычисления числовых характеристик точности измерений. При многократных измерениях одной и той же величины результаты измерений получаются неодинаковыми. Этот очевидный факт говорит о том, что измерения сопровождаются разными по величине и по знаку ошибками. Задача теории ошибок – нахождение наиболее надежного значения измеренной величины, оценка точности результатов измерений и их функций и установление допусков, ограничивающих использование результатов обработки измерений.

По своей природе ошибки бывают грубые, систематические и случайные. Грубые ошибки являются результатом промахов и просчетов. Их можно избежать при внимательном и аккуратном отношении к работе и организации надежного полевого контроля измерений. В теории ошибок грубые ошибки не изучаются (*в нашем случае примерами грубых ошибок являются измерения, выполненные студентами, желающими получить оценку, а не знания; от авторов*).

Систематические ошибки имеют определенный источник, направление и величину. Если источник систематической ошибки обнаружен и изучен, то можно получить формулу влияния этой ошибки на результат измерения и затем ввести в него поправку; это исключит влияние систематической ошибки. Пока источник какой-либо систематической ошибки не найден, приходится считать ее случайной ошибкой, ухудшающей качество измерений. (*Систематическая погрешность может нанести больший вред, чем случайная. Это связано с тем, что систематическая погрешность часто является односторонней. Сам этот факт очень сложно установить. Путём многократных измерений такая погрешность не устраняется, от авторов*).

Случайные ошибки измерений обусловлены точностью способа измерений (строгостью теории), точностью измерительного прибора, квалификацией исполнителя и влиянием внешних условий. Закономерности случайных ошибок проявляются в массе, то есть, при большом количестве измерений; такие закономерности называют статистическими. Освободить результат единичного измерения от

случайных ошибок невозможно; невозможно также предсказать случайную ошибку единичного измерения. Теория ошибок занимается в основном изучением случайных ошибок" [2].

Наряду с термином "ошибка измерения" в математической статистике используются – "погрешность измерения" и "неопределённость измерения" [3]. Далее мы будем придерживаться термина "погрешность измерения", как наиболее часто встречающегося.

Несмотря на то, что единичное измерение не позволяет определить случайную погрешность измерения, специально организованное массовое исследование может предоставить данные, которые возможно в дальнейшем учитывать при проведении измерений.

Цель исследования. Определить погрешность измерения метода биомеханического анализа, предлагаемого в качестве прикладного для специалистов по физической культуре и спорту, и разработать методические рекомендации по проведению измерений.

Исследование. За последние годы накопился большой объем информации по использованию метода студентами вузов, магистратуры и аспирантами, позволяющий осуществить оценку метода и предложить методические рекомендации по его использованию.

Первый этап. Трём независимым исследователям была представлена возможность провести измерения угловых значений суставов тела спортсмена на одном и том же экспериментальном материале. Измеряемые углы обозначены на рисунке 1. Рисунок 2 представляет исходный материал для измерений.

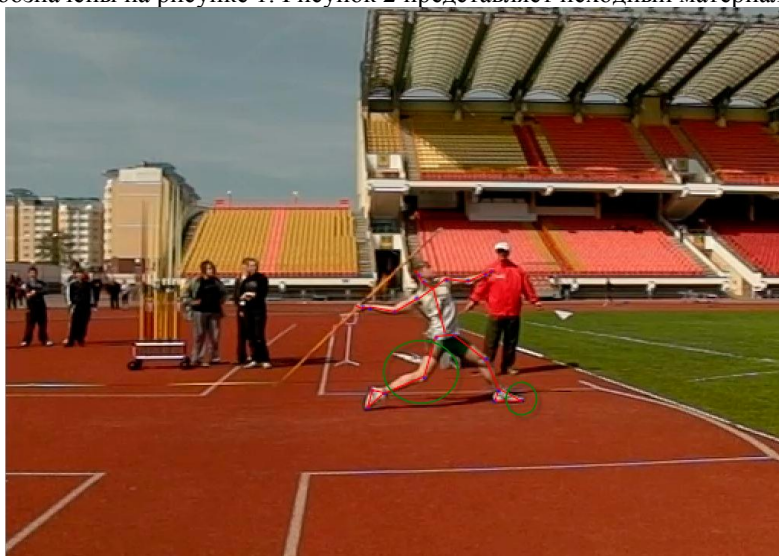


Рис. 1. Углы, выступающие в качестве объекта измерений

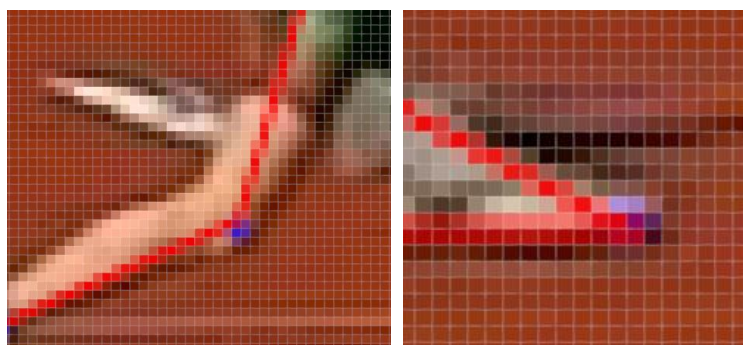


Рис. 2. Исходный материал для измерений тремя независимыми исследователями

Всего было выполнено по 100 измерений тупого и острого углов каждым исследователем ($n = 600$). Результаты и статистические характеристики отображены в таблице 1. Определялись следующие статистические характеристики: среднее арифметическое значение (\bar{x}), медиана (Me), мода (Mo), дисперсия (σ^2), стандартное отклонение (σ)

Известно, что если в распределении среднее арифметическое, медиана и мода отличаются друг от друга не более чем на величину доверительного интервала на выбранном уровне значимости, то распределение практически можно считать нормальным [4]. Расчёты показали следующее:

	Доверительный интервал
Первый исследователь тупой угол	128,7±0,3
Первый исследователь острый угол	30,0±0,4
Второй исследователь тупой угол	128,8±0,3
Второй исследователь острый угол	30,1±0,4
Третий исследователь тупой угол	128,6±0,3
Третий исследователь острый угол	30,0±0,4

Рассчитав доверительные интервалы проведенных измерений (*смотрите выше*), мы убедились в том, что предположение о нормальности распределения не подтверждается. Объем измерений был значительным, и поэтому величина доверительного интервала оказалась настолько малой, что мода и медиана оказались за его пределами. Сам этот факт обуславливает возможность поиска причин отклонения от нормальности распределения, однако любопытство по этому вопросу мы отложим для будущего.

Полученные результаты расчетов позволяют сделать вывод, что ошибка измерения тупого угла меньше, чем острого. Появляется возможность сформулировать методическое указание для пользователей прикладной методики.

В случае необходимости оперирования с острым углом для повышения точности измерения следует измерить тупой угол, дополняющий измеряемый угол до 180° (рисунок 3), и при работе с функциями этого угла учитывать, что значения функций острого угла положительны. Такой технический прием позволяет уменьшить ошибку измерений.

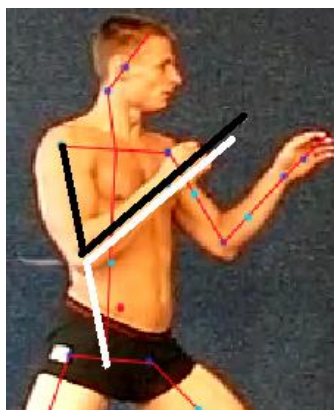


Рис. 3. Пример замены острого угла в локтевом суставе (черные линии) углом, характеризующим отклонение предплечья от прямого положения (белые линии)

Исследуя характеристики острого угла в локтевом суставе, мы измеряли отклонение предплечья от выпрямленного положения, что позволило уменьшить ошибку измерения.

Не менее важной следует считать рекомендацию, которая явно проявляется в первых двух рисунках, получить меньшую погрешность измерений возможно за счет увеличения изображения, например, как это сделано на втором рисунке (*современный уровень развития информационных технологий широко предоставляет нам такую возможность*).

Стоит обратить внимание на то, что несмотря на различие результатов измерений, проведенных разными исследователями, статистические характеристики этих результатов отличаются незначительно, что позволяет предполагать, что полученная погрешность измерений обусловлена объективными причинами и характеризует высокую степень точности измерений и информативности метода.

Второй этап. Нас интересовала степень точности результатов, которые получаются в первичной информации об исследуемом движении. Для этого было проведено 10 измерений координат положения

ОЦТ тела спортсменки при выполнении последнего шага и отталкивания в прыжке в длину в единицах измерения программы RasChT. Затем, используя масштабный коэффициент, мы перевели результаты в метрическую систему с целью получения среднеквадратического отклонения показателей. Результаты приведены в таблицах 2 и 3. Точность измерения оказалась достаточно высокой – отклонение от среднего значения не более 2,5 мм. Это весьма положительно характеризует не только старание исследователя, но и сам метод получения результатов измерения.

Таблица 3

Результаты измерения и статистические характеристики координаты Y общего центра тяжести при выполнении прыжка в длину

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Средн. знач.	Мода	Медиана	Дисперсия	Ср. отклон.	Ср. кв. откл. (ед. изм. Рас.)	Максигаб	Ср. кв. откл. (ед. изм. М)
365	366	365	366	366	365	367	365	366	366	365,7	366	366	0,46	0,56	0,67	-0,0027	-0,0018
368	369	368	368	368	368	369	370	370	370	368,7	368	368,5	0,68	0,7	0,82	-0,0027	-0,0022
367	368	366	367	367	368	367	367	368	368	367,2	367	367	0,40	0,48	0,63	-0,0027	-0,0017
367	368	368	368	369	369	369	369	369	370	368,6	369	369	0,71	0,68	0,84	-0,0027	-0,0023
367	368	366	368	366	367	367	367	367	367	367,1	367	367	0,54	0,54	0,74	-0,0027	-0,0020
366	367	367	366	367	367	366	367	368	368	366,9	367	367	0,54	0,54	0,74	-0,0027	-0,0020
367	366	367	366	368	366	367	367	368	368	366,8	367	367	0,62	0,64	0,79	-0,0027	-0,0022
365	366	366	366	367	365	366	366	367	366	365,9	366	366	0,54	0,54	0,74	-0,0027	-0,0020
364	365	365	365	366	365	365	365	366	366	365,2	365	365	0,40	0,48	0,63	-0,0027	-0,0017
366	365	366	366	367	366	366	366	366	366	365,9	366	366	0,32	0,36	0,57	-0,0027	-0,0015
369	368	368	369	369	368	368	368	368	369	368,5	369	368,5	0,28	0,5	0,53	-0,0027	-0,0014
371	371	370	370	370	370	370	370	370	369	370	370	370	0,44	0,4	0,67	-0,0027	-0,0018
373	374	373	374	374	373	373	374	375	373	373,4	373	373	0,71	0,68	0,84	-0,0027	-0,0023
373	373	372	373	374	374	372	373	374	373	373,1	373	373	0,54	0,54	0,74	-0,0027	-0,0020
374	374	374	374	374	374	374	374	374	374	373,7	374	374	0,46	0,48	0,67	-0,0027	-0,0018
368	367	367	368	368	367	368	367	368	367	367,3	367	367	0,46	0,56	0,67	-0,0027	-0,0018
362	362	363	363	364	362	362	362	363	362	362,5	362	362	0,50	0,6	0,71	-0,0027	-0,0019
354	355	356	356	355	354	355	355	356	355	355,1	355	355	0,54	0,54	0,74	-0,0027	-0,0020
341	342	341	342	342	341	342	341	342	342	341,7	342	342	0,46	0,56	0,67	-0,0027	-0,0018
326	326	327	327	327	326	327	327	328	327	326,8	327	327	0,40	0,48	0,63	-0,0027	-0,0017
315	315	315	315	315	315	314	315	315	315	314,9	315	315	0,10	0,18	0,32	-0,0027	-0,0009
302	302	302	301	302	300	302	302	302	301	301,6	302	302	0,49	0,56	0,70	-0,0027	-0,0019
292	290	291	292	292	290	292	292	292	290	291,3	292	292	0,90	0,84	0,95	-0,0027	-0,0026
601	600	600	600	598	600	600	600	599	599	599,7	600	600	0,68	0,62	0,82	-0,0027	-0,0022
601	600	600	601	599	600	600	601	600	600	600,2	600	600	0,40	0,48	0,63	-0,0027	-0,0017

Внимательному читателю несложно заметить, что количество строк, содержащих цифровой материал в таблицах 2 и 3, равно 25, а число точек, обозначающих траекторию ОЦТ на рисунке 4, на две меньше, т. е. 23. Это не есть следствие небрежности авторов или попытки "навести тень на плетень" с целью запутать читателя. Две последние строки таблиц содержат информацию о координатах масштабного объекта. Так же несложно убедиться в истинности представленной в таблицах информации, для этого надо лишь предельно возможно увеличить рисунок 4, поместить поверх изображения программу RasChT. Полный алгоритм мы приводим в выдержке из методического пособия [5], которое вы можете найти на сайте biom.by:

"1. Построение таблицы "Координаты ОЦТ" тела спортсмена в физическом упражнении

- 1.1. Активировать программу Photoshop.
- 1.2. Загрузить файл "Траектория ОЦТ тела спортсмена" (диск D/Биомеханика/Студент/Группа/Ф.И.О.), подготовленный в лабораторной работе 1.2.
- 1.3. Оставив флажок в виде глаза только на первом кадре видеogramмы с изображением траектории, сделать его видимым.
- 1.4. Щелчком мыши справа от изображения первого кадра видеogramмы в окне "СЛОИ" активировать его.
- 1.5. Запустить программу "RasChT.exe" (D/Биомеханика).
- 1.6. Переместить окно программы "RasChT.exe" так, чтобы оно полностью накрыло изображенную на первом кадре траекторию.
- 1.7. С помощью движка в окне программы "RasChT.exe" сделать его полупрозрачным.
- 1.8. С помощью мыши активировать пункт меню "Захват координат".
- 1.9. Установить курсор на изображение ОЦТ, соответствующее первому кадру видеogramмы и одновременным удерживая клавишу Ctrl клавишей Пробел зафиксировать координаты ОЦТ, которые должны появиться в окне программы.
- 1.10. Прodelать аналогичную операцию для остальных точек траектории ОЦТ.
- 1.11. Активируя мышью пункт меню "Перенос в Excel" перенести полученные данные в электронную таблицу Microsoft Excel, откроется файл Лист 1.
- 1.12. С помощью мыши выделить полученную таблицу, правой клавишей мыши открыть контекстное меню, выполнить команду "Копировать".
- 1.13. Запустить программу, подготовленную в электронной таблице, – "Определение скоростей и ускорений" (D/Биомеханика/Образцы оформления таблиц в Excel/Исследование программы места).
- 1.14. В столбцы А и В таблицы "Определение скоростей и ускорений" с помощью мыши вставить данные таблицы "Координаты ОЦТ".
- 1.15. Используя меню MicrosoftExcel (Файл – сохранить как...) сохранить программу "Исследование программы места" в своей папке (диск D/Биомеханика/Студент/Группа/Ф.И.О.)."

Третий этап. Здесь мы преследовали цель оценить корректность и точность получаемых в результате исследования характеристик движения тела спортсмена. Одним исследователем было проведено 10 измерений координат, характеризующих движение общего центра тяжести тела спортсмена на одном и том же исходном материале (рис. 4).



Рис. 4. Траектория движения общего центра тяжести тела спортсменки (частота съемки 100 к/с)

Были получены показатели координат общего центра тяжести, оценка которых была проведена в рамках второго этапа ($n = 10$), горизонтальная и вертикальная составляющие скорости и суммарное ускорение. Далее осуществлялась оценка статистических характеристик полученных результатов, которые представлены в таблицах 4, 5 и 6.

Для анализа результатов определялись следующие статистические характеристики: среднее арифметическое значение (\bar{x}), медиана (Me), мода (Mo), дисперсия (σ^2), стандартное отклонение (σ), стандартная ошибка среднего арифметического (S) и коэффициент вариации (V). Целесообразность выбора этих характеристик обусловлена следующим: первые три позволяют оценить центральную тенденцию. Медиана и мода определялись нами с целью оценки характера распределения полученных результатов. Отбрасывая максимальные и минимальные значения, которые можно считать грубыми ошибками измерения, в большинстве случаев можем утверждать о нормальном распределении полученных результатов.

Последующие характеристики использованы нами для оценки степени разброса полученных результатов. Этот разброс обусловлен погрешностями измерений. Оценка разброса позволит выработать методические рекомендации для пользователей метода, предлагаемого в качестве прикладного в биомеханическом анализе.

Горизонтальная составляющая скорости (таблица 4) в исследуемом физическом упражнении (прыжок в длину) предоставляет существенную возможность судить об эффективности выполнения упражнения, поскольку от величины кинетической энергии, приобретаемой в разбеге, и действенности использования в отталкивании существенно зависит результат.

Характеристики результатов измерений горизонтальной составляющей скорости показывают, что они являются информативными, поскольку стандартное отклонение не превышает 7 см/с (около 1 % от среднего значения). При этом, по сравнению с результатами определения координат общего центра тяжести ошибка естественным образом возросла.

Что касается вертикальной составляющей скорости, то абсолютные показатели отклонения колеблются в том же диапазоне значений. Однако, ввиду того, что показатели скорости по вертикали в прыжках в длину существенно ниже горизонтальных показателей скорости, коэффициент вариации принимает более высокие значения.

Таблица 4

**Измерения и статистические характеристики
скорости движения общего центра тяжести по горизонтали
($n = 10$)**

Результаты измерений скорости по горизонтали										Статистические характеристики						
Первое измерение (м/с)	Второе измерение (м/с)	Третье измерение (м/с)	Четвертое измерение (м/с)	Пятое измерение (м/с)	Шестое измерение (м/с)	Седьмое измерение (м/с)	Восьмое измерение (м/с)	Девятое измерение (м/с)	Десятое измерение (м/с)	\bar{x} (м/с)	Me (м/с)	Mo (м/с)	σ^2 (м/с) ²	σ (м/с)	S (м/с)	V
-6,97	-7,03	-6,97	-6,90	-6,97	-7,03	-6,97	-6,90	-6,90	-6,90	-6,95	-6,90	-6,97	0,003	0,054	0,004	0,77%
-7,03	-6,90	-6,90	-6,90	-6,90	-6,90	-6,97	-6,97	-6,90	-6,97	-6,93	-6,90	-6,90	0,002	0,048	0,003	0,70%
-7,24	-7,24	-7,24	-7,31	-7,24	-7,24	-7,24	-7,24	-7,31	-7,31	-7,26	-7,24	-7,24	0,001	0,033	0,002	0,45%
-6,62	-6,69	-6,69	-6,69	-6,69	-6,62	-6,76	-6,69	-6,76	-6,69	-6,69	-6,69	-6,69	0,002	0,046	0,003	0,68%
-7,44	-7,38	-7,38	-7,44	-7,44	-7,44	-7,31	-7,44	-7,38	-7,44	-7,41	-7,44	-7,44	0,002	0,048	0,003	0,65%
-7,10	-7,17	-7,24	-7,17	-7,17	-7,24	-7,24	-7,24	-7,10	-7,10	-7,18	-7,10	-7,17	0,004	0,060	0,004	0,83%
-7,31	-7,38	-7,31	-7,38	-7,31	-7,24	-7,31	-7,24	-7,38	-7,31	-7,31	-7,31	-7,31	0,003	0,050	0,004	0,69%
-7,17	-7,17	-7,17	-7,03	-7,17	-7,17	-7,10	-7,10	-7,10	-7,17	-7,14	-7,17	-7,17	0,002	0,048	0,003	0,68%
-7,31	-7,24	-7,24	-7,31	-7,24	-7,24	-7,24	-7,31	-7,31	-7,31	-7,27	-7,31	-7,27	0,001	0,036	0,003	0,49%
-6,76	-6,76	-6,69	-6,76	-6,69	-6,83	-6,83	-6,76	-6,83	-6,69	-6,76	-6,76	-6,76	0,003	0,056	0,004	0,82%
-6,97	-6,90	-7,03	-6,97	-6,97	-7,03	-6,97	-6,97	-6,90	-7,03	-6,97	-6,97	-6,97	0,003	0,050	0,004	0,72%
-6,42	-6,62	-6,62	-6,49	-6,62	-6,49	-6,49	-6,49	-6,56	-6,56	-6,54	-6,49	-6,52	0,005	0,072	0,005	1,11%
-6,56	-6,49	-6,42	-6,56	-6,42	-6,49	-6,49	-6,62	-6,49	-6,56	-6,51	-6,49	-6,49	0,004	0,065	0,005	1,00%
-6,69	-6,69	-6,62	-6,62	-6,76	-6,62	-6,69	-6,62	-6,69	-6,62	-6,67	-6,62	-6,66	0,002	0,048	0,003	0,72%

**Измерения и статистические характеристики скорости движения
общего центра тяжести по вертикали ($n = 10$)**

Результаты измерений скорости по вертикали										Статистические характеристики						
Первое измерение (м/с)	Второе измерение (м/с)	Третье измерение (м/с)	Четвертое измерение (м/с)	Пятое измерение (м/с)	Шестое измерение (м/с)	Седьмое измерение (м/с)	Восьмое измерение (м/с)	Девятое измерение (м/с)	Десятое измерение (м/с)	\bar{x} (м/с)	Me (м/с)	Mo (м/с)	σ^2 (м/с) ²	σ (м/с)	S (м/с)	V
-1,09	-0,96	-0,89	-1,02	-1,02	-0,89	-0,96	-1,02	-1,09	-1,09	-1,00	-1,02	-1,02	0,006	0,079	0,006	7,89%
-0,48	-0,61	-0,68	-0,48	-0,55	-0,55	-0,55	-0,61	-0,41	-0,55	-0,55	-0,55	-0,55	0,006	0,079	0,006	14,43%
0,00	-0,14	0,07	-0,07	-0,07	-0,14	-0,07	0,00	-0,14	-0,07	-0,06	-0,07	-0,07	0,005	0,068	0,005	110,49%
0,48	0,68	0,48	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,68	0,61	0,60	0,61	0,61	0,005	0,071	0,005	11,74%
0,96	0,89	1,02	0,89	0,96	0,89	0,96	0,96	0,82	0,82	0,92	0,96	0,92	0,004	0,066	0,005	7,21%
0,27	0,55	0,27	0,34	0,34	0,27	0,27	0,20	0,41	0,34	0,33	0,27	0,31	0,009	0,096	0,007	29,13%
0,00	-0,27	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,07	-0,07	0,14	-0,01	0,00	0,00	0,012	0,109	0,008	1595,13%
-0,27	-0,20	-0,27	-0,34	-0,34	-0,27	-0,34	-0,27	-0,34	-0,34	-0,30	-0,27	-0,31	0,002	0,048	0,003	15,89%
-0,61	-0,68	-0,75	-0,68	-0,75	-0,68	-0,61	-0,75	-0,55	-0,68	-0,68	-0,68	-0,68	0,005	0,068	0,005	10,04%
-0,68	-0,68	-0,75	-0,75	-0,61	-0,75	-0,75	-0,61	-0,75	-0,75	-0,71	-0,75	-0,75	0,003	0,058	0,004	8,11%
-0,41	-0,41	-0,20	-0,27	-0,34	-0,27	-0,20	-0,27	-0,34	-0,20	-0,29	-0,20	-0,27	0,006	0,079	0,006	26,97%
-0,48	-0,55	-0,48	-0,55	-0,55	-0,48	-0,55	-0,61	-0,55	-0,55	-0,53	-0,55	-0,55	0,002	0,043	0,003	8,11%
1,02	1,02	0,89	0,89	0,96	0,89	0,96	1,09	1,09	0,89	0,97	0,89	0,96	0,007	0,084	0,006	8,66%
0,82	0,96	0,89	0,96	0,96	0,89	0,89	0,82	0,89	0,96	0,90	0,96	0,89	0,003	0,054	0,004	5,98%

**Измерения и статистические характеристики суммарного ускорения
общего центра тяжести ($n = 10$)**

Результаты измерений суммарного ускорения										Статистические характеристики						
Первое измерение (м/с ²)	Второе измерение (м/с ²)	Третье измерение (м/с ²)	Четвертое измерение (м/с ²)	Пятое измерение (м/с ²)	Шестое измерение (м/с ²)	Седьмое измерение (м/с ²)	Восьмое измерение (м/с ²)	Девятое измерение (м/с ²)	Десятое измерение (м/с ²)	\bar{x} (м/с ²)	Me (м/с ²)	Mo (м/с ²)	σ^2 (м/с ²) ²	σ (м/с ²)	S (м/с ²)	V
18,55	11,03	6,48	16,39	14,49	11,03	12,29	12,46	20,49	16,52	13,97		13,47	17,17	4,14	0,32	29,66%
15,60	17,62	24,76	17,38	17,62	16,00	16,52	20,18	14,77	17,62	17,81	17,62	17,50	8,13	2,85	0,22	16,01%
23,36	29,55	20,49	27,56	26,24	29,12	25,01	24,67	29,55	27,56	26,31		26,90	8,78	2,96	0,23	11,26%
28,46	21,39	26,24	23,98	24,76	25,92	19,33	24,76	18,89	23,36	23,71	24,76	24,37	9,34	3,06	0,24	12,89%
22,91	11,95	22,91	18,32	20,18	19,44	20,59	23,36	14,77	17,62	19,20		19,81	13,69	3,70	0,28	19,26%
10,24	25,34	8,45	11,95	11,03	6,15	8,45	4,10	16,52	8,69	11,09	8,45	9,47	36,34	6,03	0,46	54,35%
9,16	6,48	9,16	14,49	11,03	10,45	11,95	11,03	11,59	14,92	11,03	9,16	11,03	6,25	2,50	0,19	22,67%
11,03	14,49	14,49	13,12	12,46	12,46	9,16	15,60	8,69	11,03	12,25	14,49	12,46	5,25	2,29	0,18	18,70%
16,52	14,34	16,39	16,52	16,89	12,46	12,96	16,89	15,60	18,55	15,71	16,52	16,45	3,63	1,91	0,15	12,12%
10,24	9,16	19,33	15,60	11,59	15,60	16,89	11,95	12,46	19,33	14,22		14,03	13,30	3,65	0,28	25,66%
16,52	9,16	14,77	16,52	11,95	17,50	17,62	17,62	11,95	17,62	15,12		16,52	9,35	3,06	0,24	20,22%
45,26	47,30	41,43	43,07	45,49	40,98	45,07	51,38	49,21	43,02	45,22		45,17	11,13	3,34	0,26	7,38%
7,39	6,48	6,15	2,90	10,24	4,10	6,48	8,20	8,69	2,90	6,35		6,48	6,01	2,45	0,19	38,61%
18,55	11,03	6,48	16,39	14,49	11,03	12,29	12,46	20,49	16,52	13,97		13,47	17,17	4,14	0,32	29,66%

Суммарное ускорение при многократном измерении имеет существенно больший разброс ($V = 23 \pm 12\%$), что определяет необходимость дополнительных приемов для получения информации, позволяющей корректно ее трактовать. Коэффициент вариации, превышающий 20 %, свидетельствует о большом разбросе данных (т.е. о наличии серьезных ошибок), поэтому возникающую ошибку можно уменьшить приведенным ниже способом. Высокая частота видеосъемки, применительно к определению показателя ускорения, чрезвычайно полезна в плане точного выявления моментов времени начала и

окончания исследуемых процессов и может навредить при попытке определения динамики этого показателя в выбранном временном промежутке. Поэтому целесообразно, точно определяя начало и конец процесса, усреднять показатели в рамках выбранного временного отрезка.

Заключение. Подводя итоги нашей попытки оценить метод и точность измерений, отметим следующее:

– авторы не претендуют на достаточный охват проблемы, обозначенной в названии работы, для этого необходимо проведение целого ряда дополнительных статистических измерений и анализа их результатов;

– результаты измерения угловых значений и расчета их характеристик позволяют сделать вывод, что ошибка измерения тупого угла меньше, чем острого, вследствие чего для повышения точности измерения следует измерять тупой угол, дополняющий измеряемый угол до 180^0 , а также увеличивать изображение;

– при различных результатах измерений, проведенных разными исследователями, их статистические характеристики отличаются незначительно, что позволяет предполагать, что полученная погрешность измерений обусловлена объективными причинами и характеризует высокую степень точности измерений и информативности метода;

– сам по себе метод прикладного биомеханического анализа дает возможность получать информацию с высокой степенью точности, подтверждением этому являются результаты второго этапа, когда ошибка определения положения общего центра тяжести не превышает 2,5 мм;

– исследуемый метод позволяет достаточно точно определить горизонтальную и вертикальную составляющие скорости (не более, чем ± 7 см/с), однако специфика выполняемого двигательного действия, при котором вертикальная составляющая скорости существенно ниже, приводит к более высокой относительной ошибке при определении этой составляющей;

– суммарное ускорение общего центра тяжести имеет существенно больший разброс показателей ввиду того, что ускорения – вторая производная от перемещения по времени, при этом измерения проводились с высокой частотой кадров (100 к/с); для уменьшения этой ошибки следует, точно определяя начало и конец процесса, усреднять показатели в рамках выбранного временного отрезка.

Использованные источники

1. Екимов, В.Ю. Инновационный подход к преподаванию биомеханики физических упражнений в физкультурных вузах / В.Ю. Екимов, В.К. Пономаренко, Н.Б. Сотский // Ученые записки: сб. рец. науч. тр. Вып. 15 (посвящается 75-летию университета) / М-во спорта и туризма РБ; [и др.]; редкол.: Т.Д. Полякова [и др.]. – Минск: БГУФК, 2012. – С. 30–37. – Библиогр.: С. 36–37.
2. <http://www.pppa.ru/additional/01geodesy/01/geod17.php>. Доступ 08.08.2013; 16:36. Теория ошибок измерений.
3. http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E3%F0%E5%F8%ED%E1%F2%FC_%E8%E7%EC%E5%F0%E5%ED%E8%FF. Доступ 08.08.2013; 16:49. Погрешность измерения. Материал из Википедии – свободной энциклопедии.
4. Львовский, Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие для втузов / Е.Н. Львовский. – 2-е изд; перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.
5. Сотский, Н.Б. Практикум по биомеханике / Н.Б. Сотский, В.Ю. Екимов, В.К. Пономаренко. – Минск: БГУФК, 2013. – 106 с.

Ekimov V.Y., Volkov Y.O., Ponomarenko V.K.

ESTIMATING UNCERTAINTY OF MEASUREMENT IN APPLIED BIOMECHANICAL STUDY SPORTS MOVEMENTS

The problem of accuracy in conducting biomechanical study of physical exercise specialists in the field of physical culture and sports, the prospects for the development of this area of research, proposes a number of guidelines enables the measurement correctly.

Key words. Applied biomechanical study, measurements, statistical processing of data, methods of measurement.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2013 р.