

УДК 531/534: [57+61]

## **О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЩЕГО ЦЕНТРА МАСС ТЕЛА СПОРТСМЕНА**

**Л.Л. Ципин, М.А. Самсонов**

Кафедра биомеханики Национального государственного университета физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, Россия, 190121, Санкт-Петербург, ул. Декабристов, 35, e-mail: spb\_biomechanics@rambler.ru

**Аннотация.** Работа относится к области биомеханики спорта и посвящена методике определения положения общего центра масс тела спортсмена. Найдена погрешность определения координат общего центра масс, полученных расчетным методом. Для вычисления массы и положения центров масс звеньев использованы регрессионные уравнения, основанные на измерении веса и длины тела, а также наиболее прогностических антропометрических признаков. Предложена методика измерений, позволяющая снизить данную погрешность при анализе позы спортсмена. Показано, что наибольший вклад в погрешность определения координат общего центра масс вносит погрешность значений массы верхнего, среднего и нижнего отделов туловища и бедер.

**Ключевые слова:** общий центр масс, поза спортсмена, методика измерений, регрессионные уравнения, точность.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Определение положения общего центра масс (ОЦМ) тела спортсмена лежит в основе биомеханического анализа двигательных действий, входящих в состав соревновательных упражнений многих видов спорта. К таким двигательным действиям относятся сохранение и восстановление положения тела, движения вокруг осей, локомоторные движения. При сохранении и восстановлении положения тела двигательная задача состоит в обеспечении равновесия в стартовых, конечных и промежуточных позах спортсмена. Для расчета моментов и углов устойчивости тела в данных позах необходимо знать положение ОЦМ. Движения вокруг осей имеют место во вращательных упражнениях с опорой и без опоры. Управление этими движениями осуществляется посредством изменения момента силы тяжести и момента инерции тела, которые связаны с положением ОЦМ. Информативным показателем техники локомоторных движений служат затраты механической энергии на преодоление соревновательной дистанции, зависящие от внутрицикловых колебаний ОЦМ.

На результаты биомеханического анализа перечисленных двигательных действий большое влияние оказывает точность координат ОЦМ. В частности, определение координат и амплитуды вертикального перемещения ОЦМ в цикле движения при стайерском беге с погрешностью, составляющей 0,040 м, может привести к тому, что работа, затраченная на преодоление дистанции 5000 м, будет найдена отличающейся от действительного значения примерно на 80 кДж [14]. Это затрудняет использование полученных результатов для оценки технического мастерства спортсменов. Таким образом, выбор методов определения ОЦМ,

обеспечивающих необходимую точность измерений, имеет большое значение для биомеханики спорта.

Как правило, координаты ОЦМ находятся расчетным методом. Тело человека представляется в виде  $n$ -звенной модели, и на основе данных о массе отдельных звеньев и положении их центров масс рассчитываются координаты ОЦМ для изучаемой позы. В абсолютном большинстве спортивно-биомеханических исследований тело человека моделируется посредством жестких сочлененных звеньев [17]. Несмотря на известные погрешности, вносимые этой моделью, ее использование считается вполне оправданным [18].

Точность определения положения ОЦМ расчетным методом зависит, прежде всего, от точности данных о массе и положении центров масс отдельных звеньев. Эти данные получены в результате исследований на трупах или на живых людях с использованием радиоизотопного метода, компьютерной и магниторезонансной томографии и ряда других методов. Показано, что применение различных методов определения положения ОЦМ в расчетах данных, полученных на трупах, приводит к значительным погрешностям [12]. Причиной тому является ограниченное число исследованных объектов, их принадлежность людям, отличающимся от спортсменов по возрасту и телосложению, отсутствие данных для женщин. *Hinrichs* (1990) нашел, что использование данных, полученных при исследовании трупов, при определении ОЦМ тела спортсменов в положении прогнувшись, приводит к ошибке, превышающей 0,050 м. Более предпочтительно использовать данные, полученные радиоизотопным методом [16].

Наиболее полные и исчерпывающие данные о массе звеньев и положении центров масс звеньев на их продольной оси, полученные радиоизотопным методом, приводятся в работах В.Н. Селуянова и В.М. Зациорского с соавт., опубликованных начиная с середины 70-х годов прошлого века [4, 6, 7, 19–21]. Метод отличается высокой точностью. Так, относительная погрешность регистрации массы звеньев не превышает 2%, а для больших звеньев ее величина еще меньше (для бедра – менее 1%). Было обследовано 115 испытуемых, большинство из которых являлись спортсменами, и затем составлены уравнения множественной регрессии для нахождения масс-инерционных характеристик звеньев тела человека по весу и длине тела, а также по наиболее прогностическим антропометрическим признакам. Особенность метода заключается в использовании 16-звенной модели тела человека и сегментировании его таким образом, что начало и конец звена касаются оси вращения в суставе, а масса звена в процессе выполнения физических упражнений остается постоянной. В настоящее время данные, приведенные В.Н. Селуяновым и В.М. Зациорским с соавт., продолжают вызывать большой интерес. Вместе с тем в биомеханических исследованиях они используются относительно редко. По мнению *de Leva* (1996), причина этого заключается в применении нестандартных антропометрических точек, являющихся указателями границ звеньев (акромиальная, переднеподвздошная точки). При сгибании в суставах расстояние от указанных точек до центров масс звеньев значительно уменьшается. Чтобы избежать этого, предложено вводить соответствующие поправки [13].

Несмотря на распространенность расчетного метода определения ОЦМ и перспективность использования регрессионных уравнений для нахождения массы и положения центров масс звеньев, сведения о точности полученных таким образом координат ОЦМ встречаются крайне редко. Можно отметить лишь одну работу, в которой приводятся значения погрешности координат ОЦМ для различных поз [12]. Они находятся в пределах от 0,004 до 0,016 м. В связи с этим было проведено исследование, целью которого являлись оценка точности определения положения ОЦМ тела спортсмена, рассчитанного на основе имеющихся регрессионных уравнений, а также совершенствование методики измерений для ее повышения.

## МЕТОДИКА

В качестве изучаемой позы было выбрано положение низкого старта в спринтерском беге, показанное на рисунке. В эксперименте участвовал спортсмен, его возраст и антропометрические данные (возраст – 23 г., вес тела – 67,0 кг, длина тела – 1,74 м) примерно соответствуют средним значениям испытуемых, при обследовании которых были получены регрессионные уравнения для нахождения масс-инерционных характеристик звеньев тела [4].

Отличительной особенностью методики определения координат ОЦМ в данной работе является то, что после расчета с помощью регрессионных уравнений положения центров масс звеньев соответствующие точки отмечались маркерами на теле спортсмена, находящегося в той же позе, в которой производились предварительные антропометрические измерения. Затем спортсмен занимал изучаемую позу, и производилась его фотосъемка. По фотоматериалам регистрировались координаты центров масс звеньев в данной позе и рассчитывалось положение ОЦМ. В сравнении с маркировкой проекций осей суставов и других ориентирных точек до фотосъемки, последующей регистрацией их координат по фотоматериалам и расчетом положения центров масс звеньев и ОЦМ предложенная методика имеет ряд преимуществ. Она позволяет существенно повысить точность определения положения ОЦМ по двум причинам. Во-первых, найденное заранее положение центров масс звеньев не зависит от расстояния до нестандартных антропометрических точек границ звеньев, которое при сгибании в суставах меняется. В связи с этим отсутствует необходимость во внесении поправок. Во-вторых, положение центров масс звеньев не зависит от смещения вместе с кожей маркеров, возникающего при сгибании в суставах [16]. В большинстве работ, касающихся определения положения ОЦМ тела спортсмена, такое смещение не учитывается, хотя специальные исследования показали, что, например, при сгибании ноги в тазобедренном суставе оно может достигать 0,070 м [5].

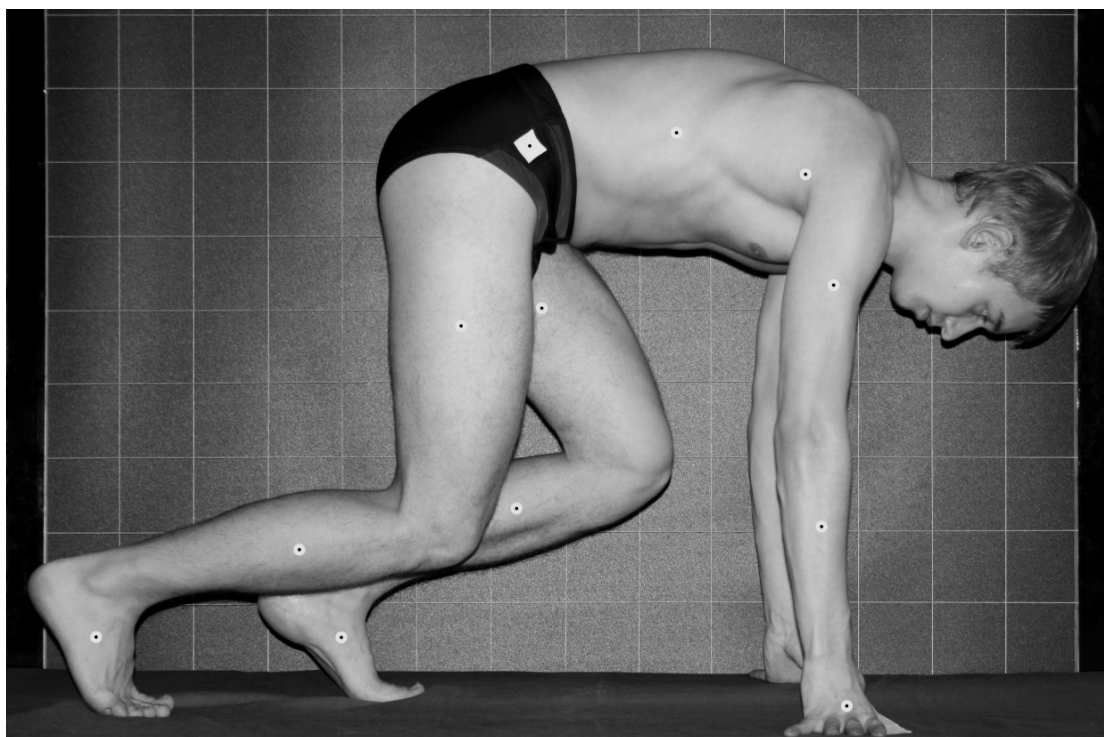


Рис. Спортсмен с маркированными точками центров масс звеньев в положении низкого старта

Поскольку антропометрические измерения производились во фронтальной плоскости, то положение центров масс звеньев первоначально определялось в той же плоскости, а затем соответствующие точки переносились на боковую поверхность звеньев и маркировались на их продольных осях. Для звеньев верхних и нижних конечностей продольными осями считались прямые, соединяющие проекции осей суставов. Для туловища продольными осями считались прямые, делящие его отделы в переднезаднем направлении в области плечевого сустава в отношении 55:45%, в области нижнегрудинной и подвздошно-гребешковой точек – в отношении 60:40% [15]. В связи с тем что в изучаемой позе кисти и стопы были согнуты соответственно в пястно-фаланговых и плюсне-фаланговых суставах, положения их центров масс были скорректированы с учетом углов сгибаний.

Использовались контрастные маркеры диаметром 0,003 м. Точность их установки на тело спортсмена была в основном обусловлена стандартными ошибками регрессионных уравнений для определения расстояния от антропометрических точек границ звеньев до центров масс звеньев, где устанавливались маркеры. Ранее проведенное исследование, в котором участвовали пять человек, имеющих опыт антропометрических измерений, показало, что погрешность координат точек границ звеньев составляет в среднем 0,004 м [9]. Это существенно меньше стандартных ошибок регрессионных уравнений для определения положения центров масс большинства звеньев.

Измерение веса тела производилось с помощью медицинских весов с точностью до 0,05 кг через 2 часа после приема пищи. Антропометрические признаки отдельных звеньев (головы, верхнего, среднего и нижнего отделов туловища, плеча, предплечья, кисти, бедра, голени, стопы) и всего тела, необходимые для введения в регрессионные уравнения, определялись посредством антропометра Мартина, толстотного циркуля, метрической ленты с точностью до 0,001 м, калипера с удельным давлением 10 г/мм<sup>2</sup> и точностью до 0,0005 м. Все измерения, за исключением измерений кожно-жировых складок на бедре и голени, а также биомеханической длины плеча и длины среднего отдела туловища, выполнялись в обычной ортоградной стойке. Длина плеча измерялась от акромиальной до плечелучевой точки при отведенной в сторону руке; длина среднего отдела туловища – от нижнегрудинной до пупковой точки в положении лежа.

Фотосъемка осуществлялась укрепленной на штативе цифровой фотокамерой *Canon EOS D500* с максимальным разрешением 15 Мп. Расстояние от камеры до объекта съемки (спортсмена) составляло 4 м. Камера располагалась на высоте 0,5 м, оптическая ось объектива была перпендикулярна сагиттальной плоскости тела спортсмена. Расстояние от камеры до спортсмена выбиралось таким образом, чтобы отклонение от оптической оси объектива до самой удаленной измеряемой точки не превышало 10 град. В этом случае параллакс практически отсутствует и нет необходимости в его коррекции [1]. В непосредственной близости от спортсмена располагалась калибровочная рамка размером 1,5×1,5 м с ячейками 0,1×0,1 м. Во время съемки спортсмен задерживал дыхание, в результате чего снижалось влияние изменения объема легких на положение ОЦМ [10]. Обработка фотоизображения производилась с использованием программы *Photoshop CS 2*. Кадрирование и регистрация координат выполнялись в масштабе 1:1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Поскольку инструментальная погрешность радиоизотопного метода определения массы и положения центров масс звеньев значительно меньше стандартных ошибок используемых регрессионных уравнений, то последние были приняты в расчет при нахождении погрешности определения координат ОЦМ,

представляющих собой косвенные измерения. Горизонтальная  $X_c$  и вертикальная  $Y_c$  координаты ОЦМ рассчитывались по формулам

$$X_c = \sum_{i=1}^n X_i \cdot m_{om,i}, \quad (1)$$

$$Y_c = \sum_{i=1}^n Y_i \cdot m_{om,i}, \quad (2)$$

$$m_{om,i} = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (3)$$

где  $X_i$ ,  $Y_i$  – горизонтальная и вертикальная координаты центра масс  $i$ -го звена;  $m_i$  – масса  $i$ -го звена;  $m_{om,i}$  – относительная масса  $i$ -го звена;  $n$  – число звеньев ( $n = 16$ ).

При расчете  $m_{om,i}$  по формуле (3) сумма масс всех звеньев  $\sum_{i=1}^n m_i$  принималась равной массе тела  $M$ . Поскольку эти величины незначительно различались, то масса звеньев пропорционально корректировалась. На значения координат ОЦМ это не влияет, но позволяет несколько снизить погрешность их определения, так как масса тела находится с большей точностью, чем составляющие ее массы звеньев.

Погрешность определения координат ОЦМ и относительной массы каждого звена как косвенных измерений рассчитывалась по следующим формулам [3]:

$$\sigma_{X_c} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{\partial X_c}{\partial m_{om,i}} \cdot \sigma_{m_{om,i}} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_c}{\partial X_i} \cdot \sigma_{X_i} \right)^2 \right]}, \quad (4)$$

$$\sigma_{Y_c} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{\partial Y_c}{\partial m_{om,i}} \cdot \sigma_{m_{om,i}} \right)^2 + \left( \frac{\partial Y_c}{\partial Y_i} \cdot \sigma_{Y_i} \right)^2 \right]}, \quad (5)$$

$$\sigma_{m_{om,i}} = \sqrt{\left( \frac{\partial m_{om,i}}{\partial m_i} \cdot \sigma_{m_i} \right)^2 + \left( \frac{\partial m_{om,i}}{\partial M} \cdot \sigma_M \right)^2}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{X_i}$ ,  $\sigma_{Y_i}$ ,  $\sigma_{m_i}$ ,  $\sigma_{m_{om,i}}$ ,  $\sigma_M$  – стандартные отклонения соответственно координат центров масс звеньев, массы звеньев, относительной массы звеньев, массы тела. В качестве  $\sigma_{X_i}$ ,  $\sigma_{Y_i}$ ,  $\sigma_{m_i}$  приняты стандартные ошибки регрессионных уравнений [4].

После дифференцирования формулы (4)–(6) приобретают вид

$$\sigma_{X_c} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \left( m_{om,i} \cdot \sigma_{X_i} \right)^2 + \left( X_i \cdot \sigma_{m_{om,i}} \right)^2 \right]}, \quad (7)$$

$$\sigma_{Y_c} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \left( m_{om,i} \cdot \sigma_{Y_i} \right)^2 + \left( Y_i \cdot \sigma_{m_{om,i}} \right)^2 \right]}, \quad (8)$$

$$\sigma_{m_{om,i}} = \sqrt{\left( \frac{1}{M} \cdot \sigma_{m_i} \right)^2 + \left( \frac{m_i}{M^2} \cdot \sigma_M \right)^2}. \quad (9)$$

Используемые в формулах (7), (8) значения  $\sigma_{x_i}$  и  $\sigma_{y_i}$  пересчитывались с учетом углов наклона звеньев. С этой целью стандартные ошибки регрессионных уравнений, используемых для определения положения центров масс звеньев на их продольной оси, умножались соответственно на синус и косинус угла наклона звена относительно вертикали.

На погрешность координат центров масс звеньев влияет также точность обработки фотоизображения. Для оценки ее величины двумя операторами по 10 раз производилась регистрация координат маркированных точек. Полученные значения совпали для каждой из точек с точностью до 0,0005 м. Это значительно меньше ошибки регрессионных уравнений для нахождения положения центров масс звеньев, самая малая из которых составляет 0,0044 м. Учитывая данное обстоятельство, погрешность регистрации координат в расчет не принималась.

С целью сравнения результатов расчеты по формулам (7)–(9) проводились двумя способами: в первом случае с использованием регрессионных уравнений для нахождения масс-инерционных характеристик звеньев по весу и длине тела, во втором – по наиболее прогностическим антропометрическим признакам. Значения  $\sigma_{x_c}$  и  $\sigma_{y_c}$  оказались примерно равными между собой и составили в первом случае 0,026 м, во втором – 0,018 м, т.е. во втором случае меньше примерно в 1,4 раза. Таким образом, измерение и использование в расчетах наиболее прогностических антропометрических признаков позволяют снизить погрешность определения координат ОЦМ, однако это снижение не столь существенно по сравнению со значительно большей трудоемкостью и длительностью таких измерений. Кроме того, эти измерения требуют определенных навыков и квалификации, что может служить препятствием при проведении биомеханических исследований большого количества испытуемых.

Полученные значения несколько превышают ошибки определения координат ОЦМ, найденные *de Leva* (1993), который использовал те же регрессионные уравнения и сравнил результаты с теми, что найдены более точными методами. Приведенные им значения погрешности составляют 0,004–0,016 м. Расхождение результатов *de Leva* с представленными в данной работе может быть связано со спецификой исследуемой позы и числом участников экспериментов, однако не носит принципиального характера. Полученные значения также соответствуют погрешности определения координат ОЦМ тела спортсмена, которая была найдена по материалам скоростной киносъемки и составила 0,028–0,055 м [8].

При расчете погрешности определения координат ОЦМ не учитывалось влияние изменения объема легких при дыхании, работы пищеварительных органов и других факторов. В этой связи предполагается, что ОЦМ находится в пределах сферы диаметром 0,01–0,02 м, хотя точных данных на этот счет в специальной литературе не приводится. Вместе с тем известно, что многим позам в практике спорта, как и в рассмотренном случае, сопутствует задержка дыхания, а тренировочная и соревновательная деятельность проходит через определенный промежуток времени после приема пищи. Таким образом, можно заключить, что влияние данных факторов не существенно. Также не должны оказывать существенного влияния на положение ОЦМ его колебания, связанные с механизмами регуляции позы человека. Амплитуда таких колебаний в плоскости опоры в положении стоя сравнительно невелика и составляет примерно 0,003 м [2].

Представляет интерес вклад погрешности массы каждого звена и положения их центров масс в общую погрешность определения координат ОЦМ. Этот вклад позволяют оценить слагаемые в формулах (7–9). Обнаружено, что для всех звеньев вклад погрешности измерения массы тела в погрешность относительной массы звеньев составляет не более 0,01%, т.е. незначителен. Это относится как к способу

**Вклад погрешности массы и положения центров масс отдельных звеньев в общую погрешность определения координат ОЦМ тела спортсмена (%)**

Звенья	Способ нахождения массы и положения центров масс звеньев	
	по весу и длине тела	по наиболее прогностическим антропометрическим признакам
Голова	2,9	3,6
Верхний отдел туловища	31,6	26,8
Средний отдел туловища	31,9	17,8
Нижний отдел туловища	19,0	33,5
Плечи	1,5	1,7
Предплечья	0,4	0,4
Кисти	0,2	0,2
Бедра	11,9	15,5
Голени	0,5	0,4
Стопы	0,1	0,1

нахождения массы и положения центров масс звеньев с использованием регрессионных уравнений, основанных на измерении веса и длины тела, так и наиболее прогностических антропометрических признаков. Погрешность определения координат ОЦМ в обоих случаях почти полностью обусловлена погрешностью относительной массы звеньев, вклад которой составляет примерно 99%, и практически не зависит от погрешности координат центров масс звеньев. Суммарный вклад погрешности масс и положения центров масс отдельных звеньев в общую погрешность определения координат ОЦМ представлен в таблице, значения в которой вычислялись как процентные отношения слагаемых, связанных с каждым звеном, к их сумме в подкорневом выражении в формулах (7)–(8). Полученные значения для горизонтальной и вертикальной координат усреднялись.

Из таблицы видно, что наибольший вклад в погрешность определения координат ОЦМ при использовании обоих способов нахождения массы и положения центров масс звеньев вносят наиболее крупные звенья тела: верхний, средний и нижний отделы туловища и бедра.

Полученные значения погрешности позволяют уточнить сферу возможного применения в практике спортивно-биомеханических исследований расчетного метода нахождения координат ОЦМ, основанного на использовании имеющихся регрессионных уравнений. Очевидно, что для регистрации незначительных колебаний ОЦМ тела спортсмена, которые имеют место, в частности, в стрелковом спорте, в парных и групповых акробатических упражнениях, точности данного метода недостаточно. В других случаях, например, при определении устойчивости стартовой позы в легкой атлетике, конькобежном спорте, сохранении равновесия при выполнении атакующих и контратакующих действий в спортивной борьбе, применение данного метода вполне оправдано. Так, для позы низкого старта в легкой атлетике определение положения ОЦМ с найденной точностью позволяет рассчитать углы устойчивости в переднем и заднем направлении с погрешностью менее 0,04 рад. Учитывая, что повышение эффективности низкого старта связано с более значительным изменением углов устойчивости, рассмотренный метод определения положения ОЦМ может быть в данном случае использован для оценки технического мастерства спортсмена.

## Выводы

1. Методика определения положения ОЦМ, основанная, во-первых, на использовании регрессионных уравнений для нахождения массы звеньев и положения их центров масс, и, во-вторых, на маркировке центров масс звеньев на теле спортсмена до фотосъемки в той же позе, в которой производились антропометрические измерения, обеспечивает точность координат ОЦМ не менее 0,026 м. Это позволяет применять данную методику с некоторыми ограничениями в спортивно-биомеханических исследованиях, в частности, при оценке устойчивости позы.

2. Определение массы звеньев тела и положения их центров масс на основе измерения наиболее прогностических антропометрических признаков по сравнению с нахождением тех же характеристик по весу и длине тела дает возможность повысить точность координат ОЦМ примерно в 1,4 раза. Однако это сопряжено со значительной трудоемкостью и длительностью антропометрических измерений и в процессе проведения исследований не всегда оправдано.

3. В наибольшей степени на точность координат ОЦМ влияет погрешность массы звеньев тела. В первую очередь, это касается верхнего, среднего и нижнего отделов туловища и бедер. Снижение погрешности массы указанных звеньев, рассчитанной посредством регрессионных уравнений, позволит существенно повысить точность определения положения ОЦМ тела спортсмена.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Говорков Л.П., Иванова Г.П., Истомина И.В. Фото и киносъемка // Биомеханические методы исследования в спорте / под ред. Г.П. Ивановой. – Л.: ГДОИФК, 1976. – С. 62–89.
2. Гурфинкель В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека – М.: Наука, 1965. – 256 с.
3. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин. – СПб.: Лань, 2005. – 112 с.
4. Зацюрский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
5. Козлов И.М. Биомеханические факторы организации спортивных движений: монография. – СПб.: Изд-во СПбГАФК им. П.Ф. Лесгафта, 1998. – 141 с.
6. Селуянов В.Н. Масс-инерционные характеристики сегментов тела человека и их взаимосвязь с антропометрическими признаками: дис. ... канд. биол. наук. – М., 1979. – 268 с.
7. Селуянов В.Н., Чугунова Л.Г. Масс-инерционные характеристики сегментов тела человека // Современные проблемы биомеханики. Сб. №7. Биомеханика мышц и структура движений. – Н. Новгород, 1993. – С. 124–143.
8. Ципин Л.Л., Мартынов А.С. Оценка точности кинематических характеристик бега спортсмена, полученных с помощью киносъемки // Материалы вузовской науч. конф. молодых ученых за 1988 год. – Л.: Изд-во ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта, 1989. – С. 66–67.
9. Ципин Л.Л. Специальные упражнения сопряженного воздействия как средство тренировки бегунов на средние дистанции в подготовительном периоде: дис. ... канд. пед. наук. – СПб., 1992. – 218 с.
10. Gittoes M.J.R., Bezodis I.N., Wilson C. An imagebased approach to obtaining anthropometric measurements for inertia modeling // Journal of Applied Biomechanics. – 2009. – Vol. 25, No. 3. – P. 265–270.
11. Hinrichs R.N. Adjustments to the segment center of mass proportions of Clauser et al. (1969) // J. Biomechanics. – 1990. – Vol. 23, No. 9. – P. 949–951.
12. de Leva P. Validity and accuracy of four methods for locating the center of mass of young male and female athletes // International Society of Biomechanics XIVth Congress-Abstracts; Edited by S. Bouisset, S. Muetral, H. Monod. – University Paris-Sud, France, 1993. – P. 318–319.
13. de Leva P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters // J. Biomechanics. – 1996. – Vol. 29, No. 9. – P. 1223–1230.
14. Miura M., Kobayashi K., Miyashita M., Matsui H., Sodeyama H. Experimental studies on biomechanics in long distance running. – University of Nagoya, Japan, 1973. – P. 46–56.
15. Parks J.L.J. An electromyographic and mechanical analysis of selected abdominal exercises: Unpublished doctoral thesis. – University of Michigan, 1959 // Cited by Plagenhoef, 1971.
16. Soto V.M., Gutiérrez M. Parámetros inerciales para el modelado biomecánico del cuerpo humano // Revista Motricidad. – 1996. – Vol. 2. – P. 169–189.
17. Vera P., Hoyos J.V., Ramiro J.Y., Prat J. Tecnología aplicada al análisis biomecánico en el deporte // Educación Física y Deporte de Base. Actas del Congreso. – Granada, 1987.



18. Vera P. Técnicas biomecánicas para el análisis de los movimientos deportivos: estado actual y perspectiva // Humanismo y nuevas tecnologías en la educación física y el deporte. Actas del Congreso. – Madrid, 1988. – P. 235–243.
19. Zatsiorsky V.M., Seluyanov V.N. Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regressions equations // Biomechanics IX-B / ed. por D. Winter [et al.]. – Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois, 1985. – P. 233–239.
20. Zatsiorsky V.M. In vivo body segment inertial parameters determination using a gamma-scanner method // Biomechanics of human movement: applications in rehabilitation, sports and ergonomics / ed. por N. Berme, A. Cappozzo. – Bertec Corporation, Worthington, Ohio, 1990. – P. 186–202.
21. Zatsiorsky V.M., Seluyanov V.N., Ychugunova L.G. Methods of determining mass-inertial characteristics of human body segments // Contemporary problems of Biomechanics / ed. por G.G. Chernyi, S.A. Regirer. – Boca Raton, MA: CRC Press, 1990. – P. 272–291.

## **ON THE ACCURACY OF THE MASS CENTRE POSITION IDENTIFICATION OF AN ATHLETE'S BODY**

**L.L. Tsipin, M.A. Samsonov (Saint-Petersburg, Russia)**

The paper relates to the sport biomechanics and is dedicated to the identification technique of the position of mass centre of an athlete's body. The identification inaccuracy of the mass centre position by the calculating method was found. The regression equations based on the measurement of weight and body length, as well as the most predictive anthropometric characteristics are used to calculate the weight and mass centre of body fragments. The measurement technique allowing one to reduce this inaccuracy in the analysis of athlete's posture is proposed. It is shown that the inaccuracy of the values for upper, middle, and lower parts of the trunk and hips weight make the greatest contribution to the identification inaccuracy of mass centre position.

**Key words:** mass centre, posture of an athlete, measurement technique, regression equations, accuracy.

*Получено 20 марта 2011*