

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Зекрин Фанави Хайбрахманович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 04.11.2023 19:42:50  
Уникальный программный идентификатор:  
8d1b39193cdad8918b8873b6591d9ef37c1a2d2

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ЧАЙКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ  
КУЛЬТУРЫ И СПОРТА» (ФГБОУ ВО «ЧГАФКиС»)**

Кафедра Социально-гуманитарных, педагогических и естественных наук

**Методические материалы по выполнению и расчетно-графической  
работы по дисциплине  
«Биомеханика двигательной деятельности»**

для обучающихся по направлениям подготовки 49.03.01 Физическая культура, 49.03.02 Физическая культура для лиц с отклонениями в состоянии здоровья (адаптивная физическая культура), 49.03.03 Рекреация и спортивно-оздоровительный туризм

Разработчик:  
Ветров В.А., ст.  
преподаватель

Рассмотрено на  
заседании кафедры  
СГПиЕН  
Протокол от «22» июня  
2021 г. № 30

## 1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

При выполнении многих физических упражнений и спортивных движений человеку необходимо сохранять неподвижное положение тела, например, как исходное (стартовое) положение; как промежуточное (всевозможные висы, упоры, стойки в гимнастике); как конечное (фиксация штанги на вытянутых руках). При этом тело человека как биомеханическая система (ее элементы – отдельные звенья тела человека) находится в равновесии, степень устойчивости которого характеризует положение общего центра тяжести (ОЦТ) тела спортсмена. Другими словами, по положению ОЦТ тела человека оценивают различные статические положения.

В процессе выполнения физических упражнений человек изменяет площадь опоры, взаимное положение звеньев тела, то есть позу – и тем самым изменяет местоположения ОЦТ тела по отношению к опорному контуру. Все это приводит к изменению механических показателей устойчивости равновесия. Степень напряжения тех или иных мышечных групп зависит от положения центра тяжести (ЦТ) соответствующего звена и выше лежащих звеньев.

Для сохранения позы необходимо активное участие нервно-мышечной системы. Поэтому оценка статического положения позволяет установить взаимосвязь биомеханических характеристик тела с целью выявления оздоровительной и педагогической ценности физических упражнений. Из вышесказанного следует, что знание положения ОЦТ тела человека важно для биомеханического анализа и для решения многих самостоятельных задач механики спортивных движений.

Инертность – это свойство физических тел, проявляющихся в постепенном изменении скорости со временем под действием сил. При выполнении вращательного движения мерой инертности является момент

инерции. Эта характеристика равна сумме произведений масс всех материальных точек тела на квадрат расстояния их от оси вращения.

$$J = \sum_i m_i \cdot r_i^2 .$$

На этом основывается очень важное для телесно-двигательных упражнений спортивного характера положение: момент инерции тела больше в том случае, если какая-то его часть наиболее удалена от оси вращения, например, прямая рука отведена в сторону. В этом случае, если тело вращается вокруг своей продольной оси, например, тур на одной ноге, момент силы вызывает меньшее угловое ускорение в связи с большим инерционным сопротивлением отдаленной от оси тела руки, и вращение будет медленным. Действия группирования или разгруппирования при выполнении, например, кувырков или сальто в группировке, есть пример деформации биомеханической системы тела спортсмена, при которой части тела приближаются или отдаляются от оси вращения. Согласно закону сохранения количества движения  $J \cdot \omega = const$ , при отдалении частей тела от оси вращения момент инерции системы увеличивается, а скорость вращения тела замедляется.

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ

### Цель работы:

1. Определить положение центров тяжести звеньев тела человека (ЦТ).
2. Определить положение общего центра тяжести тела человека (ОЦТ).
3. Определение углов устойчивости.

### Оборудование и материалы:

- фотография спортсмена в формате А4 (статичная поза с минимальной площадью опоры, съемка проводится в фронтальной или сагиттальной плоскостях, на фото должны быть видны все звенья тела человека (по таблице 1));
- ученическая линейка длиной не менее 20 см;
- схема относительного веса и положения центра масс отдельных звеньев тела (рисунок 1);
- макет расчетной таблицы в формате электронных таблиц MS Excel, [<http://eos.chifk.ru/mod/resource/view.php?id=2213>].

### Программное обеспечение

- Текстовый редактор для создания отчета (например, MS Word)
- Электронная таблица для расчетов (например, MS Excel);
- Программа Kinovea (<https://www.kinovea.org/download.html>) для кинематического анализа двигательных действий по фото и видео материалам.

### Краткая теория:

Центр тяжести звена - это воображаемая точка, к которой приложена равнодействующая сил тяжести всех частиц звена. Опытным путём (О. Фишер, Н. А. Бернштейн) были определены средние данные о весе звеньев тела и о положении их центра масс [1, 2, 3]. Обобщенно, сведения о весе звеньев и положении центра масс представлено на рисунке 1.

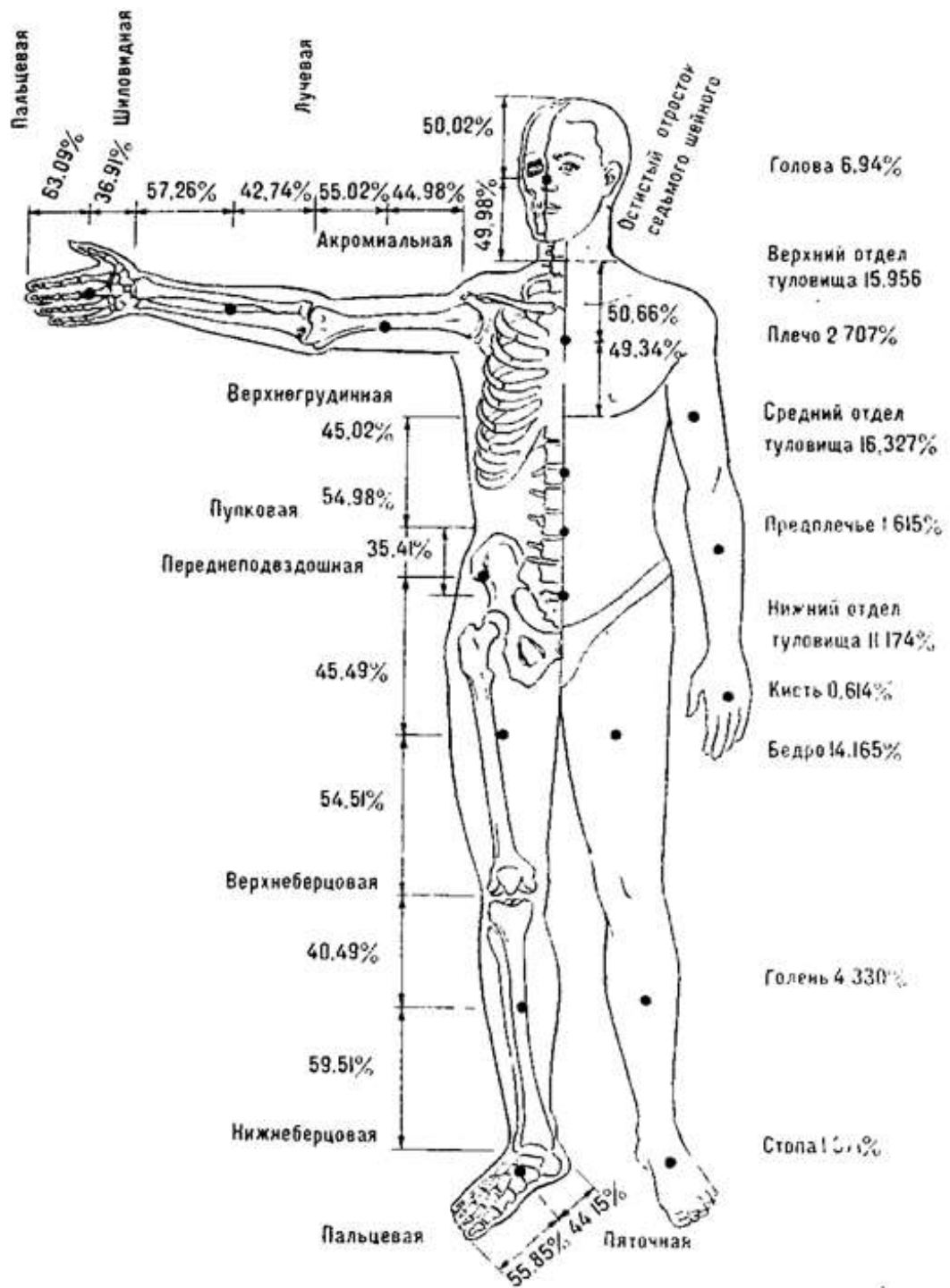
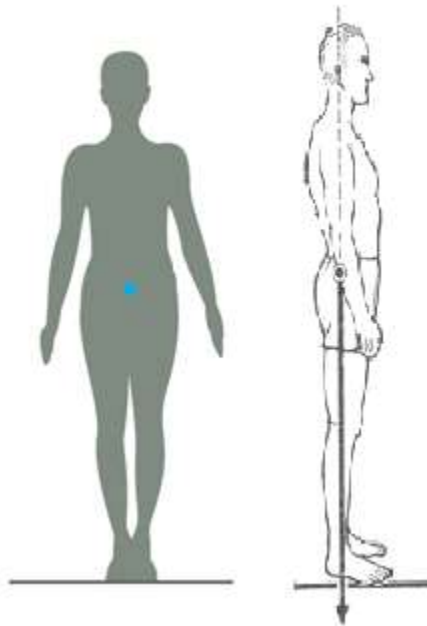


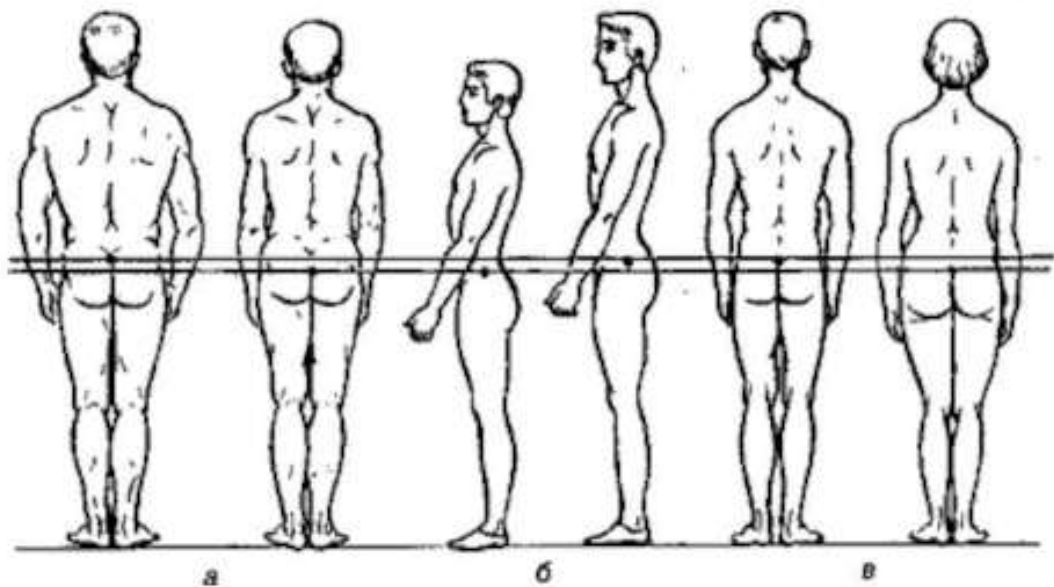
Рисунок 1 Схема относительного веса и положения центра масс отдельных звеньев тела

Согласно М. Ф. Иваницкого [4], в основной стойке ОЦТ располагается на уровне I-V крестцовых позвонков и проецируется на переднюю поверхность тела выше лобкового симфиза (рисунок 2).



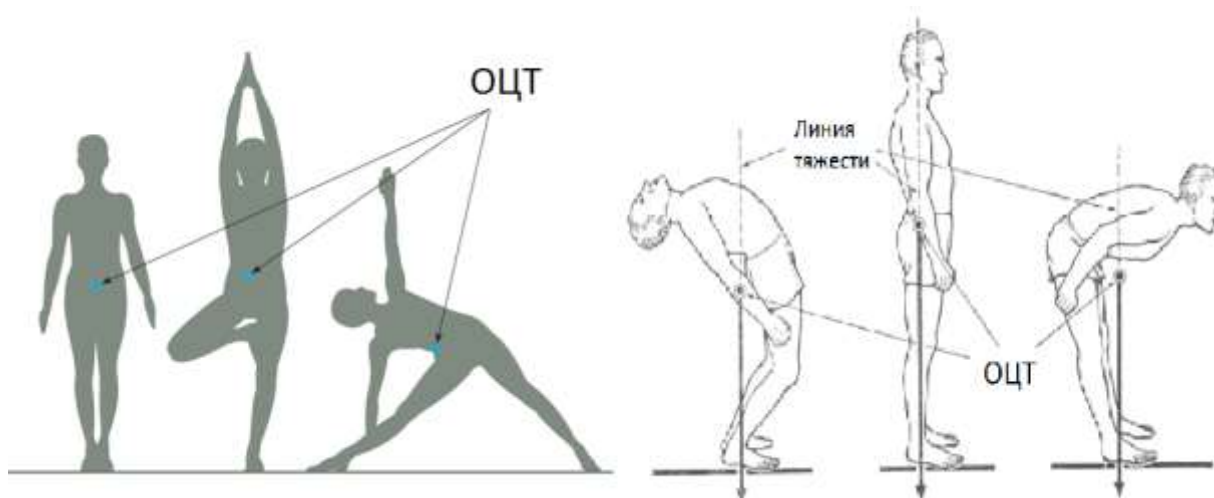
*Рисунок 2 Положение ОЦТ в основной стойке*

Высота положения ОЦТ у разных людей значительно варьируется в зависимости от целого ряда факторов, к числу которых в первую очередь относятся пол, возраст, телосложение и прочее (рисунок 3).



*Рисунок 3 Положение ОЦТ: а – у мужчин одинакового роста, но различного телосложения; б – у мужчин разного роста; в – у мужчин и женщин*

При изменениях позы ОЦТ смещается и в некоторых случаях, в частности при наклонах вперед и назад, может находиться вне тела человека (рисунок 4).



*Рисунок 4 Положение ОЦТ при изменениях позы*

Динамическим показателем устойчивости твёрдого тела служит угол устойчивости. Это угол, образованный линией действия силы тяжести и прямой, соединяющей центр тяжести с соответствующим краем площади опоры (рисунок 5).

Физический смысл угла устойчивости состоит в том, что он равен углу, на который надо повернуть тело для начала его опрокидывания. Угол устойчивости показывает, в каких пределах ещё восстанавливается равновесие. Он характеризует степень динамической устойчивости: если угол больше, то и устойчивость больше. Этот показатель удобен для сравнения степени устойчивости одного тела в разных направлениях (если площадь опоры не круг и линия силы тяжести не проходит через его центр).

Сумма двух углов устойчивости в одной плоскости рассматривается как угол равновесия в этой плоскости. Он характеризует запас устойчивости в данной плоскости, т.е. определяет размах перемещений центра тяжести до возможного опрокидывания в ту или другую сторону (например, у слаломиста при спуске на лыжах, гимнастки на бревне, борца в стойке).

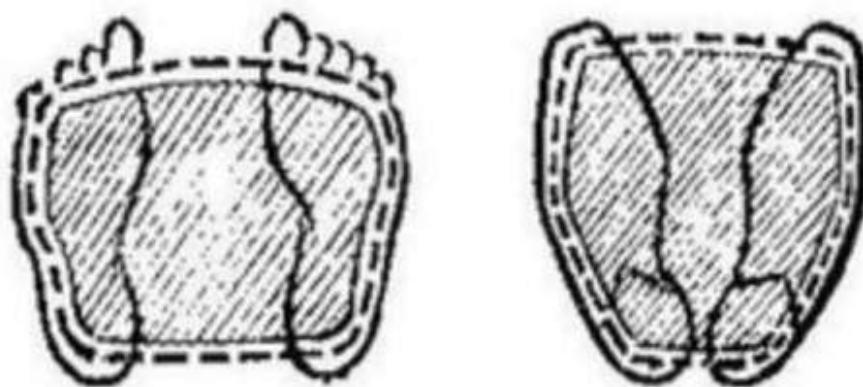


*Рисунок 5 Углы устойчивости*

В случае равновесия биомеханической системы для применения динамических показателей устойчивости нужно учесть существенные уточнения.



Во-первых, площадь эффективной опоры человека не всегда совпадает с поверхностью опоры. У человека, как и у твёрдого тела, поверхность опоры ограничена линиями, соединяющими крайние точки опоры (или внешние края нескольких площадей опоры) (рисунок 6). Но у человека часто граница площади эффективной опоры расположена внутри контура опоры, так как мягкие ткани (стопа босиком) или слабые звенья (концевые фаланги пальцев в стойке на руках на полу) не могут уравновесить нагрузку. Поэтому линия опрокидывания смещается от края опорной поверхности внутрь, площадь эффективной опоры меньше площади опорной поверхности.



*Рисунок 6 Поверхность опоры (ограничена пунктирной линией) и эффективная площадь (заштрихована)*

Во-вторых, человек никогда не отклоняется всем телом относительно линии опрокидывания (как кубик), а перемещается относительно осей каких-либо суставов, не сохраняя полностью позы (например, при положении стоя — движения в голеностопных суставах).

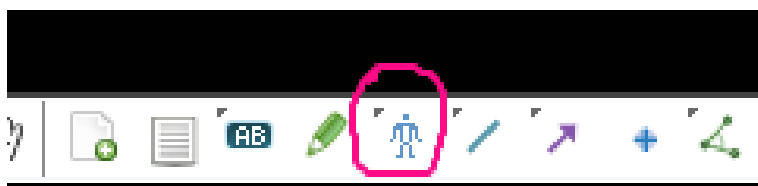
В-третьих, при приближении к граничному положению нередко становится трудно сохранить позу и наступает не просто опрокидывание «отвердевшего тела» вокруг линии опрокидывания, а изменение позы с падением. Это существенно отличается от отклонения и опрокидывания твёрдого тела вокруг грани опрокидывания (кантование).

Таким образом, углы устойчивости в ограниченно-устойчивом равновесии характеризуют динамическую устойчивость как способность восстановить равновесие. При определении устойчивости тела человека необходимо также учитывать границы площади эффективной опоры, надёжность сохранения позы до граничного положения тела и реальную линию опрокидывания.

### **Порядок определения ОЦТ графическим методом**

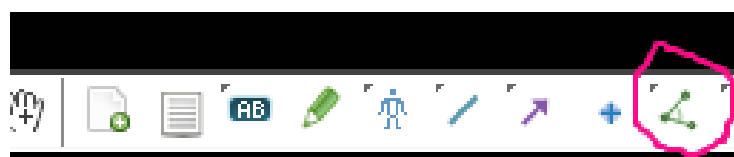
1. Откройте таблицу 1, Лист1 (по ссылке <http://eos.chifk.ru/mod/resource/view.php?id=2213>)
2. Столбцы 1, 2, 3, 6 в таблице №1 заполнены согласно рисунка 1 (Самостоятельно разберитесь с заполненными данными, при защите работы потребуется найти на схеме соответствующее значение.)
3. В поле масса (выделено желтым цветом) введите массу исследуемого спортсмена, при этом автоматически заполнится столбец 4 – абсолютная масса звена.
4. Используя линейку и рисунок 1 измерьте на фотографии абсолютные длины звеньев тела и занесите в столбец 5. Измерения проводятся вдоль оси симметрии между дистальным и проксимальным концами звена.
5. Абсолютное расстояние до ЦТ звена (столбец 7) заполняется автоматически. Число в столбе определяет расстояние от дистального или проксимального конца звена до центра тяжести звена. Измерения проводят от дистального конца, если относительное расстояние, указанное в столбце 6 соответствует проценту дистального конца звена рисунка 1, в противном случае измерения проводят с проксимального конца. Используя линейку отмеряем указанное в столбце 7 расстояние и отмечаем центр тяжести каждого звена.

6. Для дальнейшей работы, на фотографии строим прямоугольную систему координат ХОУ. Рекомендуется ось Х направить горизонтально вправо через точку опоры, ось У направить вертикально вверх через любую точку тела.
7. В построенной системе координат измеряем линейкой координаты х и у центра тяжести каждого звена и заносим координаты в соответствующие столбцы 8 и 9.
8. Столбцы 10 и 11 заполняются автоматически. Под столбцами 10 и 11 определяются координаты общего центра тяжести (ОЦТ). (Самостоятельно определите действия, приводящие к нахождению координат ОЦТ)
9. Фиксируем на фотографии ОЦТ в виде точки.
10. Изображение фотографии открываем в ПО Kinovea.
11. На панели инструментов выбираем модель (рисунок 7) и щелчком левой кнопкой мыши ставим модель на фотографию.



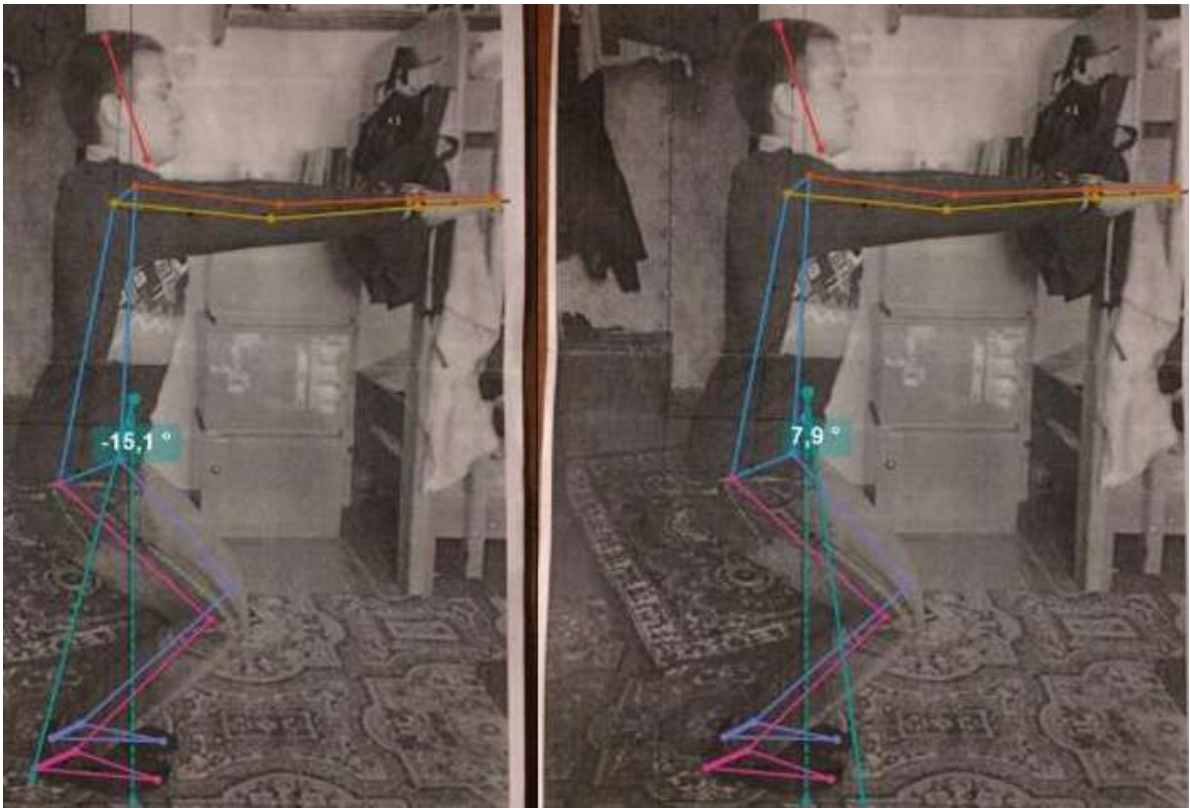
*Рисунок 7 Выбор инструмента «модель»*

12. Используя возможность перетаскивания концов сегментов модели перетаскиваем их по звеньям на фотографии (рисунок 9).



*Рисунок 8 Выбор инструмента «угол»*

13. Определяем углы устойчивости с использованием инструмента угол (рисунок 8). Пример конечного вида фотографии представлен на рисунке 9.



*Рисунок 9 – Пример конечного вида фотографии*

14. Делаем вывод о причинах смещении центра тяжести относительно положения в основной стойке

15. Сравниваем положение ОЦТ найденное в п.9 с положением ОЦТ в п.12.

16. Примерное оформление работы, формулировка вывода представлены в документе

Макет\_1

[http://eos.chifk.ru/pluginfile.php/135/mod\\_label/intro/Макет\\_1.docx](http://eos.chifk.ru/pluginfile.php/135/mod_label/intro/Макет_1.docx)

Таблица 1 Расчетная таблица для определения общего центра тяжести человека

№	Звенья тела	Отн. масса	Абс. масса	Абс. длина	Отн.расст. до ЦТ	Абс.расст. до ЦТ	X	Y	X*m	Y*m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Голова	7,00%	0		50%	0			0	0	
2	Туловище	42,80%	0		55%	0			0	0	
3	Плечо правое	2,70%	0		45%	0			0	0	
4	Плечо левое	2,70%	0		45%	0			0	0	
5	Предпл. правое	1,60%	0		57%	0			0	0	
6	Предпл. левое	1,60%	0		57%	0			0	0	
7	Кисть правая	0,60%	0		37%	0			0	0	
8	Кисть левая	0,60%	0		37%	0			0	0	
9	Бедро правое	14,20%	0		55%	0			0	0	
10	Бедро левое	14,20%	0		55%	0			0	0	
11	Голень правая	4,00%	0		40%	0			0	0	
12	Голень левая	4,00%	0		40%	0			0	0	
13	Стопа правая	2,00%	0		44%	0			0	0	
14	Стопа левая	2,00%	0		44%	0			0	0	
									Сумма	0	0
									ОЦТ		

Масса	
-------	--

### 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ

#### Цель работы:

Определить момент инерции тела человека относительно выбранной оси.

#### Оборудование:

- Фотография спортсмена в формате А4 (статичная поза с минимальной площадью опоры, съемка проводится в фронтальной или сагиттальной плоскостях, на фото должны быть видны все звенья тела человека (по таблице 1));
- Ученическая линейка длиной не менее 20 см;
- Схема относительного веса и положения центра масс отдельных звеньев тела (рисунок 1);
- Макет расчетной таблицы в формате электронных таблиц MS Excel, [<http://eos.chifk.ru/mod/resource/view.php?id=2213>];
- Программное обеспечение для создания отчета (например, MS Word) и для расчетов (например, MS Excel);
- Таблица коэффициента-к (таблица 3).

#### Краткая теория:

Момент инерции – это мера инертности тела при вращательном движении. Относительно оси равен, сумме произведений масс всех материальных точек тела на квадраты их расстояний от данной оси:

$$J = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2, \text{ единица измерения: кг} \cdot \text{м}^2.$$

В связи с неоднородностью звеньев тела человека, воспользуемся эмпирической формулой

$$J = \sum_{i=1}^n m_i \cdot k_i, \text{ где } k - \text{коэффициент определяемый по таблице 3.}$$

Среднее значения момента инерции человека в основной стойке примерно равняется  $J_0 = 1.2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ . На рисунке 10 представлены коэффициенты, определяющие во сколько раз возрастает момент инерции тела вокруг разных осей при различном положении звеньев тела относительно оси.

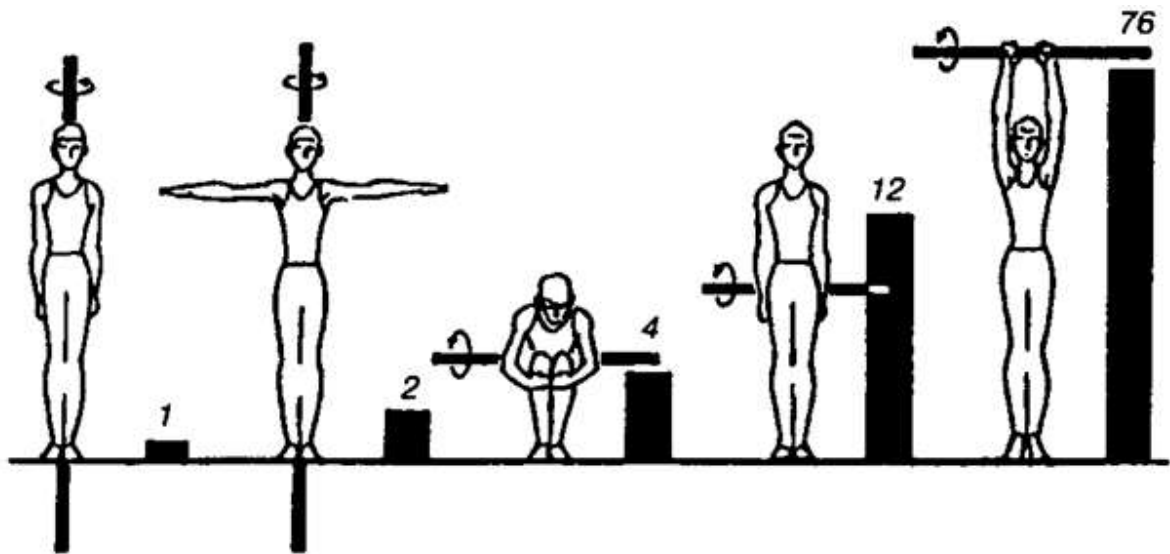


Рисунок 10 – Моменты инерции тела вокруг разных осей (в относительных единицах)

### Порядок определения момента инерции графическим методом (по таблице 2)

1. Работу следует выполнять после определения общего центра тяжести используя тот же файл в формате электронных таблиц MS Excel, но работая на Листе2 (Таблица 2).
2. Столбцы 1, 2, 3, 4, 5 и значение массы заполняются автоматически на основе данных с Лист1.
3. Перед началом работы необходимо определить масштаб фотографии. Для этого измеряем реальный размер звена спортсмена (например, длину

голени) и длину этого же звена на фотографии. Полученные значения записываем в соответствующие ячейки (отмечены желтым цветом). Правильность определения масштаба можно оценить, найдя сумму значений для головы, туловища, левого бедра и левой голени из столбца 6. Эта сумма должна быть меньше роста спортсмена на величину  $6 \pm 3$  см. В противном случае, необходимо провести коррекцию масштаба, изменяя значения длины реального размера звена спортсмена или длину этого же звена на фотографии в пределах погрешности измерения  $\pm 1$  см.

4. Для заполнения столбца 7 воспользуемся данными с Лист1. Если в качестве оси вращения была выбрана ось X, тогда абсолютные значения координат Y будут являться расстоянием от ОЦТ звена до оси вращения и столбец 7 заполняем значениями столбца 9 из Лист1. Если в качестве оси вращения была выбрана ось Y, тогда абсолютные значения координат X будут являться расстоянием от ОЦТ звена до оси вращения и столбец 7 заполняем значениями столбца 8 из Лист1. Если в качестве оси вращения выбрана произвольная ось, тогда измеряем расстояния от ОЦТ каждого звена до оси вращения и заносим полученные значения в столбец 7.

5. Столбец 8 заполнится автоматически.

6. Столбец 9 содержит коэффициенты k момента вращения. Значение берём из таблицы №3, где по вертикали выбираем ближайшее значение, соответствующее расстоянию ось вращения- центр звена (число из столбца 8), а по горизонтали ближайшее значение, соответствующее длине звена (число из столбца 6)

7. Столбец 10 заполнится автоматически, сумма по столбцу 10 будет определять общий момент инерции тела относительно выбранной оси.

8. В выводе указать полученный результат и сравнить его с теоретически возможным моментом инерции на основе рисунка 10.



Таблица 2 – Расчетная таблица определения момента инерции тела

№	Звенья тела	Отн. масса	Абс. масса	Абс. длина	Длина звен.,м	Абс.расст. до оси,см	Расст.до оси ,м	К	І
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Голова	0,07	0	0	0,00		0,00		0
2	Туловище	0,43	0	0	0,00		0,00		0
3	Плечо правое	0,03	0	0	0,00		0,00		0
4	Плечо левое	0,03	0	0	0,00		0,00		0
5	Предпл. правое	0,02	0	0	0,00		0,00		0
6	Предпл. левое	0,02	0	0	0,00		0,00		0
7	Кисть правая	0,01	0	0	0,00		0,00		0
8	Кисть левая	0,01	0	0	0,00		0,00		0
9	Бедро правое	0,12	0	0	0,00		0,00		0
10	Бедро левое	0,12	0	0	0,00		0,00		0
11	Голень правая	0,05	0	0	0,00		0,00		0
12	Голень левая	0,05	0	0	0,00		0,00		0
13	Стопа правая	0,02	0	0	0,00		0,00		0
14	Стопа левая	0,02	0	0	0,00		0,00		0
								І общ=	0
Масштаб 1: 9		Реальная длина звена			23				
Масса		0			Длина звена на фото		2,5		

Таблица 3 – Значение коэффициента  $k$ , для нахождения момента инерции звена тела

Метры $r$	Длина звена в метрах ( $e$ )															
	0	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,8	0,9	1,00	1,10	1,20
0,0	0,00	0,008	0,010	0,013	0,017	0,020	0,025	0,03	0,035	0,041	0,047	0,053	0,068	0,083	0,101	0,120
0,1	0,01	0,018	0,020	0,023	0,037	0,031	0,035	0,04	0,045	0,051	0,057	0,063	0,078	0,093	0,101	0,130
0,15	0,02	0,031	0,033	0,036	0,040	0,044	0,048	0,053	0,058	0,064	0,070	0,076	0,091	0,106	0,124	0,143
0,20	0,04	0,048	0,050	0,053	0,057	0,061	0,065	0,07	0,075	0,081	0,087	0,093	0,108	0,123	0,141	0,160
0,25	0,06	0,068	0,070	0,073	0,077	0,081	0,085	0,09	0,095	0,101	0,107	0,113	0,128	0,143	0,161	0,180
0,30	0,09	0,098	0,100	0,103	0,107	0,111	0,115	0,120	0,125	0,131	0,137	0,143	0,158	0,173	0,191	0,210
0,35	0,12	0,128	0,130	0,133	0,137	0,141	0,145	0,150	0,155	0,161	0,167	0,173	0,188	0,203	0,221	0,240
0,40	0,16	0,168	0,170	0,173	0,177	0,181	0,185	0,190	0,195	0,201	0,207	0,213	0,228	0,243	0,261	0,280
0,45	0,20	0,208	0,210	0,213	0,217	0,221	0,225	0,230	0,235	0,241	0,247	0,253	0,268	0,283	0,301	0,320
0,50	0,25	0,258	0,260	0,263	0,267	0,271	0,275	0,280	0,285	0,291	0,297	0,303	0,318	0,333	0,351	0,370
0,55	0,30	0,308	0,310	0,313	0,317	0,321	0,325	0,330	0,335	0,341	0,347	0,353	0,368	0,383	0,401	0,420
0,60	0,36	0,368	0,370	0,373	0,377	0,381	0,385	0,390	0,395	0,401	0,407	0,413	0,428	0,443	0,461	0,480
0,65	0,42	0,428	0,430	0,433	0,437	0,441	0,445	0,450	0,455	0,461	0,467	0,473	0,488	0,503	0,521	0,540
0,70	0,49	0,498	0,500	0,503	0,507	0,511	0,515	0,520	0,525	0,531	0,537	0,543	0,558	0,563	0,591	0,610
0,75	0,56	0,568	0,570	0,573	0,577	0,581	0,585	0,590	0,595	0,601	0,607	0,613	0,628	0,643	0,661	0,680
0,80	0,64	0,648	0,650	0,653	0,657	0,661	0,665	0,670	0,675	0,681	0,687	0,693	0,708	0,723	0,741	0,760
0,85	0,72	0,728	0,730	0,733	0,737	0,741	0,745	0,750	0,755	0,761	0,767	0,773	0,788	0,803	0,821	0,840
0,90	0,81	0,818	0,820	0,823	0,827	0,831	0,835	0,840	0,845	0,851	0,857	0,863	0,878	0,893	0,911	0,930
0,95	0,90	0,908	0,910	0,913	0,917	0,921	0,925	0,930	0,935	0,941	0,947	0,953	0,968	0,983	1,001	1,020
1,00	1,00	1,008	1,010	1,013	1,017	1,021	1,025	1,030	1,035	1,041	1,047	1,053	1,068	1,083	1,101	1,120
1,10	1,21	1,218	1,220	1,223	1,227	1,231	1,235	1,240	1,245	1,251	1,257	1,263	1,278	1,293	1,311	1,330
1,20	1,44	1,448	1,450	1,453	1,457	1,461	1,465	1,470	1,475	1,481	1,487	1,493	1,508	1,523	1,541	1,560
1,30	1,69	1,698	1,700	1,703	1,707	1,711	1,715	1,720	1,725	1,731	1,737	1,743	1,758	1,773	1,791	1,810
1,40	1,96	1,968	1,970	1,973	1,977	1,981	1,985	1,990	1,995	2,001	2,007	2,013	2,028	2,043	2,061	2,080
1,50	2,25	2,258	2,260	2,263	2,267	2,270	2,275	2,280	2,285	2,291	2,297	2,303	2,318	2,333	2,351	2,370
1,60	2,56	2,568	2,570	2,573	2,577	2,581	2,585	2,590	2,595	2,601	2,607	2,613	2,628	2,643	2,661	2,680
1,70	2,89	2,898	2,900	2,903	2,907	2,911	2,915	2,920	2,925	2,931	2,937	2,943	2,958	2,973	2,991	3,010
1,80	3,24	3,248	3,250	3,253	3,257	3,261	3,265	3,270	3,275	3,281	3,287	3,293	3,308	3,323	3,341	3,360
1,90	3,61	3,618	3,620	3,623	3,627	3,631	3,635	3,640	3,645	3,651	3,657	3,663	3,678	3,693	3,711	3,720
2,00	4,00	4,008	4,010	4,013	4,017	4,021	4,025	4,030	4,035	4,041	4,047	4,053	4,068	4,083	4,101	4,120

#### 4 ЛИТЕРАТУРА

1. Попов, Г.И. Биомеханика двигательной деятельности: Учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования /Г.И. Попов, А.В. Самсонова.– М.: Издательский центр «Академия», 2014– 320 с.– (Сер. Бакалавриат).
2. Донской Д.Д., Зациорский В. М. Биомеханика: Уч-ник для ин-тов физ. культ. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с., ил.
3. Дубровский В.И., Федоров В. Н. Биомеханика: Учеб. для сред. и высш. учеб. заведений. – 2-е изд. - М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003,2004. – 672с., ил.
4. Иваницкий М.Ф. Анатомия человека Учебник для институтов физической культуры. – Изд. 7-е. – М.: Олимпия, 2008. – 624 с. – ISBN 978-5-903639-06-9.