

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Г.Ф. СИТДИКОВА, А.В. ЯКОВЛЕВ, О.Ш. ГАФУРОВ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ
РАБОТАМ ПО БИОМЕХАНИКЕ**

Учебно-методическое пособие



КАЗАНЬ

2023

УДК 59.08

Рекомендовано к изданию

Учебно-методической комиссией Института фундаментальной медицины и биологии ФГАОУ ВО (Приволжский) федеральный университет

Протокол № 2 от 18 сентября 2023г

Заседание кафедры физиологии человека и животных

Протокол № 10 от 14 июня 2023г

Рецензенты:

Кандидат биологических наук, доцент КФУ Яковлева О. В.

Кандидат медицинских наук, доцент КГМУ Телина Э. Н.

Ситдикова Г.Ф., Яковлев А.В., Гафуров О.Ш.

Методические рекомендации к лабораторным работам по биомеханике: учебно-методическое пособие/ Г.Ф. Ситдикова, А.В. Яковлев, О.Ш. Гафуров. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2023. – 43 с.

В настоящее учебно-методическое пособие включены практические и лабораторные работы по биомеханике, составленные в соответствии с общим курсом дисциплины «Биофизика» для студентов, обучающихся в институте фундаментальной медицины и биологии. Практикум знакомит студентов с некоторыми современными методами исследований биомеханики тела человека. Работы рассчитаны на самостоятельное выполнение студентами. Описание работы включает теоретическую часть, методические указания и практические задачи.

Учебно-методическое пособие также может быть использовано при проведении практических занятий по биофизике у студентов университетов медицинских специализаций.

© Казанский федеральный университет, 2023.

© Г.Ф. Ситдикова, А.В. Яковлев, О.Ш. Гафуров, 2023.

ВВЕДЕНИЕ	4
Работа № 1. Определение веса сегментов тела.....	10
Работа № 2 Определение веса сегментов тела человека и положения их центра масс с применением уравнений множественной регрессии.	18
Работа № 3. Определение координат суставов и центра масс сегментов тела человека в различных положениях.....	19
Работа № 4. Определение координат общего центра масс (ОЦМ) тела человека в различных положениях.	34
ЛИТЕРАТУРА	43

ВВЕДЕНИЕ

Тело человека можно представить в виде биомеханической системы, состоящей из отдельных сегментов: кисть, предплечье, плечо, голова, туловище, бедро, голень, стопа (рис. 1а). Для количественного определения динамических характеристик (момент силы тяжести, кинетическая энергия, потенциальная энергия, кинетический момент и т.д.), характеризующих биодинамическую структуру спортивных упражнений, необходимо знать масс-инерционные характеристики биомеханической системы, включающей 4 компонента для каждого из сегментов: вес тела, положение центра масс сегментов (рис. 1б), центральные моменты инерции отдельных звеньев.

До недавнего времени экспериментальное определение геометрии масс тела человека выполнялось на трупах (Harless, 1860; Braune, Fischer, 1869; Glauser et al., 1969) и среднестатистических данных прижизненного определения масс-инерционных характеристик сегментов тела человека.

Трупы замораживались, рассекались по осям вращения в суставах, определялся вес сегментов и положение центра масс сегмента (рис. 1а,б). Исследования, выполненные на большом объеме экспериментальных данных, позволили получить среднестатистические результаты о геометрии масс тела человека.

Среднестатистические показатели характеризуют усредненное значение исследуемых характеристик, которые выражаются через относительные веса сегментов и через относительные коэффициенты, определяющие положение центра тяжести сегментов.

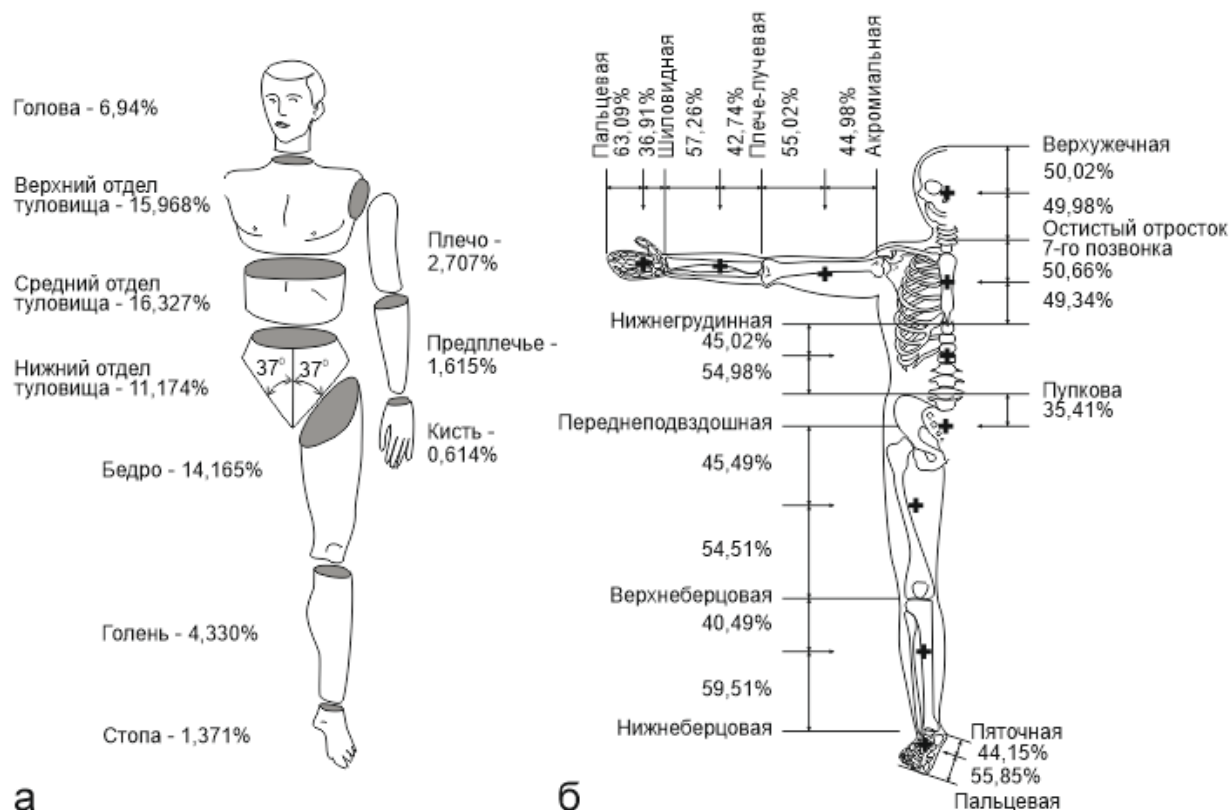


Рис. 1. Антропометрические точки, определяющие границы сегментов: а – схема разделения тела человека на сегменты. В процентах указан весовой коэффициент сегмента; б – расположение центра масс сегментов тела человека. Крестом отмечено расположение центра масс сегмента. В процентах указано отношение расстояния до центра масс сегмента к длине сегмента

Сегменты тела человека

Указателями границ сегментов - местами прохождения плоскостей, отделяющих один сегмент от другого, являются антропометрические точки (рис. 1а). Выбор способов сегментирования обусловлен требованиями биомеханики: начало и конец сегмента должны касаться оси вращения в суставе, а масса сегментов при выполнении упражнений должна оставаться постоянной.

Вес сегментов тела

Зная вес тела и относительный вес звена в процентах (весовой коэффициент по отношению к весу тела), можно определить вес отдельных сегментов по формуле

$$P_i = \frac{P * K_i}{100}, (1)$$

где P - вес тела испытуемого; P_i - вес определяемого сегмента; K_i - весовой коэффициент сегмента; i - номер сегмента.

Значения весовых коэффициентов звеньев тела представлены в табл. 1.

Таблица 1

Весовые коэффициенты звеньев тела

№ п/п	Название частей тела	Весовой коэффициент, %
1	Кисть	0,614
2	Предплечье	1,615
3	Плечо	2,707
4	Голова	6,940
5	Туловище	43,457
6	Бедро	14,165
7	Голень	4,330
8	Стопа	1,371

Положение центра масс сегментов

Положение центра масс сегментов (рис. 1б) на их продольных осях определяется длиной сегмента и относительным коэффициентом в соответствии с формульной зависимостью:

$$X_c = \frac{L_i * A_i}{100}, (2)$$

где X_C - координата положения центра масс сегмента на его продольной оси; L_i - длина i -го сегмента; A_i - относительный коэффициент i -го сегмента; i - номер сегмента.

Относительный коэффициент определяет в процентном отношении положение центра масс сегмента относительно антропометрической точки. Длина сегмента принимается за 100%. Значения относительных коэффициентов для отдельных сегментов тела человека представлены в таблице 2.

Антропометрические точки, от которых отсчитывается расстояние до центра масс сегмента для определяемых звеньев тела, следующие:

1. Кисть - шиловидная точка (лучезапястный сустав).
2. Предплечье - плечелоктевая точка (локтевой сустав).
3. Плечо - акромиальная точка (плечевой сустав).
4. Голова - остистый отросток 7-го шейного позвонка.
5. Туловище - акромиальная точка (плечевой сустав).
6. Бедро - переднеподвздошная точка (тазобедренный сустав).
7. Голень - верхнеберцовая точка (коленный сустав).
8. Стопа - пяточная точка.

Относительные коэффициенты звеньев тела

№ п/п	Название сегментов тела	Относительный коэффициент, %
1	Кисть	36,91
2	Предплечье	42,74
3	Плечо	44,98
4	Голова	49,98
5	Туловище	44,50
6	Бедро	45,49
7	Голень	40,49
8	Стопа	44,15

Уравнение множественной регрессии.

Несмотря на популярность использования весовых и относительных коэффициентов, в биомеханических расчетах геометрии масс тела человека эти показатели нельзя считать достаточно точными. Они не отражают в полной мере индивидуальные конституциональные особенности строения опорно-двигательного аппарата тела человека. Это обстоятельство является следствием того, что взаимосвязь между весом сегмента и весом тела, между относительным расстоянием от проксимального конца сегмента до его центра масс и длиной сегмента не может быть выражена регрессионным уравнением вида $Y = A * X$, где Y - вес сегмента или положение его центра тяжести, A - весовой или относительный коэффициенты, X - вес тела или длина тела.

Результаты определения геометрии масс тела человека с помощью радиоизотопной методики (Зациорский В.М. и др., 1981) свидетельствуют о том, что даже в простейшем случае искомая связь имеет вид: $Y = A_0 + A_1X$. Для более точного определения значений веса сегментов можно воспользоваться уравнениями регрессии, в которых аргументом служит не только вес, но и длина тела (табл. 3). С помощью этой таблицы можно оценить и положение центра масс сегментов тела.

Положение центра масс и вес сегментов определяется по формуле

$$Y = B_0 + B_1 * X_1 + B_2 * X_2 \quad (3)$$

где X_1 - вес тела; X_2 - длина тела (рост); B_i - коэффициенты уравнений множественной регрессии.

Таблица 3

Коэффициенты уравнений множественной регрессии для вычисления масс инерционных характеристик сегментов тела человека по весу (X_1) и длине (X_2) тела

№ п/п	Название частей тела	B_0	B_1	B_2
Масса сегмента, кг				
1	Кисть	-0,1165	0,0036	0,00175
2	Предплечье	0,3185	0,01445	-0,00114
3	Плечо	0,250	0,03012	-0,0027
4	Голова	1,296	0,0171	0,0143
5	Бедро	-2,649	0,1463	0,0137
6	Голень	-1,592	0,0362	0,0121
7	Стопа	-0,829	0,0077	0,0073
Положение центра масс на продольной оси сегмента, см				
1	Кисть	4,11	0,026	0,033

№ п/п	Название частей тела	B_0	B_1	B_2
2	Предплечье	0,192	-0,028	0,093
3	Плечо	1,67	0,03	0,054
4	Голова	8,357	-0,0025	0,023
5	Бедро	-2,42	0,038	0,135
6	Голень	-6,05	-0,039	0,142
7	Стопа	3,767	0,065	0,033

Примечание. Координата центра масс туловища определяется по относительному коэффициенту, равному 44,5%.

Работа № 1. Определение веса сегментов тела.

Цель: освоить расчетные методы биомеханики, применяемые для определения геометрии масс тела человека. Научиться определять вес звеньев тела человека и положение их центра тяжести на основе среднестатистических данных.

Материалы и оборудование: Сантиметровая лента, микрокалькуляторы.

Ход работы:

1. Подготовить рабочую таблицу для определения веса сегментов тела и положения их центра масс с записью весовых и относительных коэффициентов (табл.4). Здесь следует учесть, что относительные и весовые коэффициенты в таблицы 6 приведены не в соответствии с данными табл. 1, 4, а взяты из источника (Braune, Fischer, 1869).

2. Зная собственный вес (P), рассчитать по формуле (1) вес отдельных сегментов тела и записать вычисленные показатели в 4-ю колонку

рабочей таблицы.

3. Измерить сантиметровой лентой длину сегментов тела и вписать результаты измерения в 6-ю колонку рабочей таблицы.

4. Вычислить по формуле (2) положение центра масс сегментов тела с записью результатов вычислений в 7-ю колонку рабочей таблицы.

5. Показать на рисунке положение центров масс (ЦМ) отдельных звеньев тела с указанием:

- длины звена;
- антропометрической точки (сустава), относительно которой определяется положение центра масс сегмента;
- расстояния от антропометрической точки до ЦМ сегмента в сантиметрах.

Пояснения для выполнения п. 5 задания

1. Для решения задачи введем обозначения:

1. — - сегмент
2. \bullet - сустав
3. \bullet - центр масс сегмента

2. Кружками обозначить суставы, провести от границ суставов вверх одинаковой длины вертикальные линии, а сверху над сегментом написать название сегмента (рис. 2).



Рис. 2. Кинетическая схема сегментов

3. Над каждой вертикальной линией от сустава сегмента написать название сустава. Если для данного сегмента этот сустав является антропометрической точкой, надпись сделать курсивом (рис. 3). На рисунке 3 это показано курсивом.

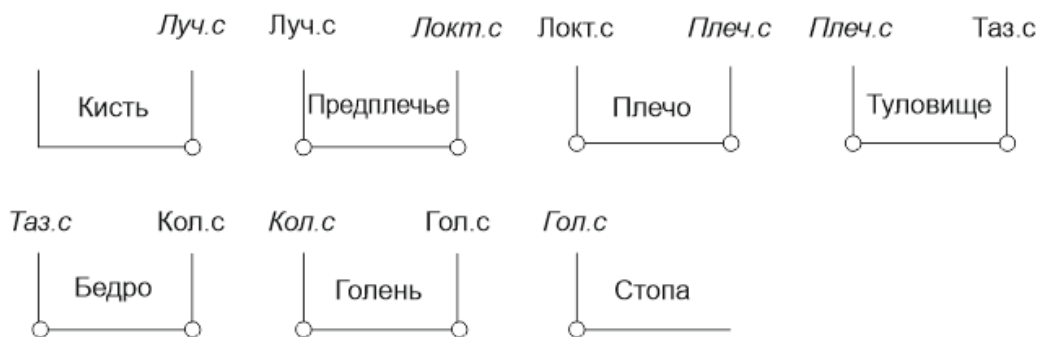


Рис. 3. Названия суставов и антропометрические точки сегментов. *Обозначения названия суставов: Луч. с.* - лучезапястные суставы. *Локт. с.* - локтевые суставы. *Плеч. с.*-плечевые суставы. *Таз. с.*-тазобедренные суставы. *Кол. с.* - коленные суставы. *Гол. с.*-голеностопные суставы

4. Горизонтальными линиями со стрелками отметить над названием сегментов длину сегментов и ввести для каждого сегмента обозначения (Li), где L - длина сегмента в сантиметрах, i - номер сегмента (рис. 4).

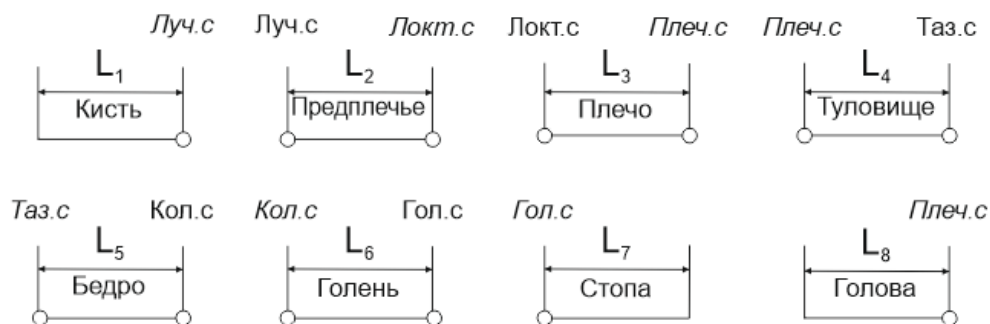


Рис. 4. Цифровая индексация длины сегмента L_i

Под рисунком написать обозначения длины сегмента, а справа записать численное значение длины сегмента (после знака «=» вместо знака «?»).

Численное значение длины сегмента:

L_1 – длина кисти = ? см.

L_2 – длина предплечья = ? см.

L_3 – длина плеча = ? см.

L_4 – длина туловища = ? см.

L_5 – длина бедра = ? см.

L_6 – длина голени = ? см.

L_7 – длина стопы = ? см.

L_8 – длина головы = ? см.

5. Отметить на сегментах жирной точкой положение центра масс сегмента (рис. 5). Провести по вертикали вниз от центра масс сегментов вертикальные линии. Определить для сегмента антропометрическую

точку (сустав на рисунке 4 и 5, название которого написано курсивом) и провести от нее вертикальную линию вниз.

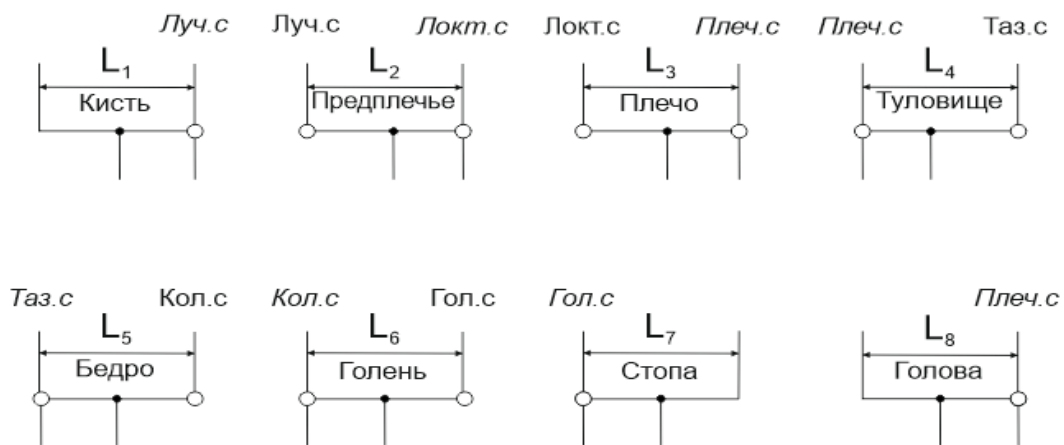


Рис. 5. Положение центра масс

6. Горизонтальными линиями со стрелками отметить под названием сегментов расстояние от антропометрической точки сегмента до его центра масс (рис. 6). Ввести для каждого расстояния обозначения (S_i), где S – расстояние от антропометрической точки сегмента до его центра масс, i – номер сегмента.

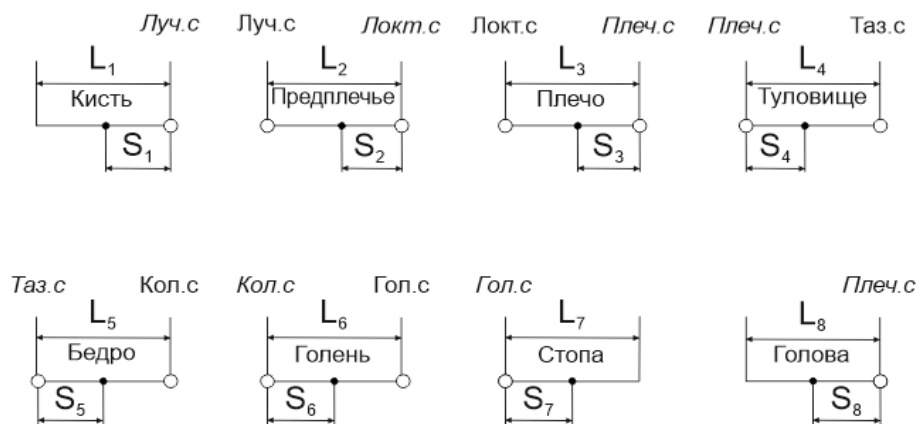


Рис. 6. Обозначения расстояния от антропометрической точки сегмента до его центра масс через символьную запись S_i

Под рисунком написать обозначения *расстояния от антропометрической точки до центра масс сегмента* (S_i), а ниже записать их численное значение (после знака «=» вместо знака «?»).

Обозначения расстояния от антропометрической точки до центра масс сегмента:

S_1 – расстояние от антропометрической точки до центра масс кисти по оси Ox .

S_2 – расстояние от антропометрической точки до центра масс предплечья по оси Ox .

S_3 – расстояние от антропометрической точки до центра масс плеча по оси Ox .

S_4 – расстояние от антропометрической точки до центра масс туловища по оси Ox .

S_5 – расстояние от антропометрической точки до центра масс бедра по оси Ox .

S_6 – расстояние от антропометрической точки до центра масс голени по оси Ox .

S_7 – расстояние от антропометрической точки до центра масс стопы по оси Ox .

S_8 – расстояние от антропометрической точки до центра масс головы по оси Ox .

Численное значение расстояния от антропометрической точки до центра масс сегмента:

$S_1=?$	$S_5=?$
$S_2=?$	$S_6=?$
$S_3=?$	$S_7=?$
$S_4=?$	$S_8=?$

Таблица 4

Рабочая таблица для определения массы сегментов тела и положения центра тяжести сегментов тела

№ п/п	Название частей тела	Весовой коэффициент (%)	Масса сегмента (кг)	Относительный коэффициент (%)	Длина сегмента (см)	Положение центра тяжести сегмента
1	Кисть	1		50		
2	Предплечье	2		42		
3	Плечо	3		47		
4	Голова	7		50		
5	Туловище	43		44		
6	Бедро	12		44		
7	Голень	5		42		
8	Стопа	2		44		

Примечание. Необходимо помнить, что в таблице даны весовые коэффициенты отдельных звеньев тела: одной кисти, одного предпле-

чья и т.д. Поэтому при определении веса парных конечностей (рук, ног), получаемый результат умножается на два.

В качестве примера по определению веса сегментов тела и получения координат центра масс сегментов на их продольной оси в табл. 5 приведены вычисленные показатели для испытуемого весом 80 кг и размерами длины сегментов тела, указанными в колонке 7.

Таблица 5

Пример рабочей таблицы для определения веса сегментов тела и положения центра тяжести звеньев тела

№ п/п	Название сегментов тела	Весовой коэффициент (%)	Вес сегмента (кг)	Относительный коэффициент (%)	Длина сегмента (см)	Положение центра масс сегмента
1	Кисть	1	0,80	50	20,0	10,00
2	Предпле-	2	1,60	42	26,0	10,92
3	Плечо	3	2,40	47	24,5	11,52
4	Голова	7	5,60	50	23,0	11,50
5	Туловище	43	34,40	44	48,0	21,12
6	Бедро	12	9,60	44	43,0	18,92
7	Голень	5	4,00	42	38,0	15,96
8	Стопа	2	1,60	44	27,0	11,88

Работа № 2 Определение веса сегментов тела человека и положения их центра масс с применением уравнений множественной регрессии.

Цель: освоить расчетные методы биомеханики, применяемые для определения геометрии масс тела человека. Научиться определять вес звеньев тела человека и положение их центра масс с использованием регрессионных уравнений.

Материалы и оборудование: Антропометр, медицинские весы, микрокалькуляторы.

Ход работы:

1. Определить свой рост и вес.
2. Подготовить рабочую таблицу для ее заполнения расчетными показателями (табл. 6).
3. Пользуясь формульным выражением (3) и данными таблицы 3, вычислить вес сегментов тела и записать вычисленные показатели в таблицу 6.

Таблица 6

Рабочая таблица для вычисления масс-инерционных характеристик сегментов тела человека по весу (X_1) и длине (X_2) тела

№ п/п	Название частей тела	B_0	B_1	B_2	Расчетные данные
Масса сегмента, кг					
1	Кисть	-0,1165	0,0036	0,00175	
2	Предплечье	0,3185	0,01445	-0,00114	
3	Плечо	0,250	0,03012	-0,0027	

Окончание табл. 6

№ п/п	Название частей тела	B_0	B_1	B_2	Расчетные данные
4	Голова	1,296	0,0171	0,0143	
5	Бедро	-2,649	0,1463	0,0137	
6	Голень	-1,592	0,0362	0,0121	
7	Стопа	-0,829	0,0077	0,0073	
Положение центра масс на продольной оси сегмента, см					
1	Кисть	4,11	0,026	0,033	
2	Предплечье	0,192	-0,028	0,093	
3	Плечо	1,67	0,03	0,054	
4	Голова	8,357	-0,0025	0,023	
5	Бедро	-2,42	0,038	0,135	
6	Голень	-6,05	-0,039	0,142	
7	Стопа	3,767	0,065	0,033	

Работа № 3. Определение координат суставов и центра масс сегментов тела человека в различных положениях

Цель: научиться определять координаты суставов и центра масс сегментов тела человека в различных положениях. Определить координаты суставов и центра масс сегментов тела человека в положениях:

- 1) лежа на спине – руки вверху.
- 2) вис углом на гимнастической стенке.

Оборудование и материалы: тетрадь для лабораторных работ, карандаш, резинка, ручка или фломастер, линейка, микрокалькулятор.

Задание 1. Решение задачи 1 – (2 часа)

1. Нарисовать в тетради прямоугольную систему координат Oxy (рис. 7).



Рис. 7. Прямоугольная система координат

2. Разместить в декартовой (прямоугольной) системе координат тело человека в положении, соответствующем решению задачи 1 (рис.8). При этом центр масс кисти расположить в начале системы координат и учесть, что в положении «Лежа на спине – руки вверх», положение рук определяется по гимнастической терминологии по отношению к туловищу. Кружками обозначить суставы, провести от границ суставов вверх и вниз одинаковой длины вертикальные линии и ввести обозначения (рис. 8).

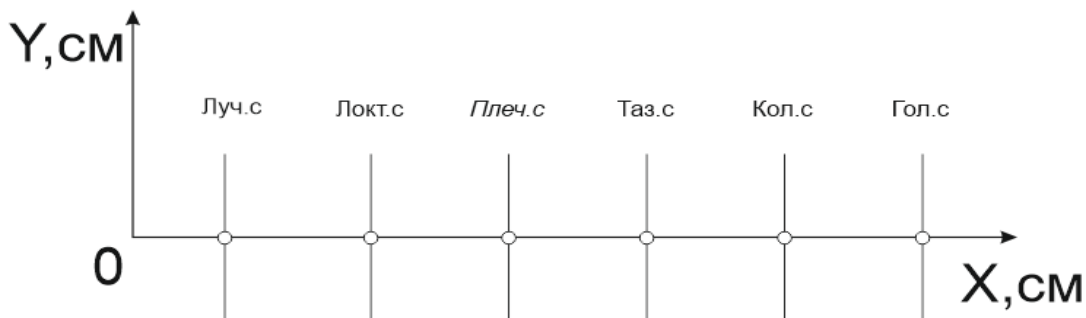


Рис. 8. Схема расположения суставов. *Обозначения названия суставов:* **Луч. с.** – лучезапястные суставы. **Локт. с.** – локтевые суставы. **Плеч. с.** – плечевые суставы. **Таз. с.** – тазобедренные суставы. **Кол. с.** – коленные суставы. **Гол. с.** – голеностопные суставы

3. Прорисовать сегменты тела человека жирной линией и отметить на сегментах жирной точкой положение центра масс сегмента (рис. 9). Записать над сегментами их название и провести по вертикали вниз от центра масс сегментов укороченные, по сравнению с суставными линиями, вертикальные линии.



Рис. 9. Положение центра масс сегментов

4. Горизонтальными линиями со стрелками отметить над названием сегментов длину сегментов и ввести для каждого сегмента обозначения длины сегмента (L_i), где L – длина сегмента в сантиметрах, i – номер сегмента (рис. 10).

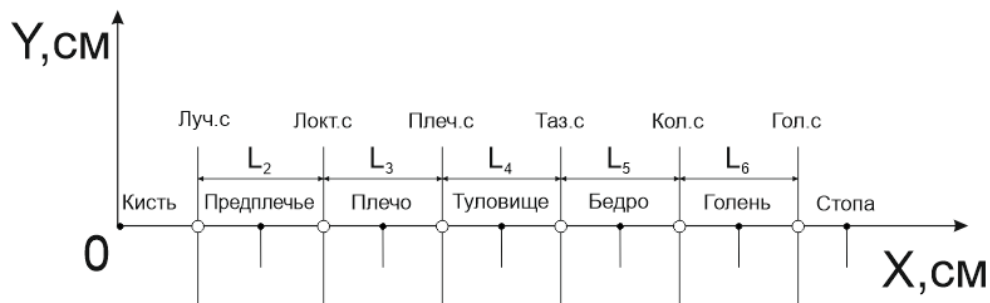


Рис. 10. Индексное обозначение длины сегмента (L_i). Обозначения длины сегмента: L_1 – длина кисти. L_2 – длина предплечья. L_3 – длина плеча. L_4 – длина туловища. L_5 – длина бедра. L_6 – длина голени. L_7 – длина стопы

5. Горизонтальными линиями со стрелками отметить под названием сегментов расстояние от антропометрической точки сегмента до его центра масс (рис. 11). Ввести для каждого расстояния обозначения (S_i), где S – расстояние от антропометрической точки сегмента до его центра масс, i – номер сегмента.



Рис. 11. Индексное обозначение расстояния от антропометрической точки сегмента до его центра масс (S_i)

6. Обозначить на рисунке координаты центра масс сегментов через символьную запись X_{c_i} , Y_{c_i} . Здесь X_c , Y_c обозначает координату центра масс сегмента по осям Ox , Oy декартовой системы координат, i – номер сегмента (рис. 12).



Рис. 12. Индексное обозначение координат центра масс сегментов (X_{c_i} , Y_{c_i}). Обозначения координат центра масс сегмента: X_{c_1} , Y_{c_1} – координата центра масс кисти по осям Ox , Oy . X_{c_2} , Y_{c_2} – координата центра масс предплечья по осям Ox , Oy . X_{c_3} , Y_{c_3} – координата центра масс

плеча по осям Ox , Oy . X_{c4} , Y_{c4} – координата центра масс туловища по осям Ox , Oy . X_{c5} , Y_{c5} – координата центра масс бедра по осям Ox , Oy . X_{c6} , Y_{c6} – координата центра масс голени по осям Ox , Oy . X_{c7} , Y_{c7} – координата центра масс стопы по осям Ox , Oy

Так как продольная ось сегментов расположена на оси Ox , то координата центра масс всех сегментов по оси Oy равна нулю или $Y_{ci} = 0$; $i=1, 2, \dots, 7$.

7. Обозначить на рисунке координаты суставов сегментов через символьную запись X_i , Y_i . Здесь X , Y обозначает координату центра масс сегмента, i – номер сегмента (рис. 13). Так как продольная ось сегментов расположена на оси Ox , то координата суставов всех сегментов по оси Oy равна нулю или $Y_i = 0$; $i=1, 2, \dots, 7$.

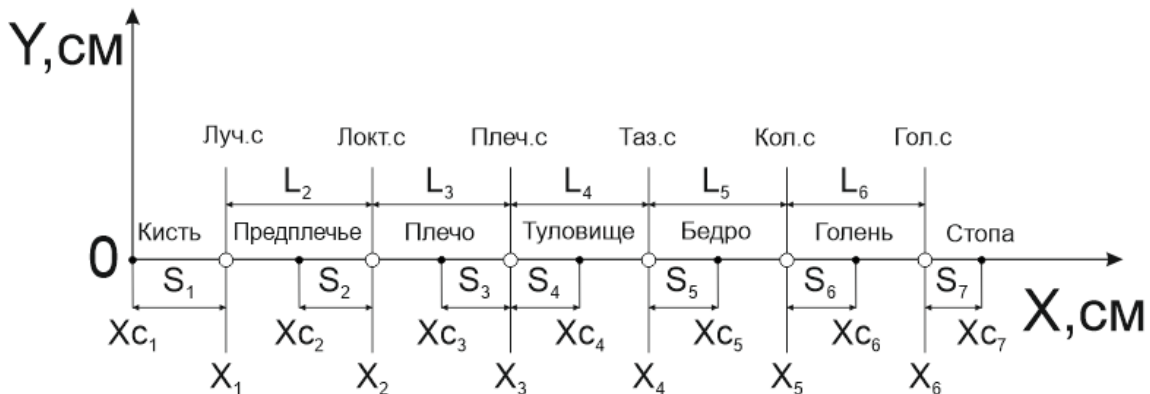


Рис. 13. Обозначение координат центра масс. *Обозначения координат суставов:* X_1 , Y_1 – координата лучезапястных суставов по осям Ox , Oy . X_2 , Y_2 – координата локтевых суставов по осям Ox , Oy . X_3 , Y_3 – координата плечевых суставов по осям Ox , Oy . X_4 , Y_4 – координата тазобедренных суставов по осям Ox , Oy . X_5 , Y_5 – координата коленных суставов по осям Ox , Oy . X_6 , Y_6 – координата голеностопных суставов по осям Ox , Oy

8. Осталось определить координату центра масс головы по оси Ox . Для этого от плечевых суставов в сторону кистей рук отложим расстояние S_8 , равное расстоянию от антропометрической точки головы до его центра масс. Как обычно отметим положение центра масс головы на оси Ox жирной точкой (рис. 14), а координату центра масс головы по оси Ox запишем в виде X_{c8} .

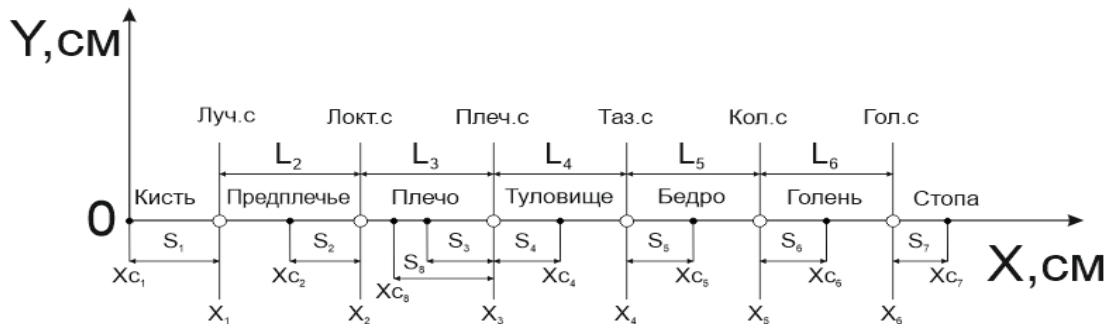


Рис. 14. Кинематическая схема опорно-двигательного аппарата тела человека в положении «лежа на спине – руки вверх»

9. Подготовить таблицу данных длин сегментов и расстояния от антропометрической точки сегмента до его центра масс (табл. 6). Обозначения в таблице уже известны, поэтому они не требуют специальных пояснений. Для известных значений координат суставов и центра масс сегментов по оси Oy можно сразу записать в таблицу их нулевые значения.

Ход работы:

1. Изучить задание и последовательно выполнить все ее этапы (с 1-го по 8-й пункты).

2. Используя измеренные при выполнении 2-й лабораторной работы данные о длинах сегментов (L_i) и вычисленные, при выполнении 3-й лабораторной работы, значения расстояния от антропометрической

точки сегмента до его центра масс (S_i), вписав их в таблицу 7.

3. Пользуясь таблицей 7 (колонки 3, 4) и рисунком 14, определить координаты суставов (X_i) и вписать их в таблицу 7 (колонка 5).

4. Пользуясь таблицей 6 (колонки 4, 5) и рис. 14 определить координаты центра масс сегментов по оси Ox (X_{c_i}) и вписать их в таблицу 7 (колонка 6).

5. Пользуясь рис. 14 определить координаты суставов по оси Oy (Y_i) и вписать их в таблицу 7 (колонка 7).

6. Пользуясь рисунком 14 определить координаты центра масс сегментов по оси Oy (Y_{c_i}) и вписать их в табл. 7 (колонка 8).

Таблица 7

Длина сегментов (L_i), расстояние (S_i) от антропометрической точки сегмента до его центра масс, координаты суставов (X_i , Y_i) и центра масс сегментов (X_{c_i} , Y_{c_i}) по осям Ox , Oy декартовой системы координат

№ п/п	Сегмент	L_i	S_i	X_i	X_{c_i}	Y_i	Y_{c_i}
1	Кисть						
2	Предплечье						
3	Плечо						
4	Туловище						
5	Бедро						
6	Голень						
7	Стопа						
8	Голова						

Задание 2 – (2 часа)

1. Нарисовать прямоугольную систему координат Oxy (рис. 7).

2. Для решения задачи 2, разместить в декартовой (прямоугольной) системе координат тело человека. Ось тазобедренных суставов расположить в начале системы координат. Кружками обозначить суставы, провести от границ суставов (коленные суставы и голеностопные) вверх и вниз одинаковой длины вертикальные линии и ввести обозначения для суставов (рис. 15). Провести от границ суставов (тазобедренные, плечевые, локтевые, лучезапястные суставы) горизонтальные линии и ввести обозначения для суставов (рис. 15).

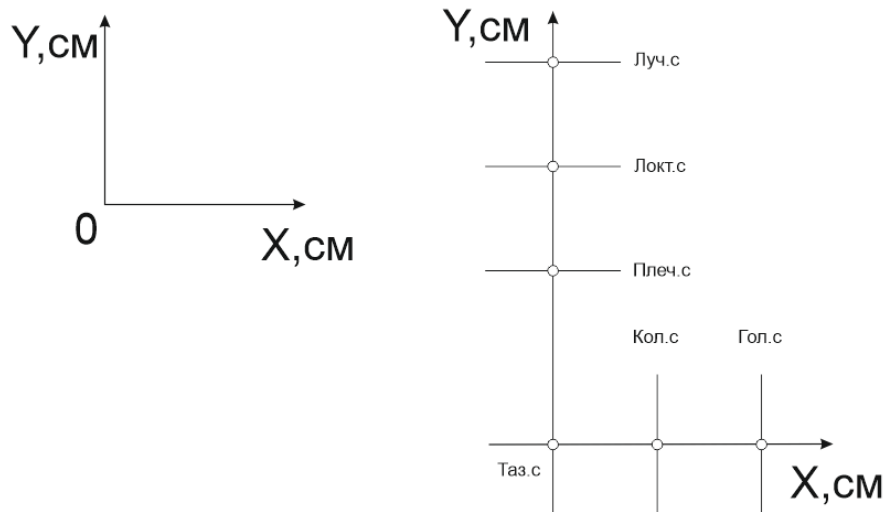


Рис. 15. Обозначения названия суставов. *Обозначения названия суставов:* **Луч. с.** - лучезапястные суставы. **Локт. с.** - локтевые суставы. **Плеч. с.** - плечевые суставы. **Таз. с.** - тазобедренные суставы. **Кол. с.** - коленные суставы. **Гол. с.** - голеностопные суставы

3. Прорисовать сегменты тела человека жирной линией и отметить на сегментах жирной точкой положение центра масс сегмента (рис. 16). Записать над сегментами (и справа - на рисунке показано курсивом) их

название и провести по вертикали вниз от центра масс сегментов укороченные, по сравнению с суставными линиями, вертикальные линии (для бедра, голени, стопы) и горизонтальные линии (для кисти, предплечья, плеча, туловища).

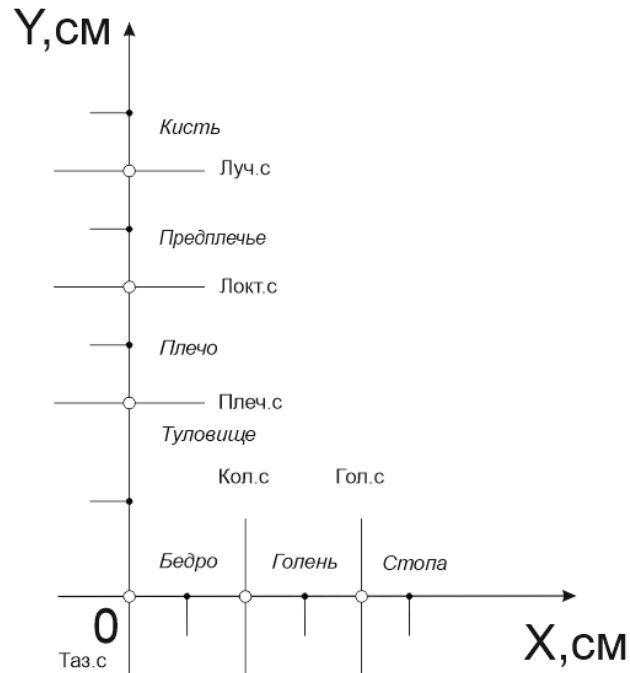


Рис. 16. Положение центра масс сегментов

4. Горизонтальными линиями (бедро, голень, стопа) и вертикальными (предплечье, плечо, туловище) со стрелками отметить длину сегментов и ввести для каждого сегмента обозначения (L_i), где L – длина сегмента в сантиметрах, i – номер сегмента (рис. 17).

4. *Обозначения длины сегмента:*

L_1 – длина кисти.

L_2 – длина предплечья.

L_3 – длина плеча.

L_4 – длина туловища.

L_5 – длина бедра.

L_6 – длина голени.

L_7 – длина стопы.

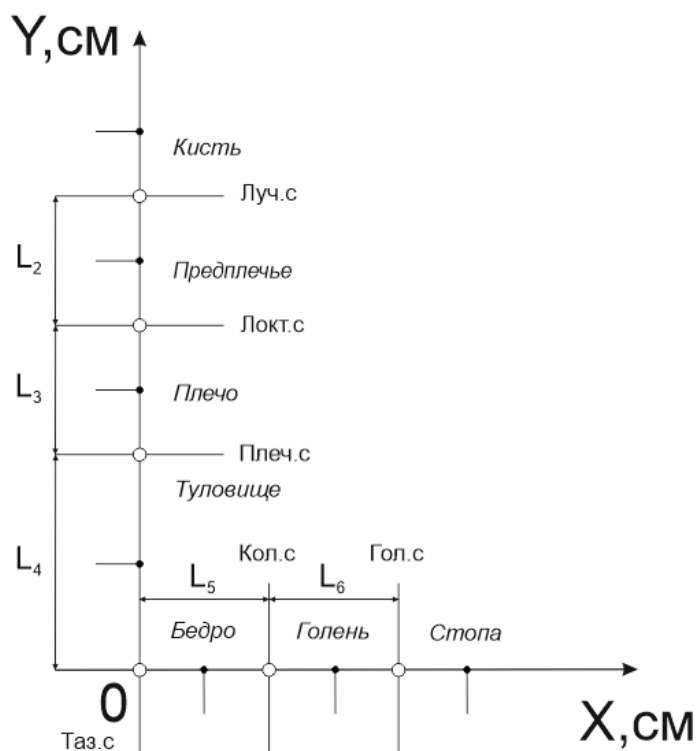


Рис. 17. Индексное обозначение длины сегмента (L_i)

5. Горизонтальными линиями со стрелками отметить под названием сегментов расстояние от антропометрической точки сегмента до его центра масс (рис. 18). Ввести для каждого расстояния обозначения (S_i), где S - расстояние от антропометрической точки сегмента до его центра масс, i - номер сегмента.

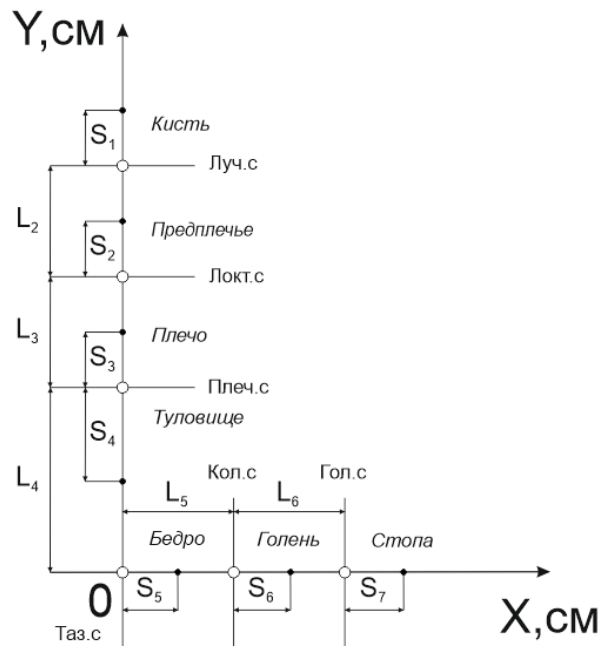


Рис. 18. Индексное обозначение расстояния от антропометрической точки сегмента до его центра масс (S_i)

6. Обозначить на рисунке координаты центра масс сегментов через символьную запись X_{c_i} , Y_{c_i} . (рис. 19).

Здесь X_c , Y_c обозначает координату центра масс сегмента по осям Ox , Oy декартовой системы координат, i – номер сегмента

Обозначения координат центра масс сегмента:

X_{c_1} , Y_{c_1} – координата центра масс кисти по осям Ox , Oy .

X_{c_2} , Y_{c_2} – координата центра масс предплечья по осям Ox , Oy .

X_{c_3} , Y_{c_3} – координата центра масс плеча по осям Ox , Oy .

X_{c_4} , Y_{c_4} – координата центра масс туловища по осям Ox , Oy .

X_{c_5} , Y_{c_5} – координата центра масс бедра по осям Ox , Oy .

X_{c6}, Y_{c6} – координата центра масс голени по осям Ox, Oy .

X_{c7}, Y_{c7} – координата центра масс стопы по осям Ox, Oy .

X_{c8}, Y_{c8} – координата центра масс головы по осям Ox, Oy .

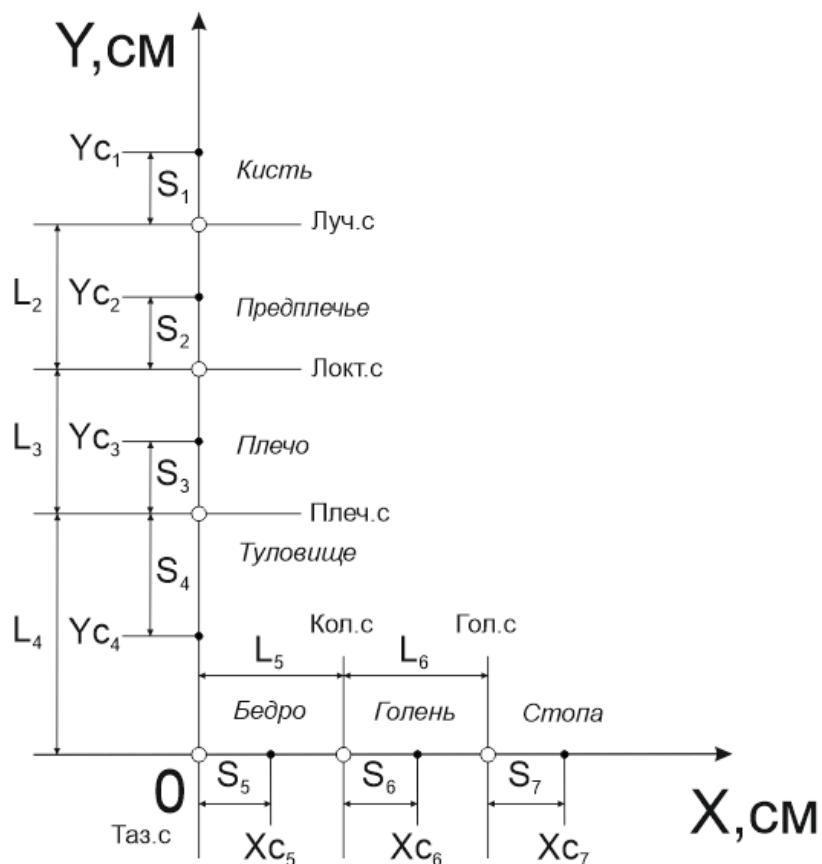


Рис. 19. Индексное обозначение координат центра масс сегментов (X_{c_i}, Y_{c_i})

7. Обозначить на рисунке координаты суставов сегментов через символическую запись X_i, Y_i . Здесь X, Y обозначает координату центра масс сегмента, i – номер сегмента (рис. 20).

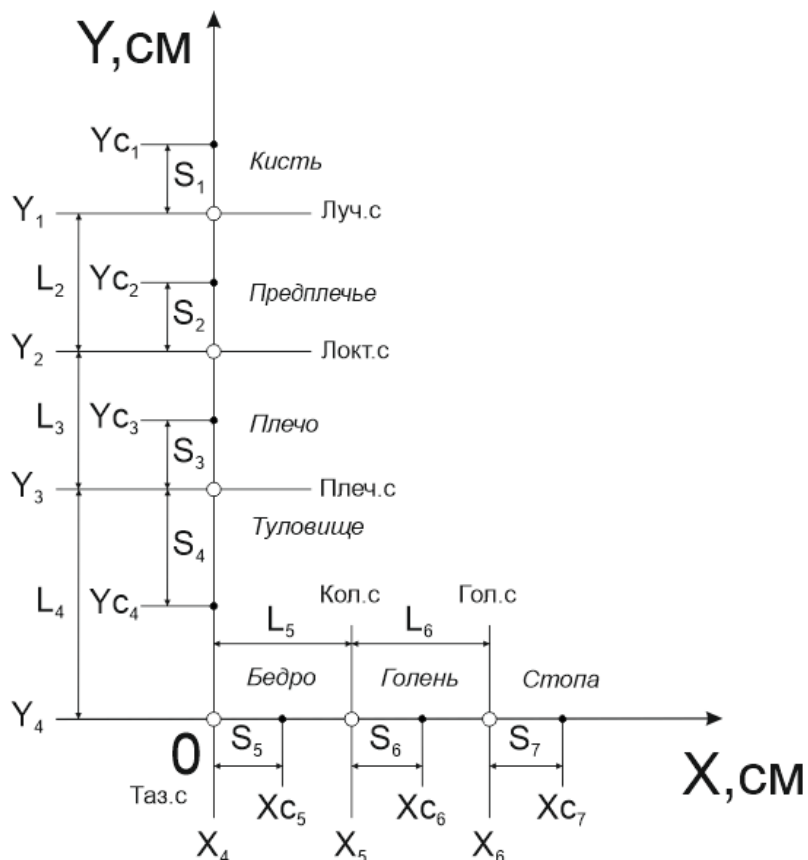


Рис. 20. Индексное обозначение координат суставов (X_i). Обозначения координат суставов: X_1, Y_1 – координата лучезапястных суставов по осям Ox, Oy . X_2, Y_2 – координата локтевых суставов по осям Ox, Oy . X_3, Y_3 – координата плечевых суставов по осям Ox, Oy . X_4, Y_4 – координата тазобедренных суставов по осям Ox, Oy . X_5, Y_5 – координата коленных суставов по осям Ox, Oy . X_6, Y_6 – координата голеностопных суставов по осям Ox, Oy

8. Осталось определить координату центра масс головы по оси Ox . Для этого от плечевых суставов в сторону кистей рук отложим расстояние S_8 , равное расстоянию от антропометрической точки головы до его центра масс. Как обычно отметим положение центра масс головы на оси Oy жирной точкой (рис. 21), а координаты центра масс головы по осям Ox, Oy запишем в виде X_{c8}, Y_{c8} .

9.Подготовить таблицу данных длин сегментов и расстояния от антропометрической точки сегмента до его центра масс (табл. 8). Обозначения в таблице уже известны, поэтому они не требуют специальных пояснений.

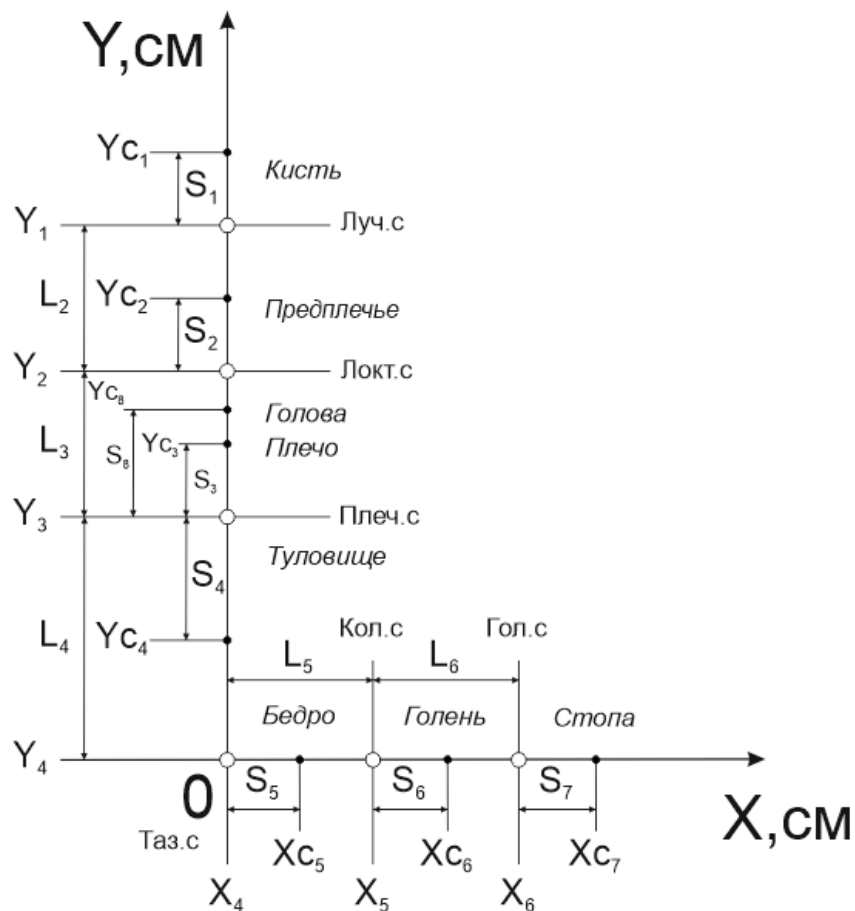


Рис. 21. Кинематическая схема опорно-двигательного аппарата тела человека в положении «вис углом на гимнастической стенке»

Длина сегментов (L_i), расстояние (S_i) от антропометрической точки сегмента до его центра масс, координаты суставов (X_i, Y_i) и центра масс сегментов (X_{ci}, Y_{ci}) по осям Ox, Oy декартовой системы координат

№	Сегмент	L_i	S_i	X_i	X_{ci}	Y_i	Y_{ci}
1	Кисть						
2	Предплечье						
3	Плечо						
4	Туловище						
5	Бедро						
6	Голень						
7	Стопа						
8	Голова						

Ход работы:

1. Изучить задание и последовательно выполнить все ее этапы (с 1-го по 8-й пункты).

2. Используя измеренные при выполнении 2-й лабораторной работы данные о длинах сегментов (L_i) и вычисленные значения, при выполнении 3-й лабораторной работы, расстояния от антропометрической точки сегмента до его центра масс (S_i) вписать их в таблицу 8.

3. Пользуясь таблицей 8 (колонки 3, 4) и рис. 21 определить координаты суставов (X_i) и вписать их в табл. 8 (колонка 5).

4. Пользуясь таблицей 8 (колонки 4, 5) и рис. 21 определить координаты центра масс сегментов по оси Ox (X_{ci}) и вписать их в таблицу 8.

5. Пользуясь рис. 21 определить координаты суставов по оси Oy (Y_i) и вписать их в таблицу 8 (колонка 7).

6. Пользуясь рис. 21 определить координаты центра масс сегментов по оси Oy (Y_{c_i}) и вписать их в таблицу 8 (колонка 8).

Работа № 4. Определение координат общего центра масс (ОЦМ) тела человека в различных положениях.

Цель: научиться определять координаты ОЦМ тела человека в различных положениях. Определить координаты общего центра масс тела человека в положениях:

- 1) лежа на спине – руки вверх.
- 2) вис углом на гимнастической стенке.

Материалы и оборудование: Тетрадь для лабораторных работ, карандаш, резинка, ручка или фломастер, линейка, микрокалькулятор.

Задание 1 – (2 часа)

Исходное положение: «лежа на спине – руки вверх»

1. Нарисовать в декартовой системе координат кинематическую схему опорно-двигательного аппарата тела человека, в положении, соответствующим решению задачи 1 (рис. 22). Ввести в схему принятые в лабораторной работе 4 соответствующие обозначения для координат центра масс сегментов.

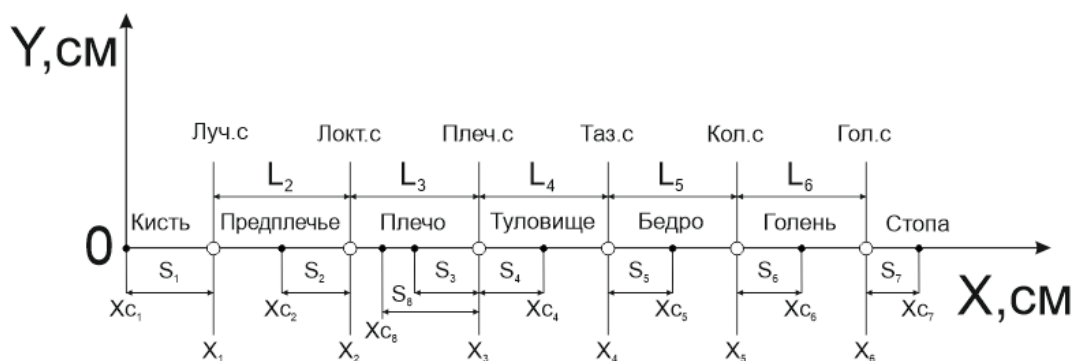


Рис. 22. Кинематическая схема опорно-двигательного аппарата тела человека в положении «лежа на спине – руки вверху»

2. Упростим рисунок для лучшего восприятия, оставив только обозначения координат центра масс сегментов и суставов (рис. 23).

3. Выписать, как показано ниже в таблице 9, в качестве исходных данных значения веса каждого сегмента (лабораторная работа 4) и координату его центра масс по оси Ox (лабораторная работа 4).

4.

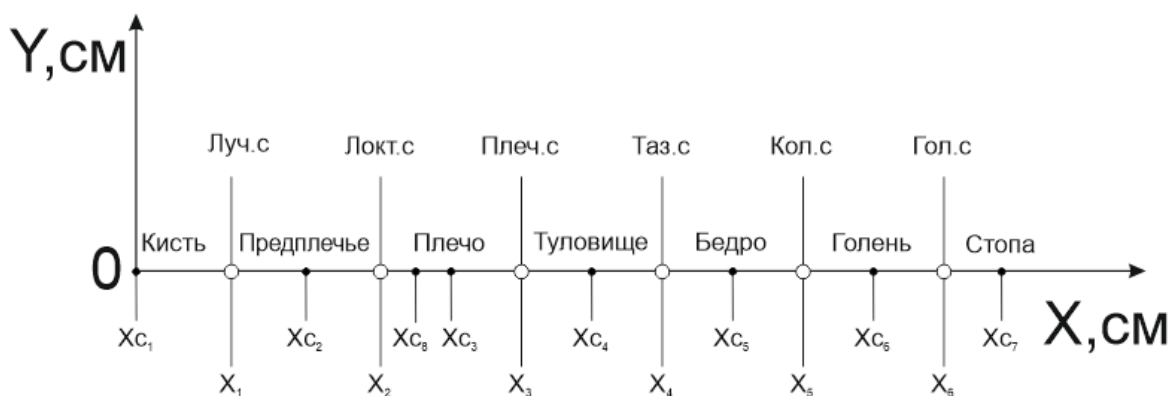


Рис. 23. Обозначения координат центра масс (●) сегментов и суставов (○) на оси Ox

Вес сегментов (P_i), координата центра масс сегментов (X_{c_i}) по оси Ox декартовой системы координат.

№	Сегмент	P_i	X_{c_i}	$P_i * X_{c_i}$
1	Кисть			
2	Предплечье			
3	Плечо			
4	Туловище			
5	Бедро			
6	Голень			
7	Стопа			
8	Голова			
9	$\sum_{i=1}^8 P_i * X_{c_i}$			
10	Координата ОЦМ по оси Ox			

Записать в колонку 3 таблицы 9 значения веса сегмента, а в колонку 4 – координату центра масс сегмента по оси Ox .

4. Формульное выражение координаты ОЦМ системы тел в декартовой системе координат имеет вид

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^N X_{c_i} * P_i}{\sum_{i=1}^N P_i}, (4);$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^N Y_{c_i} * P_i}{\sum_{i=1}^N P_i}, (5);$$

Здесь: X_c - координата ОЦМ системы тел по оси Ox ; Y_c - координата ОЦМ системы тел по оси Oy ; X_{c_i} - координата центра масс i -го тела по оси Ox ; Y_{c_i} - координата центра масс i -го тела по оси Oy ; P_i - вес i -го тела; N - количество тел.

Для биомеханической системы вместо тел имеем сегменты тела человека, остальные обозначения остаются без изменений. В таблице 9 не приведены колонки для координаты сегментов по оси Oy . Из рис. 22, 23 видно, что их значения равны нулю и поэтому координата ОЦМ тела человека по оси Oy также равняется нулю. И здесь же следует учесть, что сумма веса отдельных сегментов (знаменатель в формульных выражениях) равняется весу тела человека, а отдельные сегменты имеют парное строение и их вес необходимо удваивать (кисть, предплечье, плечо, бедро, голень, стопа).

5. Вычислить последовательно для каждого сегмента произведение его веса на координату центра масс данного сегмента по оси Ox и записать результат в колонку 5 табл. 9. В развернутой записи для каждого из сегментов это имеет вид

Таблица 10

№ п/п	Сегмент	$P_i * X_{c_i}$
1	Кисть	$P_1 * X_{c_1} =$
2	Предплечье	$P_2 * X_{c_2} =$
3	Плечо	$P_3 * X_{c_3} =$
4	Туловище	$P_4 * X_{c_4} =$

Окончание табл. 10

№ п/п	Сегмент	$P_i * X_{c_i}$
5	Бедро	$P_5 * X_{c_5} =$
6	Голень	$P_6 * X_{c_6} =$
7	Стопа	$P_7 * X_{c_7} =$
8	Голова	$P_8 * X_{c_8} =$

7. В развернутой записи уравнение координаты ОЦМ биомеханической системы по оси Ox для рассматриваемого случая имеет вид

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^8 X_{c_i} * P_i}{P} \quad (6)$$

Здесь P - вес тела человека. Поэтому одним из заключительных этапов определения положения ОЦМ тела человека для настоящей задачи является операция сложения всех чисел колонки 5 таблицы 9 и запись результата в эту же колонку в строке 9. Далее полученный результат поделить на вес тела и окончательно получим координату ОЦМ тела человека по оси Ox в декартовой системе координат в положении «Лежа на спине - руки вверх». Записать результат вычислений в колонку 5 табл. 9, строка 10.

Задание 2 - (2 часа)

Исходное положение: «вис углом на гимнастической стенке»

1. Нарисовать в декартовой системе координат кинематическую схему опорно-двигательного аппарата тела человека, в положении, соответствующим решению задачи 2 (рис. 24). Ввести в схему принятые в

лабораторной работе 4 соответствующие обозначения для координат центра масс сегментов.

2. Упростим рисунок для лучшего восприятия, оставив только обозначения координат центра масс сегментов и суставов (рис. 25).

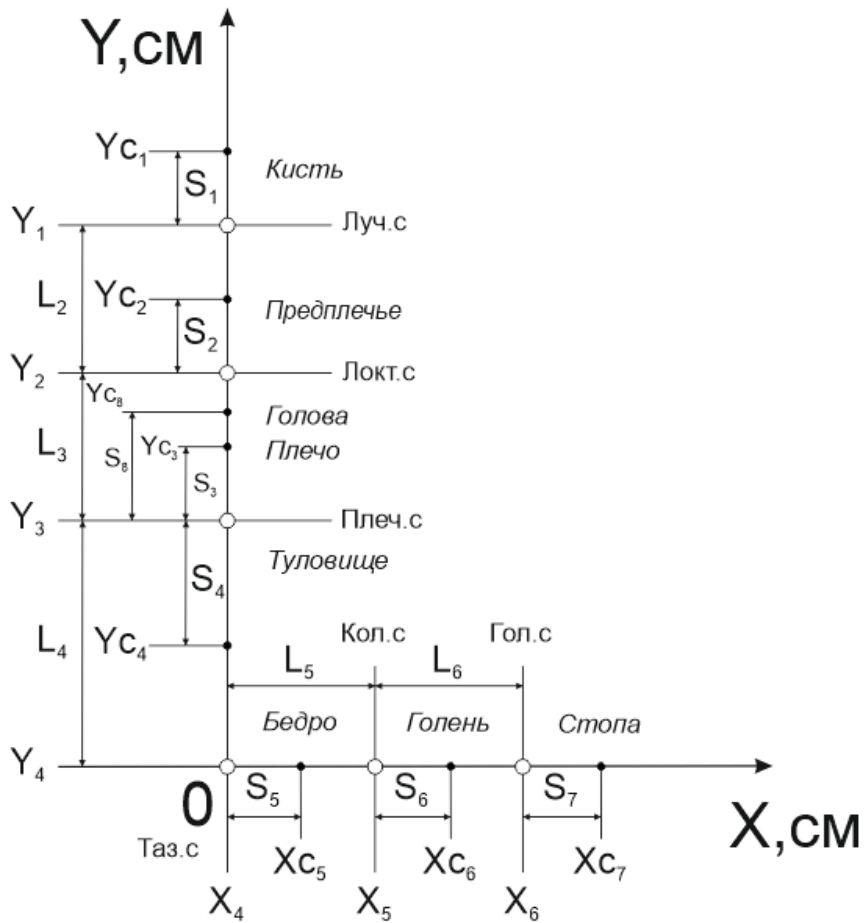


Рис. 24. Кинематическая схема опорно-двигательного аппарата тела человека в положении «Вис углом на гимнастической стенке»

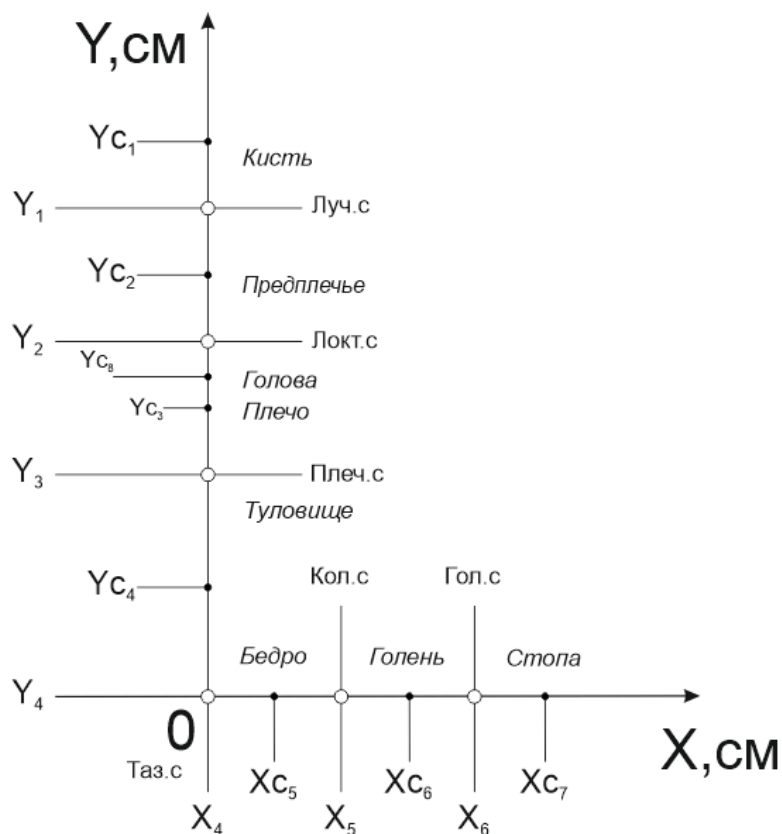


Рис. 25. Обозначения координат центра масс сегментов (●) и суставов (○) на оси Ox , Oy

3. Выписать, как показано ниже в таблице 6, в качестве исходных данных значения веса каждого сегмента (лабораторная работа № 4) и координату его центра масс по оси Ox и оси Oy декартовой системы координат (лабораторная работа № 4).

Записать в колонку 3 таблицы 11 значения веса сегмента, в колонку 4 координату центра масс сегмента по оси Ox , а в колонку 6 координату центра масс сегмента по оси Oy . Так как продольная ось некоторых сегментов расположена по оси Ox или оси Oy , то их соответствующие координаты имеют нулевые значения, что сразу можно и вписать в табл. 11.

4. Формульное выражение координаты ОЦМ системы тел в декартовой системе координат имеет вид (система уравнений 4,5).

Таблица 11

Вес сегментов (P_i), координата центра масс сегментов (X_{ci}) по оси Ox , (Y_{ci}) по оси Oy декартовой системы координат

№ п/п	Сегмент	P_i	X_{ci}	$P_i * X_{ci}$	Y_{ci}	$P_i * Y_{ci}$
1	Кисть					
2	Предплечье		0			
3	Плечо		0			
4	Туловище		0			
5	Бедро				0	
6	Голень				0	
7	Стопа				0	
8	Голова		0			
9	Формулы			$\frac{\sum_{i=1}^8 X_{ci} * P_i}{P}$		$\frac{\sum_{i=1}^8 Y_{ci} * P_i}{P}$

5. Вычислить последовательно для каждого сегмента произведение его веса на координату центра масс данного сегмента по оси Ox и записать результат в колонку 5 таблицы 11. Это же выполнить и для оси Oy , с записью результатов вычислений в колонку 7. Учитывая, что координаты центра масс некоторых сегментов по оси Ox или Oy имеют нулевые значения, то естественно, что и их произведение на вес соответствующего сегмента также равно нулю. В развернутой записи для каждого из сегментов это имеет вид

Таблица 12.

№ п/п	Сегмент	$P_i \cdot X_{ci}$	$P_i \cdot Y_{ci}$
1	Кисть	$P_1 * X_{c1} = 0$	$P_1 * Y_{c1} =$
2	Предплечье	$P_2 * X_{c2} = 0$	$P_2 * Y_{c2} =$
3	Плечо	$P_3 * X_{c3} = 0$	$P_3 * Y_{c3} =$
4	Туловище	$P_4 * X_{c4} = 0$	$P_4 * Y_{c4} =$
5	Бедро	$P_5 * X_{c5} =$	$P_5 * Y_{c5} = 0$
6	Голень	$P_6 * X_{c6} =$	$P_6 * Y_{c6} = 0$
7	Стопа	$P_7 * X_{c7} =$	$P_7 * Y_{c7} = 0$
8	Голова	$P_8 * X_{c8} = 0$	$P_8 * Y_{c8} =$

6. В развернутой записи уравнение координаты ОЦМ биомеханической системы по оси Oy и оси Ox для рассматриваемого случая имеет вид

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^8 X_{ci} * P_i}{P}, (7)$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^8 Y_{ci} * P_i}{P}, (8)$$

Здесь P - вес тела человека. Поэтому одним из заключительных этапов определения положения ОЦМ тела человека для настоящей задачи является операция сложения всех чисел колонки 5 и колонки 7 табл. 11 и запись результата в эти же колонки в строке 9 («Формулы»). Далее полученный результат поделить на вес тела и окончательно получим координату ОЦМ тела человека по оси Ox и оси Oy в декартовой системе координат в положении «Вис углом на гимнастической стен-

ке». Записать результат вычислений в колонку 5 и колонку 7 таблицы 11.

7. Отобразить получение координаты на графике.

Сделать выводы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загrevский В.И., Загrevский О.И. Практикум по биомеханике физических упражнений (расчетно-графические работы): учебное пособие/ Томск - Издательский дом Т, 2017. – 84с.

2. Кашуба В.А., Биомеханика осанки/ – Киев: Издательство "Олимпийская литература", 2003. – 279с. – SBN 966-7133-58-3.

3. Няшин Ю.И., Р.М. Подгаец, В.Д. Тютюнщикова, Ю.В. Акулич, И.К. Березин, А.А. Киченко, В.Н. Ковров, О.Б. Наймарк, О.А. Плехов, А.В. Сотин, В.М. Тверье, Н.С. Шабрыкина Экспериментальные методы в биомеханике: учеб. пособие/ Э41 под ред. Ю.И. Няшина, Р.М. Подгайца. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 400с. – ISBN 978-5-398-00121-1.

4. Эноки Р.М. Основы кинезиологии (Human Kinetics, 1997) / – Киев: Издательство “Олимпийская литература”, 1998. – 399с.– ISBN 966-7133-08-7.