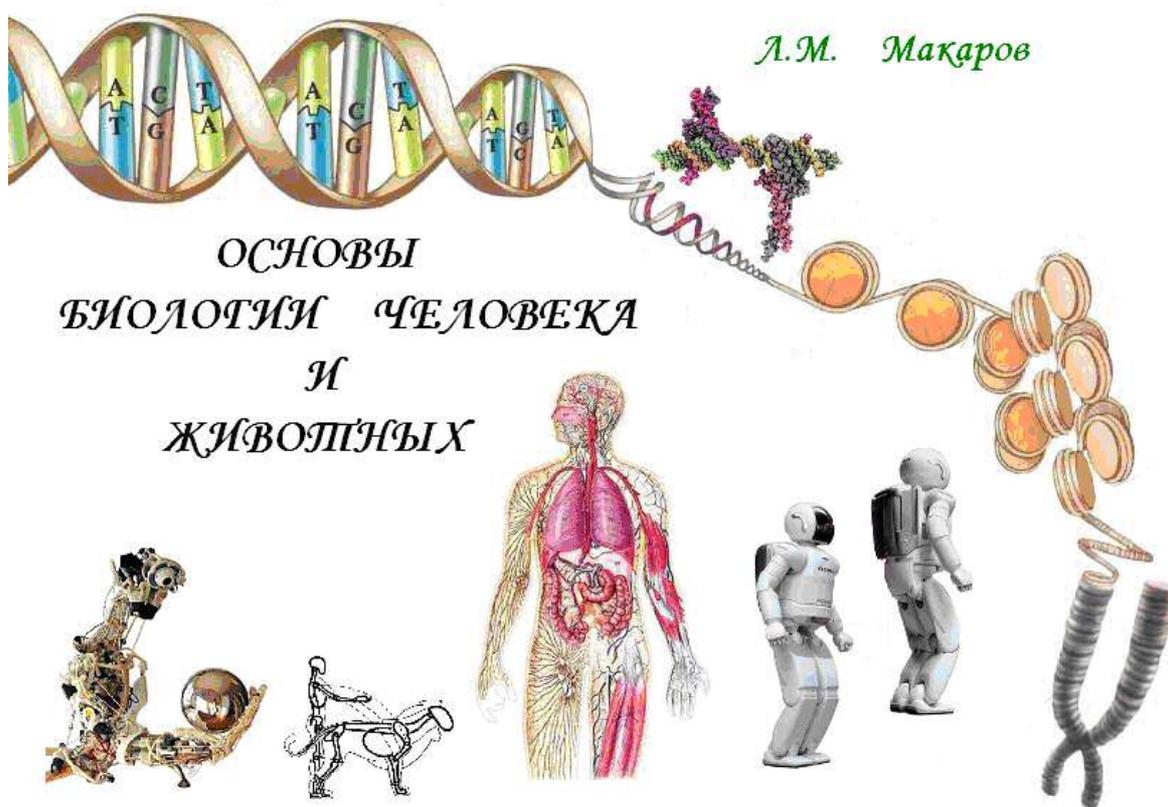


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»



Л.М. Макаров

ОСНОВЫ
БИОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА
И
ЖИВОТНЫХ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Санкт Петербург
2013

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1	3
Исследование сопротивления кровотока в сосудистой системе	3
Лабораторная работа 2	4
Исследование ветвления кровотока	4
Лабораторная работа 3	4
Исследование ветвления капилляров	4
Лабораторная работа 4	5
Исследование капиллярного эффекта	5
Лабораторная работа 5	7
Исследование эритроцита	7
Лабораторная работа 6	9
Исследование прочности костного скелета	9
Лабораторная работа 7	11
Исследование анатомического строения организма	11
Лабораторная работа 8	11
Исследование модели биомеханической руки	11
Лабораторная работа 9	14
Исследование моделей периодических процессов	14
Лабораторная работа 10	18
Исследование модели походки человека	18

Лабораторная работа 1

Исследование сопротивления кровотока в сосудистой системе

Если общее сопротивление току крови в сосудистой системе большого круга принять за 100 %, то в разных ее отделах сопротивление распределяется следующим образом. В аорте, крупных артериях и их ветвях сопротивление току крови составляет около 19 %. Общая схема периферийного кровообращения показана на рисунке.



На долю мелких артерий (*диаметром менее 100 мкм*) и артериол приходится 50 %

сопротивления; в капиллярах сопротивление составляет примерно 25 %, в венулах — 4 %, в венах — 3 %. **Общее периферическое сопротивление (ОПС)** — это суммарное сопротивление параллельных сосудистых сетей большого круга кровообращения. Оно зависит от градиента давления (ΔP) в начальном и конечном отделах большого круга кровообращения и объемной скорости кровотока (Q). Если градиент давления равен 100 мм рт.ст., а объемная скорость кровотока — 95 мл/с, то величина ОПС составит:

$$ОПС = \frac{\Delta P}{Q} = \frac{100 \times 133}{95} = 140 \frac{Па \cdot с}{см^3} \quad (1.1)$$

Примечание: 1 мм рт.ст. = 133 Па; 1 см³ = 1 мл.

В сосудах малого круга кровообращения общее сопротивление равно примерно 11 Па·с/мл.

Задано:

Таблица 1.1

№	ΔP	Q	ОПС
1.	98,34788	94,81687	
2.	98,46592	93,64819	
3.	98,05876	95,09831	
4.	98,56371	95,81998	
5.	98,29521	94,42086	
6.	97,85654	96,19921	
7.	98,67325	95,22294	
8.	97,98834	99,4303	
9.	98,42771	96,26393	
10.	98,24315	96,56939	

Задание

Определить по группе показатель ОПС. Выявить максимальный и минимальный показатель. Пояснить полученный результат. Представить графическую иллюстрацию.

Все расчеты исполнить в среде Excel, текстовый и графический материал представить в среде Word

Лабораторная работа 2

Исследование ветвления кровотока

В спокойном состоянии человека скорость кровотока в аорте – порядка $V_1 = 0,4$ м/с. Измерения под микроскопом показывают, что скорость в капиллярах – $V_2 = 0,5$ мм/с = $5 \cdot 10^{-4}$ м/с. Эти значения отличаются друг от друга в 800 раз. Следовательно, если площадь сечения аорты $S_1 = 4$ см², то общая площадь поперечных сечений системы капилляров большого или малого круга кровообращения составляет $S_2 = 3200$ см² = $3,2 \cdot 10^3$ см².

Задание

В процессе исследования установлены показатели скорости кровотока.

Таблица 2.1

	Скорость V_1	Скорость V_2	Определить S_2
1.	0,406451	0,549385	
2.	0,408598	0,535695	
3.	0,439906	0,58843	
4.	0,450534	0,555863	
5.	0,444756	0,544318	
6.	0,471516	0,543416	
7.	0,419784	0,526813	
8.	0,475874	0,517534	
9.	0,473951	0,571815	
10.	0,439366	0,504083	

Задание

Определить по группе показатель S_2 . Выявить максимальный и минимальный показатель. Найти среднее значение показателя. Пояснить полученный результат. Представить графическую иллюстрацию.

Все расчеты исполнить в среде Excel, текстовый и графический материал представить в среде Word

Лабораторная работа 3

Исследование ветвления капилляров

Используем данные работы 2 и оценим степень ветвления общего потока крови в системе капилляров. Положим диаметр капилляра $d = 10$ мкм = 0,01 мм = 10^{-3} см; следовательно, площадь его сечения $S = \pi d^2/4 = 0,78 \cdot 10^{-6}$ см². Стало быть, кровь из аорты разветвляется в системе капилляров на $N = \frac{S_2}{s} = \frac{3,2 \cdot 10^3}{0,78 \cdot 10^{-6}} = 4,1 \cdot 10^9$ штук. Такая степень ветвления достигается поэтапно, в системе «артерии – артериолы – капилляры».

В процессе исследования установлены показатели диаметров капилляров.

Таблица 3.1 Данные для экспериментальных расчетов

	d - капилляра	S – площадь капилляра	Определить N
1.	0,074344		
2.	0,102758		
3.	0,027179		
4.	0,106291		
5.	0,063391		
6.	0,083097		
7.	0,053811		
8.	0,023456		
9.	0,029516		
10.	0,083884		

Задание

Определить по группе показатель d . Выявить максимальный и минимальный показатель d и S . Найти связь этих показателей. Пояснить полученный результат. Представить графическую иллюстрацию.

Все расчеты исполнить в среде Excel, текстовый и графический материал представить в среде Word

Лабораторная работа 4

Исследование капиллярного эффекта

Кровь млекопитающих представляет собой вязкую жидкость ярко красного (алого) цвета с солоноватым вкусом и характерным запахом. Она состоит из жидкого основного вещества - плазмы и взвешенных в ней форменных (клеточных) элементов

Плазма крови - довольно вязкая прозрачная жидкость светло-желтого цвета. Она содержит в растворе различные белки (сывороточные альбумин, глобулин и фибриноген), ряд ферментов, углеводы, жиры, аминокислоты и некоторые минеральные соли в виде соответствующих ионов (Na, K, Ca и др.) и пр.

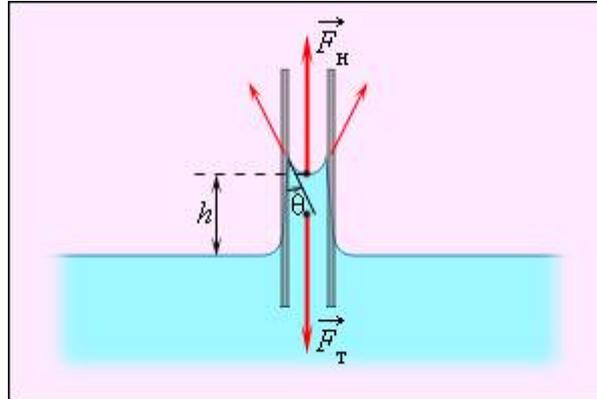
Эритроциты, или, как их именуют также, красные кровяные тельца, в огромном количестве взвешенные в плазме крови, представляют собой округлые, вогнутые с обеих сторон пластинки красновато желтого цвета.

Лейкоциты (белые кровяные тельца) - содержащие ядро, но чиненные красящих пигментов клетки. Они способны к самостоятельным амeboобразным движениям. Лейкоциты имеют вид неправильной формы комочков протоплазмы, содержащей ядро различных размеров и очертаний. Они способны выпускать выпуклые отростки, при помощи которых передвигаются и захватывают продукты разрушения тканей тела животного и проникших в него бактерий. Лейкоциты выделяют также антитоксины, которые обезвреживают яды (токсины), выделяемые бактериями.

Тромбоциты (красные пластинки, бляшки Биццоццеро) - наиболее мелкие форменные элементы крови. В свежей крови они имеют вид мельчайших бесцветных зерен различной формы. Тромбоциты обладают способностью слипаться друг с другом в большие или меньшие массы. Они очень нестойки и в выпущенной из тела животного крови быстро распадаются. Считают, что при распаде тромбоциты выделяют тромбин - фермент, играющий важную роль в свертывании крови.

На рисунке изображена капиллярная трубка некоторого радиуса r , опущенная нижним концом в смачивающую жидкость плотности ρ . Верхний конец капилляра открыт. Подъем жидко-

сти в капилляре продолжается до тех пор, пока сила тяжести \vec{F}_T действующая на столб жидкости в капилляре, не станет равной по модулю результирующей F_H сил поверхностного натяжения, действующих вдоль границы соприкосновения жидкости с поверхностью капилляра: $F_T = F_H$, где $F_T = mg = \rho h \pi r^2 g$, $F_H = \sigma 2\pi r \cos \theta$.



При полном смачивании $\theta = 0$, $\cos \theta = 1$. В этом случае

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \quad (4.1)$$

где

ρ - плотность крови у человека составляет 1036- 1,064 [кг /м³]

g - ускорение свободного падения 9,8 [м/с²]

σ - поверхностное натяжение $60 * 10^{-3}$ [н/м]

r - радиус сферической формы мениска [м]

1 Н = кг м/с²

Полагаем: для капилляров $r = 0.002821$ [м]; для аорты $r = 0,0097$ [м] для вены $r = 0,0047$ [м]

Задание

1. Провести расчет подъема (опускания) крови в кровеносной системе для капилляров, аорты и вен по выражению (4.1)
2. Полагая наличие капиллярного эффекта у растений провести аналогичные расчеты по выражению (4.1) при следующих данных:

ρ - плотность растительной жидкости составляет 1015- 1,025 [кг /м³]

g - ускорение свободного падения 9,8 [м/с²]

σ - поверхностное натяжение: а) $28 * 10^{-3}$ и б) $40 * 10^{-3}$ [н/м]

r - радиус сферической формы мениска $r = 0.0038$ [м]

Все расчеты исполнить в среде Excel, текстовый и графический материал представить в среде Word

Лабораторная работа 5

Исследование эритроцита

Эритроцит имеет форму двояковогнутого диска, что обеспечивает прохождение эритроцитов через узкие просветы капилляров. В капиллярах они движутся со скоростью 2 сантиметра в минуту, что дает им время передать кислород от гемоглобина к миоглобину. Миоглобин действует как посредник, принимая кислород у гемоглобина в крови и передавая его цитохромам в мышечных клетках.

Количество эритроцитов в крови в норме поддерживается на постоянном уровне (у человека в 1 мм³ крови 4,5—5 млн. эритроцитов, у некоторых копытных 15,4 млн. (лама) и 13 млн. (коза) эритроцитов, у пресмыкающихся — от 500 тыс. до 1,65 млн., у хрящевых рыб — 90—130 тыс.) Общее число эритроцитов снижается при анемиях, повышается при полицитемии.

Продолжительность жизни эритроцита человека в среднем 125 суток (ежесекундно образуется около 2,5 млн. эритроцитов и такое же их количество разрушается), у собак — 107 дней, у кроликов и кошек — 68.

В одном литре крови содержится эритроцитов:

- у мужчин 4,5·10¹²/л—5,5·10¹²/л (4,5—5,5 млн. в 1 мм³ крови),
- у женщин — 3,7·10¹²/л—4,7·10¹²/л (3,7—4,7 млн. в 1 мм³),
- у новорожденных — до 6,0·10¹²/л (до 6 млн. в 1 мм³),
- у пожилых людей — 4,0·10¹²/л (меньше 4 млн. в 1 мм³).

Для суждения о форме эритроцитов определяют средний диаметр эритроцита, гематокрит, средний объем эритроцита и его среднюю толщину. Пользуясь этими показателями, вычисляют сферический индекс по формуле:

$$I_{сф} = \frac{(D + d_1 + d_2) / 3}{(H + h) / 2} = \frac{D_{ср}}{H_{ср}} \quad (5.1)$$

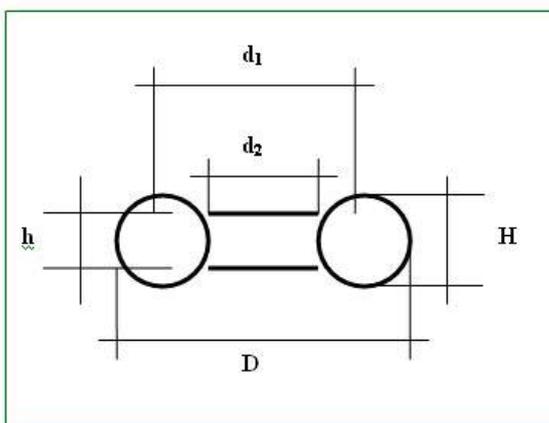
где Исф. — сферический индекс;

D — средний диаметр эритроцита, мкм;

H — средняя толщина эритроцита, мкм



D - диаметр клетки,
 d1 - диаметр наиболее выпуклой части клетки,
 d2 - диаметр вогнутой части клетки,
 H - толщина выпуклой части клетки,
 h - толщина вогнутой части клетки



У всех млекопитающих от крошечной землеройки до кита эритроциты имеют вид двояковогну-
тых дисков. Нормальные эритроциты имеют форму двояковогнутого диска, сферический индекс
при этом равен 3,4—3,9. Уменьшение сферического индекса свидетельствует о преобладании
сфероцитов (сфероцитоз), увеличение указывает на преобладание платоцитов (платоцитоз).

Сфероциты — эритроциты, имеющие форму шара. При сфероцитозе сферический индекс мень-
ше 3,4. Сфероцитоз обычно сочетается с микроцитозом и является одним из основных гемато-
логических признаков врожденной гемолитической анемии.

Платоциты — эритроциты, имеющие форму плоского диска. Платоцитоз часто сопровождается
макроцитозом и встречается у больных с заболеваниями печени.

Пойкилоцитозом называется появление эритроцитов различной неправильной формы (вытяну-
тые, червеобразные, грушевидные, веретенообразные и др.). Они являются дегенеративными
формами эритроцитов и рассматриваются как признак неполноценной регенерации. Особенно
выраженный пойкилоцитоз наблюдается при витамин В12-дефицитных анемиях. При других
анемиях пойкилоцитоз также возможен, но обычно менее выражен.

Серповидные формы эритроцитов (дрепаноциты) характерны для серповидно-клеточной анемии
(гемоглобинопатия S). В крови, взятой обычным способом, дрепаноциты могут быть в малом
количестве или вообще не обнаруживаться. Для их нахождения необходимо брать кровь из
пальца после перетяжки его в течение 5 мин для создания венозного застоя или прибавлять к
крови тотчас же после ее получения один из реактивов, понижающих содержание кислорода.

Мишеневидные эритроциты — эритроциты с окрашенным участком в центре. Большое количе-
ство их характерно для талассемии, появляются они также и при интоксикации свинцом.

Стоматоциты — эритроциты с односторонней вогнутостью — встречаются при заболеваниях,
сопровождающихся повышенным гемолизом (в частности при злокачественных опухолях, коа-
гулопатиях, септических состояниях и др.).

Овалоциты — эритроциты овальной формы — помимо наследственного овалоцитоза (эллипто-
цитоза), могут быть обнаружены при различных анемиях

Задание

1. Провести расчет площади S эритроцита по выражению (5.2);
2. Оценить разброс оценок параметра. Сделать вывод.

Размеры эритроцита весьма изменчивы, но в большинстве случаев их радиус (D/2) равен 5,3
мкм, толщина (H/2) — 1,6 мкм, что соответствует площади поверхности (S)— примерно в 145
мкм², вычисляемой по выражению:

$$S = 4\pi^2 (D / 2)(H / 2) + \pi(D - H / 2)^2 \quad (5.2)$$

Таблица 5.1

	D среднее	H среднее	Определить S
1.	4,4870	1,7870	
2.	4,4173	1,7173	
3.	4,4587	1,7587	
4.	4,4283	1,7283	
5.	4,4145	1,7145	
6.	4,4193	1,7193	
7.	4,4931	1,7931	
8.	4,4726	1,7726	
9.	4,4650	1,7650	
10.	4,4317	1,7317	

А объем составляет 70,309 мкм³, который вычисляют по выражению:

$$V = 2\pi^2(D/2)(H/2)^2 + \pi H(D-H)^2 \quad (5/3)$$

3. Провести расчет объема V эритроцита по выражению (5.3);
4. Оценить разброс оценок параметра. Сделать вывод.
5. Вычислить отношение S/V

Все расчеты исполнить в среде Excel, текстовый и графический материал представить в среде Word

Лабораторная работа 6

Исследование прочности костного скелета

Прочность кости — это способность противостоять внешней разрушающей силе. Количественно прочность определяется пределом прочности и зависит от макро- и микроскопической конструкции и состава костной ткани. Что касается макроскопической конструкции, то каждая кость имеет специфическую форму, позволяющую выдерживать наибольшую нагрузку в определенной части скелета.

Внутренняя конструкция кости достаточно сложная. Остеон, или гаверсова система, — это полая цилиндрическая трубка, стенки которой построены из множества пластин. Известно, что в архитектурных сооружениях полые колонны (трубчатые) имеют большую прочность на единицу массы, чем цельные. Следовательно, уже только остеонная конструкция кости предусматривает высокую степень прочности кости. Группы остеонов, располагаясь по линиям наибольших нагрузок, формируют костные перекладины губчатого вещества и костные пластинки компактного вещества. Необходимо учитывать, что в местах наибольших нагрузок костные перекладины располагаются дугообразно (арочно). Арочные системы, наряду с трубчатыми, относятся к числу наиболее прочных. Арочный принцип строения перекладин губчатого вещества характерен для проксимального эпифиза бедренной кости, для губчатого вещества пяточной кости.

На прочность существенно влияет и состав кости. При декальцинации кость легко изгибается, сжимается и скручивается, при повышении содержания кальция она становится хрупкой.

Очевидно, что масса - физическая характеристика тела, являющаяся мерой того сопротивления, которое оно оказывает любым изменениям своего состояния покоя или движения, т.е. мера инерции тела. Опытным путем установлено: чтобы сообщить телу ускорение \mathbf{a} , к нему следует приложить неуравновешенную силу \mathbf{f} , величина которой пропорциональна требуемому ускорению. Это положение, впервые сформулированное И.Ньютоном, называется вторым законом Ньютона. Данный закон выражается формулой:

$$\mathbf{f} = m\mathbf{a}$$

где \mathbf{m} - постоянная, характеризующая тело, не зависящая ни от \mathbf{f} , ни от \mathbf{a} , ни от состояния самого тела. Эта постоянная называется массой тела; следует подчеркнуть, что понятие массы определяется лишь эмпирическим соотношением.

В общей теории относительности принята гипотеза, что инерционные свойства тел меняются при разных скоростях движения. В современной науке вес и масса — разные понятия. Вес — сила, с которой тело действует на горизонтальную опору или вертикальный подвес. Масса же не является силовым фактором; масса — мера инертности тела.

В таком случае $m = \frac{E}{C^2}$ масса тела растёт с увеличением скорости (C). При таком определении понятие массы становится эквивалентно понятию энергии (E).

Вес P тела, покоящегося в инерциальной системе отсчета P , совпадает с силой тяжести, действующей на тело, и пропорционален массе m и ускорению свободного падения g в данной точке $P = mg$

Положим, человек массой 70 кг, осуществляет прыжок с высоты в 5 м. Оценим величину нагрузки на скелет. Полагаем, что максимальный инерционный вес не должен превосходить значение в $P_{ин} \leq 7000\text{кгс}$

Имеем: $M= 70 \text{ кг}$, $P=686 \text{ кг м/с}^2$. Высота, с которой человек прыгает $h = 5\text{м}$, а величина на которую сокращается полный рост человека составляет $L= 0,5 \text{ м}$. Уменьшение роста человека при прыжке предполагает, что скелет «скапливается» по определенной траектории посредством сгибания нижних конечностей. Это типичный, можно сказать произвольный способ прыжка, который с большой долей вероятности приобрел человек в эволюционном развитии. Расчет оценки нагрузки на костную основу скелета проведем по выражению:

$$P = \frac{mgh}{L} \quad (6.1)$$

Подставив в выражение соответствующие данные, получим значение $P_{ин} = 6860 \text{ кг с}$, что приблизительно соответствует условию безопасного прыжка. ($P_{ин} \leq 7000\text{кгс}$)

Изменим условия расчета: примем $L = 0.01 \text{ м}$. Остальные данные оставим без изменения. Проведем расчет по выражению (6.1) и получим результат:

$P_{ин} = 343000 \text{ кг с}$, что не отвечает условию безопасного прыжка $P_{ин} > 7000\text{кгс}$

Задание

1. Провести вычисления P при $m= 50 \text{ кг}$ по выражению (6.1) по данным, помещенным в таблице 6.1. Сделать выводы и проиллюстрировать результаты.

Таблица 6.1

	L	Определить P
1.	0,504967	
2.	0,56711	
3.	0,501384	
4.	0,58774	
5.	0,552941	
6.	0,574638	
7.	0,501573	
8.	0,570778	
9.	0,553124	
10.	0,575706	

2. Провести вычисления P при $m= 60 \text{ кг}$ по выражению (6.1) по данным, помещенным в таблице 6.1. сделать выводы и проиллюстрировать результаты.

Провести анализ полученных результатов и сформулировать объяснения. Все расчеты и построение иллюстраций исполнить в среде EXCEL, а пояснения и полный отчет по работе представить в среде Word.

Лабораторная работа 7

Исследование анатомического строения организма

Цель работы. Приобрести практические навыки построения антропологической оценки организма.

Задание

1. Внести в таблицу 7 результаты собственных антропологических измерений, выполнить необходимые вычисления в среде EXCEL. Построить графические зависимости.

Таблица 7. Исходные данные.

Участник эксперимента	Длина руки /см/	Длина большого пальца /см/	Длина указательного пальца /см/	Длина среднего пальца /см/	Длина безымянного пальца /см/	Длина мизинца /см/
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Определить отношение длины руки к длине пальца						

2. Провести анализ полученных результатов и сформулировать объяснения. Все расчеты и построение иллюстраций исполнить в среде EXCEL, а пояснения и полный отчет по работе представить в среде Word.

Лабораторная работа 8

Исследование модели биомеханической руки

В качестве модели биомеханического рычага может рассматриваться механическая рука. По аналогии с рукой человека выделим два элемента руки. Первый элемент OA- плечевая кость. Второй элемент АВ представлен набором костей: лучевая, локтевая, кости запястья, кости пясть, фаланги пальцев. Обратимся к рассмотрению реального макета.



Рисунок 8.1 Действующий макет механической руки

Робот рука управляется пятипозиционным проводным пультом управления и обладает следующими возможностями - вращение базы, движение базы, «локтя» и «запястья», а также управление манипулятором.

Описание

5 моторов управляют подъемом, опусканием, захватом и освобождением предметов. Встроенный фонарь позволяет играть с роботом в темноте.

Максимальный поднимаемый вес - 100 гр.

Технические характеристики

1. Размеры 228 x 160 x 381 мм
2. Вес 655 г
3. Питание - 4 батареи типа «D» (в комплект не входят)
4. В комплект для сборки робота и управляющего устройства к нему входят:
5. Электромоторы - 5 штук
6. Шестеренки - 25 штук
7. Круглые оси - 10 штук
8. Винты - 64 штуки
9. Гайки - 16 штук
10. Шайбы - 3 штуки
11. Блок для батарей - 2 штуки
12. Светодиод с проводом - 1 штука
13. Мягкие накладки для манипулятора - 2 штуки
14. Зажим для проводов - 3 штуки
15. Электронная плата с управляющей схемой - 2 штуки
16. Металлические пластины - 5 штук

Обратимся к рассмотрению рис.8.2 и зафиксируем положение костей, этим самым сформируем представление о модели подвижных элементов, составленных в виде звеньев цепи. Используя геометрические соотношения замкнутой цепи, получаем зависимость положения выходного звена в функции обобщенной координаты входного звена. Например, для составления уравнения движения точки В модельного механизма (рис.8.2) выберем систему координат с началом в точке O_0 , соответствующей крайнему правому положению ладони руки (фаланги пальцев). За переменный параметр примем угол φ поворота модели механической руки от крайнего правого положения (вокруг точки O_0). Рассмотрим «тянущую траекторию» движения точки В. Длину траектории обозначим S_{ox}

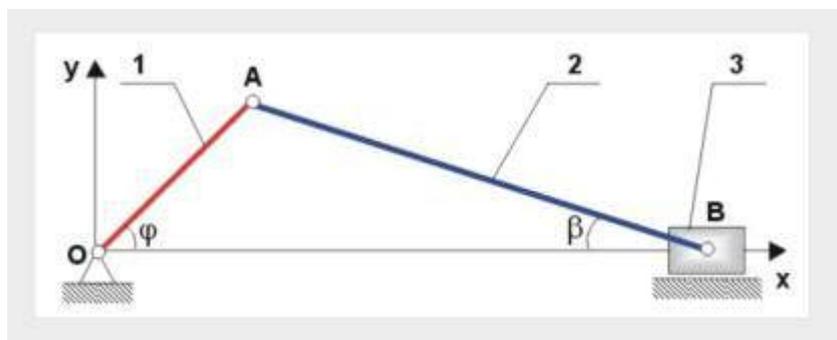


Рисунок 8.2 Кинематическая схема – модель механической руки

С точки зрения механики, а точнее говоря биомеханики, модель представлена элементами: 1 - кривошип; 2 - шатун; 3 - ползун. Неподвижная стойка образует четвертое звено. Звенья соединены друг с другом шарнирами O , A и B . Кривошип OA совершает вращательное движение относительно неподвижной точки O . При этом шатун AB движется плоскопараллельно, а

ползун В - возвратно-поступательно вдоль горизонтальной направляющей, создавая так называемый «тянущий трек». Это когда механическая рука постоянно что-то подтаскивает к себе и затем отодвигает. Это движение имитирует реакцию технической системы на внешний стимул, когда требуется произвести реакцию. Например, если представить в механической руке ключ, то такой ключ вставляется в замок. Ключ, замок, и механическая рука представляются отдельными объектами, которые начинают взаимодействовать при определенном стимуле.

Отметим, что нас не интересовали конструктивные формы и расположение масс, входящих в механизм тел, и все тела механизма мы заменили отрезками прямых. На самом деле, все звенья механизма имеют массу и довольно сложную форму. Например, шатун – это сложное сборное соединение, форма и размеры которого, конечно, будут влиять на движение механизма; при построении математической модели движения рассматриваемого механизма мы также не учитывали упругость входящих в механизм тел, т.е. все звенья рассматривали как абстрактные абсолютно жесткие тела. В действительности же, все входящие в механизм тела – упругие тела. Они при движении механизма будут как-то деформироваться, в них могут даже возникнуть упругие колебания. Это все, конечно, также будет влиять на движение механизма. Кроме того мы не учитывали погрешность изготовления звеньев, зазоры в кинематических парах А, В, С и т.д.

Таким образом, важно еще раз подчеркнуть, что, чем выше требования к точности результатов решения задачи, тем больше необходимость учитывать при построении математической модели особенности изучаемого объекта, процесса или системы. Однако, здесь важно во время остановиться, так как сложная математическая модель может превратиться в трудно разрешимую задачу.

Наиболее просто строится модель, когда хорошо известны законы, определяющие поведение и свойства объекта, процесса или системы, и имеется большой практический опыт их применения. Более сложная ситуация возникает тогда, когда наши знания об изучаемом объекте, процессе или системе недостаточны. В этом случае при построении математической модели приходится делать дополнительные предположения, которые носят характер гипотез, такая модель называется гипотетической. Выводы, полученные в результате исследования такой гипотетической модели, носят условный характер. Для проверки выводов необходимо сопоставить результаты исследования модели на ЭВМ с результатами натурального эксперимента. Таким образом, вопрос применимости некоторой математической модели к изучению рассматриваемого объекта, процесса или системы не является математическим вопросом и не может быть решен математическими методами. Основным критерием истинности является эксперимент, практика в самом широком смысле этого слова.

Нас интересует движение механической руки, описываемое уравнением:

$$S_{ox} = r \cos(\varphi) + \sqrt{L^2 - r^2 \sin^2(\varphi)} \quad (8.1)$$

Задание

1. Провести вычисления параметра S_{ox} по выражению (8.1) с учетом данных, помещенных в таблице 8.1. Принять изменение параметра φ в пределах от 0 до 2π

Таблица 8.1 Значения параметров механической руки

№	Параметр r	Параметр L	Вычислить параметр S_{ox} .
	0,5	0,8	
	0,56	0,81	
	0,54	0,88	

2. Построить графические иллюстрации изменения параметра S_{ox} и $1/S_{ox}$

3. Все расчеты и построение иллюстраций исполнить в среде EXCEL, а пояснения и полный отчет по работе представить в среде Word.

Лабораторная работа 9

Исследование моделей периодических процессов

Периодические процессы в Природе представлены повсеместно. Регенерация (от лат. *regeneratio* — возрождение) — процесс восстановления организмом утраченных или поврежденных структур. Регенерация поддерживает строение и функции организма, его целостность. Различают два вида регенерации: физиологическую и репаративную. Восстановление органов, тканей, клеток или внутриклеточных структур после разрушения их в процессе жизнедеятельности организма называют физиологической регенерацией. Восстановление структур после травмы или действия других повреждающих факторов называют репаративной регенерацией. При регенерации происходят такие процессы, как детерминация, дифференцировка, рост, интеграция и др., сходные с процессами, имеющими место в эмбриональном развитии. Однако при регенерации все они идут уже вторично, т.е. в сформированном организме.

Физиологическая регенерация представляет собой процесс обновления функционирующих структур организма (рис. 9.1). Благодаря физиологической регенерации поддерживается структурный гомеостаз и обеспечивается возможность постоянного выполнения органами их функций. С общепедагогической точки зрения, физиологическая регенерация, как и обмен веществ, является проявлением такого важнейшего свойства жизни, как самообновление.

Примерами физиологической регенерации на клеточном и тканевом уровнях являются обновление эпидермиса кожи, роговицы глаза, эпителия слизистой кишечника, клеток периферической крови и др.

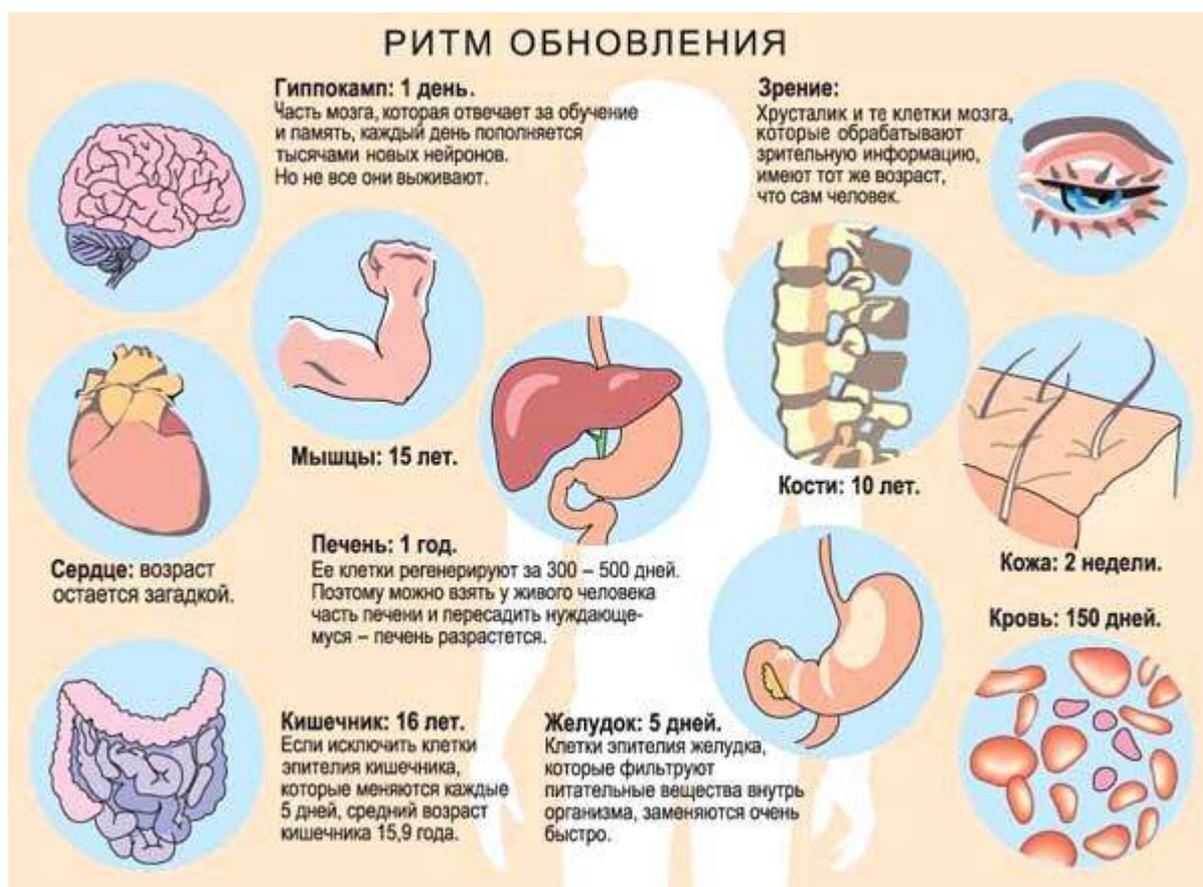


Рисунок 9.1 Иллюстрация по обновлению тканей, органов и подсистем организма

Обновляются производные эпидермиса — волосы и ногти. Это так называемая пролиферативная регенерация, т.е. восполнение численности клеток за счет их деления. Во многих тканях существуют специальные камбиальные клетки и очаги их пролиферации. Это крипты в эпителии тонкой кишки, костный мозг, пролиферативные зоны в эпителии кожи. Интенсивность клеточного обновления в перечисленных тканях очень велика. Это так называемые «лабильные» ткани. Все эритроциты теплокровных животных, например, сменяются за 2—4 месяца, а эпителий тонкой кишки полностью сменяется за 2 суток. Это время требуется для перемещения клетки из крипты на ворсинку, выполнения ею функции и гибели. Клетки таких органов, как печень, почка, надпочечник и др., обновляются значительно медленнее. Это так называемые «стабильные» ткани.

Изучение периодических колебаний производят на моделях. Рассмотрим модель математического маятника. Модель демонстрирует (рис. 9.2) свободные колебания математического маятника. Можно изменять длину нити L , угол φ_0 начального отклонения маятника, коэффициент вязкого трения. Выводятся графики зависимости угловой координаты и скорости от времени, диаграммы потенциальной и кинетической энергий при свободных колебаниях, а также при затухающих колебаниях при наличии вязкого трения. Отметим, что колебания математического маятника являются гармоническими только при достаточно малых амплитудах.

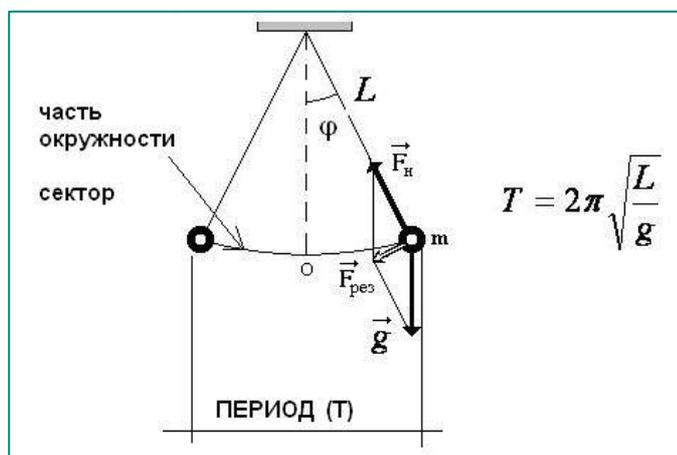


Рисунок 9.1 Математическая модель маятника

Период колебания маятника определяются по выражению:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (9.1)$$

Очевидно, что период математического маятника зависит от длины подвеса (L). Этот недостаток отсутствует модели маятника, образованной незамкнутой плоской кривой, образованной от скольжения материальной точки по производящей окружности. Очерчивая таким образом на плоскости кривая носит название циклоиды.

Уравнение циклоиды в параметрической форме представим в виде:

$$\begin{aligned} x &= rt - r\cos(t) \\ y &= r - r\sin(t) \end{aligned} \quad (9.2)$$

Основные свойства циклоиды:

3. Циклоида — периодическая функция по оси абсцисс, с периодом: $2\pi r$
4. Площадь под каждой аркой циклоиды втрое больше, чем площадь порождающего круга

$$3S_{\text{арки}} > \pi r^2$$

$$4r \sin \frac{t}{2}$$

5. Радиус кривизны у первой арки циклоиды равен:
6. Перевернутая» циклоида является кривой скорейшего спуска (брахистохроной). Более того, она имеет также свойство таутохронности: тяжелое тело, помещенное в любую точку арки циклоиды, достигает горизонтали за одно и то же время.
7. Период колебаний материальной точки, скользящей по перевернутой циклоиде (рис. 9.2), не зависит от амплитуды, этот факт был использован Гюйгенсом для создания точных механических часов.

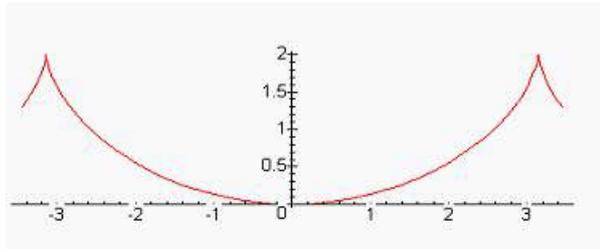


Рисунок 9.2 Изображение циклоиды

Профиль траектории движения материальной точки – маятника, представлен на рис.

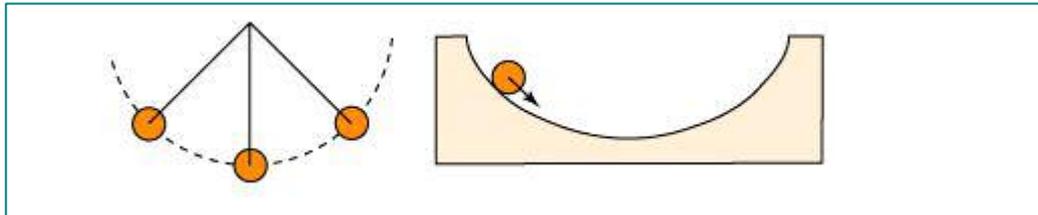


Рисунок 9.3 Профиль траектории движения материальной точки

8. Площадь фигуры одной арки:

$$S_a = 2\pi r^2 \quad (9.3)$$
9. Длина образующей линии одной арки:

$$L = 8r \quad (9.4)$$
10. Площадь поверхности образованная вращением одной арки:

$$S_{\text{вр}} = \frac{64\pi r^2}{3} \quad (9.5)$$
11. Объем вращения одной арки:

$$V_{\text{арки циклоиды}} = 5\pi^2 r^3 \quad (9.6)$$

Типичный вид циклоиды представлен на рис. 9.3

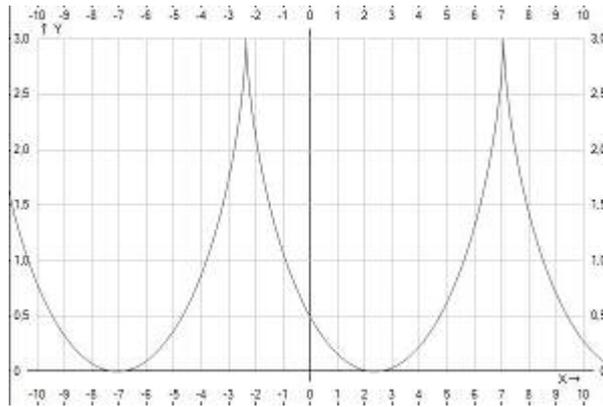


Рисунок 9.3 Графический образ циклоиды

В среде EXCEL можно воспроизвести графический образ циклоиды, представленный на рис. 9.4



Задание

1. Провести вычисления профиля циклоиды по выражению (9.2) с учетом данных, помещенных в таблице 8.1. Принять изменение параметра φ в пределах от 0 до 2π ; $r = 1,5$.
2. Вычислить показатели, представленные в таблице 9.1:

Таблица 9.1 Показатели циклоиды

S_a	L	$S_{вр}$	$V_{ац}$

3. Построить графические иллюстрации профиля циклоиды
Все расчеты и построение иллюстраций исполнить в среде EXCEL, а пояснения и полный отчет по работе представить в среде Word.

Лабораторная работа 10

Исследование модели походки человека

Изучением конструкции человеческого организма занимались не только медики, но и великие мыслители. Об этом говорят труды Платона, Аристотеля, Гиппократ Гелена, Эвдема и многих других александрийских ученых.

Особенно большой вклад в изучение органов человека и животных сделал величайший гений эпохи Возрождения, живописец, скульптор, архитектор, инженер и анатом Леонардо да Винчи, оставивший после себя капитальный труд: «Анатомия записи и рисунки». Для того времени выполнение такой универсальной и трудоемкой работы было под силу только совершенно исключительному, разностороннему мыслителю и ученому. Современному врачу нужны инженерные знания, чтобы иметь возможность шире взглянуть на функции и конструкцию человеческого организма, авторитетно участвовать во внедрении достижений научно-технического прогресса в медицинскую практику.

Установлено, что механические движения осуществляются под контролем и участии нервной системы. В спинном мозге млекопитающих расположена нейронная сеть, позволяющая ходить в «автоматическом» режиме, не думая о том, как сделать шаг, - так называемый центральный генератор упорядоченной активности (central pattern generator, CPG). CPG отвечает за чередование периодов возбуждения и торможения различных мотонейронов. При помощи обратной связи, поступающей в мозг от двигательного аппарата, корректировка движения может производиться по ходу его осуществления.

Простейшей моделью CPG служит сеть, состоящая всего из двух нейронов, которые не могут вырабатывать ритмические сигналы поодиночке, а действуют только в паре. На основе этой двухнейронной модели, поддерживающей периодическую смену опор организма и реализуется передвижение. Рассмотрим в качестве основы для модели движения обратный маятник, реализованный на циклоиде.

Сопоставим движения частей тела человека при ходьбе с моделью обратного маятника. Проведем сопоставление в наглядной форме и совместим графический образ модели с подвижными частями – ногами человека.

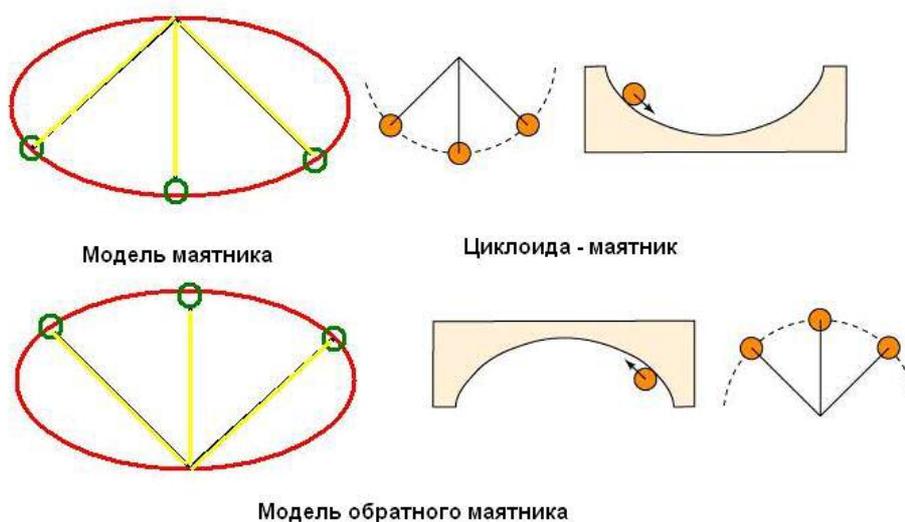


Рисунок 10.1 Иллюстративная модель обратного маятника

Перейдем к рассмотрению траектории отдельных элементов скелета человека. На рис. 10.2 показана схема движения ног человека и центра тяжести его тела во время бега. После того

как нога будет выброшена вперед и на нее перенесется вся тяжесть тела, бедро человека, а следовательно, и его центр тяжести опишет часть окружности, радиус которой равен длине ноги. При следующем шаге – то же самое. В результате центр тяжести человека при беге и ходьбе описывает циклоиду. Ускорения при этом направлены к земле в точке Р.

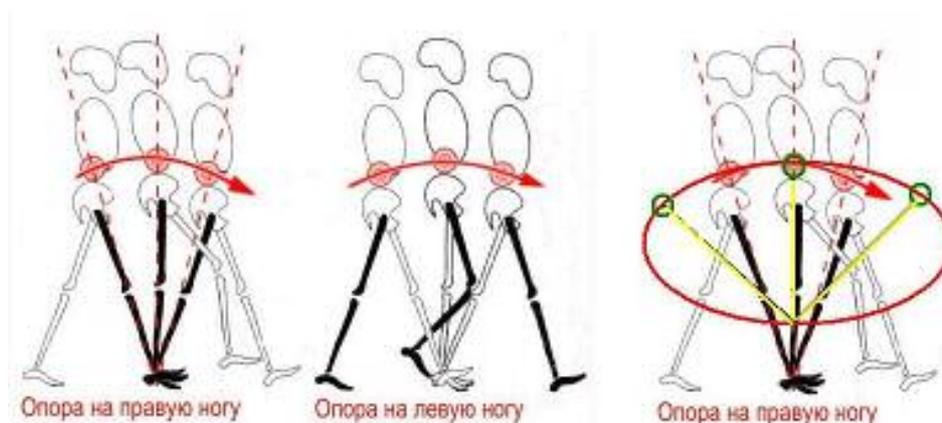


Рисунок 10.2 Схема модели движения

Модель движения человека позволяет сделать еще одно интересное наблюдение. Как известно из механики, для прямолинейного движения тела с постоянной скоростью никакой затраты энергии не требуется. Но во время прямолинейной ходьбы человек устает. Зададимся вопросом - на что тратится его энергия? Как говорилось выше, центр тяжести человека движется не прямолинейно, а по циклоиде, поэтому центр тяжести при каждом шаге поднимается и опускается примерно на 8 сантиметров при длине ног в 1 метр. При этом основная нагрузка приходится на ступню.



Рисунок 10.3 Механизм распределения нагрузки по ступне

Движение – пронация стопы – это вращение в подтаранном суставе. Ось этого сустава расположена косо, таким образом, что пронация стопы приводит к ротации голени. Это важно для рассмотрения вопроса – особенности биомеханики коленного сустава при ходьбе. Ось подтаранного сустава расположена косо в направлении спереди назад, изнутри к наружи. Она явно не совпадает с направлением оси голеностопного и коленного суставов. Однако именно такое ее положение (явно несоосное с другими суставами) определяет эффективность ходьбы.

Если принять вес человека за 80 килограммов, то совершаемая работа подъема центра тяжести при каждом шаге на 8 сантиметров будет равна: $80 * 0,08 = 6,4$ килограммометра. При исключении потерь на трение.

Если человек за один час пройдет 5 километров, сделав 6250 шагов, то он затратит $6250 * 6,4$, то есть совершит работу в 40 000 килограммометров, что равно примерно мощности в 0,15 лошадиной силы! А учитывая потери на трение при опускании при каждом шаге и принимая коэффициент полезного действия механизма ног равным примерно 0,5, нетрудно подсчитать, что общая затраченная мощность будет около 0,3 лошадиной силы. Это и вызывает усталость.

Задание

1. Провести вычисления и построение профиля циклоиды по выражению (10.1) с учетом данных, помещенных в таблице 10.1, при $\Gamma=1,0$.

$$\begin{aligned} x &= rt - r\cos(t) \\ y &= r - r\sin(t) \end{aligned} \quad (10.1)$$

2. Построить графические иллюстрации профиля циклоиды

Таблица 10.1 Исходные данные для построения профиля циклоиды

	Параметр t	Вычислить значения показателей циклоиды 1			
		S _a	L	S _{вр}	V _{ац}
1.	$0 < t < \pi 0,174$				
2.	$0 < t < \pi 0,176$				
3.	$0 < t < \pi 0,178$				
4.	$0 < t < \pi 0,180$				
5.	$0 < t < \pi 0,184$				

3. Все расчеты и построение иллюстраций исполнить в среде EXCEL, а пояснения и полный отчет по работе представить в среде Word.

¹ Вычисления провести по выражениям, представленным в работе 9