

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»**

**ОСНОВЫ АНАТОМИИ,  
ФИЗИОЛОГИИ, АНТРОПОМЕТРИИ  
И БИОМЕХАНИКИ**

Рекомендовано

учебно-методическим объединением по химико-технологическому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-50 02 01 «Конструирование и технология изделий из кожи»

**Витебск  
2011**

УДК 685.34 : 61  
ББК 37255 : 28.706  
Г 67

**Рецензенты:** кафедра «Художественное моделирование, конструирование и технология изделий из кожи» Московского государственного университета дизайна и технологии

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 3 от 29 апреля 2011 г.*

Г 67 **Горбачик, В. Е.** Основы анатомии, физиологии, антропометрии и биомеханики : учебное пособие / В. Е. Горбачик. – Витебск : УО «ВГТУ», 2011. – 125 с.

ISBN 978-985-481-242-7

Пособие содержит основы анатомии и физиологии верхних и нижних конечностей и функции скелета, мышц, сосудистой и нервной систем. Рассмотрены методы массовых антропометрических измерений, закономерности размеров стоп и кистей рук. Изложена методика построения размерной типологии. Освещены вопросы биомеханики движений человека.

Предназначено для студентов, магистров технологических специальностей, изучающих технологию изделий из кожи» (специализации 1-50 02 01 01 «Технология обуви» и 1-50 02 01 02 «Технология кожгалантерейных изделий»).

УДК 685.34 : 61  
ББК 37255 : 28.706

ISBN 978-985-481-242-7

© Горбачик В.Е., 2011

© УО «ВГТУ», 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ЧАСТЬ 1. АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ВЕРХНИХ И НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА.....	6
1.1 Основные понятия и термины, принятые в анатомии.....	7
1.2 Скелет и его функции.....	8
1.2.1 Общие сведения о скелете .....	8
1.2.1.1 Форма и строение костей.....	9
1.2.1.2 Соединение костей.....	10
1.2.1.3 Формы суставов.....	11
1.2.2 Скелет верхней конечности.....	14
1.2.2.1 Кости свободной верхней конечности и их соединения.....	15
1.2.2.2 Соединение костей свободной верхней конечности.....	16
1.2.3 Скелет нижней конечности .....	17
1.2.3.1 Кости стопы.....	19
1.2.3.2 Соединение костей свободной нижней конечности.....	21
1.3 Мышечная система.....	23
1.3.1 Общие сведения о мышцах.....	23
1.3.2 Мышцы свободной верхней конечности.....	26
1.3.3 Мышцы свободной нижней конечности .....	29
1.4 Сосудистая система.....	33
1.5 Нервная система.....	36
1.6 Кожа.....	38
1.6.1 Строение кожи.....	38
1.7 Стопа человека .....	41
1.7.1 Патологические отклонения в строении и функции стопы.	43
1.8 Контрольные вопросы.....	47
ЧАСТЬ 2. АНТРОПОМЕТРИЯ.....	48
2.1 Антропометрия стоп и голеней.....	48
2.1.1 Методика антропометрических исследований.....	48
2.1.1.1 Основные методы и средства исследования раз- меров стоп и голеней.....	51
2.1.1.2 Современный способ массового обмера ног.....	61
2.1.2 Закономерности в распределении стоп по размерам и в соотношениях между отдельными размерными признаками	63
2.1.3 Дополнительные сведения о размерах ног.....	81
2.1.3.1 Связь длины стопы с ростом человека.....	81
2.1.3.2 Связь между размерами стопы и руки.....	81
2.1.3.3 О симметрии размеров правой и левой стоп.....	82
2.1.3.4 Размеры голени.....	82

2.1.4	Влияние различных факторов среды на размеры ног.....	82
2.1.4.1	Возрастные изменения стопы.....	82
2.1.4.2	Влияние этнографических факторов.....	83
2.1.4.3	Влияние профессии человека на стопу.....	84
2.1.5	Построение размерной типологии стоп.....	84
2.1.5.1	Основные принципы построения размерной типологии населения.....	84
2.1.5.1.1	Ведущие признаки.....	85
2.1.5.1.2	Интервал безразличия.....	86
2.1.5.1.3	Определение оптимального числа типовых фигур.....	87
2.1.5.1.4	Определение всех других размерных признаков выделенных типовых фигур	89
2.1.5.2	Выделение основных типов стоп.....	89
2.1.5.3	Выделение дополнительных типов (подтипов) стоп.....	91
2.2	Антропометрия кисти руки.....	94
2.2.1	Основные размерные признаки кисти руки.....	94
2.2.2	Закономерности в распределении размеров и в соотношениях между размерными признаками.....	96
2.2.3	Построение размерной типологии кистей рук.....	96
2.3	Контрольные вопросы.....	100
ЧАСТЬ 3. БИОМЕХАНИКА.....		101
3.1	Работа стопы при стоянии.....	101
3.2	Работа стопы при ходьбе и беге.....	108
3.3	Изгиб стопы.....	115
3.4	Изменение размеров стопы.....	116
3.4.1	Влияние нагрузки.....	116
3.4.2	Влияние подъема пятки при ходьбе.....	116
3.4.3	Влияние длительной работы стопы.....	118
3.5	Контрольные вопросы.....	118
ЧАСТЬ 4. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБУВИ В СВЯЗИ С АНА- ТОМО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ, АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИМИ И БИОМЕХАНИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ СТОПЫ.....		120
ЛИТЕРАТУРА.....		122

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из показателей качества изделий из кожи является соответствие их размеров и формы размерам и форме стопы и кисти. Поэтому для правильного выбора параметров проектируемого изделия инженер-конструктор должен иметь достаточно полную информацию об объекте, для которого изделие создается, т.е. о человеке. При создании конструкции обуви, перчаток и рукавиц необходимо знать анатомио-физиологическое строение верхних и нижних конечностей, законы варьирования размеров стоп и кистей.

Изучение биомеханики движений, распределения массы тела на опору при стоянии и ходьбе, изменения размеров стопы и кисти при движениях, давления, возникающего между стопой и верхом обуви, позволит конструктору обоснованно подойти к выбору размеров и формы деталей верха и низа обуви, а также правильно подобрать материалы для деталей.

При массовом производстве возникает сложная задача разработки таких размерных ассортиментов обуви и перчаток, которые при минимальном числе типов обеспечивали бы максимальную удовлетворенность населения готовыми изделиями. Прочную научную базу для построения размерной типологии, являющейся основой разработки размерных ассортиментов, могут обеспечить только обширные и систематизированные антропометрические данные о размерах конечностей человека. В систематизации знаний о размерах большая роль отводится разработке программ антропометрических обследований и обработке полученных данных методами математической статистики.

В учебном пособии отражены основные сведения об анатомии, физиологии, антропометрии и биомеханике верхних и нижних конечностей человека, необходимые для дальнейшего изучения курса «Конструирование изделий из кожи». В пособии также нашли отражение результаты последних исследований массовых обмеров стоп и взаимодействия системы «стопа – обувь».

## Часть 1. АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ВЕРХНИХ И НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Конструирование изделий из кожи включает конструирование обуви и конструирование кожгалантерейных изделий (перчаток, сумок, чемоданов и т.д.).

Обувь и такие кожгалантерейные изделия, как перчатки, используются человеком для предохранения организма от вредных внешних воздействий.

Основное требование, которое предъявляется к этим изделиям, – это их соответствие анатомо-физиологическим особенностям организма человека. Особенно это касается обуви.

Рациональной принято считать обувь, которая создает максимальное удобство для стопы в процессе ее работы. Снабжение населения рациональной обувью имеет большое значение, так как такая обувь уменьшает утомляемость организма, предотвращает развитие болезней ног, улучшает общее состояние человека и повышает его работоспособность.

Одним из основных элементов рациональной конструкции обуви является ее внутренняя форма, которая определяется преимущественно размерами, формой и работой стопы. От того, какие соотношения взяты между размерами и формой стопы, с одной стороны и между размерами и формой внутренней части обуви – с другой, зависит удобство обуви в носке и ее рациональность.

Поэтому прежде чем подойти к конструированию обуви, а также и перчаток, необходимо более подробно ознакомиться с теми органами, для которых мы конструируем изделия, т.е. необходимо более подробно ознакомиться с человеческим организмом.

Изучением мира живых организмов занимается наука о жизни – биология.

Биология разделяется на **морфологию** – науку о форме (морфе–форма) – и **физиологию** – науку о функциях.

Морфология, в свою очередь, подразделяется на ряд наук, к числу которых относится и **анатомия человека**.

**Анатомия** – это наука о форме и строении живых организмов. Она изучает форму и строение человеческого организма, строение различных его органов, например, форму и строение костей, мышц, сердца, мозга и т.д. Название «анатомия» происходит от греческого слова *anatomo* – рассекаю, что указывает на один из способов, которым пользуются при анатомических исследованиях, – рассечение трупов при помощи ножа.

**Физиология** – происходит от двух греческих слов: *physis* – природа и *logos* – учение. Физиология – наука о процессах, проис-

ходящих в живых организмах. Она изучает функции организма, деятельность различных его органов, например, работу мышц, сердца, человеческого мозга и т.д.

Анатомия и физиология тесно связаны между собой. Строение живого организма и его жизнедеятельность, или, другими словами, форма и функция, неотделимы друг от друга. Правильность данного положения может быть прослежена на примере строения и функции различных органов человеческого тела. Так, строение легких связано с функцией газообмена, почек – с образованием мочи, желудка – с перевариванием пищи и т.д.

### 1.1 Основные понятия и термины, принятые в анатомии

В анатомии пользуются различными терминами для определения положения частей тела и органов. При этом условно принято рассматривать тело человека в вертикальном положении с опущенными руками и обращенными вперед ладонями.

Через тело проводят также условно взаимоперпендикулярные плоскости – сагиттальную, фронтальную и горизонтальную – и оси – сагиттальную, вертикальную и фронтальную (рисунок 1.1).

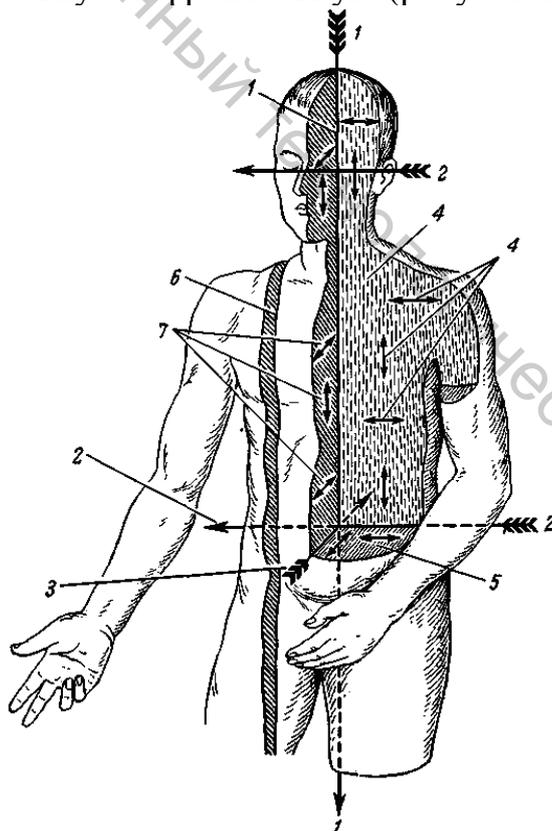


Рисунок 1.1 – Схема осей и плоскостей в теле человека:

- 1 – вертикальная ось; 2 – фронтальная ось; 3 – сагиттальная ось;
- 4 – фронтальная плоскость; 5 – горизонтальная плоскость;
- 6 – сагиттальная плоскость; 7 – срединная (одна из сагиттальных) плоскость

**Сагиттальная плоскость** – расположена вертикально и проходит через тело в передне-заднем направлении (спереди – назад). Сагиттальная плоскость, проходящая через середину тела и разделяющая его на две симметричные половины, называется **срединной**, или **медиальной**, плоскостью.

**Фронтальная плоскость** – расположена, как и сагиттальная, вертикально, проходит параллельно поверхности лба и делит тело человека на переднюю и заднюю части. Термин «фронтальный» происходит от латинского слова *frons* – лоб.

**Горизонтальная плоскость** – параллельна земной поверхности и разделяет тело на части, расположенные одна над другой.

**Вертикальная ось** – проводится через тело человека сверху вниз (отвесно). Вокруг вертикальных осей возможны два рода движений в противоположном направлении: вращение внутрь и вращение наружу.

**Сагиттальная ось** – проводится в направлении спереди назад. Вокруг нее возможны движения: приведение и отведение.

**Фронтальная ось** – проводится параллельно поверхности лба. Вокруг этой оси возможны движения: сгибание и разгибание.

Кроме того, необходимо знать ряд других терминов.

**Медиальный** – расположенный ближе к срединной плоскости.

**Латеральный** – боковой, расположенный в сторону от срединной плоскости.

Для обозначения положения отдельных частей или органов конечностей существуют термины: проксимальный, дистальный.

**Проксимальный** – расположенный ближе к месту прикрепления конечности к туловищу.

**Дистальный** – находящийся дальше от туловища.

## 1.2 Скелет и его функции

### 1.2.1 Общие сведения о скелете

Скелет – это комплекс костей организма, образующих его твердую основу.

Скелет имеет три основные функции: опоры, движения и защиты.

Опорная функция состоит в том, что скелет поддерживает все другие органы, к различным частям скелета прикрепляются мягкие ткани и органы.

Функция движения заключается в том, что из отдельных частей скелета образуются рычаги, которые приводятся в движение в результате сокращения мышц.

Функция защиты проявляется в образовании костями полостей, в которых располагаются жизненно важные органы. В полости черепа, например, расположен головной мозг, внутри позвоночного канала находится спинной мозг, легкие и сердце защищены скелетом грудной клетки и т.д.

Структурной единицей скелета является кость.

### 1.2.1.1 Форма и строение костей

Скелет человека состоит из трубчатых, плоских, коротких и смешанных костей.

**Трубчатые кости** – входят в состав скелета конечностей. Среди трубчатых костей имеются длинные и короткие. К длинным трубчатым костям относятся плечевая кость и кости предплечья, бедренная кость и кости голени. В каждой длинной кости различают среднюю часть – тело, или диафиз, и два утолщения на концах – эпифизы.

**Плоские кости** – кости, имеющие большую поверхность. Сюда относятся тазовые кости, лопатка и др.

**Короткие кости** имеют различное строение. Одни из них (кости пястья, плюсны и фаланги пальцев) по своему строению аналогичны длинным трубчатым костям. Другие короткие кости (позвонки, кости запястья и предплюсны) отличаются по строению и имеют приблизительно одинаковые размеры по ширине, длине и высоте.

**Смешанные кости** – состоят из нескольких частей, имеющих различное строение (височная кость, крестец).

Кость состоит из компактного и губчатого веществ. В состав костной ткани входят органические и неорганические вещества. Органические вещества делают кости упругими, а неорганические – твердыми. С возрастом относительное количество органических веществ уменьшается, а неорганических увеличивается. Вследствие этого кости пожилых людей менее упруги и более хрупки, чем кости детей.

Снаружи кость покрыта надкостницей – тонкой прочной соединительнотканной оболочкой, состоящей из двух слоев: наружного и внутреннего. Наружный слой состоит из плотной соединительной ткани и несет защитную функцию. Внутренний слой состоит из рыхлой соединительной ткани, содержит много нервных волокон и кровеносных сосудов. За счет размножения клеток внутреннего слоя надкостницы кости растут в толщину и срастаются при переломах. Рост трубчатых костей в длину происходит в результате изменения эпифизарных хрящей. В нормальных условиях рост костей, как и рост скелета в целом, заканчивается к 23–24 годам жизни.

### 1.2.1.2 Соединение костей

Все кости человеческого тела соединены друг с другом. Эти соединения отличаются по своему строению и степени подвижности. Различают два вида соединения костей: **непрерывное** и **прерывное**.

В **непрерывных соединениях** кости соединяются друг с другом соединительной или хрящевой тканью. Подвижность костей такого рода в соединениях крайне ограничена или почти отсутствует. Соединяющей тканью может быть и костная ткань.

В соединениях костей при помощи **хряща** физические свойства его обуславливают упругость соединения. Причем чем толще хрящевая прослойка, тем больше подвижность соединения. Примером соединения костей при помощи хряща может служить: соединение между телами позвонков, некоторые соединения костей основания черепа и т.д.

Примером соединения костей при помощи плотной **соединительной ткани** являются связки и мембраны: соединения тазовых костей с крестцом, соединения дистальных концов большеберцовой и малоберцовой костей и т.д.

Соединения костей при помощи **костной ткани** больше всего встречаются в пожилом и старческом возрасте. Примерами соединений при помощи костной ткани являются крестец, копчик, тазовые кости, соединения костей крышки черепа взрослых людей.

**Прерывные соединения** костей являются подвижными и носят название суставов. **Сустав** – это соединение двух или нескольких костей, между которыми имеется щелевая полость.

Каждый сустав имеет три основных элемента: суставные поверхности, суставную сумку и суставную полость (рисунок 1.2).

**Суставные поверхности** сочленяющихся друг с другом костей покрыты суставным хрящом.

**Суставная сумка** прикрепляется по краю суставных поверхностей и переходит в надкостницу. В суставной сумке различают два слоя: наружный – фиброзный и внутренний – синовиальный, богатый кровеносными сосудами. Из синовиального слоя выделяется в полость сустава синовиальная жидкость (синовия), которая обеспечивает смазку соприкасающихся суставных поверхностей, благодаря чему уменьшается трение в суставах при движении.

**Суставная полость** ограничена суставной сумкой и суставными поверхностями сочленяющихся костей. Она представляет собой щелевидное пространство, в котором имеется небольшое количество синовиальной жидкости.

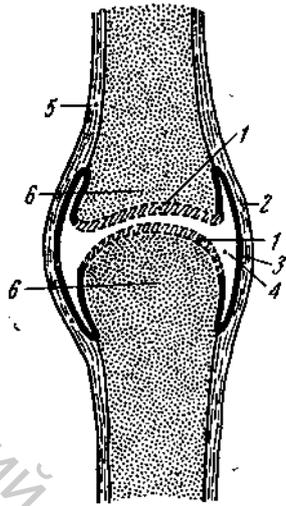


Рисунок 1.2 – Схема сустава:

1 – суставной хрящ; 2 – фиброзный слой суставной капсулы; 3 – синовиальный слой; 4 – полость сустава; 5 – надкостница; 6 – концы сочленяющихся костей

поверхностями сочленяющихся костей. Диски представлены сплошными пластинками, а мениски имеют вид серпообразно изогнутых пластин. Те и другие играют большую роль в движениях суставов, суставные поверхности которых по форме не вполне соответствуют друг другу. Например, в коленном суставе соответствия между суставными поверхностями бедренной и большеберцовой костей нет. Поэтому в нем имеются мениски.

**Синовиальные сумки** являются мешкообразными выпячиваниями синовиального слоя суставной капсулы. Они располагаются под сухожилием или под мышцей, которые находятся непосредственно у сустава. Синовиальные сумки уменьшают трение между сухожилиями, мышцами и прилегающей к ним костью.

### 1.2.1.3 Формы суставов

Характер движений в суставах зависит от формы суставных поверхностей костей. Различают следующие основные виды суставов: **цилиндрические, блоковидные, эллипсоидные, седловидные, шаровидные и плоские.**

Движения в суставах могут осуществляться вокруг одной, двух и трех осей. В соответствии с этим различают одноосные, двуосные и трехосные (многоосные) суставы.

К **одноосным суставам** принадлежат блоковидные и цилиндрические суставы. В этих суставах суставные поверхности наибо-

Кроме трех основных элементов, образующих сустав, имеется еще вспомогательный аппарат: связки, диски, мениски и синовиальные сумки.

Различают внутрисуставные и внесуставные **связки**, проходящие около сустава. Внутрисуставные связки натянуты между сочленяющимися костями и могут ограничивать движения сустава. Они имеются, например, в коленном, тазобедренном суставах.

**Внутрисуставные диски и мениски** состоят в основном из волокнистого хряща.

Они располагаются в суставной полости между суставными

лее соответствуют друг другу.

**Блоковидный сустав** (рисунок 1.3, д). Ось вращения в таком суставе проходит перпендикулярно длинной оси кости и во фронтальной плоскости. Вокруг этой оси происходит сгибание и разгибание. Боковые движения исключены. Характерным примером блоковидных суставов являются межфаланговые сочленения пальцев.

**Цилиндрический сустав** (рисунок 1.3, е) характеризуется суставными поверхностями цилиндрической формы, которые располагаются на боковых поверхностях костей, а ось их вращения совпадает с длинной осью кости. Примером могут служить суставы между лучевой и локтевой костями: вращение лучевой кости совершается вокруг локтевой кости; вращение наружу называется **супинацией**, а внутрь – **пронацией**.

К **двуосным суставам** принадлежат эллипсоидные и седловидные суставы.

**Эллипсоидный сустав** (рисунок 1.3, в) имеет суставные поверхности, одна из которых выпуклая и напоминает по своей форме часть эллипсоида, другая, вогнутая, поверхность соответствует первой.

Движения совершаются вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Вокруг фронтальной оси происходят сгибание и разгибание, а вокруг сагиттальной осуществляется приведение и отведение. Примеры: лучезапястный сустав, суставы между затылочной костью и I-м шейным позвонком.

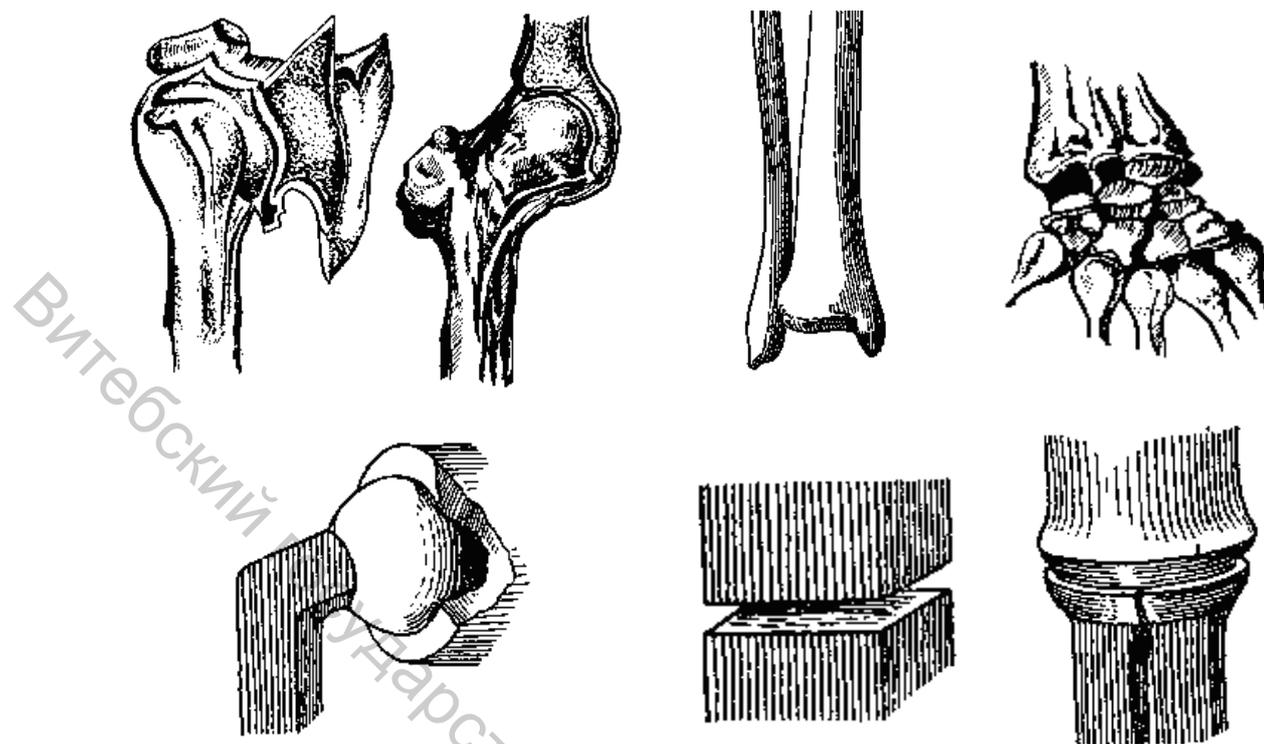
**Седловидный сустав** (рисунок 1.3, г) характерен тем, что каждая из сочленяющихся поверхностей в таком суставе вогнута в одном направлении и выпукла в другом. Седловидный сустав также, как и эллипсоидный, имеет две оси вращения. Примером такого сустава является запястно-пястный сустав большого пальца кисти.

К **трехосным суставам** принадлежат шаровидные и их разновидности: ореховидный и плоский.

В **шаровидном суставе** (рисунок 1.3, а) имеется головка и соответствующая ей по форме впадина, причем суставная поверхность впадины имеет значительно меньшую площадь, чем размеры суставной поверхности головки, что обеспечивает большой размах движений головки. Шаровидный сустав – самый подвижный вид сочленений. В шаровидном суставе движения происходят вокруг трех (главных) взаимноперпендикулярных осей – сагиттальной, фронтальной и вертикальной. Кроме того, в нем производятся круговые движения. Все три оси пересекаются в центре суставной головки. Но через центр можно провести бесконечное количество диаметров, т.е. осей вращения. Поэтому этот сустав и называют многоосным.

Примером такого сустава является плечевой сустав.

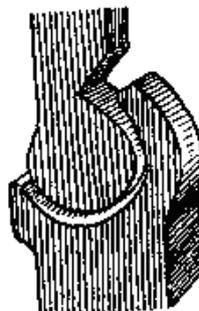
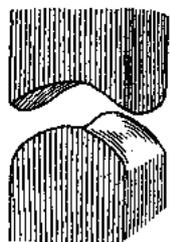
**Ореховидный сустав** (рисунок 1.3, а) отличается от шаро-



а)

б)

в)



г)

д)

е)

Рисунок 1.3 – Различные формы суставов и их схемы:

а – шаровидный; б – эллипсоидный; в – седловидный;  
г – плоский; д – блоковидный; е – цилиндрический

вого тем, что у него суставная впадина более чем на половину окружности охватывает суставную головку, поэтому движения в нем несколько ограничены. Примером орехового сустава является тазобедренный сустав.

**Плоский сустав** (рисунок 1.3, б) отличается от других суставов наличием почти плоских суставных поверхностей, которые представляют собой отрезки шара с очень большим радиусом. Кривизна соприкасающихся поверхностей ничтожна. Движения здесь резко ограничены и сводятся к небольшому скольжению одной суставной поверхности около другой. В связи с этим плоские суставы называют малоподвижными. К плоским относятся запястно-пястные и предплюсневые суставы.

Сустав, в образовании которого принимают участие две кости, называют **простым**. Например, суставы между фалангами пальцев.

Те суставы, которые образованы тремя и более костями, называются **сложными** (этот термин указывает не на сложность устройства, а на количество костей более двух).

Так, в локтевом суставе сочленяются плечевая, локтевая и лучевая кости.

**Комбинированный сустав** – понятие функциональное. Под комбинированным суставом понимают анатомически обособленные, но функционально связанные друг с другом суставы. Так, например, движения нижней челюсти совершаются одновременно в правом и левом височно-челюстном суставе. Движение в одном из них не может производиться, если не происходит в то же время движения и в другом. Комбинированным суставом является также проксимальный и дистальный лучелоктевые суставы, в которых лучевая кость, вращаясь, обеспечивает супинацию и пронацию кисти.

В нормальных условиях суставные поверхности сочленяющихся костей плотно прижаты друг к другу. Этому способствует:

- 1) натяжение вспомогательных укрепляющих связок,
- 2) тонус мышц, окружающих сустав,
- 3) атмосферное давление, так как в герметически закрытой суставной полости давление ниже атмосферного.

## 1.2.2 Скелет верхней конечности

В состав скелета верхней конечности входят кости плечевого пояса и кости свободной верхней конечности. Посредством плечевого пояса свободная верхняя конечность соединяется с туловищем.

К костям **плечевого пояса** относятся ключица (1) и лопатка (2) (рисунок 1.4).

### 1.2.2.1 Кости свободной верхней конечности и их соединения

Свободная верхняя конечность имеет три отдела: **плечо, предплечье и кисть.**

К костям свободной верхней конечности принадлежат: плечевая кость (3), кости предплечья (локтевая (5) и лучевая (4) кости) и кости кисти (рисунок 1.4).

**Кости кисти.** Кисть подразделяется на три отдела: запястье, пясть и пальцы, основу которых соответственно составляют кости запястья (6), кости пястья (7) и фаланги пальцев (8) (рисунок 1.4).

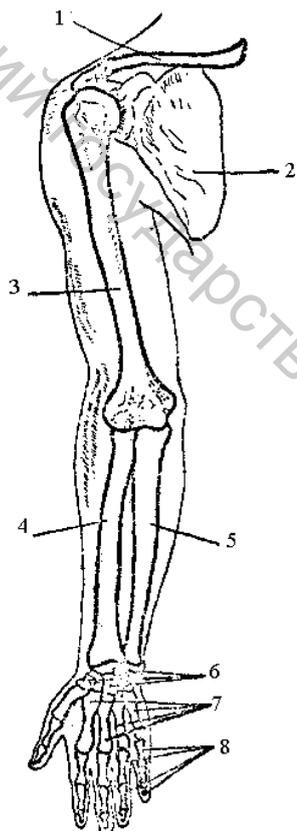


Рисунок 1.4 – Скелет верхней конечности:  
1 – ключица, 2 – лопатка,  
3 – плечевая кость, 4- лучевая,  
5 – локтевая, 6 – кости запястья,  
7 – кости пястья, 8 – фаланги пальцев

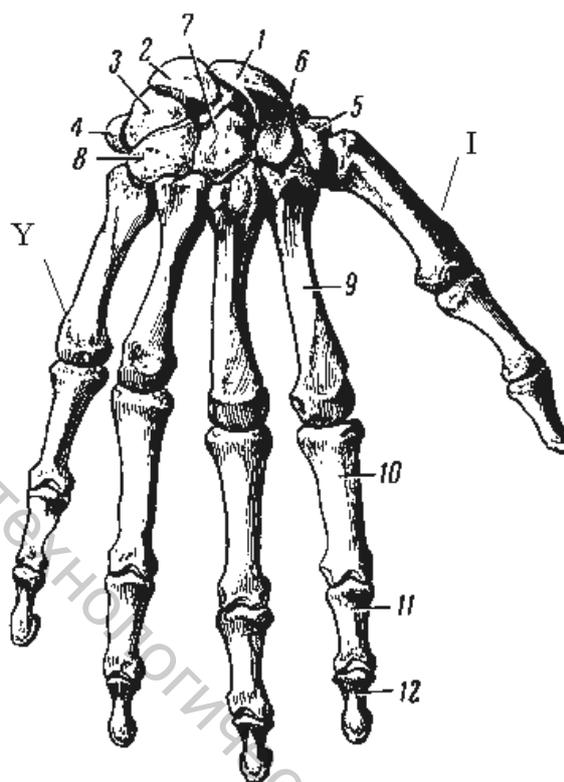


Рисунок 1.5 – Кости кисти:  
1 – ладьевидная кость, 2- полулунная кость,  
3 – трехгранная кость, 4 – гороховидная кость,  
5 – большая многоугольная кость,  
6 – малая многоугольная кость, 7 – головчатая кость, 8 – крючковидная кость, 9 – пястные кости (I-Y), 10 – основные фаланги (I-Y), 11 – средние фаланги (II-Y), 12 – ногтевые фаланги пальца (I-Y)

**Кости запястья** находятся в проксимальном отделе кисти. Это губчатые кости, конфигурация которых в известной степени послужила основанием для их названия. Кости запястья расположены в два ряда, в каждом из которых имеется по четыре маленькие кости (рисунок 1.5). В проксимальном ряду расположены, начиная от латерального края

кости: ладьевидная(1), полулунная(2), трехгранная(3) и гороховидная(4) кости.

Дистальный ряд составляют большая многоугольная (5), малая многоугольная (6), головчатая (7) и крючковидная (8) кости.

Кости запястья не лежат в одной плоскости: с тыльной стороны они образуют выпуклость, а с ладонной – вогнутость. В тех местах, где кости соприкасаются друг с другом, с костями предплечья и костями пясти, имеются суставные поверхности.

**Кости пястья** представляют собой небольшие трубчатые кости, в каждой из которых различают среднюю часть, головку и основание. Основание пястных костей несут на своей поверхности суставные площадки, с помощью которых образуются суставы этих костей друг с другом и с костями запястья.

Головки пястных костей имеют шаровидные суставные поверхности, участвующие в образовании суставов с основными фалангами пальцев. Счет пястных костей начинается с латерального края кисти (I–V пястные кости). I-я пястная кость короче и шире остальных.

**Фаланги пальцев кисти** также принадлежат к малым трубчатым костям. В каждом пальце, кроме первого (большого), имеется по три фаланги (основная, средняя и ногтевая). В большом пальце их две: основная и ногтевая. В каждой фаланге различают: основание, тело и головку.

### 1.2.2.2 Соединение костей свободной верхней конечности

**Плечевой сустав** образован суставной впадиной лопатки и головкой плечевой кости. В суставе шаровидной формы возможны сгибание и разгибание, отведение и приведение, вращение.

**Локтевой сустав** образован плечевой, локтевой и лучевой костями. В локтевом суставе общей суставной сумкой объединены три сочленения: плечелоктевое, плечелучевое и лучелоктевое. В локтевом суставе возможно сгибание и разгибание. Кости предплечья соединены межкостной перепонкой и двумя лучелоктевыми суставами: проксимальной (входит в состав локтевого сустава) и дистальной. Оба сустава по форме цилиндрические, в них возможно вращение вокруг вертикальной оси.

Соединение костей предплечья с костями кисти обеспечивается лучезапястным суставом.

**Лучезапястный сустав**, по форме эллипсоидный, образован суставной поверхностью на дистальном конце лучевой кости и первым рядом костей запястья, кроме гороховидной. Локтевая кость не

принимает непосредственного участия в образовании лучезапястного сустава, так как ее головка отделена от сустава небольшим хрящевым диском. Сустав хорошо укреплен связками. Движения в лучезапястном суставе происходят вокруг двух осей: фронтальной – сгибание и разгибание, и сагиттальной – приведение и отведение. Возможны также неполные круговые движения.

**Межзапястный сустав** расположен между костями первого и второго ряда костей запястья. Функционально он связан с лучезапястным суставом, вместе с которым составляет так называемый сустав кисти. Кости проксимального и дистального рядов запястья соединяются друг с другом короткими, но прочными связками. По форме сустав – плоский.

**Запястно–пястные суставы** расположены между дистальным рядом костей запястья и основаниями пястных костей. При этом различают: запястно–пястный сустав большого пальца, образованный большой многоугольной и I-ой пястной костями, и запястно–пястные суставы II–V пальцев, имеющие общую суставную полость.

Запястный сустав большого пальца имеет **седловидную** форму. Движения в нем возможны вокруг двух взаимно перпендикулярных осей: фронтальной (сгибание и разгибание) и сагиттальной (приведение и отведение), а также неполные круговые движения.

Запястно–пястные суставы II–V пальцев являются **плоскими** по форме, и соответственно, малоподвижными суставами; в них возможно небольшое скольжение одной суставной поверхности по другой.

**Межпястные суставы**, по форме **плоские**, являются малоподвижными соединениями, расположенными между основаниями II–V пястных костей.

**Пястно–фаланговые суставы** расположены между головками пястных костей и основаниями основных фаланг. По форме только пястно–фаланговый сустав большого пальца является **блоковидным**, остальные суставы по форме приближаются к **шаровидным**. Однако их движения сильно ограничиваются имеющимся здесь связочным аппаратом.

**Межфаланговые суставы** по форме **блоковидные**, расположены между головками и основаниями смежных фаланг. Движения в них происходят только вокруг фронтальной оси – сгибание и разгибание. Суставы имеют боковые укрепляющие связки.

### 1.2.3 Скелет нижней конечности

В скелете нижних конечностей различают **кости тазового пояса и кости свободной нижней конечности**.

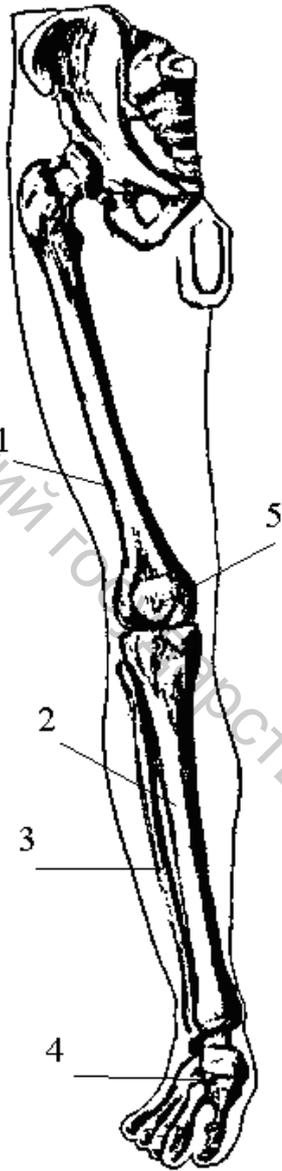


Рисунок 1.6 – Скелет нижней конечности

Свободная нижняя конечность имеет три отдела: **бедро, голень и стопу**. К костям свободной нижней конечности принадлежат (рисунок 1.6): **бедренная кость (1), кости голени (большеберцовая (2) и малоберцовая (3) кости) и кости стопы (4)**. Кости свободной нижней конечности по своему строению и развитию сходны с костями свободной верхней конечности.

**Бедренная кость** – самая длинная и большая трубчатая кость тела человека. На верхнем конце бедренной кости имеется шаровидная головка. Ниже головки находится суженная часть кости – шейка бедренной кости, расположенная к продольной оси кости под тупым углом.

Нижний конец бедренной кости расширяется и переходит в утолщенный и несколько уплощенный дистальный эпифиз. Он имеет два мыщелка – внутренний (или медиальный) и наружный (или латеральный). Между мыщелками располагается межмыщелковая яма. Мыщелки имеют суставные поверхности для соединения с большеберцовой костью.

В образовании коленного сустава принимает участие так называемая **надколенная чашка, или надколенник (5)**. Он представляет собой

самую крупную сесамовидную кость, которая располагается в толще сухожилия мышцы бедра.

**Кости голени.** В состав скелета голени входят **большеберцовая (2) и малоберцовая (3) кости** (рисунок 1.6). Как и бедренная кость, это длинные трубчатые кости.

**Большеберцовая кость** располагается на голени медиально. Она более массивная по сравнению с малоберцовой. На верхнем конце она наиболее толстая и образует два мыщелка – медиальный и латеральный, которые своими суставными поверхностями соединяются с мыщелками бедренной кости. На наружной стороне латерального мы-

щелка расположена небольшая суставная площадка – место соединения с верхним концом малоберцовой кости.

Нижний (дистальный) конец кости утолщен. С внутренней стороны его находится направленный вниз костный отросток, называемый внутренней лодыжкой. С наружной стороны имеется вырезка – место присоединения нижнего конца малоберцовой кости.

**Малоберцовая кость** – длинная и тонкая, располагается снаружи от большеберцовой кости. Верхний конец ее утолщен и называется головкой. Головка сочленяется с большеберцовой костью.

Тело кости (диафиз) – тонкое, трехгранной формы.

Нижний конец малоберцовой кости утолщен и называется **наружной лодыжкой**.

### 1.2.3.1 Кости стопы

Стопа разделяется на три отдела: **предплюсну, плюсну и пальцы**, основу которых соответственно составляют кости предплюсны, плюсны и фаланги пальцев (рисунок 1.7).

Скелет предплюсны состоит из семи костей: пяточной, таранной, кубовидной, ладьевидной и трех клиновидных, называемых по номерам – первая, вторая и третья, считая от внутреннего края стопы к наружному.

**Пяточная кость** (1) является самой крупной из костей стопы. Она расположена снизу и сильно выступает назад, заканчиваясь массивным пяточным бугром, на который происходит опора заднего отдела стопы. Само тело пяточной кости имеет удлиненную, несколько сплюснутую с боков четырехугольную форму. Сверху на теле кости находятся суставные площадки, посредством которых она сочленяется с таранной костью.

**Таранная кость** (2) является единственной из костей стопы, непосредственно сочленяющейся с голенью. Таранная кость имеет тело и головку. Она является промежуточной между голенью и остальными костями стопы.

**Ладьевидная кость** (3) сочленяется сзади с таранной, а спереди с тремя клиновидными костями. Она расположена у внутреннего края стопы.

**Клиновидные кости** (4) находятся между ладьевидной и первыми тремя костями плюсны. Форма этих костей соответствует их названию.

**Кубовидная кость** (9) лежит на наружном крае предплюсны между пяточной костью и четвертой и пятой плюсневыми костями.

**Кости плюсны** (5) представлены пятью трубчатыми плюсне-

выми костями, в каждом из которых различают диафиз, головку и основание. Своими основаниями они сочленяются с костями предплюсны, а головками – с фалангами пальцев.

Первая плюсневая кость – самая толстая и короткая, вторая – наиболее длинная. Пятая имеет бугристую в виде выступа, обращенного наружу и вниз и легко прощупываемого под кожей.

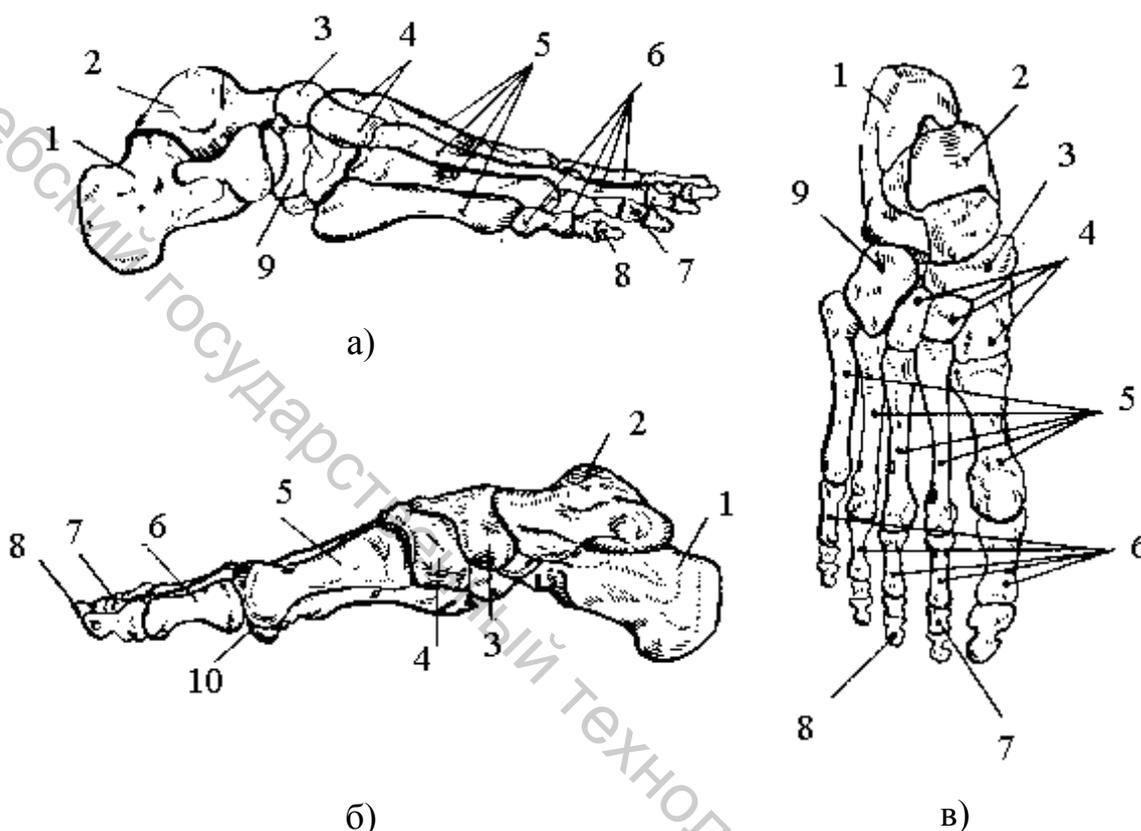


Рисунок 1.7 – Кости стопы:  
вид с наружной (а), с внутренней (б) стороны и вид сверху (в)

- 1 – пяточная кость; 2 – таранная кость; 3 – ладьевидная кость;  
4 – клиновидные кости (I, II, III – считая от внутреннего края стопы); 5 –  
плюсневые кости (I-V – считая от внутреннего края стопы); 6 – основные  
фаланги пальцев; 7 – средняя фаланга пальцев; 8 – ногтевая фаланга  
пальцев; 9 – кубовидная кость;  
10 – сесамовидная кость

**Пальцы ног** так же, как и пальцы рук, состоят из 3-х фаланг: основной (6), средней (7) и ногтевой (8). Первый (большой) палец имеет 2 фаланги: основную и ногтевую. Фаланги пальцев имеют трубчатую форму. На ногтевых фалангах имеются ногтевые бугристы. Из фаланг пальцев фаланги первого пальца массивнее остальных. У взрослых в большинстве случаев первый палец является самым длинным, но бывает короче второго или равен ему.

### 1.2.3.2 Соединение костей свободной нижней конечности

Соединение костей свободной нижней конечности, в отличие от верхней конечности, имеет ряд особенностей, отражающих их функцию опоры и передвижения тела в пространстве.

**Тазобедренный сустав** – ореховидный по форме (разновидность шаровидного), образован вертлужной впадиной тазовой кости и головкой бедренной кости.

Движения в тазобедренном суставе: вокруг фронтальной оси – сгибание и разгибание бедра, вокруг сагиттальной – приведение и отведение, вокруг вертикальной – вращение внутрь и вращение наружу. Кроме того, как и во всяком трехосном суставе, здесь может производиться круговое движение.

**Коленный сустав** относится к сложным суставам, так как образован тремя костями: бедренной, большеберцовой и надколенной чашкой. Наружный и внутренний мыщелки бедренной кости противопоставлены наружному и внутреннему мыщелкам большеберцовой кости. Однако кривизны суставных поверхностей мыщелков этих костей друг другу не соответствуют (суставные поверхности мыщелков бедренной кости имеют большую кривизну). Это несоответствие выравнивается наличием внутреннего и наружного менисков, расположенных между мыщелками бедренной и большеберцовой костей. Мениски также смягчают толчки при движении тела. Особенностью коленного сустава является также наличие в полости сустава крестообразных связок, которые соединяют друг с другом бедренную и большеберцовую кости, и синовиальных сумок.

Коленный сустав является блоковидно-вращательным суставом. В нем возможны движения: сгибание и разгибание голени, а при согнутом положении – незначительное вращение голени.

**Соединение костей голени.** Большеберцовая и малоберцовая кости соединяются в верхней части **плоским** суставом. На протяжении диафизов костей они соединены межкостной перепонкой. Нижние концы этих костей соединены **связками**.

Соединение костей стопы. В области стопы имеются многочисленные малоподвижные суставы, сложный и прочный связочный аппарат, который укрепляет стопу и обеспечивает ее опорную функцию.

**Голеностопный сустав** – соединяет обе кости голени со стопой. Он образован суставными поверхностями блока таранной кости и суставными поверхностями нижних концов костей голени. При этом П-образное углубление в виде вилки, образованное берцовыми костями (нижней поверхностью большеберцовой кости и лодыжками обеих костей голени) охватывает блок таранной кости. Сустав укреплен крепкими связками, которые идут со всех сторон от костей голени к таранной, ладьевидной и пяточной костям. По форме голеностопный сустав пред-

ставляет разновидность блоковидного, называемый **винтообразным суставом**.

Движения происходят вокруг фронтальной оси – сгибание и разгибание стопы. **Тыльное сгибание** – стопа поднимается, **подошвенное сгибание** – стопа опускается.

При подошвенном сгибании возможны небольшие движения в стороны – приведение и отведение, т.е. движение носком внутрь и наружу.

Общий объем движения в голеностопном суставе равняется приблизительно  $65^{\circ}$  (сгибание и разгибание).

Кости стопы, сочленяясь между собой, образуют суставы, которые можно разбить на четыре основные группы:

- 1) суставы межпредплюсневые;
- 2) суставы предплюсне-плюсневые;
- 3) суставы плюсне-фаланговые;
- 4) суставы межфаланговые.

К **межпредплюсневым** относится несколько суставов, находящихся между костями предплюсны. **Сустав таранно-пяточный** – цилиндрический по форме, имеет одну ось вращения, идущую в передне-заднем направлении. Вокруг этой оси возможен поворот стопы внутрь и наружу, т.е. ее пронация и супинация.

При пронации происходит поднятие наружного края стопы и опускание внутреннего, при супинации – наоборот.

Сустав **таранно-пяточно-ладьевидный** составляется головкой таранной кости и суставной ямкой, образованной ладьевидной и пяточной костями. Сустав имеет сферическую форму и относится к типу шаровидных суставов.

Движение в таранно-пяточном и таранно-пяточно-ладьевидном суставах происходит одновременно. Поэтому в функциональном отношении оба сустава объединяются в один комбинированный сустав, называемый **подтаранным**.

Хотя движение в голеностопном и подтаранном суставах может происходить самостоятельно, но обычно эти два сустава функционируют одновременно.

При подошвенном сгибании стопы обычно одновременно происходят ее приведение и супинация, а при разгибании (тыльном сгибании) – отведение и пронация. Совместное движение в этих суставах дает величину подвижности в  $90^{\circ}$ .

**Пяточно-кубовидный сустав** образуется между суставными поверхностями пяточной и кубовидной костей. Он имеет **седловидную** форму, но и функционирует как одноосный, причем ось вращения в нем проходит в передне-заднем направлении.

**Пяточно-кубовидный сустав и таранно-ладьевид-**

**ный** объединяются под общим названием поперечного сустава предплюсны (сустав Шопара).

Остальные суставы предплюсны, а именно суставы между клиновидной, кубовидной и ладьевидной костями, имеют плоскую форму и малоподвижны. Они хорошо укреплены связками, расположенными не только с тыльной и подошвенной сторон сустава, но также в некоторых местах между костями внутри самих суставов.

**Предплюсне-плюсневые суставы** расположены между костями предплюсны и плюсны. Эти суставы имеют плоскую форму, подвижность в них незначительна. Они хорошо укреплены связочным аппаратом с тыла и подошвы, в некоторых местах имеют межкостные связки.

Комплекс костей в суставе ладьевидной, клиновидных, кубовидной и всех плюсневых обладает наименьшей подвижностью среди всех костей стопы. Эти десять костей составляют твердую основу стопы.

Плюснефаланговые суставы образованы головками плюсневых костей и основными фалангами пальцев. Они имеют несколько неправильную шаровидную форму и относятся к типу шаровидных суставов. Движения в них происходят главным образом вокруг фронтальных осей, т.е. имеют место сгибание и разгибание.

На подошвенной стороне первого плюснефалангового сочленения находятся так называемые сесамовидные косточки, соответственно которым на нижней части суставной поверхности головки первой плюсневой кости имеются борозды. Поэтому этот сустав в функциональном отношении является скорее блоковидным, чем шаровидным.

**Межфаланговые суставы** представляют собой сочленения между основными и средними, а также между средними и ногтевыми фалангами пальцев стопы. Они относятся к типу блоковидных суставов. Это одноосные суставы, в которых возможны только сгибание и разгибание.

## **1.3 Мышечная система**

### **1.3.1 Общие сведения о мышцах**

Учение о мышцах – **миология** (mio – мышца, logos – учение). В отличие от скелета, который является пассивным элементом системы органов движения, мышцы представляют собой активную часть двигательного аппарата. В результате их сокращений происходят различные движения.

**По функциональному признаку** все мышцы подразделяются на две группы мышц: произвольные и произвольные.

**Произвольные мышцы** сокращаются по воле человека.

**Непроизвольные** – сокращение их не зависит от воли человека.

Сокращение мышц верхних и нижних конечностей контролируется сознанием, т.е. они относятся к группе произвольных.

Скелетная мышца – это орган, основу которого составляют поперечно-полосатые мышечные волокна. Если рассмотреть поперечный разрез мышцы (рисунок 1.8), то мы увидим, что каждая мышца состоит из пучков мышечных волокон, которые окружены рыхлой соединительной тканью. Сверху мышца окружена плотной толстой оболочкой, называемой **фасцией**. Фасции предотвращают сращивание мышц. В соединительной ткани, внутри пучков мышечных волокон и между ними, проходят кровеносные сосуды и нервы. Каждая из мышц состоит из тела (сократимая часть) и сухожилий (это пассивные отделы, посредством которых мышцы прикрепляются к костям).

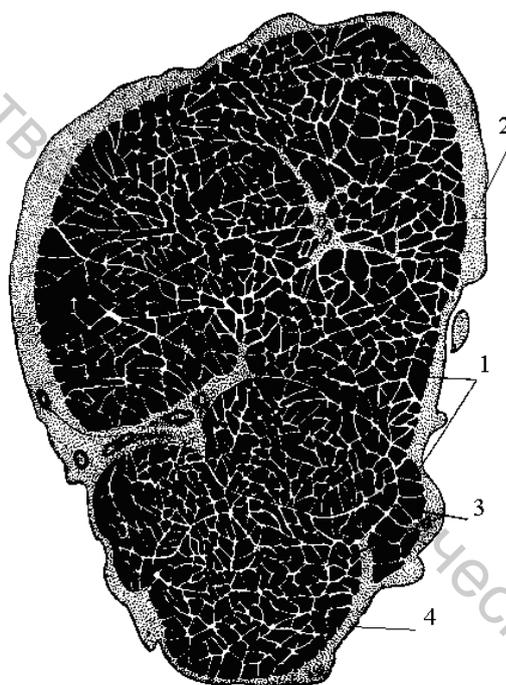


Рисунок 1.8 – Поперечный разрез мышцы:

1 – мышечные пучки; 2–3 – рыхлая соединительная ткань; 4 – фасция

**Форма мышц.** Мышцы отличаются значительным разнообразием формы, которая в известной степени зависит от места расположения мышцы и ее работы. Принято различать три основные формы мышц: длинные, короткие и широкие.

Длинные мышцы имеют форму веретена и располагаются преимущественно на конечностях. Начало мышц (проксимальная часть) называют головкой, среднюю часть – брюшком, а дистальный конец – хвостом.

Короткие мышцы – их длина и ширина очень незначительны.

Широкие мышцы находятся преимущественно на туловище. Они имеют относительно небольшую толщину.

Некоторые мышцы начинаются от различных частей кости или от разных костей скелета несколькими отдельными головками. Эти головки затем переходят в одно брюшко. В соответствии с этим имеются **двуглавые, трехглавые, четырехглавые** мышцы.

Основным свойством мышечной ткани является сократимость. При сокращении мышца укорачивается, т.е. сближаются точки ее начала и прикрепления.

Мышцы тела человека подразделяются по областям: **мышцы головы, шеи, груди** и т.д. В пределах той или иной области мышцы разделяются на отдельные группы: **медиальные, латеральные, передние, задние**, а также слои – **поверхностный и глубокий**.

Мышцы перекидываются через один, два или несколько суставов и при сокращении производят в них определенные движения. По характеру движений мышц различают: **сгибатели, разгибатели, приводящие и отводящие, вращающие** (пронаторы, супинаторы) и т.д. Обычно мышцы, производящие сгибание, находятся спереди, а осуществляющие разгибание – сзади от суставов (исключение коленный и голеностопный сустав). Мышцы, лежащие снаружи от суставов, выполняют функцию отведения, а лежащие внутри – приведения. Вращение осуществляют мышцы, расположенные косо или поперечно по отношению к вертикальной оси (пронация – поворот внутрь, супинация – поворот наружу).

Для наименования мышц зачастую используют их **внешнюю форму** (дельтовидная, ромбовидная, квадратная, червеобразная, веретенообразная и т.д.); **положение мышц** (грудная, подколенная и т.д.); **начало и место прикрепление** (плечелучевая и т.д.); **направление мышечных волокон** (прямая, косая, поперечная).

Следует отметить, что обычно движение осуществляется не одной мышцей, а группой мышц. Мышцы, выполняющие аналогичную функцию, называются **синергистами**. Мышцы, которые производят движение в противоположных направлениях, называются **антагонистами**.

Работа различных групп мышц происходит согласованно. Так, если мышцы-сгибатели сокращаются, то разгибатели в это время расслаб-

ляются. Благодаря этому движение различных частей тела человека совершается плавно. Причем сокращение и расслабление различных групп мышц происходит в строгом порядке с определенной силой. Такая согласованность движений носит название **координации движений**.

Мышцы в живом организме никогда, даже при покое, не бывают полностью расслабленными. Обычное состояние любой мышцы – состояние некоторого напряжения, или тонуса. Мышечный тонус вызывается резкими импульсами, поступающими в мышцы из центральной нервной системы. Тонус колеблется в течение суток и зависит от пола, возраста, профессии. Утром тонус пониженный, днем – повышается.

Степень развития мускулатуры зависит от возраста, пола, профессии и других факторов. В разные возрастные периоды мышцы растут с неодинаковой скоростью. Масса всей мускулатуры новорожденного составляет 24 % от общей массы тела. В дошкольном возрасте масса мышц изменяется мало и к 7 годам достигается 28 %.

В возрасте от 7 до 12 лет происходит быстрый рост массы мышц, сопровождающийся утолщением их волокон.

Затем до 18 лет рост массы мышц идет более медленно, когда масса мышц достигает 35-40 % от массы тела.

У женщин масса мышц несколько меньше, чем у мужчин.

Сухожилия особенно энергично удлиняются в 13–15 лет, обгоняя рост в длину сокращающейся части мышц. Это позволяет мышце в этот период не отставать от быстро удлиняющихся в школьном возрасте трубчатых костей.

Мышцы в это время становятся длинными и тонкими, а сами подростки кажутся длинноногими и длиннорукими.

У спортсменов с хорошо развитой мускулатурой общая масса мышц достигает даже 50 % массы тела.

### 1.3.2 Мышцы свободной верхней конечности

Мышцы свободной верхней конечности разделяются на мышцы плеча, предплечья и кисти.

В области плеча расположены **передняя** и **задняя** группы мышц. Передняя группа состоит из **двуглавой**, **плечевой** и **клювоплечевой** мышц.

Двуглавая мышца производит сгибание в плечевом и локтевом суставах, плечевая – сгибание в локтевом суставе. Клювоплечевая мышца сгибает плечо. Заднюю группу составляют **трехглавая** мышца плеча и локтевая мышца, которые разгибают предплечье.

На предплечье располагаются две группы мышц: передняя

(сгибатели кисти и пронаторы) и задняя (разгибатели кисти и супинаторы).

Мышцы передней группы (рисунок 1.9) лежат в два слоя. К поверхностному слою этой группы относятся следующие: круглый пронатор (1), лучевой сгибатель кисти (2), длинная ладонная мышца (3) (вплетается в ладонный апоневроз (6), поверхностный сгибатель пальцев (4) (прикрепляется к основанию средних фаланг II-V пальцев), локтевой сгибатель кисти (5) (прикрепляется к гороховидной кости).

В глубоком слое передней группы мышц предплечья лежат длинный сгибатель большого пальца (7) (прикрепляется к основанию ногтевой фаланги большого пальца), глубокий сгибатель пальцев (8) (прикрепляется к основанию ногтевых фаланг II-V пальцев) и квадратный пронатор (9).

Мышцы задней группы предплечья так же, как и передняя группа мышц предплечья, расположены в два слоя (рисунок 1.10). К поверхностному слою относятся плечелучевая мышца (11) (см. рисунок 1.9), длинный лучевой разгибатель кисти (2), короткий лучевой разгибатель кисти (3), общий разгибатель пальцев (4) (прикрепляется к основаниям средних и ногтевых фаланг II-V пальцев), локтевой разгибатель кисти (5), (прикрепляется к основанию V пястной кости).

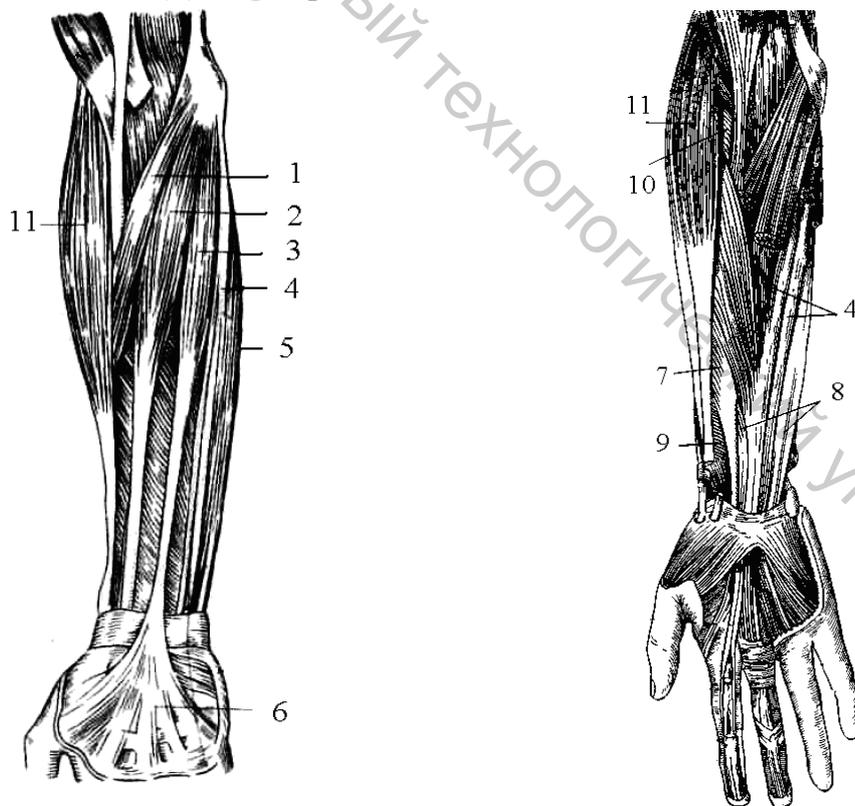


Рисунок 1.9 – Мышцы передней группы предплечья

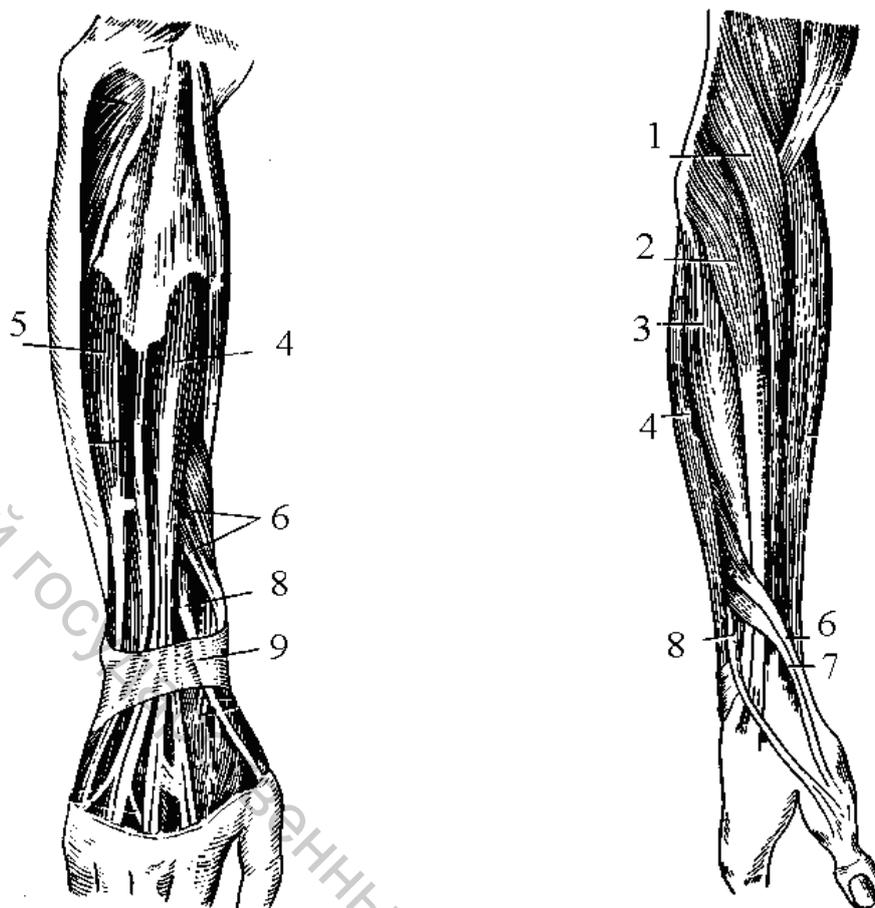


Рисунок 1.10 – Мышцы задней группы предплечья

В состав глубокого слоя задней группы входят супинатор предплечья (10) (см. рисунок 1.9), длинная отводящая большой палец мышца (6) (прикрепляется к основанию I пястной кости), короткий разгибатель большого пальца (7) (прикрепляется к основанию первой фаланги большого пальца), длинный разгибатель большого пальца (8).

Мышцы передней группы сгибают кисть и пальцы, пронируют предплечье, вместе с мышцами плеча участвуют в сгибании предплечья.

Мышцы задней группы разгибают кисть и пальцы, супинируют предплечье, вместе с мышцами плеча участвуют в разгибании предплечья.

Совместное сокращение некоторых мышц и задней и передней групп отводит и приводит кисть.

В области лучезапястного сустава собственная фасция предплечья утолщается и образует круговую связку запястья (9). Последняя охватывает сухожилия мышц предплечья подобно браслету.

Мышцы кисти в основном располагаются с ладонной стороны (рисунок 1.11) и делятся на три группы: мышцы возвышения большого пальца, средняя группа и мышцы возвышения малого пальца.

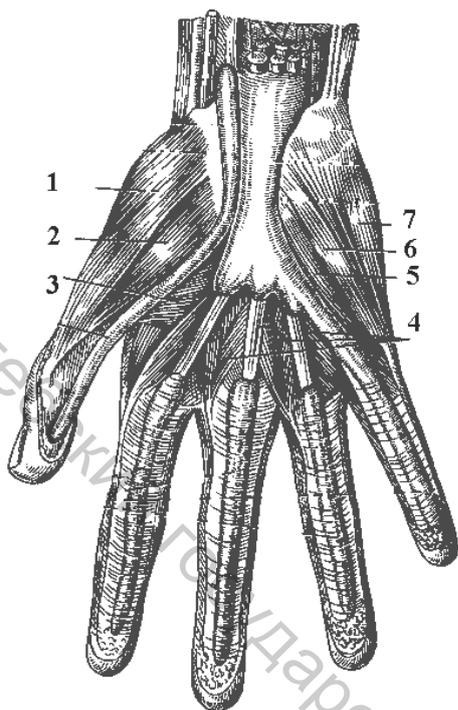


Рисунок 1.11 – Мышцы кисти.  
Ладонная сторона

Возвышение большого пальца образует короткая отводящая мышца большого пальца (1), короткий сгибатель большого пальца (2), мышца, противопоставляющая большой палец малому, и приводящая мышца большого пальца (3).

В состав средней группы входят четыре червеобразные мышцы (4) (они сгибают основные фаланги и разгибают средние и ногтевые), три ладонные межкостные мышцы (они приводят II, IV и V пальцы к среднему) и четыре тыльные межкостные мышцы (отводят пальцы от среднего).

К мышцам возвышения малого пальца относятся: короткая мышца, сгибающая малый палец (6), мышца, отводящая малый палец (7), мышца, противопоставляющая малый палец большому (5).

Собственная фасция кисти образует на ладонной поверхности прочную фасциальную пластинку – ладонный апоневроз. На тыле кисти фасции менее выражены.

### 1.3.3 Мышцы свободной нижней конечности

Мышцы свободной нижней конечности разделяются на мышцы бедра, голени и стопы.

**Мышцы бедра.** На бедре (рисунок 1.12) различают **переднюю, заднюю и медиальную** группы мышц.

В **переднюю группу** входят четырехглавая (см. рисунок 1.12) и портняжная мышцы. **Четырехглавая** имеет четыре головки: прямая мышца бедра (6), широкая латеральная (5), широкая промежуточная и широкая медиальная (4) мышцы. Она является разгибателем голени. **Портняжная мышца (7)** – самая длинная мышца в человеческом теле, участвует в сгибании бедра и голени.

**Заднюю группу** мышц бедра составляют полусухожильная (8), полу-перепончатая (9) и двуглавая (короткая (10) и длинная (11) мышцы. Задние мышцы бедра производят разгибание бедра и сгибание голени. Кроме того, при согнутом колене двуглавая мышца вращает голень наружу, а две другие мышцы – внутрь.

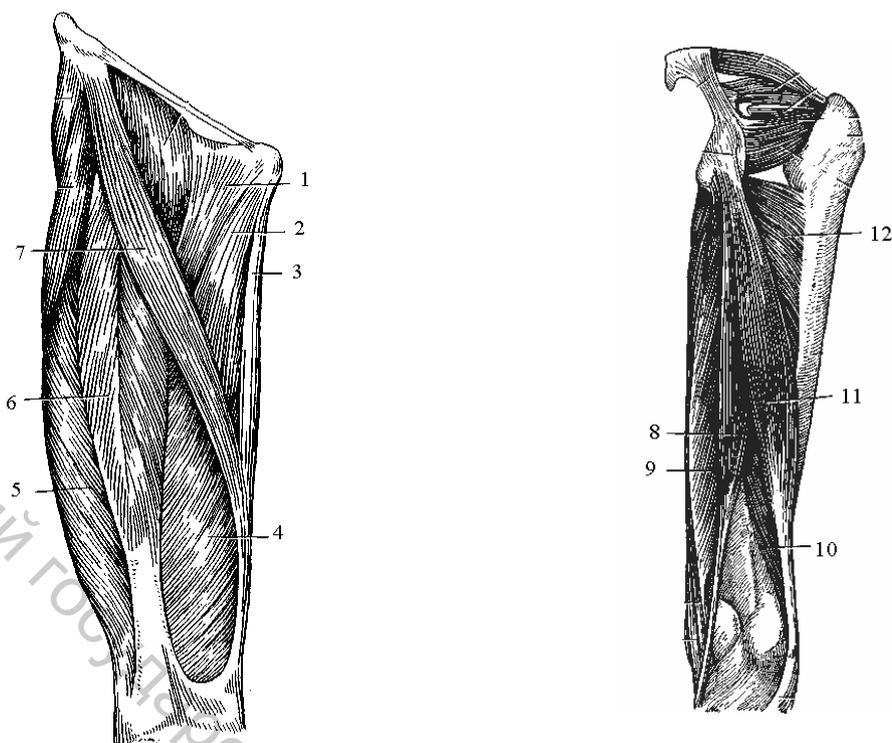


Рисунок 1.12 – Мышцы бедра. Передняя и задняя группы мышц

**Медиальная группа** мышц бедра состоит из гребешковой (1), нежной (3) и трех приводящих (длинной (2), короткой и большой (12)) мышц. Основная их функция – приведение бедра.

**Мышцы голени.** На голени различают **переднюю, заднюю и литеральную группы мышц** (рисунок 1.13). Все мышцы голени переходят на стопу.

**Передняя группа** состоит из передней большеберцовой (1), длинного разгибателя пальцев (III-V) (2) и длинного разгибателя большого пальца (3). Передняя большеберцовая мышца разгибает стопу и поднимает ее внутренний край (супинирует), а две другие – разгибают пальцы.

**Задняя группа** мышц голени образует два слоя: поверхностный и глубокий. Поверхностный слой включает трехглавую мышцу голени, которая имеет три головки. Две поверхностные головки образуют икроножную мышцу (4-5). Глубокая головка образует камбаловидную (6). Обе мышцы внизу образуют общее сухожилие (7) (ахиллово), которое прикрепляется к бугру пяточной кости. Трехглавая мышца производит сгибание в голеностопном суставе.

В состав глубокого слоя задних мышц голени входят три сгибателя: задняя большеберцовая мышца (9), длинный сгибатель пальцев (8) и длинный сгибатель большого пальца (10). Задняя большеберцовая мышца сгибает стопу и супинирует ее, т.е. поднимает ее внутренний край, а две другие мышцы сгибают пальцы и стопу.

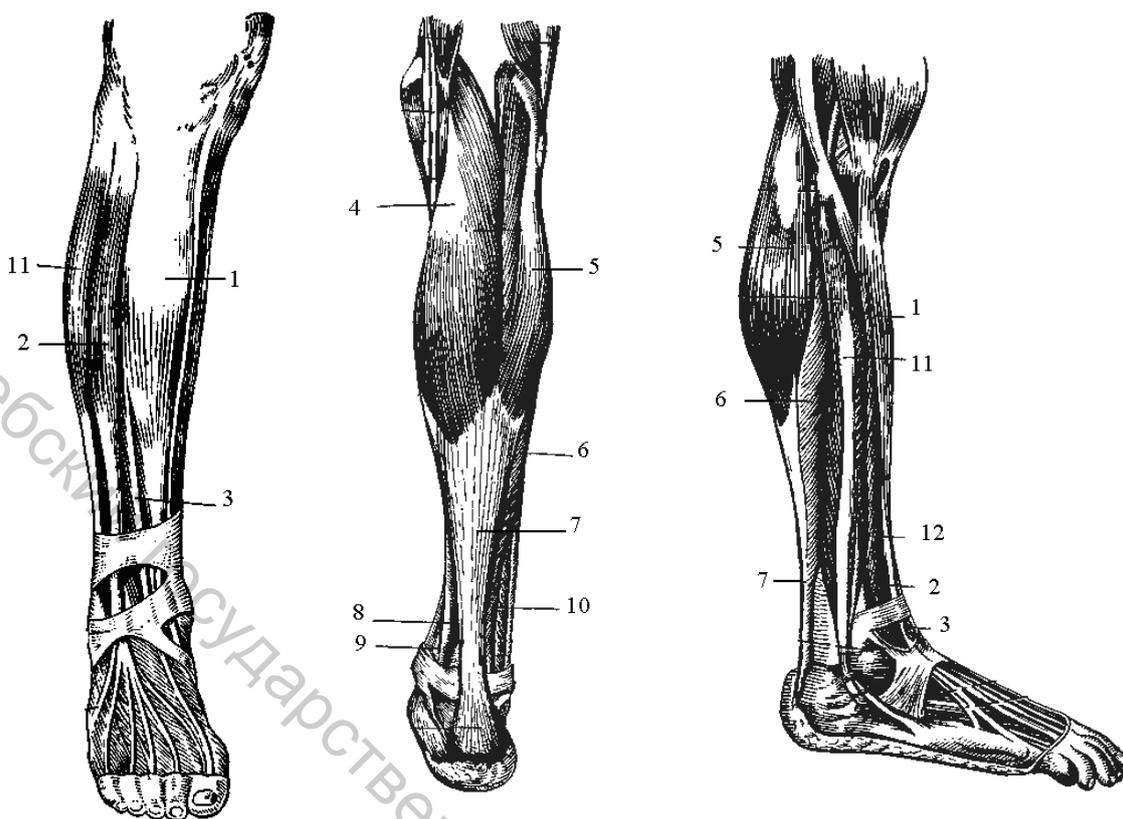


Рисунок 1.13 – Мышцы голени.  
Передние, задние, латеральные группы мышц

**Латеральная группа** мышц голени включает длинную (11) и короткую (12) малоберцовые мышцы. Сухожилия этих мышц переходят на стопу, огибая наружную лодыжку. Малоберцовые мышцы сгибают стопу и пронируют ее, т.е. поднимают наружный и опускают внутренний края стопы.

**Мышцы стопы.** На стопе различают мышцы тыла стопы и мышцы подошвы (рисунок 1.14). На тыле стопы (рисунок 1.14, а) располагаются короткий разгибатель большого пальца (2) и короткий разгибатель пальцев (1), который имеет три тонких сухожилия и четыре межкостные мышцы (3).

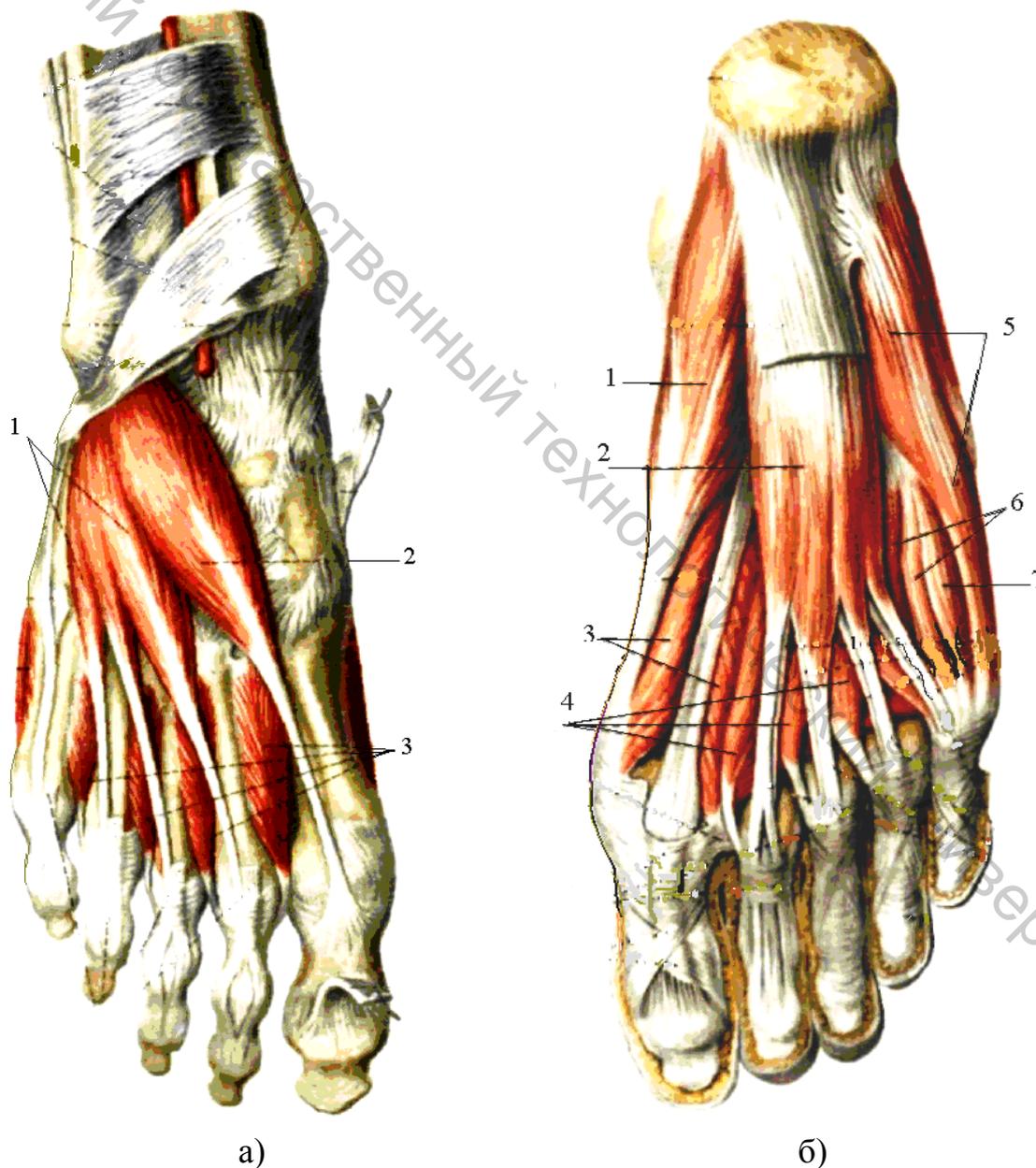
Подошвенные мышцы (рисунок 1.14, б) образуют три группы: медиальную (мышцы возвышения большого пальца), среднюю и латеральную (мышцы возвышения пятого пальца). К медиальной группе мышц принадлежат: короткий сгибатель большого пальца (3), мышца отводящая (1) и мышца, приводящая большой палец. Эти мышцы способствуют сгибанию, отведению и приведению большого пальца.

В среднюю группу входят: короткий сгибатель пальцев (2), квадратная мышца подошвы, червеобразные мышцы (4), три межкостные подошвенные мышцы (6). Эти мышцы сгибают пальцы, приводят их к среднему и отводят.

Латеральная группа образована: мышцей, отводящей пятый палец (5), мышцей, противопоставляющей пятый палец и коротким сгибателем пятого пальца (7). Основная функция этих мышц заключается в укреплении свода стопы.

Так как движения пальцев ноги крайне ограничены, то все эти мелкие мышцы имеют только некоторое подсобное значение при работе длинных мышц, которые расположены в области голени.

Фасция стопы на подошве образует крепкий сухожильный подошвенный апоневроз. Он начинается от пяточной кости и распространяется на пальцы своими отростками.



а) тыльная поверхность; б) подошвенная поверхность

Рисунок 1.14 – Мышцы стопы:

## 1.4 Сосудистая система

В сосудистой системе различают кровеносную и лимфатическую системы.

Кровь движется по кровеносным сосудам. Они представляют собой эластичные трубки разного диаметра. Все тело пронизано кровеносными сосудами, причем они, не прерываясь, переходят друг в друга и составляют единую замкнутую систему. Главным органом кровообращения является сердце.

Существуют **три вида кровеносных сосудов**: артерии, капилляры и вены. Они отличаются друг от друга как по своему строению, так и по функции.

**Артериями** называют сосуды, по которым кровь течет от сердца в органы. Они имеют сравнительно толстые стенки, состоящие из трех слоев или оболочек. Артерии имеют различный диаметр; чем дальше от сердца располагается сосуд, тем меньше его диаметр. Самая крупная артерия называется аортой. Внутри каждого органа артерия делится на более мелкие ветви. Самые мелкие артериальные сосуды разделяются на капилляры.

**Капилляры** представляют собой мельчайшие кровеносные сосуды, различимые только под микроскопом. Просвет капилляров изменчив, в среднем равен  $7,5 \mu$ . Длина каждого капилляра не превышает  $0,3$  мм. Количество капилляров очень велико. На каждый мм ткани любого органа приходится несколько сотен капилляров. Обмен веществ между кровью и тканями происходит только в капиллярах.

Артериальная кровь на протяжении капилляров превращается в венозную, которая оттекает в вены.

**Венами** называют сосуды, по которым кровь течет из органов к сердцу. В отличие от артерии, кровь по венам, благодаря наличию клапанов в них, течет в одном направлении – к сердцу. По мере приближения к сердцу диаметр венозных сосудов увеличивается.

В артериях кровь течет под большим давлением и с большой скоростью, в венах – с меньшей скоростью. Вен поэтому примерно в два раза больше, чем артерий.

Все кровеносные сосуды в теле человека составляют **два круга кровообращения**: большой и малый. **Большой круг кровообращения** представляет систему сосудов, по которым кровь совершает путь из левого желудочка сердца в органы, а из органов – в правое предсердие. **Малый круг кровообращения** – это система сосудов, по которой венозная кровь движется из правого желудочка в легкие, и из легких обогащенная кислородом артериальная кровь по четырем легочным венам (по две из каждого легкого) возвращается в левое предсердие. Из левого желудочка выходит самый

крупный артериальный сосуд – **аорта**, которая несет артериальную кровь для всего организма.

В аорте различают **восходящую часть, дугу аорты и нисходящую часть**. Восходящая аорта кровоснабжает сердце. От дуги аорты отходит подключичная артерия, продолжением которой является подкрыльцовая артерия, кровоснабжающая мышцы плечевого пояса и сумки плечевого сустава. На плече подкрыльцовая артерия переходит в плечевую, которая затем делится на локтевую и лучевую. Плечевая, локтевая и лучевая артерии кровоснабжают кожу, мышцы и кости верхних конечностей.

Нисходящая аорта делится на две части: **на грудную и брюшную аорты**. Брюшная аорта на уровне IV-V поясничных позвонков делится на две – **правую и левую** – общие подвздошные артерии, которые, в свою очередь делятся на **наружную подвздошную и внутреннюю подвздошную**. Одна из ветвей внутренней подвздошной артерии участвует в кровоснабжении тазобедренного сустава и мышц бедра. Наружная подвздошная переходит на бедро, и продолжение ее называется бедренной артерией, кровоснабжающей мышцы, кожу и кости бедра. Бедренная артерия переходит в подколенную, которая, в свою очередь, делится на переднюю и заднюю большеберцовые артерии, участвующие в кровоснабжении голени (мышц, кожи, костей). Задняя большеберцовая артерия проходит вниз, огибает внутреннюю лодыжку и выходит на подошвенную сторону стопы, где разветвляется на две подошвенные артерии – медиальную и латеральную, которые кровоснабжают все мышцы и кожу подошвенной стороны стопы.

Кровоснабжение тыла стопы осуществляется тыльной артерией стопы, которая является продолжением передней большеберцовой артерии.

Артерии человеческого тела на большом протяжении залегают в глубине между мышцами. Только в некоторых местах они располагаются близко к поверхности и не прикрыты мышцами. Например, тыльную артерию стопы легко прощупать, так как она прилегает к скелету и слабо покрыта мягкими тканями.

Отток венозной крови происходит по поверхностным и глубоким венам. Глубокие вены в области верхних и нижних конечностей являются парными и сопровождают одноименные артерии. Поверхностные вены лежат в подкожной клетчатке, и, если в ней мало жировой ткани, они отчетливо просвечивают сквозь кожу.

Кроме системы кровеносных сосудов в организме человека имеется лимфатическая система, которая является добавочной системой оттока, дополняющей функцию венозной системы.

При проектировании внутренней формы обуви (колодки)

необходимо учитывать, что даже небольшое давление на поверхность стопы приводит к сдавливанию капилляров и выдавливанию из них крови. Внешне это проявляется в виде местного побеления кожи. Продолжительное нарушение кровообращения в капиллярах может привести к травматическим поражениям.

Удобной обувью следует считать такую, которая не вызывает нарушений системы кровообращения кожных покровов и костной структуры стопы и тем самым обеспечивает ее нормальное функционирование. Известно, что стопа в обуви, особенно в туфлях и полуботинках, сжата в поперечном направлении. Уже при надевании обуви в положении ноги "на весу" отмечается сжатие стопы и растяжение материала верха в поперечном направлении. Для правильного определения величины давления обуви на стопу необходимо исходить из объективной оценки. Такой оценкой может служить изменение кровенаполнения при сжатии стопы. Так Гуровой Л.П., Пушкарем Ю.П. и Зыбиным Ю.П. [18] был использован метод продольной реографии для определения допустимого давления на стопу, которое не вызывало изменения кровенаполнения в сосудах. Этот метод наиболее полно отражает состояние кровотока не только в крупных, но и в венозных и в менее крупных артериальных сосудах. Давление было замерено в области, расположенной в пределах 0,48–0,68 Д стопы. В разных положениях оно различно:

- при горизонтальном положении равно 8,5 кПа (87 г/см<sup>2</sup>);
- при опоре на обе ноги – 18,5 кПа (185 г/см<sup>2</sup>).

В качестве допустимого давления верха обуви на стопу авторы считают 16,0 кПа [19]. Следует заметить, что начало сжатия человек ощущает уже при давлении 5,4 кПа.

В других исследованиях [11] для участка пучков приводятся более высокие значения величины допустимого давления – 34,0–40,5 кПа.

Однако, ряд исследователей [21,22,23] исходя из давления крови, считают, что давление обуви на стопу не должно превышать 4,5–6,0 кПа.

Работы, проведенные во ВЗИТЛП [24], показали, что величина давления существенно зависит от возраста носчика. Так, если ощущение дискомфорта стопы у женщин в возрасте 20–30 лет проявляется при давлении 4,23 кПа, а болевые ощущения при давлении 10,3 кПа, то для женщин в возрасте 60–70 лет эти величины составляют соответственно 2,84 и 5,52 кПа. Авторы делают вывод, что предельное значение давления для женщин в возрасте 20–30 лет составляет 2,7 кПа, для возраста 60–70 лет – 1,8 кПа.

Как видим, данные о допустимом давлении верха обуви на стопу у разных исследователей значительно отличаются.

## 1.5 Нервная система

Нервная система регулирует деятельность различных органов, систем органов и всего организма. Сокращение мышц, работа сердца, обмен веществ и все другие многообразные процессы, постоянно совершающиеся в организме, происходят под влиянием нервной системы. Нервная система осуществляет связь между разными органами и системами, согласовывает (координирует) их деятельность, обуславливая тем самым функциональное единство организма.

Нервная система осуществляет еще одну важную функцию – взаимодействие организма с окружающей его внешней средой.

Основной структурной и функциональной единицей нервной системы является нервная клетка – **нейрон**.

Нервная клетка – нейрон – имеет тело, содержащее оболочку, ядро и протоплазму, отростки (рисунок 1.15). Один из них – самый длинный – является непосредственным отростком нервной клетки и называется **нейритом**.

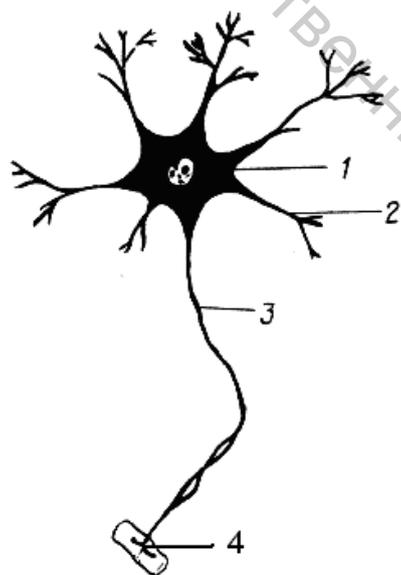


Рисунок 1.15 – Строение нервной клетки:  
1 – тело; 2 – дендрит; 3 – нейрит,  
4 – рецептор

Коротких отростков очень много, и они располагаются наподобие корней дерева, поэтому их называют **дендритами**.

Нейриты бывают длиной до метра. На конце они образуют чувствительное нервное окончание – **рецептор**. Рецепторы находятся в коже, мышцах, внутренних органах и т.д. Они превращают энергию внешнего раздражения в нервный импульс, который идет к телу нервной клетки.

Нервные клетки обладают свойством проведения нервного возбуждения – **нервного импульса**. Восприятие раздражения и ответ организма на него осуществляется не одним, а не-

сколькими нейронами (нервными клетками).

Нейроны соединяются друг с другом путем контакта разветвлений одной нервной клетки с телом или отростками (дендритами) другой клетки и образуют так называемую **рефлекторную дугу**. Рефлекторная дуга как минимум состоит из двух нейронов: **чувствительного и двигательного**.

Внешнее раздражение идет к телу нервной клетки (чувствительной), а от нее к двигательным клеткам, а от них нервной импульс достигает рабочего органа, обеспечивающего ответ на внешнее раздражение.

Нервная система разделяется на **центральную и периферическую части**. Это деление в известной степени условно, так как нервная система – едина.

**Центральная нервная система** состоит из **головного и спинного мозга**. К **периферической нервной системе** относятся **нервные сплетения и нервы**.

Разница в отношении строения центральной и периферической нервной систем состоит в том, что центральная часть нервной системы содержит скопление тел нейронов (нервных клеток); периферическая же часть нервной системы представлена главным образом нервами, т.е. пучками нервных волокон – нейритов.

Основной частью нерва являются нервные волокна, объединенные в пучки. Пучки нервных волокон охвачены оболочками и связываются друг с другом рыхлой соединительной тканью, в которой проходят питающие нерв сосуды. Весь нерв покрыт соединительной оболочкой.

Число нервных волокон в нерве исчисляется тысячами. По характеру волокон нервы делятся на чувствительные, двигательные и смешанные (состоят из двигательных и чувствительных нервных волокон).

Нервы, выйдя из позвонков, образуют сплетения. Верхние конечности иннервируют плечевое сплетение, нижние конечности иннервируют крестцовое сплетение.

**Мышцы верхней конечности иннервируют следующие нервы:**

- **плечо:** переднюю группу мышц – мышечно-кожный нерв; заднюю группу – лучевой нерв.

- **предплечье:** переднюю группу мышц – срединный и локтевой нервы; заднюю группу – лучевой нерв.

- **кисть:** локтевой и срединный нервы.

**Мышцы нижней конечности иннервируют следующие нервы:**

- **бедро:** переднюю группу мышц – бедренный нерв, медиальную группу – запирательный нерв, заднюю группу – седалищный нерв.

- **голень:** переднюю группу мышц – поверхностный малоберцовый нерв, заднюю группу – большеберцовый нерв.

- **стопа:** подошвенные мышцы иннервируются из большеберцового нерва и из глубокого малоберцового нерва.

Нервы, идущие на подошву стопы, проходят вместе с сосудами под внутренней лодыжкой. На подошве стопы нервы хорошо защищены мягкими тканями. Однако несмотря на это, в случае резко выраженного

уплощения стопы возможно некоторое сдавливание их и связанное с этим появление болезненных ощущений.

## 1.6 Кожа

### 1.6.1 Строение кожи

Кожа состоит из трех слоев (рисунок 1.16): эпидермис – наружный слой; дерма – собственно кожа; подкожно-жировой слой.

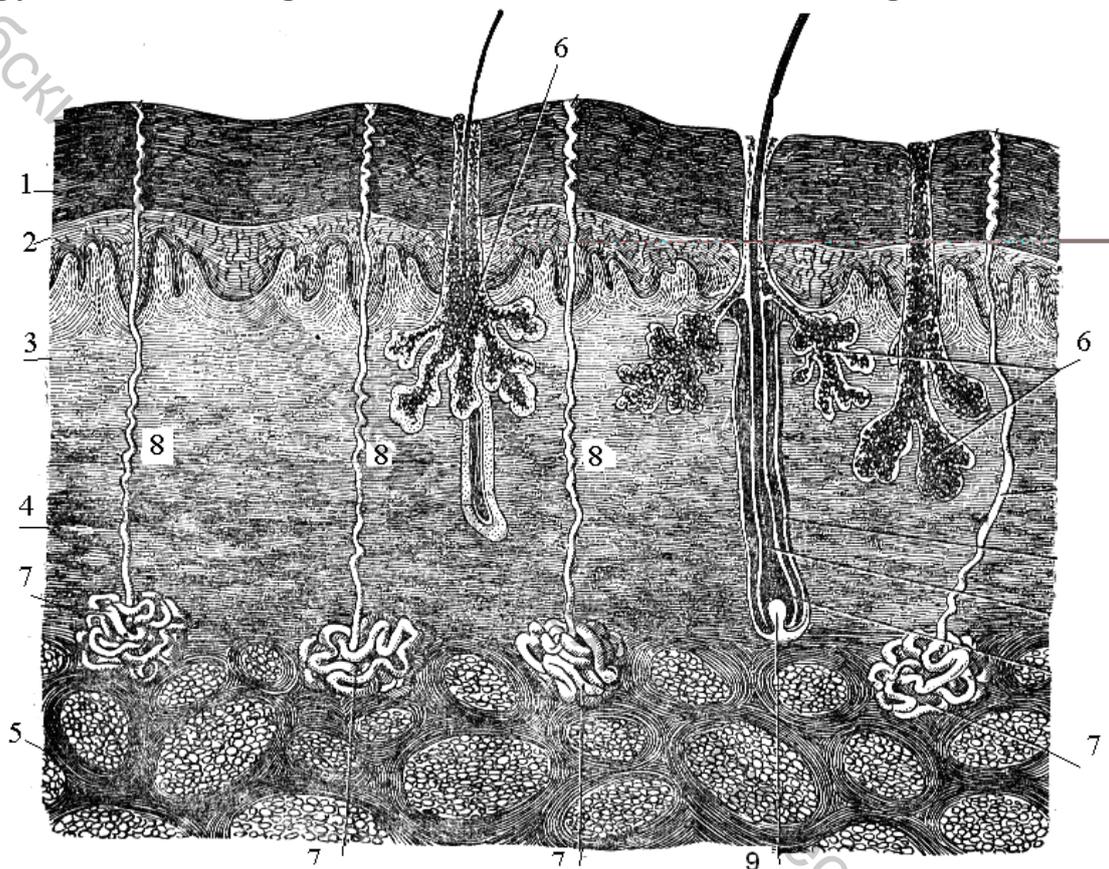


Рисунок 1.16 - Кожа (вертикальный разрез):

1- роговой слой эпидермиса; 2 – ростковый слой эпидермиса; 3 – сосочковый слой дермы; 4 – сетчатый слой дермы; 5 – подкожно-жировой слой; 6 – сальная железа; 7 – потовая железа, 8 – выводной проток потовой железы; 9 – волосяная луковица

**Эпидермис** – наружный слой кожи, состоящий из двух слоев, которые образованы клетками правильной формы. Клетки поверхностного слоя эпидермиса ороговевают и, постепенно слущиваясь, заменяются новыми. Этот слой различной толщины в различных частях тела. Наиболее толст он на ладонной стороне кисти и подошвенной стороне стопы.

Замещение утраченных клеток происходит путем непрерывного

образования молодых клеток в глубоком **ростковом слое** эпидермиса.

**Дерма** – собственно кожа (толщиной 0,5–5,0 мм) – состоит из двух слоев: **сосочкового** и **сетчатого**, переходящих один в другой. Сосочковый слой прилегает к эпидермису. Он не очень большой и образован рыхлой волокнистой соединительной тканью. В нем преобладают эластичные волокна. В сосочковом слое располагаются сосуды и нервные чувствительные окончания – рецепторы.

Остальная часть дермы – это **сетчатый слой**, наиболее мощный слой кожи. В сетчатом слое больше коллагеновых волокон, образующих плотную соединительную ткань. В сетчатом слое находятся: корни волос, потовые и сальные железы.

Самый глубокий слой кожи – **подкожно-жировой слой**. Он состоит из пучков коллагеновых волокон, между которыми имеются большие скопления жира. Благодаря наличию жира, кожа является плохим проводником тепла.

Наличие на подошве жировых клеток имеет большое значение для более равномерного распределения давления на опорную поверхность стопы при стоянии и ходьбе.

Общая площадь кожного покрова у взрослого человека равна 1,5–2,0 м<sup>2</sup>. Толщина кожи колеблется от 1 до 4 мм. Наиболее толстая кожа – на подошве стопы.

В коже находится большое количество сальных и потовых желез.

**Сальные железы** располагаются в дерме на протяжении всей поверхности тела, кроме ладоней и подошв. Большинство их находится у корней волос и является железами волосяного мешка. Сальные железы выделяют кожное сало, которое смазывает кожу и волосы.

**Потовые железы** располагаются в глубоком слое собственно кожи и представляют собой длинные трубочки, свернутые в клубочек. Выводной проток трубочки открывается на поверхность кожи маленьким отверстием – порой.

Общее количество потовых желез достигает у человека 2-х миллионов, особенно много их на ладонях и подошвах. На стопе потовые железы распределены неравномерно. Наиболее густо (300–350 на 1 см<sup>2</sup>) они расположены на подошвенной поверхности стопы под сводом и в области головок плюсневых костей. Наименьшее количество потовых желез (130–200 на 1 см<sup>2</sup>) расположено в области наружных лодыжек и пяточного сухожилия.

Потовые железы несут выделительную функцию. Выделяемый ими пот представляет собой бесцветную соленую жидкость, содержащую около 98–99% воды. В состав пота входят также: следы

белка и мочевины, мочевая кислота, жиры, холестерин, хлористый натрий и т.д.

Вещества, входящие в состав пота, выделяются из крови.

При выделении пот имеет кислую реакцию. Под действием же бактерий отдельные вещества, входящие в состав пота, легко расщепляются, образуя летучие вещества, обладающие специфическим неприятным запахом, и аммиак, который сообщает поту щелочной характер.

Количество выделяемого пота связано не только с количеством потовых желез на единицу площади кожи, но и с различной интенсивностью их функционирования. Одним из усиливающих моментов потовыделения является давление на данный участок. Расширение кожных сосудов также повышает потоотделение, которое имеет большое значение в процессе терморегуляции.

Кроме пота с поверхности тела человека постоянно происходит испарение влаги.

Процесс потоотделения регулируется центральной нервной системой, в которой находятся центры потоотделения. Выделение пота возникает рефлекторно при самых различных видах нагревания тела (функция терморегулирования). Например, при высокой температуре среды, при приеме внутрь горячей жидкости, при усиленной мышечной работе. Усиленное выделение пота вызывается и эмоциональными возбуждениями (испуг, радость).

Количество пота и влаги, выделяемое человеком через кожу со всей поверхности, может быть разнообразным: от 0,5 до 10 литров в сутки. Интенсивность изменяется от различных условий: температуры и влажности воздуха, физической работы и т.д.

Исследования влагоотделения стопы, проведенные в МТИЛПе в 1960 г., показали, что с поверхности герметически закрытой стопы человека, находящейся в покое, выделяется в среднем 1,2 г/час; при умеренной нагрузке – от 1,8 до 3,2 г/час, при значительной нагрузке – более 6÷12 г/час.

Кожа человека выполняет ряд жизненно важных функций:

- защитная функция. Предохраняет организм от вредных воздействий со стороны внешней среды. Через здоровую кожу не проникают возбудители разных заболеваний;

- кожа препятствует потере воды, но она также плохо всасывает различные вещества. Есть, правда, вещества, которые всасываются кожей хорошо, – это йод, хлороформ, фенол, иприт. На этом свойстве кожи основано применение отравляющих веществ;

- дыхательная функция. Через кожу в клетки проникает кислород. Если бы площадь кожи была бы в 20 раз больше, то она могла бы заменить легкие. Через кожу также непрерывно выделяется углекисло-

та;

- кожа участвует в обмене веществ.

- терморегулирующая функция. В основе механизма терморегулирования находится изменение тока крови в капиллярах, расположенных в коже. При повышении температуры внешней среды сосуды расширяются, увеличивая приток крови и теплоотдачу, избыточное тепло удаляется через потовыделение. Под влиянием низкой температуры, наоборот, сосуды сжимаются и отдача тепла уменьшается. Следовательно, кожа является главным регулятором температуры тела;

- кожа – это орган чувств. Она воспринимает температуру, давление, прикосновение, вибрацию. Разные участки реагируют по-разному. На 1 см<sup>2</sup> в среднем приходится 100–200 болевых точек, 12–15 – холодных точек, 1–2 – тепловых точек, 25 – точек давления.

### 1.7 Стопа человека в целом

Стопа представляет собой наиболее отдаленный от туловища отдел нижней конечности человека, служащий опорным и рессорным органом при различных движениях тела.

В стопе различают следующие участки: предплюсневой (пяточный), плюсневой (геленочный) и пальцевый.

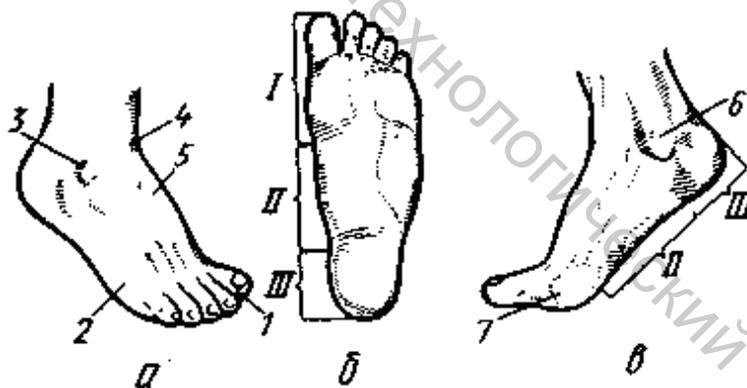


Рисунок 1.17 - Топография стопы:

а – вид с наружной стороны; б – вид со стороны ходовой поверхности; в – вид с внутренней стороны; I – передняя часть стопы; II – средняя или геленочная часть стопы; III – задняя или пяточная часть стопы; 1 – пальцы; 2 – наружный пучок; 3 – наружная лодыжка; 4 – место сгиба стопы; 5 – гребень (подъем); 6 – внутренняя лодыжка; 7 – внутренний пучок

Кости предплюсны и плюсны, соединяясь между собой, образуют свод, выполняющий роль пружинящего аппарата стопы. Благодаря наличию свода стопа имеет большую эластичность. При ходьбе

человека поглощаются толчки, удары, сотрясения, исходящие от соприкосновения стопы с почвой.

В стопе принято различать два продольных свода (наружный и внутренний) и один поперечный.

**Наружный свод** состоит из пяточной кости, кубовидной, IV и V-й плюсневых костей.

**Внутренний свод** состоит из таранной кости, ладьевидной, трех клиновидных и I–III-й плюсневых костей.

Наружный свод играет роль основной опоры, и поэтому его называют «опорным», или «грузовым».

Внутренний свод играет роль пружинящего приспособления, поэтому его называют «рессорным».

Поперечный свод образован головками плюсневых костей (первой – пятой). Однако в последнее время некоторые исследователи отрицают наличие в стопе поперечного свода, основываясь на данных о распределении давления между головками плюсневых костей.

Они считают, что поперечный свод образуется в результате того, что внутренний и наружный края стопы лежат несколько ниже ее средней части. Кроме того, образованию поперечного свода способствует форма клиновидных костей.

Поперечный свод стопы хорошо выражен только в области плюсны и переднего отдела предплюсны. В области пяточной и таранной костей он отсутствует. Лучше всего он выражен клиновидными и кубовидной костями и основаниями плюсневых костей. Спереди он быстро уплощается, так что головки плюсневых костей при стоянии располагаются почти в горизонтальной плоскости.

Несмотря на различные представления о строении свода стопы, в последние годы большинство ученых приходят к выводу, что исходя из анатомического строения стопы и ее функционирования правильнее говорить о своде вообще или же о сводчатости стопы, а не об отдельных ее сводах, так как деление на продольные и поперечные своды, а продольный, в свою очередь, на наружный и внутренний можно проводить только чисто условно.

В основании весь свод стопы как бы стянут крепкой сухожильной пластиной, которая одним концом прикреплена к пяточному бугру, а другим – к основаниям пальцев (подошвенный апоневроз).

Мышцы стопы также играют существенную роль в поддержании свода, благодаря их сокращению. Мышцы, прикрепляясь к подошвенному апоневрозу и связкам, напрягают их и придают своду упругость.

В зависимости от нагрузки и степени утомления мышц форма сводов стопы и размеры могут изменяться. У большинства людей под влиянием значительной нагрузки на стопу, например, при длительных переходах, стопа несколько удлиняется, становясь одновременно ниже

и шире. У некоторых же людей, наоборот, происходит повышение свода и уменьшение длины стопы за счет повышения тонуса мышц.

Однако, как правило, такие изменения нестойки, и после отдыха размеры стопы возвращаются к первоначальным.

Область стопы между плюсной и пяткой, несмотря на большое количество образующих костей, малоподвижна и практически несжимаема. Только мышцы, связки и сухожилия, обильно расположенные на плантарной части стопы, жировая прокладка и кожа позволяют несколько сжимать эту часть стопы.

Плюсневая часть стопы более подвижна и сжимаема благодаря некоторой подвижности плюсневых костей, наличию мышц и связок. Большую подвижность имеют плюснефаланговые сочленения стопы, где происходит основной ее изгиб при движении. Наиболее подвижна передняя часть стопы, т. е. пальцы. Большая подвижность пальцев позволяет легко и безболезненно сжимать их и тем самым изменять поперечный размер этой части стопы. При самом небольшом, вполне допустимом обжиге стопы рукой поперечные размеры ее значительно уменьшаются: на расстоянии 1 см от крайней передней точки стопы примерно на 20 % и на расстоянии 5 см от той же точки – примерно на 9 %.

### **1.7.1 Патологические отклонения в строении и функции стопы**

К наиболее важным и сравнительно часто встречающимся отклонениям в строении и функции стопы относятся:

- плоскостопие;
- отклонение большого пальца наружу;
- молоткообразные пальцы;
- мозоли, омозолелости и потертости;
- гипергидроз (усиленное потовыделение).

Плоскостопие, отклонение большого пальца наружу, молотообразные пальцы относятся к статическим деформациям стоп. Причины статических деформаций стоп условно можно подразделить на внешние и внутренние.

К внешним причинам относятся перегрузки, связанные, например, с характером работы, нерациональная обувь и т.д. Среди внутренних причин решающее значение имеет слабость мышечного аппарата.

Статическое плоскостопие обычно развивается постепенно: стопа понемногу теряет ту характерную для человека выемку, которая находится под ее внутренним сводом, увеличивается в длину и ширину. Внутренний свод стопы может при этом опуститься настолько, что при наступании подошва полностью касается пола (рисунок 1.18, 1.19). Кости

стопы, принимающие участие в образовании ее сводов, смещаются при этом друг относительно друга.

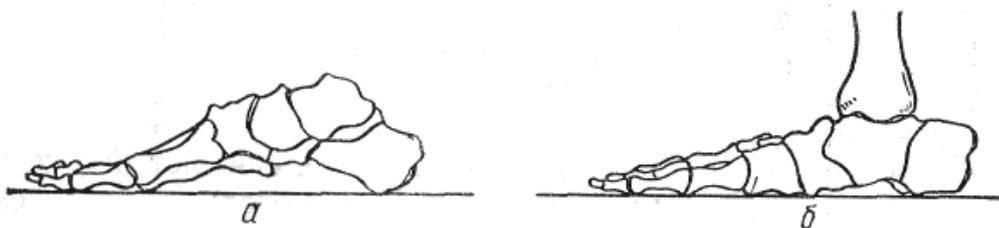


Рисунок 1.18 – Нормальная (а) и плоская (б) стопа

Чаще всего в развитии плоскостопия играют как внутренние, так и внешние факторы.

Различают три степени продольного плоскостопия.

**Первая степень** (слабовыраженное продольное плоскостопие) характеризуется опусканием продольного свода под нагрузкой, усталостью в ногах.

**Вторая степень** (умеренно выраженное плоскостопие) характеризуется понижением продольного свода без нагрузки и значительным понижением при нагрузке; походка теряет эластичность, плавность.

**Третья степень** (резко выраженное продольное плоскостопие) характеризуется резким понижением свода, опорная поверхность значительно увеличивается, ходьба болезненная, затруднена, передний отдел стопы при ходьбе отводится наружу.

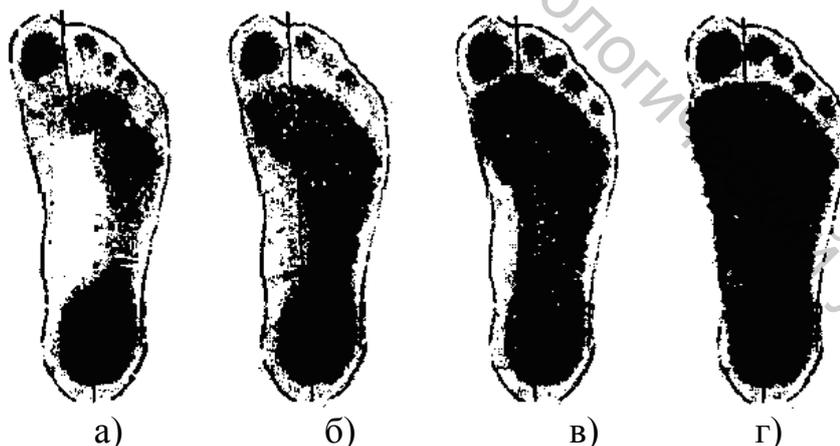


Рисунок 1.19 – Опорная поверхность стопы при различных степенях плоскостопия:

- а) стопа с нормально развитым сводом; б) уплощение свода I степени;  
в) уплощение свода II степени; г) уплощение свода III степени

Довольно частой деформацией стопы является **отклонение большого пальца наружу** (hallux valgus) (рисунок 1.20). Многие

ученые связывают эту деформацию с поперечным плоскостопием, т.е. распластыванием плюснефалангового сочленения.

При отклонении большого пальца наружу головка первой плюсневой кости резко выступает внутрь, а согнутый большой палец располагается под вторым и третьим пальцами, или над ними. Походка при этом изменяется и сопровождается появлением болей.



Рисунок 1.20 – Отклонение большого пальца

Одной из основных причин частого развития этой деформации у женщин считают ношение обуви с узкими носами и на высоких каблуках. При этом происходит нарушение мышечного равновесия: тяга мышц, отклоняющих большой палец наружу, становится сильнее тяги мышц, отклоняющих его внутрь. Различают 3 степени поперечного плоскостопия (отклонения большого пальца наружу): I-я степень – до  $29^{\circ}$ , II-я – до  $39^{\circ}$ , III-я – более  $40^{\circ}$ .

Нередко встречается ненормальное строение стопы в виде **молоткообразных пальцев**, т.е. пальцы в этом случае согнуты в межфаланговых суставах, напоминая формой молоточки. При этом они в области суставов значительно выступают вверх и легко натираются обувью.

Кроме статических деформаций, выделяют также **функциональную недостаточность стоп**, которая характеризуется быстрой утомляемостью нижних конечностей, болезненностью стоп и голени, отечностью мягких тканей стоп, неустойчивостью суставов под нагрузкой (подвертывание стопы при ходьбе и беге). Видимых же изменений стопы при этом не наблюдается.

Статические деформации и функциональная недостаточность стоп снижают трудоспособность человека. К мероприятиям по профилактике и лечению деформаций стоп относится правильное проектирование обуви, рациональные условия труда и быта (не связанные с ношением тяжести или длительным стоянием), физические упражнения, массаж и применение корригирующих приспособлений. Их назначение – предохранить стопы от прогрессирования деформаций, разгрузить мышцы и связочный аппарат стоп от перегрузок или защитить болезненные участки стоп.

Наиболее распространенным видом корригирующих приспособлений являются **супинаторы** (рисунок 1.21).

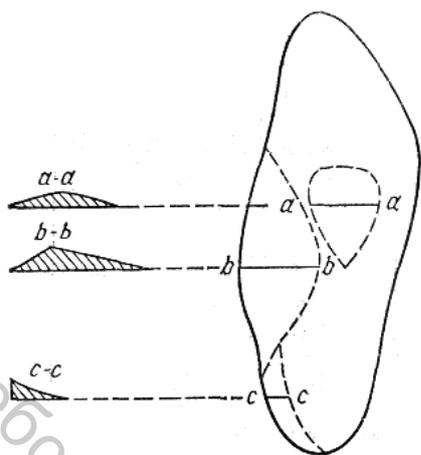


Рисунок 1.21– Стелька вкладная профилактическая

Их задача – поддержать своды стопы в период утомления мышц. При этом их форма и размеры должны быть такими, чтобы свод опирался на супинатор только в период утомления мышц, т.е. когда свод понижается.

**Омозолелость** представляет собой приобретенное утолщение кожи, обычно ограниченное небольшим участком. Причиной омозолелости является систематическое давление отдельных участков и деталей обуви на поверхность

стопы или их трение. Утолщению подвергается главным образом роговой слой кожи. Первоначально давление вызывает сжатие кровеносных сосудов, вслед за которым происходит их расширение, способствующее усиленному образованию и утолщению рогового слоя. Наиболее часто омозолелость развивается на подошве стопы. Нередко на месте омозолелости появляются трещины, через которые в организм может попадать инфекция. Обычно с прекращением давления или трения омозолелость сама собой постепенно исчезает.

Разновидностью омозолелости является **мозоль**, развивающаяся на стопе при систематическом трении или давлении обуви. Мозоль характеризуется значительной толщиной рогового слоя, уходящего в глубину собственно кожи. Этот слой давит на сосочки, содержащие нервные окончания, вследствие чего мозоль может причинить сильную боль. Сосочки при этом воспаляются и частично омертвевают.

В тех случаях, когда давление или трение имеет относительно небольшую величину и концентрируется на небольшом участке стопы, образуется **потертость**.

Потертость представляет собой в большинстве случаев поверхностное повреждение кожи. Различают три степени потертости: I-я характеризуется наличием красноты и болезненности, II-я – появлением пузырей с жидким содержанием, III-я – образованием изъязвлений.

После длительных переходов в армии во время империалистической войны в некоторых полках потертость наблюдалась почти у 50 % личного состава. Потертость ног увеличивает усталость и делает ходьбу болезненной и утомительной. Основная причина потертости заключается в плохой форме и пригонке обуви, на внутренней стороне которой к тому же нередко имеются складки. На появление потертости влияет также качество портянок и чулок. Борьба с потертостью сводится к рационализации формы и конструкции обуви, к ее хорошей пригонке и

к умелому пользованию внутренней обувью, т.е. портянками, чулками, к хорошему уходу за ногами.

**Гипергидроз** – усиленное потовыделение стопы – представляет собой расстройство функций потовых желез. При этом общее количество пота, выделяемого кожным покровом, значительно выше обычного, и состав его может отличаться от нормального.

Избыток выделения пота приводит к тому, что обувь, приспособленная к нормальному выделению влаги, становится влажной. Это, в свою очередь, приводит к раздражению поверхности стопы и может вызвать заболевание ее кожного покрова. При разложении пота образуется много щелочи, что приводит к разрушению материалов обуви.

Усиленная работа потовых желез обычно связана с ненормальным функционированием вегетативной нервной системы, управляющей потовыделением. Гипергидроз может наблюдаться у совершенно здоровых людей.

Для борьбы с усиленной потливостью кроме общих мер укрепления нервной системы применяются меры местного характера (частое мытье ног, стрижка ногтей, частая смена носок, чулок и т.д.).

## 1.8 Контрольные вопросы

1. Каковы основные функции скелета?
2. Какие по форме кости выделяют в скелете?
3. Строение костей свободных верхних и нижних конечностей.
4. Какие соединения костей различают в скелете?
5. Строение сустава.
6. Какими костями образованы и как называются суставы верхних конечностей? Движение в этих суставах, и вокруг каких осей?
7. Какими костями образованы и как называются суставы нижних конечностей? Движение в этих суставах, и вокруг каких осей?
8. Каково строение мышц?
9. Какие группы мышц расположены на плече, предплечье и кисти?
10. Какие группы мышц расположены на бедре, голени и стопе?
11. Какие кровеносные сосуды различают в теле человека? Их функции?
12. Как осуществляется восприятие раздражения и ответ организма на него?
13. Строение кожи.
14. Какие функции выполняет кожа человека?
15. Патологические отклонения в строении и функции стопы.

## Часть 2. АНТРОПОМЕТРИЯ

Чтобы сконструировать обувь или перчатки, недостаточно изучить анатомию и физиологию стопы и кисти. Так как если строение стоп и кистей рук у всех людей более или менее одинаково, то по размерам они сильно разнятся между собой в зависимости от возраста, пола, профессии, бытовых условий и т.д.

При индивидуальном методе изготовления изделий можно снять мерку с ноги или руки потребителя и по ней пошить обувь или перчатки. При массовом же производстве задача значительно усложняется.

При массовом производстве изделия выпускаются фабриками в больших количествах, причем на неизвестного потребителя. В силу ряда причин фабрики вынуждены также выпускать изделия ограниченного количества форм и размеров (иначе, например, на обувных фабриках пришлось бы иметь миллионы колодок и делать миллионы различных по размерам заготовок). Потребитель же подбирает и приобретает изделия в магазине из имеющегося ассортимента.

Поэтому фабрики должны выпускать продукцию таких размеров и форм, чтобы большинство населения смогло подобрать и приобрести себе вполне удобные изделия.

Исследования ученых показали, что это вполне возможно, и фабрики могут изготавливать обувь и перчатки ограниченного количества форм и размеров, удовлетворяющие большинство населения страны.

Для этого необходимо установить размеры и форму стоп и кистей рук населения и произвести группирование их на типичные по форме и размерам, что достигается только массовым изучением последних.

Этими вопросами и занимается наука антропометрия.

**Антропометрия** (от греческого *anthropos* – человек, *metreo* – измеряю) – это раздел антропологии, занимающийся измерениями тела и его частей.

Антропометрия занимается изучением типичного, а не отдельного человека.

### 2.1 Антропометрия стоп и голеней

#### 2.1.1 Методика антропометрических исследований

При проведении антропометрических исследований для получения точных и сравнимых данных измерения производят либо между определенными точками на стопе (так называемыми антропометрическими точками, большинство из которых соответствует ярко выраженным

и легко фиксируемым образованиям скелета, концам костных отростков, дугам и т.д.) либо по точно очерченным границам мягких тканей.

Все измерения проводят в определенных антропометрических плоскостях. Размеры, лежащие в одной сагиттальной и одной горизонтальной, но разных фронтальных плоскостях, называют продольными, или длинами (например, длина стопы, длина пальцев, длина до центра внутренней лодыжки и т.п.). Размеры, лежащие в одной горизонтальной и одной фронтальной плоскостях, но разных сагиттальных, называют поперечными (например, ширина стопы, ширина пятки и т.п.).

В основу всей системы антропометрического изучения стопы и голени положены следующие принципы:

- положение каждой антропометрической точки измеряют в трех направлениях – по длине, ширине и высоте. Все длиннотные размеры стопы измеряют от наиболее выступающей точки пятки;

- поперечные сечения стопы проходят параллельно фронтальной плоскости (касательной к пятке), поперечные сечения голени располагаются перпендикулярно условной вертикальной оси голени. По этим сечениям производится обмер их периметров (обхватов);

- все высотные размеры определяются от плоскости опоры стопы.

Размерная характеристика тела человека дается в виде ряда отдельных измерений, называемых размерными признаками.

Основными **размерными признаками** стопы и голени являются (рисунок 2.1.):

- 1) длина стопы «Д ст.» – расстояние от наиболее выступающей точки пятки до наиболее удаленной точки на первом или втором пальце;

- 2) длина стопы до внутреннего пучка «Д в.п.» – расстояние от наиболее выступающей точки пятки до центра головки первой плюсневой кости;

- 3) длина стопы до наружного пучка «Д н.п.» – расстояние от наиболее выступающей точки пятки до центра головки пятой плюсневой кости;

- 4) ширина стопы «Ш н.п.» и «Ш в.п.» – расстояния по линиям сечений, проведенным перпендикулярно продольной оси через наиболее выступающую точку наружного и внутреннего краев стопы (наружный и внутренний пучки);

- 5) ширина пятки «Ш п.» – расстояние по линии сечения, проведенного через центр пятки (самое широкое место отпечатка пятка стопы);

- 6) обхват стопы через внутренний пучок «О в.п.» – периметр сечения, проходящего через головку первой плюсневой кости;

- 7) обхват стопы через наружный пучок «О н.п.» – периметр сечения, проходящего через головку пятой плюсневой кости;

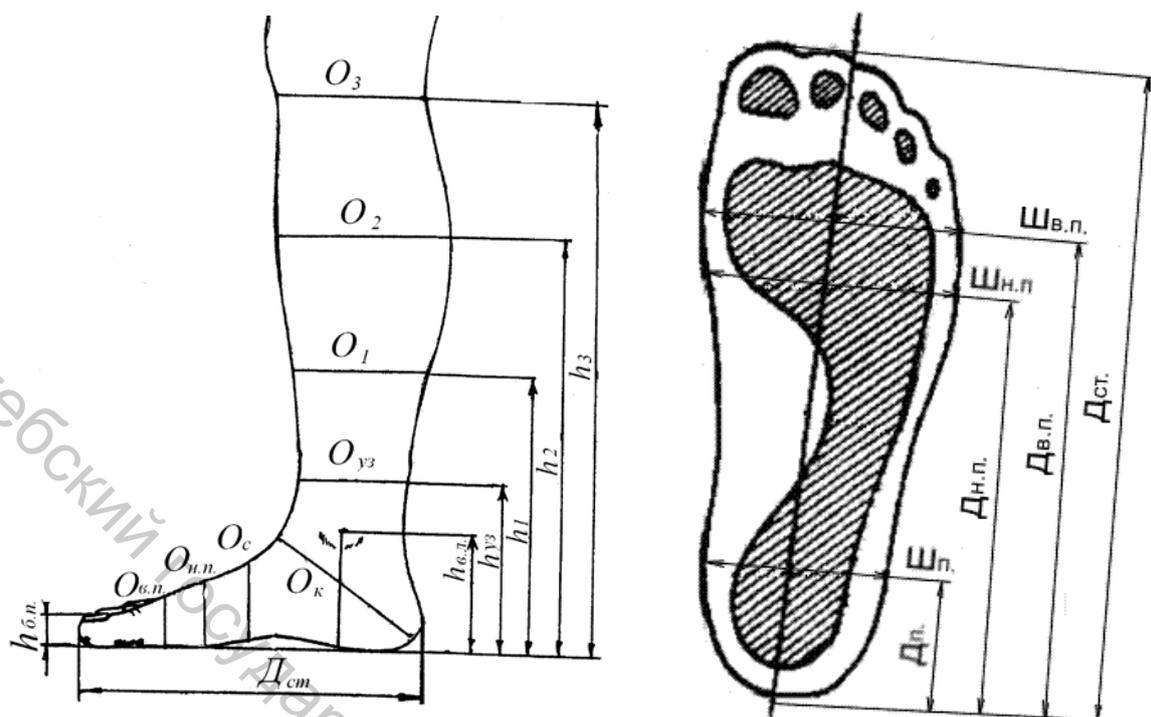


Рисунок 2.1 – Основные размерные признаки стопы и голени

8) обхват через середину стопы «О с.» – периметр сечения, проходящего через середину длины стопы;

9) обхват через пятку и сгиб (обхват косой) «О к.» – периметр сечения, проходящего через точку сгиба голеностопного сустава и нижнюю точку пяточного закругления (косой подъем);

10) обхват голени над лодыжками «О узк.» – периметр сечения, проходящего по наиболее узкому месту голени над лодыжками;

11) обхват голени на уровне нижнего края икроножной мышцы «О<sub>1</sub>»;

12) обхват голени в месте наибольшего развития задней группы мышц «О<sub>2</sub>»;

13) обхват голени под коленной чашечкой в месте наибольшего сужения голени «О<sub>3</sub>»;

14) высота голени до наиболее узкого места «h узк.»;

15) высота голени до области наибольшего развития икроножной мышцы «h<sub>2</sub>»;

16) высота голени до точки подколенной впадины «h<sub>3</sub>»;

17) высота большого пальца «h б.п.» – расстояние от опорной поверхности до наиболее выступающей точки большого пальца.

### 2.1.1.1 Основные методы и средства исследования размеров

## стоп и голеней

В настоящее время известно много различных методов исследования размеров ног. Их можно подразделить на две большие группы: контактные и бесконтактные (рисунок 2.2).

К **контактным** относятся методы, основанные на непосредственном контакте измеряющего инструмента с ногой. При этом полученная информация может быть **дискретной** – в виде координат отдельных точек и **аналоговой** – характеризующей данные об отдельных сечениях или характерных линиях.

Для получения **дискретной информации** используются приборы, которые определяют положение точек ноги в системе трех координат. На рисунке 2.3 показан стопомер Ю.П. Зыбина.

**Стопомер** состоит в основном из взаимноперпендикулярных стеклянных плоскостей (плоскости координат) и двух измерителей с тремя шкалами для установления расстояния данной точки на стопе от каждой из трех плоскостей прибора. Боковая и задняя стенки стопомера делаются обязательно из стекла, потому что это позволяет регулировать прижатие стопы к стенкам, так как даже при несильном прижатии возникает побеление ткани, которое очень хорошо заметно. При измерении стопа устанавливается в углу, образованном задней и боковой стенками стопомера, таким образом, чтобы внутренний пучок и боковой край пятки одновременно коснулись боковой стенки, а наиболее выступающая задняя точка пятки – задней стенки, т.е. получается, что стопа как бы вписывается в оси координат.

Однако данная конструкция имеет ряд недостатков. В частности, если стопа имеет такой дефект, как отклонение большого пальца наружу, то в этом случае головка первой плюсневой кости резко выступает, что, в свою очередь, не позволяет правильно установить стопу в стопомере (передний отдел отклоняется наружу). Это приводит к тому, что размеры такой стопы будут отличаться от тех, которые были бы, если бы не было патологических отклонений.

Более совершенным является конструкция стопомера, предложенная Ю.П. Зыбиным и В.К. Макаричевой (рисунок 2.4).

В этом стопомере стопа устанавливается относительно оси, проходящей через наиболее выступающую точку пятки и середину межпальцевой дуги второго и третьего пальцев (аналогично проходит ось при проектировании следа колодки). Для этой цели на стопомере имеется межпальцевый штырь, установленный в пазу опорной пластины. Пяточный упор состоит из двух боковых и одной задней пластины, связанной с системой сигнализации степени прижатия стопы к пяточному упору.

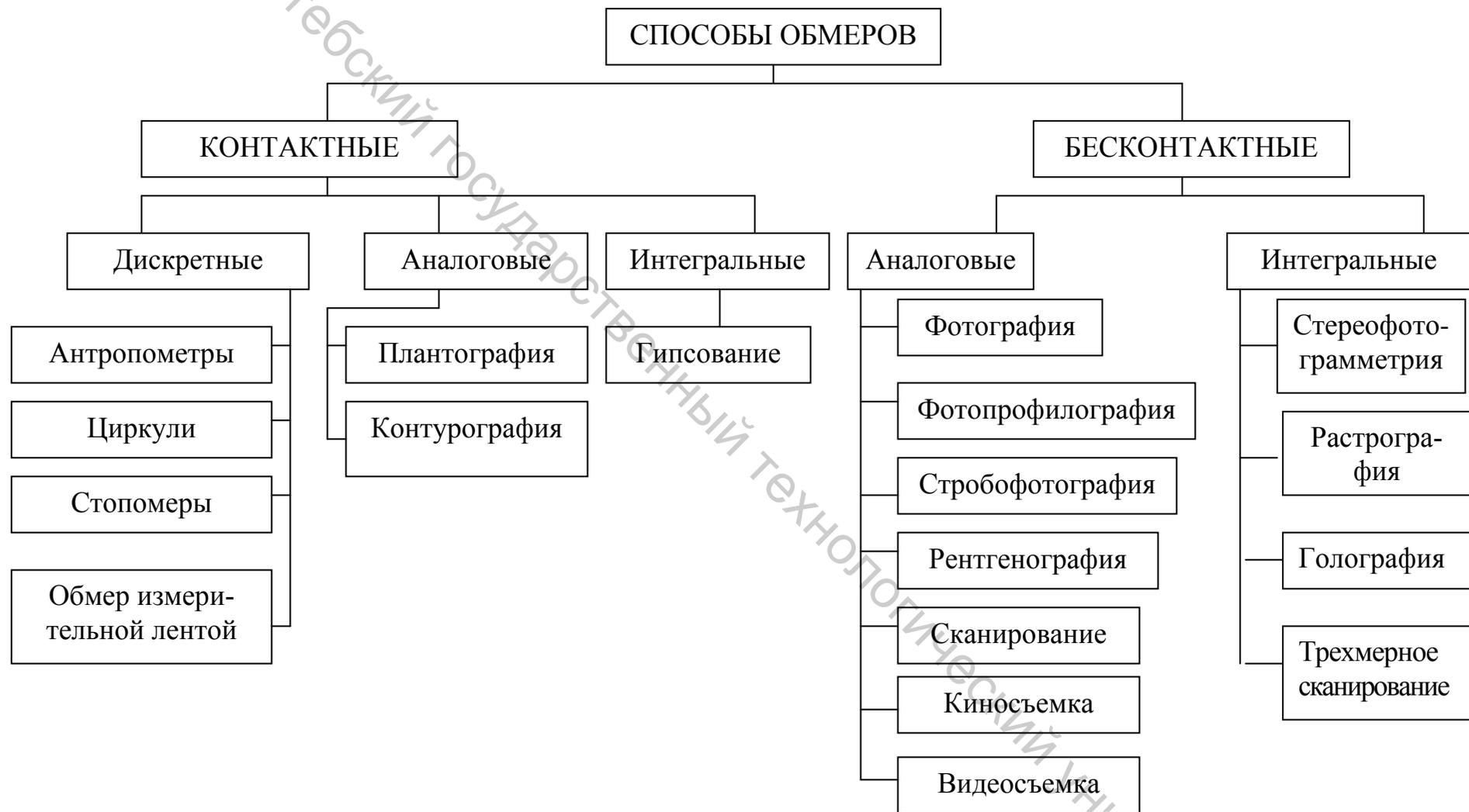


Рисунок 2.2 – Классификация способов исследования формы и размеров стопы

Измерительная система стопомера аналогична той, что использовалась на старом стопомере.

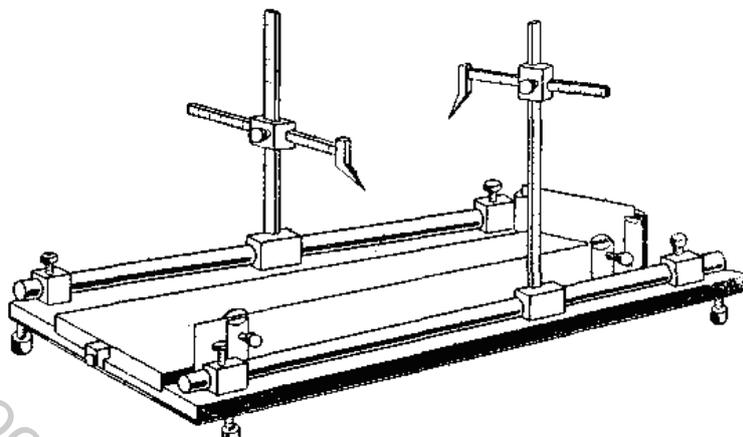


Рисунок 2.3 – Стопомер конструкции Ю. П. Зыбина

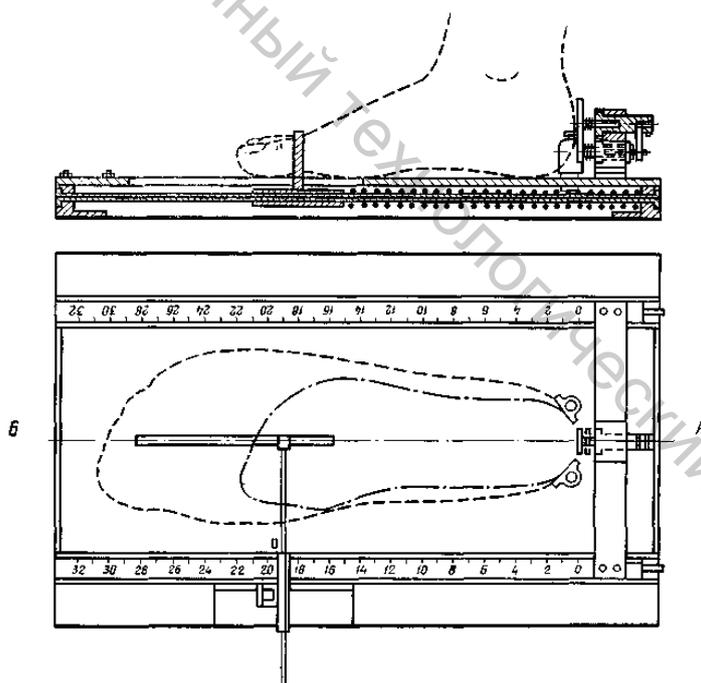


Рисунок 2.4 – Стопомер Ю. П. Зыбина, В. К. Макаричевой

**Голеностопомер**, созданный на базе стопомера, позволяет наряду со стопой измерять и голень (рисунок 2.5).

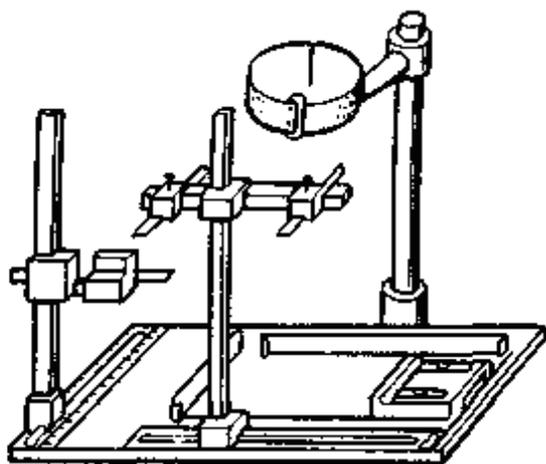


Рисунок 2.5 – Голеностопомер

Периметры сечений, или, как часто говорят обувщики, обхваты стопы и голени, определяют измерительной лентой, шириной 5–6 мм с миллиметровыми делениями. Лента должна быть достаточно гибкой, но не растягиваться при измерениях.

**Аналоговую информацию** о сечениях стопы получают с помощью **контурографов**.

Принцип работы большинства из них основан на получении контура сечения стопы или голени с помощью набора узких тонких пластин, подвижно закрепленных в основании. Пластины перемещают так, чтобы одними концами слегка касались поверхности, при этом другие концы пластин образуют аналогичный контур соответствующего сечения.

Схемы контурографов для получения аналоговой информации при обмере стоп показаны на рисунке 2.6.

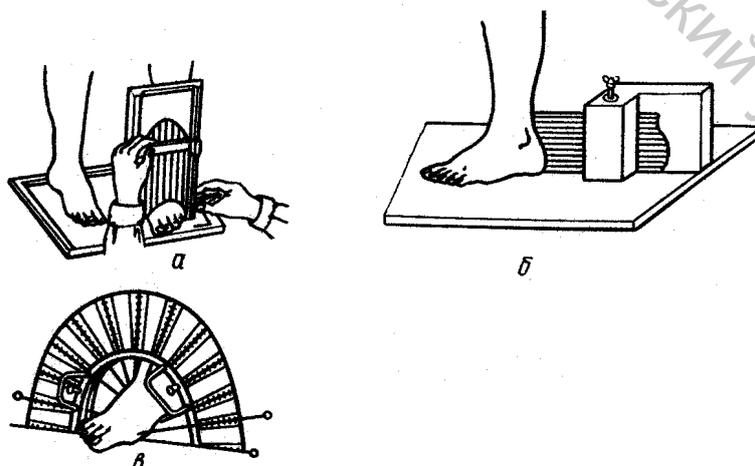


Рисунок 2.6 – Контурографы

Для получения аналоговой информации о контурах отпечатка и габаритной горизонтальной проекции стопы (плантограммы) используют **плантограф** (рисунок 2.7). Прибор состоит из рамки 1 с натянутой на ней пленкой 2, рамка шарнирно соединена с основанием 3. При получении плантограммы рамку с пленкой, предварительно смазанной типографской краской, укладывают на основание, на которое кладут чистый лист бумаги. Стопу устанавливают на пленку и обводят ее контур. На подложенном под пленку листе бумаги получают плантограмму, т.е. отпечаток плантарной (подошвенной) части стопы 4 и ее горизонтальную проекцию 5.

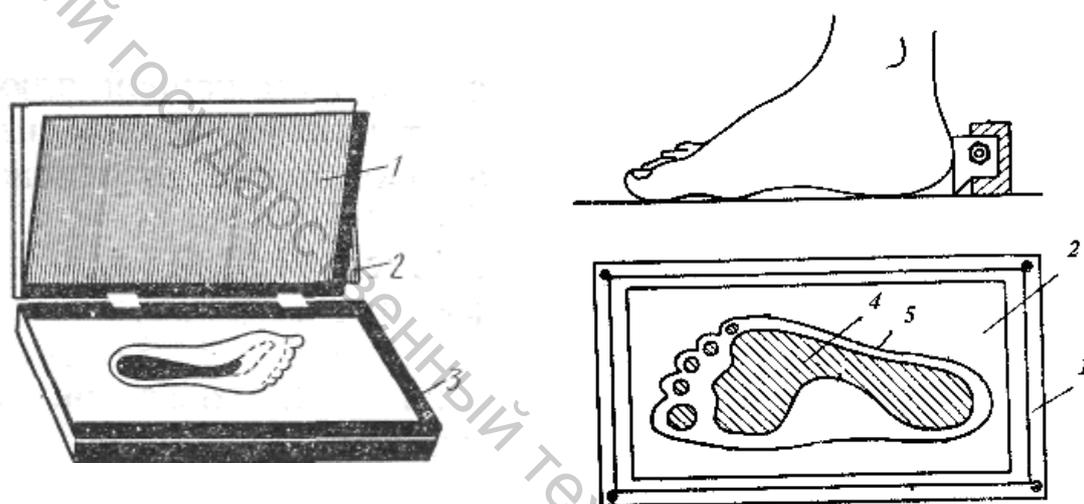


Рисунок 2.7 – Плантограф

Для более полного изучения формы и размеров стопы с нее снимают **гипсовый слепок**, который затем распиливают по сечениям, предварительно намеченным на стопе.

Контактные методы составляют большинство используемых в антропометрии способов измерения, так как они достаточно просты. Основной их недостаток заключается в том, что при непосредственном контакте измеряющий инструмент деформирует мягкие ткани ноги, что сказывается на точности получаемых данных. В этом случае точность отображения измерительных параметров не превышает 1,5–2,0 мм, несмотря на использование в ряде случаев высокоточных индикаторов с ценой деления 0,01 мм.

Не менее существенным недостатком этих методов является то, что большинство из них позволяет фиксировать информацию отдельных антропометрических точек или дискретно определить сечение. Увеличение количества информации неизбежно приводит к значительному увеличению времени обмера, что вызывает утомление обследуемого и отрицательно сказывается на результатах измерения.

Отмеченные недостатки показывают, что существующие контактные способы измерения ног являются несовершенными и не обеспечивают получения достоверных данных.

**Бесконтактные методы** основаны на том, что отображение поверхности исследуемого тела осуществляется без соприкосновения с ним каких-либо инструментов, т.е. с помощью световых, рентгеновских или иных лучей и оптических устройств.

Большинство бесконтактных способов основано на принципах **фотограмметрии**, сущность которой состоит в том, что форма, размеры и положение исследуемого объекта определяются по его фотоизображению. Это имеет существенное значение, так как значительно сокращается время непосредственного обследования человека, т.е. получение, например, фотографической, рентгенографической, голографической или иной модели стопы, в которой закодирована необходимая цифровая информация. Изучение же модели, ее расшифровка, происходит в лабораторных условиях, вне связи с обследуемым.

По полноте получаемой информации все бесконтактные методы подразделяются, в свою очередь, на аналоговые и интегральные.

**Аналоговые**, как и контактные способы, позволяют получить в графическом или цифровом виде данные по отдельным сечениям или характерным линиям.

Так, разработанные в различных странах (Венгрии, Германии, Болгарии) **фотостопомеры** позволяют с помощью системы зеркал получать изображение стопы одновременно с четырех сторон: спереди, с внутренней, наружной и плантарной (рисунок 2.8).

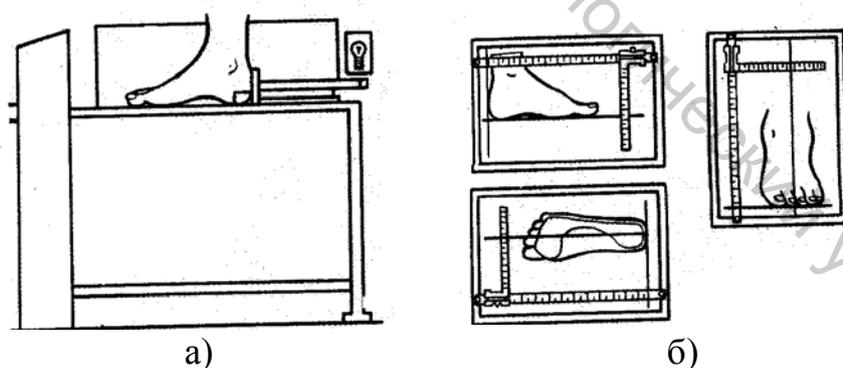


Рисунок 2.8 – Фотостопомер (а) и обработка снимков (б)

Численные значения параметров длины, ширины и высоты получают при обработке снимков считывающими устройствами.

Применение фотографического метода позволяет проводить обмеры большого количества людей за короткое время. Однако наряду с большими преимуществами, он имеет ряд существенных недостатков, таких как невозможность получения обхватных размеров, определенные

размеры могут быть замерены с недостаточной точностью. Несмотря на это, фотографические методы имеют большое значение для массовых антропометрических исследований.

К фотограмметрическим способам исследований следует отнести кино съемку с последующей покадровой расшифровкой формы и размеров стопы в различные фазы ходьбы. Однако обработка кинограмм осложняется необходимостью их совмещения при изучении изменения размеров стоп в различные фазы движения.

Иную картину представляет стробифотография, фиксирующая на одном кадре несколько положений объекта в различные фазы движения одновременно.

Принцип стробифотографического эффекта заключается в том, что тело, совершающее движение, освещается и делается видимым в отдельные малые в сравнении с периодом движения тела промежутками времени (импульсная фотосъемка). Способ стробифотграфии представляет интерес для антропометрических и биомеханических исследований стоп в динамике.

Недостатками этих методов является то, что они не дают объемных размеров стопы.

К фотограмметрическим методам относится и **метод фото-профилографии, или способ светотеневых сечений**. Сущность способа сводится к получению «светового разреза» с помощью узкого параллельного пучка света, направленного на исследуемую поверхность, и отображению контура сечения на фокальную плоскость оптической системы (фотоприемника).

Различают способы прямого и косого ортоскопического проецирования объектов.

**Способ прямого**, т.е. неискаженного ортоскопического проецирования, заключается в том, что на объект направляются узкие пучки света, а фотоаппарат располагается перпендикулярно направлению световых пучков. При таком способе все сечение отображается на одном снимке.

Недостатком этого способа является то, что при съемке объектов сложной пространственной формы (например, стопы) возникают «мертвые зоны», т.е. контур в данных местах прерывается.

В таких случаях аппарат располагается под некоторым углом к плоскости светового сечения ( $\alpha = 60^{\circ}$ ), т.е. используют способ косого ортоскопического проецирования (рисунок 2.9).

При этом способе происходит перспективное искажение негатива сечения, которое затем трансформируется при печатании позитивов. Для этого экран увеличителя с фотобумагой устанавливают к плоскости негатива под углом равным  $(90^{\circ} - \alpha)$ . При этом способе световое сечение отображается не на одном, а на двух снимках, а контур всего сечения

получается после их совмещения. Способ косо́го ортоскопического проецирования был использован Фукиным В.А. для изучения горизонтальных и поперечно-вертикальных сечений стопы [5].

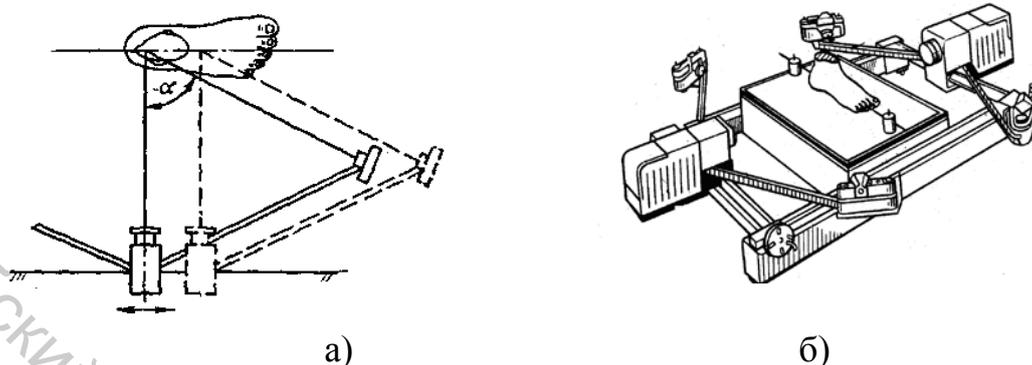


Рисунок 2.9 – Способ получения светотеневых сечений стопы:  
а) схема; б) прибор

**Интегральные** методы фиксируют одновременно характеристики поверхности в целом или отдельного ее участка. К ним относятся методы стереофотограмметрии, голографии, растрографии.

**Стереофотограмметрический метод** основан на важнейшей особенности бинокулярного зрения, состоящей в том, что изображения рассматриваемых объектов, видимые правым и левым глазом, сливаются в одно пространственное (рисунок 2.10).

Стереофотограмметрия предусматривает съемку с двух точек, что обеспечивает затем при совместном их рассмотрении объемное восприятие. При рассмотрении стереопар с помощью специальных приборов получают одно объемное изображение, которое затем расшифровывается с помощью специальной аппаратуры в виде координат отдельных точек, горизонтальных или вертикальных сечений. Таким образом, получаемая стереомодель содержит полное геометрическое описание объекта и позволяет определить его форму и размеры.

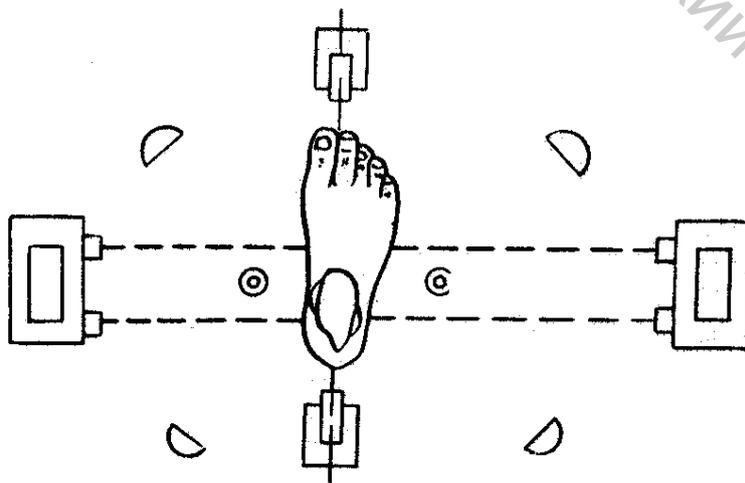


Рисунок 2.10 – Схема стереофотостеромера

Этот метод дает возможность изучать форму и размеры стопы в виде набора горизонтальных и вертикальных сечений, что позволяет детализировать ее поверхность.

Метод **голографической интерферометрии** основан на получении трехмерного (объемного) изображения объекта с применением лучей оптического квантового генератора-лазера. При этом объект освещают лучом лазера, прошедшим через оптическую систему, и фотографируют изображение. Получают голограмму – интерференционную картину (рисунок 2.11).

Для получения изображения голограмму необходимо осветить лучом лазера с определенной частотой. Процесс восстановления изображения при прохождении эталонного луча через голограмму является обратным по отношению к процессу образования интерференционной картины при получении голограммы. При этом наблюдатель увидит трехмерное изображение предмета. Если на изображение смотреть под разными углами, то оно будет поворачиваться.

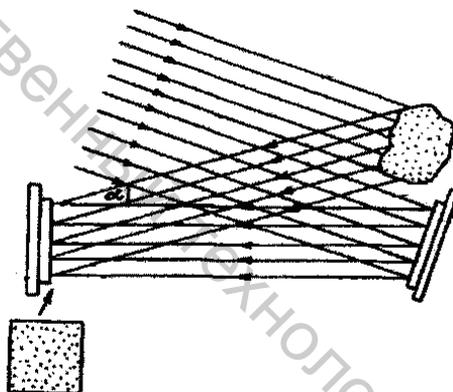


Рисунок 2.11 – Схема получения объемного изображения предмета способом голографической интерферометрии

Применение голографии для антропометрических исследований весьма перспективно, однако этот метод пока практически не разработан.

К перспективным методам исследования формы и размеров стопы следует отнести и **растографию**, основанную на муар-эффекте.

Муар представляет собой картину чередующихся светлых и темных полос, образующихся в результате наложения двух периодических шкал, которые принято называть растрами (рисунок 2.12).

При наложении двух систем линий интенсивность света по поверхности изображения меняется и воспринимается в виде муаровой картины.

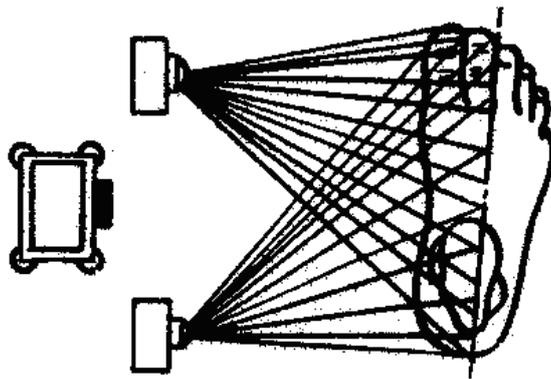


Рисунок 2.12 – Схема растрографического способа

На основе использования муар-эффекта разработана методика обмера плантарной поверхности стопы как в положении на весу, так и при опоре на всю стопу, на носок или на пятку.

Вместе с тем он дает надежные результаты только в статике. Проводить динамические исследования с использованием муаровой картины крайне затруднительно.

В последнее время с развитием информационных цифровых технологий совершенствуются способы и приборы для обмеров стоп. Так, для получения габаритных размеров стопы и голени используют цифровые фотокамеры, появилась серия приборов с использованием телекамер, сопряженных с ЭВМ. Для снятия плантограмм применяют планшетные сканеры, позволяющие получать фотоизображения непосредственно на экране компьютера с последующей его обработкой по специальным программам. Сущность способа заключается в том, что свет газоразрядовой или флуоресцентной лампы, отражаясь от сканируемого оригинала, проецируется посредством оптической системы на специальные датчики-фоторецепторы, которые преобразуют световые лучи в электрические сигналы. Далее с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) эти сигналы переводятся в числовую форму и передаются в компьютер (рисунок 2.13).

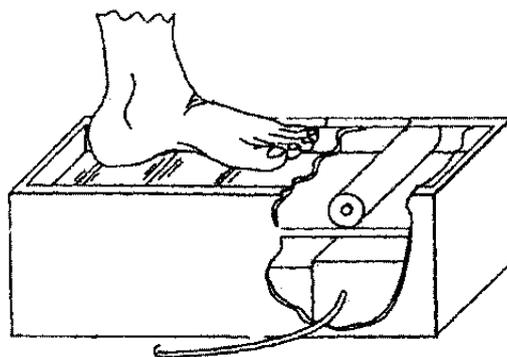


Рисунок 2.13 – Конструкция сканирующего устройства (пат. 5206804 США)

Одно из перспективных направлений развития автоматизации обмера стопы - технология бесконтактного трехмерного сканирования. Трехмерные сканеры в основном состоят из нескольких лазерных камер, которые излучают лазерные лучи, проецирующиеся на поверхность стопы, и фотоприемники, которые регистрируют отражение лазерных лучей. Под управлением компьютера лазерная камера движется вдоль стопы с определенным шагом, записывает и передает отражение в компьютер для последующей обработки с целью создания трехмерной формы и получения размеров стопы.

Основными достоинствами трехмерных бесконтактных сканеров являются возможность получения полной информации о форме и размерах стоп, высокая скорость измерения и маленькая погрешность замеров.

Бесконтактные методы обеспечивают высокую производительность, получение более точных и достоверных данных, возможность исследования объекта при движении, все они дают широкую возможность использования ЭВМ при обработке полученной информации.

К недостаткам этих методов можно отнести сложность аппаратуры и расшифровки полученных данных, ее высокую стоимость.

Большинство бесконтактных методов применимы лишь при обследовании в стационарных условиях.

### **2.1.1.2 Современный способ массового обмера ног**

На отобранную для обмера ногу чернильным карандашом наносят антропометрические точки и сечения, по которым производятся измерения (рисунок 2.14).

На ноге намечают следующие точки: наиболее выступающую точку 1 пятки на бугре пяточной кости; центр 2 внутренней лодыжки; точку 3 сгиба стопы; точку 4 середины стопы; наиболее выступающую точку 5 первого плюснефалангового сочленения (внутренний пучок); переднюю точку 6 стопы на первом (или втором) пальце – самую удаленную от наиболее выступающей точки пятки; самую глубокую точку 7 второго межпальцевого промежутка; точку 8 конца пятого пальца; наиболее выступающую точку 9 пятого плюснефалангового сочленения (точка наружного пучка); центр 10 наружной лодыжки; точку 11, расположенную на уровне нижнего края икроножной мышцы; точку 12 в месте наибольшего развития задней группы мышц голени; точку 13 под коленной чашечкой в месте наибольшего сужения голени.

Затем стопу обмеряют стопомером, т.е. определяют положение антропометрических точек стопы в системе трех координат.

После этого измеряют периметры сечений – обхваты стопы и го-

лени. Высоту расположения сечений голени (точки 11–13) определяют штангенрейсмасом. Обмеры производят измерительной лентой, которую накладывают по линиям сечений, нанесенным на обмеряемую стопу и голень.

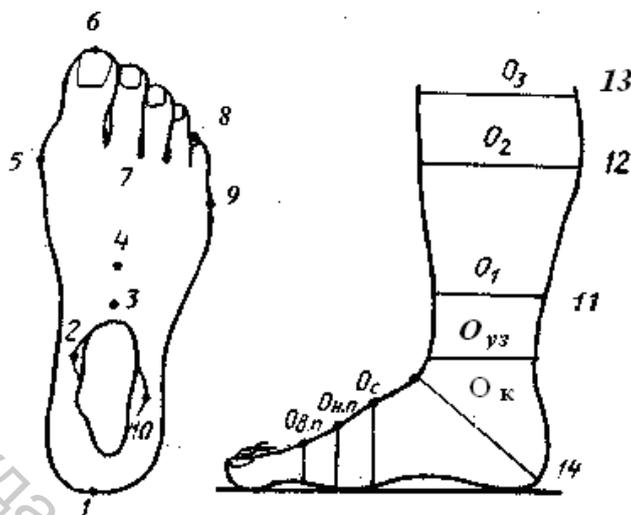


Рисунок 2.14 – Антропометрические точки и сечения, по которым производятся измерения

Затем получают отпечаток плантарной (подошвенной) части стопы и очерчивают ее горизонтальную проекцию (габарит). Для этих целей используют плантограф.

Все измерения стопы производят при опоре человека на обе стопы, так как форма и размеры свободной и нагруженной тяжестью тела стопы не одинаковы. При стоянии нагрузка веса тела должна быть равномерно распределена на обе ноги. Таким образом, проведение обмера стоп включает три основных этапа:

- 1) определение мест расположения антропометрических точек стопы в системе трех координат;
- 2) получение плантограммы стопы с последующим замером отдельных частей контура габарита и отпечатка;
- 3) обмер периметров (обхватов) отдельных сечений.

Всякое антропометрическое исследование проводится по определенной программе измерений, в которую следует включать лишь те признаки, которые необходимы для решения поставленной задачи. Так, если обмеры выполняют с целью построения размерно-полнотного ассортимента, достаточно измерить длину стопы и ее обхват в пучках. Если же результаты обмера должны послужить основой для проектирования колодок, то необходимо определить большее число размерных признаков (длину до наружного и внутреннего пучков, конца мизинца, ширину в пятке, по наружному и внутреннему пучку, высоту до центра лодыжек и т.д.).

В зависимости от поставленной задачи (целей измерений) выбирается и соответствующая измерительная аппаратура.

Данные по измерению каждого человека заносят в специальный бланк. Номера признаков на бланке должны соответствовать нумерации признаков в измерительной программе. Помимо измерительных данных в бланк заносят некоторые сведения об испытуемом: пол, год рождения, национальность, профессию и др.

### **2.1.2 Закономерности в распределении стоп по размерам и в соотношениях между отдельными размерными признаками**

После проведения массовых обмеров стоп населения необходимо соответствующим образом обработать полученный материал методами математической статистики.

Цель такой обработки заключается в том, чтобы установить, стопы каких размеров и форм встречаются в том или ином коллективе, найти закономерную связь между размерными признаками стоп и на основании полученных данных выделить основные типы и подтипы последних, по которым можно изготавливать обувь для определенных групп людей, встречающихся в этом коллективе.

Прежде чем приступить к изучению закономерностей в распределении стоп, необходимо кратко напомнить об основных понятиях и терминах, употребляемых в математической статистике.

При проведении массовых обмеров стоп, как мы уже говорили, людей разделяют на группы в зависимости от возраста, пола и т.д.

Все количество людей, которое входит в ту или иную группу, образует так называемую **генеральную статистическую совокупность**.

То или иное качество, характеризующее элементы совокупности, называется **признаком статистической совокупности**. В антропометрических исследованиях признаками являются отдельные измерения (длина стопы, ширина или обхват в плюснефаланговом сочленении и т.д.).

Признак у различных элементов статистической совокупности может принимать различные числовые значения, т.е. может варьировать. Например, длина стопы у мужчин может изменяться в пределах 225–295 мм.

Числовые значения признака называются **вариантами**.

Для антропометрической характеристики стоп нет необходимости проводить обмеры всего количества людей, входящих в генеральную совокупность. Да, это было бы и невозможно сделать практически, да и

не нужно.

Методы математической статистики позволяют изучать всю генеральную совокупность не путем измерения всех ее членов, а путем измерения какой-то части ее, называемой **выборочной совокупностью**, или **выборкой**.

Выборочные совокупности отличаются от генеральных прежде всего объемом. Объем выборки, как правило, не велик. При этом очевидно, что чем больше объем выборки, тем точнее она отображает распределение признака в генеральной совокупности. Но большие выборки требуют много времени и труда при их исследованиях.

Обработка результатов массовых обмеров стоп методами математической статистики показала, что для получения вполне надежных данных, характеризующих генеральную совокупность, необходимо обмерить стопы примерно 500 человек.

Следовательно, всякое антропометрическое изучение стоп начинают с того, что производят выборку некоторого объема ( $n$ ) из генеральной совокупности. Затем производят обмеры по какому-то размерному признаку ( $x$ ) и записывают подряд результаты измерений. Таким образом, получают первоначальные таблицы или первоначальный ряд вариантов ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ). Однако в такую таблицу результаты измерений (варианты) входят без всякого порядка, поэтому непосредственно из нее трудно выявить распределение признака, т.е. каково среднее значение признака и как группируются варианты около среднего значения – сосредоточенно или рассеяно и т.д.

Поэтому результаты измерений выписывают в порядке возрастания или убывания.

После этого весь интервал измерения размерного признака ( $x$ ) (например, интервал измерения длины стопы от 225–295 мм) разбивают на **частные интервалы**, или **классы**, и подсчитывают число вариантов, попадающих на тот или иной частный интервал. Число вариантов, попадающих на тот или иной частный интервал, называется **частотой**.

Отношение же частоты к объему выборки называется **относительной частотой**.

Понятно, что сумма всех частот равна объему выборки, а сумма относительных частот равна 100 %, если частоты оцениваются в %.

Обычно в практике антропометрических исследований стоп весь интервал изменения размерного признака разбивают на 8–15 частных интервалов (классов). Если разбивать на большее количество интервалов, то усложняется обработка.

Подсчитанные частоты записывают в таблицу распределения частот (вариационный ряд). Эта таблица состоит из частных интервалов изменения признака и частот вариантов, попадающих на эти интерва-

лы.

В качестве примера рассмотрим таблицу распределения частот стоп по длине (по данным Петрова).

Таблица 2.1 – Распределение частот стоп по длине

Частные интервалы признака, $D_{cm}$ , мм	Среднее значение частных интервалов, мм	Число стоп, имеющих длину стопы, заключенную в данном интервале (частоты)
225–234	230	27
235–244	240	222
245–254	250	995
255–264	260	2005
265–274	270	1520
275–284	280	501
285–294	290	65
295–305	300	15
		$\Sigma = 5340$

Уже из этой таблицы можно выявить определенные закономерности в распределении стоп по длине.

Так, ясно видно, что большинство людей из обмеренного коллектива имеют длину стопы в пределах 255–275 мм. Людей же, имеющих меньшую или большую длину стопы, встречается значительно меньше.

Распределение стоп по длине можно выразить для наглядности и графически в виде гистограммы частот. Для этого по оси абсцисс откладывают значения частных интервалов признака, а по оси ординат относительную численность частот. Они еще более наглядно дают представление о том, сколько % людей данного коллектива имеют ту или иную длину стопы.

В качестве примера на рисунке 2.15 приведена гистограмма распределения длины стопы у мужчин.

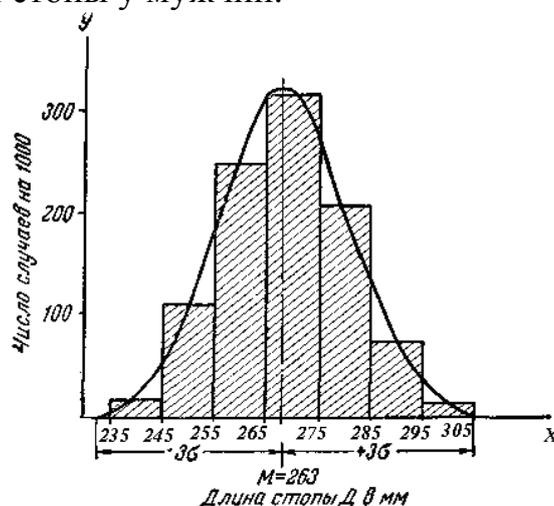


Рисунок 2.15 – Распределение стоп по длине

По данным вариационного ряда можно построить также эмпирическое распределение частот в виде ломаной, где по оси ординат  $y$  откладывают относительную частоту вариантов в каждом классе, а по оси абсцисс  $x$  – среднее значение каждого классового интервала (рисунок 2.16).

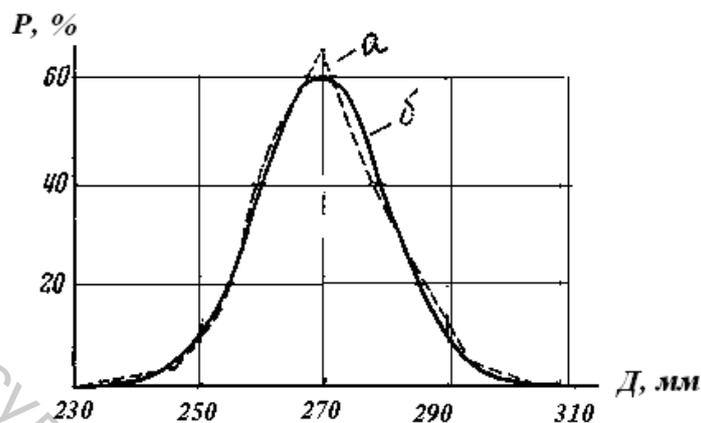


Рисунок 2.16 – Эмпирическая (а) и теоретическая (б) кривые по длине стопы

Из гистограмм, как и из таблиц, наглядно видно, что количество стоп средних размеров будет максимальным, а количество стоп очень малых и очень больших размеров – крайне мало.

Средняя арифметическая  $M$  дает первое наглядное представление о величине признака и является основной статистической характеристикой вариационного ряда.

Для выборки объема  $n$

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.1)$$

где  $\sum_{i=1}^n x_i$  – сумма всех значений от  $i = 1$  до  $n$ .

Однако средняя арифметическая не дает возможности судить об изменчивости данного признака, о пределах его колебаний.

Величиной, характеризующей изменчивость признака, является среднее квадратическое отклонение, обозначаемое  $\sigma$ . Оно выражается в тех же единицах, что и среднее арифметическое. Величина среднего квадратического отклонения вычисляется по формуле

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2}{n}}, \quad (2.2)$$

где  $\sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2$  – сумма квадратов отклонений всех значений признака от среднеарифметической величины в данной выборке;  
 $n$  – численность выборки.

Чем больше размах изменчивости признака, тем больше его среднеквадратическое отклонение.

Для сравнения изменчивости признаков, имеющих различную размерность, используют коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma}{M} \cdot 100\% . \quad (2.3)$$

В таблице 2.2 приведены основные статистические характеристики стоп и голеней различных групп населения Республики Беларусь, полученные в результате массовых обмеров, проведенных в 2005–2010 годах.

Однако таблицы распределения и гистограммы – это результат обработки лишь отдельной выборки из генеральной совокупности. Они характеризуют распределение признака лишь в данной выборочной совокупности. Однако если произвести несколько выборок из одной и той же генеральной совокупности, то их эмпирические ломаные будут колебаться около некоторой определенной кривой. Эта кривая будет являться графическим выражением некоторой функции  $y = f(x)$ , которая называется **генеральной функцией распределения**, или **законом распределения**.

Если в рассмотренных гистограммах соединить точки ординат (т.е. число людей, имеющих определенную длину стопы) плавной кривой, то эта кривая будет иметь колоколообразную форму, будет располагаться симметрично относительно прямой  $x = a$  и асимптотически приближаться к оси абсцисс. Такая кривая является графическим выражением нормального распределения и называется **кривой нормального распределения** (рисунки 2.15–2.16).

Ю.П. Зыбиным был исследован вопрос о закономерностях распределения размеров стоп среди населения. В результате обработки материала, охватывающего несколько десятков тысяч обмеров, было показано, что распределение стоп по размерам в большом коллективе подчиняется закону нормального распределения и что эмпирические кривые распределения могут быть заменены теоретическими.

Итак, **первая закономерность** гласит: распределение размерных признаков стоп в однородном коллективе подчиняется закону нормального распределения.

Таблица 2.2 – Среднеарифметические значения размерных признаков стопы  $M$ , мм и среднеквадратичные отклонения  $\sigma$ , мм

Размерный признак	Мужчины		Женщины		Дети 8-15 лет				Дети 3-7 лет			
					мальчики		девочки		мальчики		девочки	
	$M$ , мм	$\sigma$ , мм	$M$ , мм	$\sigma$ , мм	$M$ , мм	$\sigma$ , мм	$M$ , мм	$\sigma$ , мм	$M$ , мм	$\sigma$ , мм	$M$ , мм	$\sigma$ , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Длина: стопы	273,1	12,2	243,7	11,3	242,9	22,9	234,1	16,4	183,7	16,8	182,4	18,0
до наружного пучка	171,4	8,4	155,4	9,3	154,6	15,4	148,8	12,0	112,7	10,5	112,0	11,2
до внутреннего пучка	198,0	9,6	175,2	9,5	177,4	17,9	170,1	12,3	132,7	12,3	131,8	13,2
до центра пятки	47,4	2,8	41,9	4,8	42,5	6,2	39,6	9,8	32,7	3,0	32,5	3,2
до наружной лодыжки	56,8	7,5	47,8	7,0	49,1	6,5	46,2	5,3	39,9	5,2	39,5	5,2
до внутренней лодыжки	67,5	8,7	56,7	6,9	61,8	11,2	56,4	7,2	46,9	6,2	46,2	6,2
Ширина стопы:												
по наружному пучку	101,7	5,8	92,5	5,8	89,3	9,8	85,7	7,4	71,5	5,3	69,5	5,5
по внутреннему пучку	102,1	5,7	95,0	5,7	92,3	30,0	88,3	25,5	73,1	5,6	71,6	5,7
в самом широком месте пятки	69,4	6,3	63,9	5,4	61,3	7,1	58,0	5,2	50,5	3,6	49,2	3,8
Обхват стопы:												
по наружному пучку	249,6	11,4	228,5	12,5	224,1	74,0	213,2	17,3	179,0	15,5	174,6	15,7
по внутреннему пучку	245,6	11,4	224,5	12,9	214,9	24,2	207,3	20,9	178,9	15,6	174,3	15,9
через пучки	260,2	12,1	236,9	13,6	228,3	66,9	219,5	64,6	186,1	16,4	181,6	16,8
по середине	256,7	12,5	236,0	14,1	231,0	94,8	218,2	17,3	183,1	14,7	177,5	15,0
через пятку – сгиб	350,7	16,6	312,3	17,7	310,7	97,4	293,7	21,6	239,4	22,0	235,7	22,8
Высота стопы до:												
наивысшей точки первого (большого) пальца	21,8	2,7	19,8	2,7	18,3	2,8	17,5	2,4	15,1	2,4	14,8	2,3
центра наружной лодыжки	72,8	6,8	67,0	6,1	14,0	3,6	13,1	3,9	46,8	6,0	45,6	6,3

Окончание таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
центра внутренней лодыжки	88,8	6,9	77,0	6,3	25,1	5,1	23,4	8,9	55,0	7,3	53,6	7,1
Обхват голени:												
в наиболее узком месте	240,2	17,8	225,3	17,2	211,9	24,1	212,0	23,1	177,7	18,2	178,4	18,2
на уровне нижнего края икроножной мышцы (под икрой)	324,9	35,5	310,3	30,1	277,6	33,5	278,1	31,9	213,9	21,5	215,3	21,6
в месте наибольшего развития икроножной мышцы	381,6	29,0	365,0	33,2	314,5	39,5	316,0	38,6	240,0	24,2	241,9	24,2
под коленом	353,2	28,1	342,2	31,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Высота голени до:												
наиболее узкого места	141,7	14,5	112,6	13,1	126,6	38,9	115,8	13,8	100,9	16,0	101,1	16,0
под икрой	274,8	21,8	235,8	23,8	237,9	33,4	227,3	26,6	157,7	20,0	158,4	21,8
наибольшего развития икроножной мышцы	351,7	23,8	317,0	23,1	295,8	38,0	293,5	31,9	204,0	24,8	206,6	27,2
обхвата под коленом	446,4	28,9	409,2	23,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Рост	1799,4	61,8	1640	59,0	1504,8	245,5	1510,8	226,5	1142,6	105,9	1145,1	113,0

Кривая нормального распределения выражается следующим уравнением:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.4)$$

где  $y$  – число стоп определенного размера в данном коллективе;  
 $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение;  
 $e$  – основание натурального логарифма;  
 $M$  – среднее значение признака;  
 $x$  – переменное (варьируемое) значение признака.

Теория вероятности доказывает, что в пределах  $M \pm \sigma$  будет находиться 68,3 % всего числа вариантов (т.е. 683 случая из 1000). В пределах  $M \pm 2\sigma$  будет находиться до 95,4 % всех вариантов и в пределах  $M \pm 3\sigma$  – 99,7 % (рисунок 2.17).

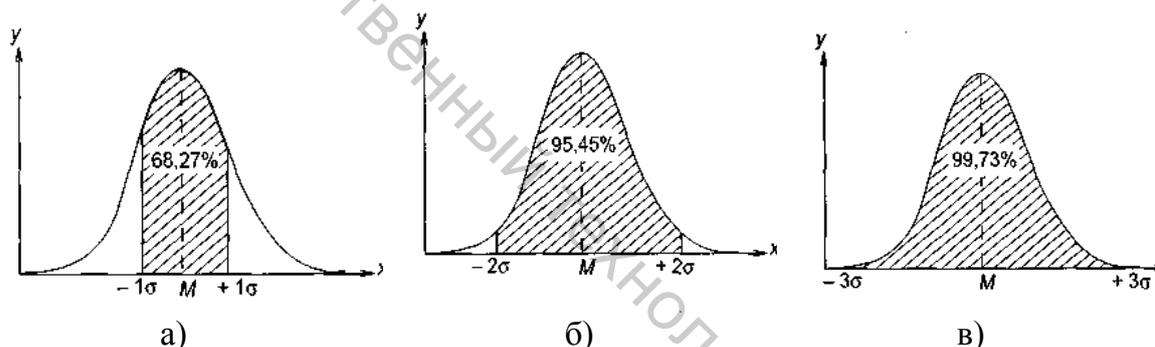


Рисунок 2.17 – Площадь под нормальной кривой (схема доверительных интервалов):

а) при  $M \pm 1\sigma$ ; б) при  $M \pm 2\sigma$ ; в) при  $M \pm 3\sigma$

Таким образом, площадь, ограниченная кривой нормального распределения, осью абсцисс и ординатами в пределах  $x \pm 3\sigma$  (т.е.  $6\sigma$ ), равна 99,7 % площади, ограниченной всей кривой. Этими свойствами кривой нормального распределения пользуются при расчетах ростовочно-полнотного ассортимента обуви для определения необходимого числа размеров и полнот выпускаемой обуви.

Следовательно, произведя массовый обмер и определив соответствующие статистические параметры, можно, используя уравнение нормального распределения, теоретически рассчитать, какое количество стоп будет иметь в данном коллективе интересующий нас размер.

При этом среднее значение признака  $M$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  определяют путем статистической обработки результатов

выборочного обмера.

Для приближенного расчета численности нормального распределения можно пользоваться также номограммой М.В. Игнатьева, разработанной им специально для этой цели (рисунок 2.18).

На номограмме нанесены три шкалы: на крайних отложены отклонения признака от средней величины, выраженные в значениях  $\frac{x-M}{\sigma}$ , на средней – численности признака в % в заданных пределах колебания признака.

Чтобы определить, какое количество людей в данном коллективе имеет тот или иной размер стопы, нужно выразить колебания границ интервала  $x$  в значениях  $\frac{x-M}{\sigma} = t$  ( $t$  – нормированное отклонение) и отложить их на крайних шкалах. Отмеченные точки соединяют линейкой или ниткой. Точка пересечения средней шкалы даст искомую величину. Пусть, например, имеется коллектив людей со средней длиной стопы  $M = 260$  мм и квадратическим отклонением  $\sigma = 12$  мм. Требуется установить, какое количество людей в этом коллективе (в %) имеет длину стопы в пределах от 240 до 250 мм. Вычисляем значения границ интервалов, выраженных в нормированных отклонениях  $t$ :

$$\text{- нижний предел } \frac{x_n - M}{\sigma} = \frac{240 - 260}{12} = -1,66;$$

$$\text{- верхний предел } \frac{x_e - M}{\sigma} = \frac{250 - 260}{12} = -0,833.$$

Найдя по номограмме на одной шкале значений  $\frac{x-M}{\sigma}$  величину 1,66, а на другой 0,83 и соединив их ниткой, видим, что она пересекает среднюю шкалу в цифре 16. Таким образом, в данном коллективе будет 16 % людей, имеющих стопы длиной от 240 до 250 мм. Знаки + и – при этом не учитываются, т.к. вправо и влево от средней распределение идет симметрично.

Если внутри выбранного интервала находится значение средней арифметической  $M$ , то номограммой приходится пользоваться дважды: один раз для определения численности в пределах от 0 до отрицательного значения, другой – от нуля до положительного отклонения и результаты сложить. Например, предлагается найти относительную численность людей с размерами по длине 260–270 мм, при  $M = 264$  мм,  $\sigma = 12$  мм.

$$t_1 = \frac{x_n - M}{\sigma} = \frac{260 - 264}{12} = -0,33;$$

$$t_2 = \frac{x_e - M}{\sigma} = \frac{270 - 264}{12} = 0,5.$$

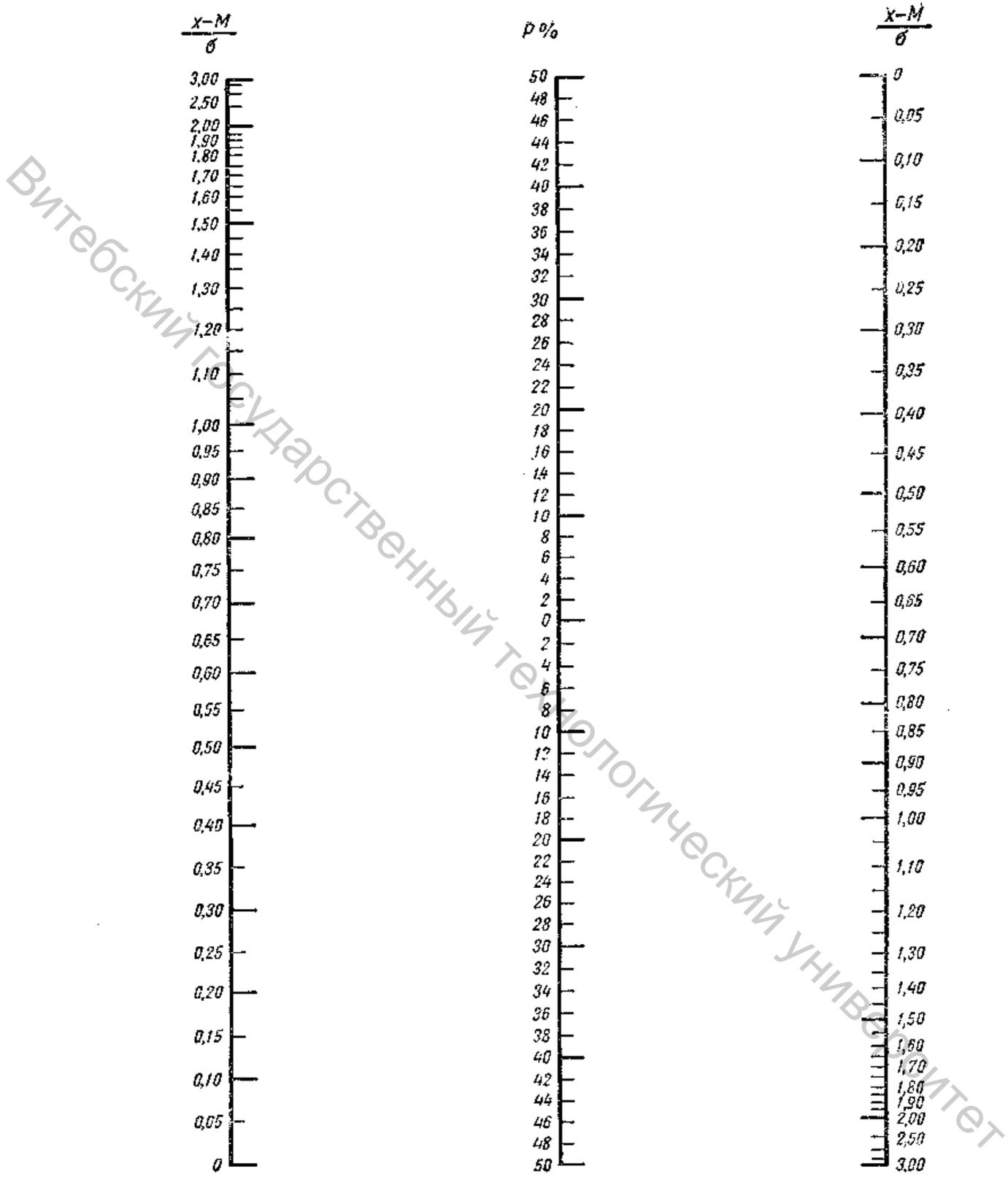


Рисунок 2.18 – Номограмма для определения численности по нормальному распределению (по М.В. Игнатьеву)

Находим сначала по номограмме Игнатъева численность в % от 0 до 0,5 и затем от 0 до -0,33. Эти численности соответственно составят 19 и 13 %. Следовательно, в данном коллективе людей с длиной стопы от 260 до 270 будет  $19 + 13 = 32$  %.

Характеристика генеральной совокупности на основе выборочного исследования всегда неточна и имеет большую или меньшую ошибку. Такие ошибки являются ошибками обобщения, связанные с перенесением результатов, полученных при изучении выборки, на всю генеральную совокупность. Они определяют меру точности данного параметра.

Ошибку среднеарифметической величины  $m(M)$  вычисляют по формуле:

$$m(M) = \sigma / \sqrt{n}, \quad (2.5)$$

Чем меньше изменчивость признака и больше численность выборки, тем меньше расхождения между среднеарифметическим значением признака в выборке и математическим ожиданием в генеральной совокупности.

Ошибка среднеквадратического отклонения:

$$m(\sigma) = \sigma / \sqrt{2n}, \quad (2.6)$$

Как уже отмечалось выше, закон нормального распределения действует не только в распределении стоп по длине, но и в отношении других размерных признаков стопы, например, обхвата в пучках, ширины в пучках и пятке и т.д.

Значит, при какой-то определенной длине стопы ее поперечные размеры будут колебаться в значительных пределах, но при этом стоп со средними поперечными размерами будет относительно много, а стоп особо узких и особо широких – незначительное количество.

При построении размерной типологии необходимо знать, таким образом, как в данном коллективе распределяются стопы, имеющие различные параметры, например, длину и обхват в плюснефаланговом сочленении, т.е. распределение сочетаний признаков.

Следовательно, необходимо изучить генеральную совокупность не по какому-то одному признаку, например, длине стопы, а одновременно по нескольким признакам, в частности, допустим, по двум – длине стопы и обхвату в плюсне-фаланговом сочленении или длине стопы и ширине. Необходимо выяснить также вопрос: связаны между собой эти признаки или нет, а если да, то определить форму этой связи.

Изучение генеральной совокупности одновременно по нескольким признакам предполагает выявление распределения сочетаний этих признаков, например, длины стопы и обхвата в пучках, длины и обхвата через пятку и сгиб и т.д.

С этой целью производят обмер стоп по всем размерным признакам, после чего выбирают данные по каким-нибудь интересующим двум признакам. Данные замеров по этим двум исследуемым признакам изображают в виде точек в осях координат, отмечая по оси абсцисс значения одного размерного признака, например, длины стопы ( $x$ ), а на оси ординат – другого, например, обхвата в плюснефаланговом сочленении ( $y$ ). Получаем так называемое поле корреляции ( $x, y$ ). Поле корреляции является графической формой систематизации материала.

После этого размах колебания одного и другого размерного признака разбивают на частные интервалы и подсчитывают частоты совместного появления значений случайных величин ( $x$  и  $y$ ) в соответствующих интервалах.

Такая таблица, в которой указаны частоты пар значений  $x$  и  $y$  ( $m_{xy}$ ), называется корреляционной таблицей, или корреляционной решеткой. Ее можно получить, если поле корреляции разбить на отдельные квадраты, восстановив перпендикуляры из границ частных интервалов признаков на осях абсцисс и ординат.

В качестве примера приведена одна из таких таблиц, или решеток, в которой дается распределение стоп по длине и обхвату в пучках для 12172 обследованных взрослых мужчин (по данным Петрова).

Таблица 2.3 – Распределение стоп по длине  $D$  и обхвату в пучках  $O_n$

$D \backslash O_n$	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	$\Sigma$
205	3	6	15	15	13	12	4	11	-	2	-	-	-	-	-	81
215	7	33	46	138	95	100	54	42	19	9	3	2	-	-	-	548
225	7	60	115	299	323	423	270	249	116	62	18	5	-	2	-	1949
235	8	33	114	283	415	639	629	508	318	198	77	30	6	3	-	3261
245	4	16	42	131	272	492	581	649	506	387	161	78	16	7	1	3343
255	-	7	16	33	59	172	359	416	345	282	172	90	29	13	4	1997
265	-	1	3	8	18	45	80	129	144	139	102	66	26	11	6	778
275	-	-	-	-	-	1	14	19	35	40	25	28	6	9	1	178
285	-	-	-	-	-	1	-	2	5	1	9	5	4	2	-	29
295	-	-	-	-	-	1	-	1	1	1	1	-	3	-	-	8
$\Sigma$	29	156	315	907	1195	1886	1991	2026	1489	1121	568	304	90	47	12	12172

Здесь по одной оси корреляционной решетки отложены средние значения частных интервалов одного признака – длины стопы  $D$ , по другой – обхвата в плюснефаланговом сочленении  $O_n$ . Числа в решетке показывают, какое количество обследованных стоп имело при данной

длине определенный обхват в пучках или какое количество стоп при данном обхвате в пучках имело определенную длину.

Как показывают данные таблицы, из всего количества обмеренных стоп (12172) наибольшее число случаев находится в ячейках посередине решетки.

Если по данным корреляционной таблицы построить гистограмму, т.е. принять таблицу за основание, а из каждой клеточки восстановить прямоугольные столбики высотой, пропорциональной указанным в клеточках частотам, то вершина гистограммы будет расположена вблизи центра. От этой вершины во все стороны идет снижение до нуля по краям (рисунок 2.19). Такое распределение является нормальным распределением.

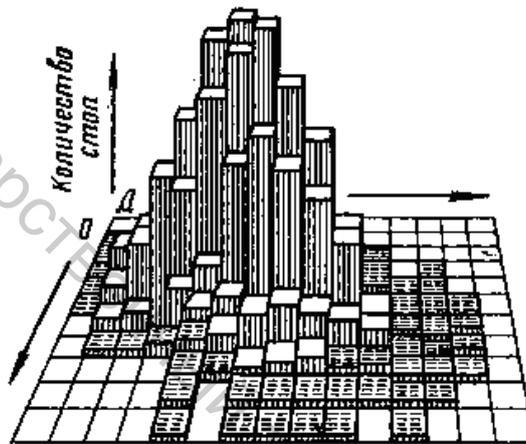


Рисунок 2.19 – Гистограмма распределения стоп по длине и обхвату

Геометрическим изображением нормального распределения сочетаний двух признаков является уже не кривая, а поверхность, называемая поверхностью нормального распределения. Поверхность, покрывающая гистограмму, построенную по данным корреляционной таблицы, и будет поверхностью нормального распределения (рисунок 2.20).

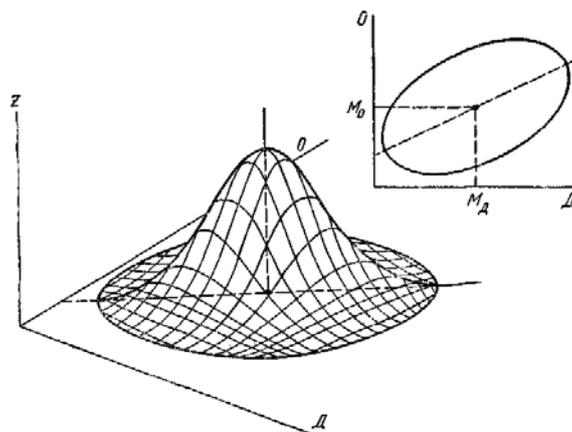


Рисунок 2.20 – Двумерное нормальное распределение

Сечения поверхности вертикальными плоскостями параллельно оси  $X$  или  $Y$  дают кривые нормального распределения одного размерного признака при постоянстве другого.

Аналитическое выражение двумерного нормального распределения довольно сложно, и мы на этом останавливаться не будем.

Таким образом, наряду с тем, что размерные признаки стопы распределяются по закону нормального распределения, сочетаниям размерных признаков также свойственно нормальное распределение.

**Вторая закономерность.** Антропометрические исследования показывают, что у людей с одинаковой длиной стопы другие размерные признаки могут значительно отличаться. Однако между признаками может быть определенная связь.

Связь признаков, когда каждому определенному значению одного признака может соответствовать не одно значение второго признака, а целое распределение этих значений, называется стохастической, или **корреляционной связью**, или просто **корреляцией**.

Корреляционную связь необходимо отличать от функциональной связи, так как в функциональной связи каждому значению одного признака (аргумента) соответствует только одно определенное значение второго признака (функции).

Причина корреляционной (статистической) связи антропометрических признаков заключается в том, что организм человека развивается под действием бесконечно большого числа факторов, которые по-разному определяют развитие разных признаков и связь их друг с другом.

Из корреляционной таблицы 2.3 наглядно видно, что стопы определенной длины имеют различную окружность в пучках. Например, стопы длиной 260 мм имеют окружность в пучках от 205 до 295 мм. Причем с возрастанием длины стопы ( $x$ ) величина обхвата в пучках ( $y$ ) также имеет тенденцию к возрастанию. Чтобы оценить характер этого возрастания, или, другими словами, связь между этими признаками, определяют условные средние  $\bar{y}_x$  одного признака при определенном значении другого. Например, какова в среднем величина обхвата в пучках при определенном значении длины стопы:

$$\bar{y}_x = \frac{\sum m_{xy} \cdot y}{m_x}, \quad (2.7)$$

В таблице 2.4 приведены средние значения длины стопы в каждом частном интервале и соответствующие им условные средние значения обхвата в пучках по данным корреляционной решетки.

Таблица 2.4 – Средние значения длины стопы и соответствующие им условные средние значения обхвата в пучках по данным корреляционной решетки

$D_{ст}$ , мм	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295
$O_{пуч}$ , мм	226	228	230	230,6	234	238,5	241	243	246	248	251,7	256,6	258,8	258,4	260,8

Из таблицы наглядно видно, что с увеличением одного признака ( $D_{ст}$ ) другой признак ( $O_{пуч}$ ) также увеличивается. Причем увеличение идет примерно на какую-то постоянную величину. Так, при увеличении длины стопы на 5 мм средний обхват в пучках увеличивается примерно на 3 мм.

Одной из наиболее важных задач корреляционного анализа является изучение зависимости условных средних одного признака от определенных значений другого признака. Если данные, приведенные в таблице, изобразить графически, откладывая по оси абсцисс значения длины стопы ( $D_{ст}$ ), а по оси ординат условные средние значения обхвата в пучках ( $O_{пуч}$ ), то связь между этими размерными признаками будет изображаться ломаной линией, близкой к прямой.

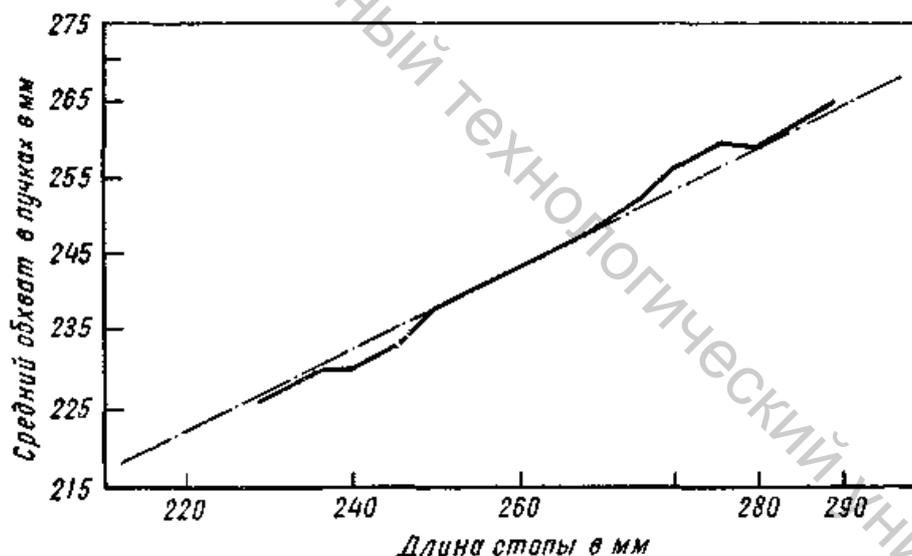


Рисунок 2.21 – Связь между длиной стопы и обхватом в пучках

Считая незначительные отклонения ломаной линии от прямой случайными, мы можем полагать, что в данном случае имеет место **линейная корреляционная связь**, т.е. средние значения обхватов в пучках связаны с длиной стопы линейной зависимостью, вида:

$$y = kx + e, \quad (2.8)$$

Ломаная линия, соединяющая средние значения одного из размерных признаков ( $\bar{y}_x$ ), называется **эмпирической линией регрессии** у по х. Предельное положение эмпирической линии регрессии, к которому она стремится при неограниченном увеличении числа наблюдений, называется **теоретической линией регрессии**.

Линия регрессии показывает, как смещаются ряды распределения одного признака (у) с увеличением другого (х) или как в среднем изменяется у с увеличением х.

Уравнение, характеризующее линию регрессии, т.е.  $y_x = f(x)$ , называется **уравнением регрессии**.

Для составления уравнения зависимости между двумя признаками (т.е. уравнения регрессии) вычисляют ряд параметров, выражающих зависимость между изучаемыми размерами. Основными параметрами являются: средние значения двух признаков  $M_x$  и  $M_y$ , коэффициент корреляции  $r$  и коэффициент регрессии  $R$ .

Коэффициент корреляции показывает, существует ли связь между признаками и насколько она велика. Если посмотреть на поле корреляции, то видно, что все точки с координатами (х, у) группируются около линии регрессии, так как для любой корреляционной зависимости, в отличие от функциональной, характерна некоторая расплывчатость.

При этом рассеивание для каждого значения х может быть весьма различным, начиная от полного его отсутствия, когда каждому значению х соответствует одно определенное значение у (функциональная зависимость), до полной независимости х и у.

Теснота связи и будет характеризоваться большей или меньшей близостью расположения этих точек около некоторой линии. Она выражается коэффициентом корреляции  $r$ . Коэффициент корреляции вычисляют по формуле

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_x)(y_i - M_y)}{n\sigma_x \cdot \sigma_y}. \quad (2.9)$$

где  $n$  – численность выборки.

Он может принимать значения от 0 до 1. Причем чем ближе коэффициент корреляции к 1, тем теснее связь. При  $r = 1$  существует функциональная связь, когда  $r = 0$ , связи между признаками нет.

Коэффициент корреляции между основными размерными призна-

ками стопы колеблется от 0,6 до 0,9.

Коэффициент регрессии дает количественную характеристику зависимости между размерными признаками, т.е. показывает, насколько изменяется один признак при изменении другого признака на единицу. Например, если при изменении длины стопы на 1 см обхват в пучках изменяется на 0,6 см, то это значит, что коэффициент регрессии  $R = 0,6$ .

Коэффициент регрессии для признака  $y$  по признаку  $x$  определяется по формуле

$$R_{\left(\frac{y}{x}\right)} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot r_{xy}. \quad (2.10)$$

Зная коэффициент регрессии ( $R$ ), средние величины признаков  $M_x$  и  $M_y$  можно без построения графиков найти уравнение связи между двумя признаками. Уравнение это имеет следующий вид:

$$\frac{y - M_y}{x - M_x} = R_{\left(\frac{y}{x}\right)}. \quad (2.11)$$

Откуда  $y = R_{\left(\frac{y}{x}\right)} \cdot (x - M_x) + M_y$  или  $y = R_{\left(\frac{y}{x}\right)} \cdot x - R_{\frac{y}{x}} M_x + M_y$ .

Нетрудно видеть, что это уравнение является уравнением прямой линии типа  $y = kx + b$ , в котором  $k = R_{\left(\frac{y}{x}\right)}$ ,  $b = [-R_{\left(\frac{y}{x}\right)} \cdot M_x + M_y]$ .

Так, для обхвата в пучках после обработки данных корреляционной таблицы уравнение будет иметь следующий вид:

$$O_{пуч} = 0,57D + 96, \quad (2.12)$$

Обработка данных обмера по другим признакам показала, что между шириной стопы в пучках ( $Ш_{пуч}$ ) и ее длиной ( $D$ ) имеются следующие зависимости:

$$Ш_{пуч} = 0,25D + 30 \text{ (усредненная для мужчин и женщин);}$$

$Ш_{пуч} = 0,28D + 15$  (усредненная для мальчиков и девочек школьного возраста).

Таким образом, поперечные размеры стопы (ширина, обхват, высота) увеличиваются не прямо пропорционально длине стопы, а по линейной зависимости.

Следовательно, **вторая закономерность** будет выражать следующее: **средние значения поперечных размеров стоп связаны с их длиной прямолинейной зависимостью вида  $y = kx + b$ .**

**Третья закономерность.** Как следует из предыдущих выво-

дов, каждая пара признаков, имеющая достаточно хорошую корреляцию, может быть выражена уравнением регрессии:

$$y = R_{\left(\frac{y}{x}\right)} \cdot x - \left[ R_{\left(\frac{y}{x}\right)} \cdot M_x + M_y \right]. \quad (2.13)$$

Исследование связи между длиной стопы и ее длиннотными размерами ( $D_1$ ;  $D_2$ ;  $D_3$  и т.д.) показало, что в уравнениях регрессии свободный член уравнения очень близок к нулю, т.е.

$$R_{\left(\frac{y}{x}\right)} M_x + M_y = 0. \quad (2.14)$$

Из этого следует, что  $R_{\left(\frac{y}{x}\right)} = \frac{M_y}{M_x} = k$ , т.е.  $y = kx$ .

Другими словами, между длиннотными размерами стопы и ее длиной имеется прямая пропорциональная зависимость, поэтому опознавательные точки анатомических участков расположены в длиннотном направлении на определенном относительном расстоянии по длине стопы, выражаемом коэффициентом пропорциональности  $k$ .

Следовательно, **третья закономерность гласит: все длиннотные размеры стопы пропорциональны ее длине.**

Значения коэффициента пропорциональности  $k$ , полученные в результате исследования стоп населения, приводятся ниже.

Расстояние от задней точки стопы до:	$k$
центра пятки.....	0,18
центра наружной лодыжки.....	0,20
точки сгиба стопы.....	0,42
точки подъема стопы.....	0,55
наружной точки плюснефалангового сочленения.....	0,62
внутренней точки плюснефалангового сочленения.....	0,73
конца мизинца.....	0,80

**Четвертая закономерность. Все поперечные размеры стопы связаны с шириной и обхватом в пучках пропорциональной зависимостью.**

Эта закономерность была доказана так же, как и предыдущая, но за аргумент в этом случае принимается не длина стопы, а один из ее основных поперечных размеров, например, наибольшая ширина или обхват стопы через головку I-й плюсневой кости.

Следует отметить, что между размерами обхватов и шириной сто-

пы нет такой четкой зависимости, как между шириной стопы и ее широтными и высотными размерами. Однако для технологических целей такая неточность значения не имеет, поэтому можно пользоваться несколько округленными коэффициентами.

Округленные коэффициенты пропорциональности  $k$  (поперечные) для взрослого населения, полученные, когда за аргумент была принята ширина стопы на уровне головки пятой плюсневой кости, имеют следующие значения:

Наименование размерного признака:	$k$
ширина стопы по головке I-й плюсневой кости (по внутреннему пучку).....	0,95
ширина стопы на уровне середины пятки.....	0,72
обхват по середине стопы.....	2,58
обхват по пятому плюснефаланговому сочленению (по наружному пучку).....	2,46
обхват через пятку и сгиб .....	3,45

### 2.1.3 Дополнительные сведения о размерах ног

#### 2.1.3.1 Связь длины стопы с ростом человека

Длина стопы находится в хорошей корреляционной связи с ростом человека. Большое количество антропологических данных свидетельствует о том, что длина стопы составляет примерно 15 % от роста человека ( $r = 0,75 \div 0,85$ ).

Установлено, что существуют следующие зависимости между ростом  $P$  и длиной стопы  $D$  взрослого населения:

- для мужчин .....  $D = 0,14 P + 29$ ;
- для женщин .....  $D = 0,14 P + 22$ .

Упрощая эти выражения, можно считать, что длина стопы у мужчин равна 15,8 %, а у женщин – 15,5 % от роста. У детей сначала длина стопы составляет 16-17 % от роста, а к 18–20 годам становится такой же, как и у взрослого.

#### 2.1.3.2 Связь между размерами стопы и руки

Существует связь между величиной обхвата кулака  $O_k$  человека и длиной стопы  $D$ , что выражается следующим уравнением регрессии:

$$D = 0,65 O_k + 86 \quad (r = 0,6). \quad (2.15)$$

При средней длине стопы обхват кулака равен длине стопы.

### **2.1.3.3 О симметрии размеров правой и левой стоп**

Данные обследований стоп свидетельствуют о том, что у значительной части людей размеры правой и левой стоп разные. Однако большинство людей имеет разницу между длиной правой и левой стоп всего 1–3 мм, что не влияет на размер обуви, и поэтому такие стопы считаются одинаковыми. Встречаются, правда, люди, у которых эта разница достигает 10–12 мм.

Установлено [26], что распределение разницы между размерами правой и левой стоп в большом коллективе людей подчиняется закону нормального распределения. В этом случае путем несложных вычислений можно определить, что стоп, имеющих разницу по длине 1–3 мм, т.е. одинаковых по длине, будет примерно 60 %, а стоп, имеющих разную длину, будет около 40 %. Причем у половины из них правая стопа будет больше левой, у другой половины – наоборот.

Аналогичные данные получены по обхвату и ширине стоп.

Отсюда следует, что ни одна из пары стоп не может претендовать на приоритет при проведении обмеров.

### **2.1.3.4 Размеры голени**

Если исследования стоп населения имеют большую историю, то первые данные об измерениях голени появились только в 70-е годы прошлого века в связи с проблемами конструирования сапожек с облегчающими голенищами. В результате проведения массовых обмеров установлено, что колебания обхватных и высотных размеров голени у женщин довольно значительные. Так, обхват голени в месте наибольшего развития икроножных мышц колеблется от 245 до 490 мм. Связь между обхватными размерами голени достаточно тесная: коэффициент корреляции  $r = 0,6–0,8$ . Слабее связь между обхватами стопы и голени ( $r = 0,4–0,6$ ), а между высотными и обхватными размерами голени связь практически отсутствует ( $r = 0,1$ ).

## **2.1.4 Влияние различных факторов среды на размеры ног**

### **2.1.4.1 Возрастные изменения стопы**

Размеры стопы с возрастом претерпевают значительные изменения. Особенно это касается детских стоп.

Например, длина стопы у девочек от 1 до 18 лет в среднем увеличивается на 120 мм, у мальчиков на 140 мм, это увеличение по годам идет крайне неравномерно.

Наибольший прирост длины стопы наблюдается у мальчиков и девочек в возрасте от 0,5 до 2,0 лет. В этом возрасте у мальчиков и девочек приращение стопы по длине за год составляет в среднем 14–15 мм. В возрасте от 3 до 7 лет увеличение длины стопы составляет в год 8–10 мм. С 7 до 11 лет приращение замедляется до 4–6 мм, а затем вновь возрастает, а потом резко снижается. Так, после 12 лет рост стопы у девочек замедляется, а к 15–16 годам он в основном заканчивается, составляя только 1 мм. У мальчиков замедление роста стопы в длину происходит с 16 лет и рост заканчивается к 18–19 годам.

Ширина и обхват стопы в пучках с 1 до 8 лет увеличивается примерно в 1,5–2,0 раза. Годовой прирост средней ширины стопы происходит относительно равномерно и составляет 4–6 мм у девочек и 5–9 мм у мальчиков и прекращается к 16 годам. Прирост по обхвату в пучках составляет в среднем 5–7 мм.

С возрастом среднее относительное увеличение ширины стопы меньше, чем соответствующее увеличение стопы в длину. Иными словами, с возрастом стопа становится относительно уже.

Несмотря на то, что к 18–20 годам формирование стопы заканчивается, в дальнейшем с увеличением возраста стопа изменяет свои размеры. Причем у женщин изменений в стопах больше, чем у мужчин.

С возрастом стопа человека становится ниже, угол отклонения I-го пальца увеличивается, проекционная длина ее уменьшается, за счет отклонения большого пальца. У женщин, кроме того, увеличивается ширина плюснефалангового сочленения.

Так, при одинаковой длине стопы ширина ее у женщин пожилого возраста увеличивается на 3–4 мм по сравнению со средним возрастом, а обхват в пучках увеличивается на 6–8 мм вследствие увеличения головки I-й плюсневой кости.

#### **2.1.4.2 Влияние этнографических факторов**

Размеры стоп имеют существенные различия в зависимости от этнографического района. Так, средняя длина стопы мужчин колеблется от 246 мм в Якутии до 264 мм в Грузии, что в переводе на размер обуви составит интервал, близкий к интервалу между четырьмя номерами обуви. Аналогичное положение и по женской, и по детской группам. Например, у латышей значения средних величин всех размерных признаков стопы больше, чем у русских, т.е. латыши имеют более крупную стопу.

Различие в антропометрических данных наблюдается также меж-

ду городскими и сельскими жителями одного и того же этнографического района. Здесь существенное влияние на это различие оказывает характер опорного грунта.

#### **2.1.4.3 Влияние профессии человека на стопу**

Характер условий труда также оказывает влияние на размеры стопы. Так, у людей, работающих стоя, наблюдается увеличение ширины и объемных размеров стопы, уплощение свода, увеличение головки I-й плюсневой кости. Это связано с увеличением костей, изменением их формы, толщины компактного вещества.

#### **2.1.5 Построение размерной типологии стоп**

Как было изложено выше, стопы в достаточно большом коллективе людей имеют различные размеры, величины этих размеров взаимно связаны между собой и связи эти выражаются определенными закономерностями.

Имея достаточное количество данных относительно размеров стоп у различных людей, можно путем обработки полученного материала объединить всех людей данного коллектива в группы, имеющие более или менее сходные по размерам и формам стопы, и представить каждую группу в виде обладателей типичной стопы, которая будет отражать размеры стоп всей данной группы. По размерам и форме такой типичной стопы можно выпускать обувь на фабриках, и эта обувь будет обеспечивать всю данную группу людей (т.е. будет для них удобной).

Однако при выделении типичных стоп необходимо решить задачу так, чтобы выделенное количество типов было бы, с одной стороны, минимальным (это является требованием массового производства), а с другой стороны, чтобы это минимальное количество отражало бы всю совокупность в целом и чтобы обувь, пошитая с учетом размеров типичных стоп, удовлетворяла большинство людей данного коллектива.

Исходными данными для выделения типов и подтипов стоп являются данные о распределении стоп по двум размерным признакам, т.е., другими словами, корреляционные решетки.

##### **2.1.5.1 Основные принципы построения размерной типологии населения**

В результате математической обработки антропометрических ма-

териалов получают данные, которые дают возможность перейти к построению размерной типологии.

При построении размерной типологии (разработки рациональной системы типовых фигур), решают следующие основные задачи:

- выбор главных, ведущих признаков, определяющих тип или подтип фигуры;
- установление интервала по каждому из ведущих признаков между размерами соседних типов;
- установление относительного числа типовых фигур для производства изделий;
- определение значений всех других размерных признаков для типовых фигур.

#### **2.1.5.1.1 Ведущие признаки**

Первая задача, которую требуется решить при построении размерной типологии, сводится к выбору из всех антропометрических признаков таких, которые наилучшим образом будут определять форму и пропорции тела человека или его частей. Эти признаки получили название главных, или ведущих, признаков. Все остальные размерные признаки, дающие детальную размерную характеристику тела или его частей, называются подчиненными.

Правильный выбор ведущих признаков и установление их числа является одной из основных задач построения размерной типологии.

Число ведущих признаков не может быть произвольным – оно должно быть оптимальным, так как введение каждого нового ведущего признака увеличивает число размерных вариантов, что в значительной степени усложняет выпуск готовых изделий. В то же время тело или его части должны быть охарактеризованы разносторонне.

Значительная связь между размерами, ориентированными в одной плоскости, дает возможность заменить группу признаков одним ведущим признаком.

Малая же связь между признаками, ориентированными в различных плоскостях, вызывает зачастую необходимость выделения не одного, а минимум двух ведущих признаков.

Для того, чтобы ведущие признаки в лучшей степени определяли форму фигуры и разносторонне характеризовали ее, они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- иметь наибольшую или близкую к наибольшей абсолютную величину;
- располагаться в разных плоскостях;
- каждый ведущий признак должен быть в наибольшей степени

связан с другими признаками, ориентированными в той же плоскости;  
- связь между ведущими признаками должна быть небольшой.

Так, для стопы такими признаками являются длина стопы  $D_{ст}$  и ее обхват в пучках  $O_{пуч}$ .

Длина стопы и обхват в пучках являются наиболее крупными размерными признаками (тотальными размерами), определяющими форму стопы человека.

Длина стопы и обхват в пучках расположены в разных плоскостях, и степень связи между ними является небольшой (коэффициент корреляции равен  $r = 0,4-0,5$ ). В то же время корреляция между длиннотными размерами и длиной стопы, а также между обхватом в пучках и поперечными размерами достигает достаточно большой величины ( $r = 0,7-0,9$ ).

Однако в ряде работ [27] было установлено, что выделение длины стопы и обхвата в пучках в качестве ведущих размерных признаков недостаточно для полной характеристики ноги человека при конструировании сапог. Данные массовых измерений показали, что при одном и том же обхвате в пучках стопы обхваты голени значительно изменяются, что свидетельствует о необходимости введения еще одного ведущего признака для обуви, облегающей голень, которым является обхват голени в месте наибольшего развития икроножной мышцы.

### 2.1.5.1.2 Интервал безразличия

Число типов зависит не только от числа ведущих признаков, но и от интервала (промежутка) по каждому из ведущих признаков между размерами соседних типов.

Для того, чтобы можно было все разнообразие фигур, встречающихся среди населения, свести к сравнительно небольшому числу типов, вводится понятие интервала безразличия.

**Интервал безразличия  $S$**  – это промежуток, внутри которого разница между размерами изделий не ощущается потребителем. Понятие интервала безразличия для стоп введено Ю.П. Зыбиным, который вначале ввел понятие «предел ощущения»  $\lambda$  - величины, на которую можно изменить размер обуви без заметного ощущения для человека, т.е. вредного воздействия на стопу. Величина предела ощущения дает границу значений размеров, после которых следует брать иной размер обуви, так как предыдущий оказывается слишком малым или слишком большим.

Понятие «интервал безразличия» является основным в теории размерной типологии. От правильности определения интервала безразличия для каждого ведущего признака зависит построение целесообразной системы типовых фигур.

Если интервал безразличия близок к нулю, промышленное производство изделий личного пользования невозможно. В этом случае пришлось бы изготавливать бесчисленное множество размеров изделий, так как в природе не встречается двух людей с абсолютно одинаковыми размерами тела и его частей, в частности стоп.

Интервал безразличия в большинстве случаев ограничен с двух сторон  $S=2\lambda$ . Следовательно, одним и тем же размером изделий могут пользоваться не только те люди, размер которых точно совпадает с размером изделия, но и люди, размер которых больше или меньше указанной величины в пределах установленного интервала безразличия. Если интервал безразличия ограничен с одной стороны, это значит, что изделие не может быть меньше определенного размера. Имеется в виду, что изделие, рассчитанное на больший размер, подойдет и людям значительно меньшего размера. В качестве примера такого рода изделий могут служить поясные ремни.

На интервал безразличия может влиять величина размерного признака: чем больше признак, тем больше интервал безразличия. Интервал безразличия определяют опытным путем.

### 2.1.5.1.3 Определение оптимального числа типовых фигур

Для построения целесообразной размерной типологии все население должно быть представлено приемлемым для промышленности числом типовых фигур, для которых будет выпускаться изделие. В то же время потребитель заинтересован в том, чтобы каждый человек мог найти изделие по своей фигуре. Таким образом, промышленность и потребители приходят к противоположным требованиям: промышленность стремится к сокращению числа размеров выпускаемых изделий, потребители – к их увеличению. Задача может быть решена на основе учета закономерности возрастания удовлетворенности населения в зависимости от увеличения числа размерных вариантов.

Под удовлетворенностью населения данной системой типовых фигур подразумевают относительную или абсолютную численность людей, которым подходят изделия, изготовленные на эти фигуры.

При распределении признака, близком к нормальному, удовлетворенность сначала быстро возрастает, затем замедляется, а после достижения определенной величины нарастание удовлетворенности настолько падает, что дальнейшее увеличение числа размеров становится нецелесообразным.

Пусть нужно рассчитать удовлетворенность обувью по одному из ведущих признаков. Предположим, что интервал между двумя соседними размерами равен половине среднеквадратичного отклонения призна-

ка, т.е.  $0,5\sigma$ . Тогда при условии нормального распределения признака при одном типоразмере удовлетворенность составит 19,7% по таблице площадей кривой нормального распределения (приложения) (т.е. удовлетворенность находится в пределах доверительного интервала  $M \pm 0,25\sigma$ ). При двух типоразмерах удовлетворенность составит 38,3 % ( $M \pm 0,5\sigma$ ) и т.д.

В таблице 2.5 представлена удовлетворенность населения размерами изделий по одному ведущему признаку при разном числе типоразмеров.

Таблица 2.5 – Удовлетворенность населения размерами изделий по одному ведущему признаку при возрастании числа размеров (интервал между размерами  $0,5\sigma$ )

Число размеров	Границы удовлетворенности	Удовлетворенность, %	Приращение удовлетворенности, %
1	0,25	19,70	19,70
2	0,50	38,30	18,60
3	0,75	54,70	16,40
4	1,00	68,30	13,60
5	1,25	78,90	10,60
6	1,50	86,60	7,70
7	1,75	92,00	5,40
8	2,00	95,50	3,50
9	2,25	97,60	2,10
10	2,50	98,80	1,20
11	2,75	99,40	0,60
12	3,00	99,70	0,30
13	3,25	99,90	0,20
14	3,50	99,95	0,05
15	3,75	99,98	0,03

Как видно из таблицы, уже при семи размерных вариантах удовлетворенность по одному признаку превышает 90 %, а при 12 вариантах – 99,7 %. Дальнейшее увеличение числа вариантов становится бессмысленным.

Если интервал безразличия между двумя размерами выбрать равным  $0,25\sigma$ , то та же удовлетворенность будет достигнута при числе типоразмеров, вдвое большем. Так, чтобы достичь удовлетворенности 86,6%, надо изготовить изделие не шести размеров, а двенадцати. Очевидно, достижение оптимального числа типоразмеров, при котором дальнейшее увеличение их нецелесообразно, зависит как от изменчивости признака, так и от величины интервала безразличия.

Таким образом, основная задача построения размерной типологии сводится к тому, чтобы выбрать наиболее часто встречающиеся типо-

размеры населения. При этом следует выделить число типоразмеров, которое является оптимальным и для промышленного производства изделий, и для населения.

#### 2.1.5.1.4 Определение всех других размерных признаков выделенных типовых фигур

Люди, значения размерных признаков которых равны их среднеарифметическим значениям для данной совокупности людей, называют **средне-средними**. Размеры этих людей служат исходными при проектировании изделий среднего (исходного) размера серии.

Люди, значения размерных признаков которых равны значениям, рассчитанным по уравнениям регрессии, называют **среднетипичными**. Их размеры являются исходными при проектировании изделий различных размеров серии.

Таким образом, для определения значений всех других размерных признаков нужно составить уравнения регрессии для каждого из подчиненных признаков, учитывая их основные статистические параметры  $M$  и  $\sigma$  и корреляционную связь подчиненных признаков с каждым из ведущих.

Изучение характера связи между антропометрическими признаками, используемыми при построении размерной типологии, показало, что все признаки связаны между собой прямолинейной и прямо пропорциональной зависимостями.

Если при построении размерной типологии используются два или более ведущих признаков, то в этом случае для определения значений всех подчиненных признаков необходимо составить уравнения множественной регрессии.

#### 2.1.5.2 Выделение основных типов стоп

Как было отмечено выше, при разработке размерной типологии стоп главными (ведущими) признаками являются длина стопы  $D_{ст}$  и её обхват в пучках  $O_{пуч}$ .

Учитывая, что все системы нумерации обуви связаны с длиной стопы, при выделении основных типов стоп в качестве главного (ведущего) признака принята длина стопы. Поэтому среднетипичные стопы отличаются от средне-средних, прежде всего, по длине.

Установление длины следующего типоразмера зависит от принятой системы нумерации обуви: метрической, штихмассовой и т.д.

Так, в метрической системе нумерации один номер обуви отлича-

ется от другого по длине на 5 мм. В связи с этим и разница между двумя смежными типами стоп будет составлять 5 мм, т.е. интервал безразличия  $S_d = 5$  мм. Это хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными в работе [28].

Из этого следует, что лица, имеющие стопы, отклоняющиеся по длине от среднетипичной на  $\pm 2,5$  мм, не будут типичными, однако обувь, изготовленная по размерам типичной стопы, будет для них удобной или впорной.

Так, следующие типоразмеры будут отличаться от средне-среднего (исходного) на  $\pm 5$  мм. Среднее значение длины стопы для этих двух смежных со средним типом составят  $M_1 = M_0 + 5$  мм;  $M_2 = M_0 - 5$  мм, а обувь, изготовленная по размерам  $M_1$  и  $M_2$  будет удобной для людей, имеющих длину стоп  $M_1 = \pm 2,5$  мм и  $M_2 = \pm 2,5$  мм.

Таким образом, все стопы разделяются по длине на группы с интервалом 5 мм. При этом необходимо учитывать, что так как номера обуви представляют собой округленные величины (260, 265, 270), то за средне-средний размер также принимают не фактический, полученный при обмерах (например,  $M=262$  мм), а ближайший к нему округленный – (260).

При штихмассовой системе нумерации интервал по длине стопы принят 1 штих (6,67 мм). В этом случае за типичные номера обуви берут целые числа 41, 42 и т.д.

При определении оптимального числа основных типов стоп исходят из максимальной удовлетворенности населения обувью по размерам.

$$n = \pm \frac{3\sigma_d}{S_d}, \quad (2.16)$$

где  $n$  – количество основных типов;

$\sigma_d$  – среднеквадратическое отклонение по  $D_{cm}$ ;

$S_d$  – интервал безразличия по  $D_{cm}$ .

При этом удовлетворенность населения впорной обувью по длине составит 99,7 %.

С увеличением длины среднетипичной стопы будут изменяться и поперечные размеры стопы. Определить эти размеры можно по соответствующим уравнениям регрессии. По уравнению регрессии, например, можно высчитать, что у среднетипичных стоп при изменении длины стопы на 5 мм обхват в плюснефаланговом сочленении будет изменяться на 3 мм. Зная уравнения регрессии для остальных признаков, можно установить размеры среднетипичных стоп по всем подчиненным размерным признакам.

### 2.1.5.3 Выделение дополнительных типов (подтипов) стоп

Анализ данных размеров стоп показывает, что кроме средне-средних и среднетипичных стоп, у которых поперечные размеры средние при определенной длине стопы, в коллективе будут находиться лица со стопами той же длины, но с поперечными размерами, значительно отличающимися от средних.

Как видно из корреляционной таблицы (см. таблицу 2.3), при одной и той же длине, стопы имеют различные поперечные размеры. Например, при длине стоп 260 мм они имеют обхват от 205 до 295 мм. Причем больше всего стоп, обхват которых близок к среднему, но имеются и такие, обхват которых значительно больше или меньше среднего.

Если обувь сделана по размерам среднетипичной стопы, то впорной (удобной) обувью будет удовлетворена только часть населения, остальным же придется брать обувь неподходящего объема.

Чтобы удовлетворить впорной обувью всех людей, имеющих определенную длину стопы, необходимо кроме средних типов стопы выделить дополнительные типы (подтипы) по поперечным размерным признакам. В дополнительные типы будут входить стопы, у которых поперечные размеры отличаются на какую-то определенную величину от среднетипичных. Линии уравнений связи для таких подтипов проходят параллельно линии регрессии на определенном расстоянии от нее, равном величине интервала второго признака. При выделении дополнительных типов стоп главным (ведущим) размерным признаком принят обхват в плюснефаланговом сочленении (пучках)  $O_{пуч}$ .

Величина интервала безразличия по обхвату в пучках  $S_o$  до сих пор точно не установлена, так как связана с ощущениями человека. Но некоторые косвенные данные для этого имеются. Во-первых, исследования сжатия стопы лентой показывают, что уменьшение ее обхвата на 4–5 мм составляет примерно  $\frac{1}{4}$  часть сжатия стопы до болевого ощущения. Во-вторых, исходя из практики пригонки обуви, можно сделать вывод, что увеличение или уменьшение обхвата обуви на 3–5 мм не вызывает неприятного ощущения для носчика. Далее известно, что, надев одну или две пары носков, человек свободно использует одну и ту же пару обуви. А это говорит о том, что увеличение размеров обхвата на 2–4 мм, которое дает надевание вторых носков, хотя и ощущается человеком, но вполне допустимо в носке. Это подтвердили экспериментальные исследования по установлению интервала безразличия для различных видов обуви [28]. Так, для женской закрытой обуви интервал безразличия установлен 10,3 мм, а для мужской 11,2 мм.

В ГОСТ 3927–88 на колодки величина интервала безразличия по

обхвату в плюснефаланговом сочленении принята 6 мм при обязательном выпуске 4-х полнот и 8 мм при обязательном выпуске 3-х полнот. Следовательно, дополнительные типы стоп будут иметь величину размера по обхвату на 6 или 8 мм меньшую или большую, чем среднетипичные стопы.

Чтобы установить, сколько полнот кроме средней требуется для удовлетворения данного коллектива впорной обувью или количество рядов дополнительных типов стоп, нужно знать, какова вариация (изменчивость) того или другого признака в изучаемом коллективе.

Отклонение признака от средней линии регрессии, т.е. отклонение признака по каждому ряду, а не всей совокупности в целом, характеризуется строевой  $\Sigma$  (сигма), или, как её называют, частным среднеквадратическим отклонением.

$$\Sigma_o = \sigma_o \sqrt{1 - r_{do}^2}, \quad (2.17)$$

где  $r_{do}$  – коэффициент корреляции между  $D_{ст}$  и  $O_{нуч}$ .

Строевая сигма ( $\Sigma$ ) показывает, как варьирует второй признак около средней. Так как колебания значений признака подчиняются закону нормального распределения, то можно заключить, что вариация происходит в пределах от  $+3\Sigma$  до  $-3\Sigma$ .

Зная среднюю величину размерного признака  $O_{нуч}$ , вычисленную по уравнению регрессии для данной длины стопы и, прибавив к ней  $\pm 3\Sigma$ , получим предельно возможные значения признака для данной длины стопы.

Практически нет необходимости брать отклонения в  $\Sigma$  от средней, так как, ограничившись пределом колебания  $\pm 2\Sigma$ , можно охватить 95,4 % всей совокупности.

Зная интервал безразличия  $S_o$  и предел колебания признака, равный  $\pm 2\Sigma$ , можно определить количество рядов дополнительных типов  $n$ .

$$n = \pm \frac{2\Sigma_o}{S_o}, \quad (2.18)$$

При этом если  $n$  получается не целым числом, то оно округляется до целого.

По данным ЦНИИКП  $\sigma_o$  и  $\Sigma_o$  для различных групп населения имеют значения, приведенные в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Значения  $\sigma_o$  и  $\Sigma_o$  по обхвату в пучках (мм) для различных групп населения

Группа населения	$\sigma_o$	$\Sigma_o$
Мужчины	11,9	9,3
Женщины	10,5	8,7
Дети от 8 до 15 лет (мальчики)	10,6	8,9
Дети от 8 до 15 лет (девочки)	10,4	7,4
Дети от 3 до 7 лет (мальчики)	8,4	6,2
Дети от 3 до 7 лет (девочки)	7,9	6,2

Таким образом, если колебания обхвата в пучках у женщин будет равно  $\pm 2\Sigma = \pm 2 \times 8,7 = \pm 17,4$  мм, а интервал безразличия –  $S_o = 8$  мм, то количество рядов дополнительных типов должно быть

$$n = \frac{\pm 2\Sigma_o}{S_o} = \frac{17,4}{8} = 2,1 \approx \pm 2,$$

т.е. два дополнительных типа больших размеров и два подтипа меньших размеров. Или, другими словами, промышленность должна выпускать 3–4 варианта полноты обуви с интервалом 8 мм для обеспечения всего населения удобной обувью.

Однако для всех типов стоп, кроме двух основных размеров (длины и обхвата в пучках), по которым происходило их выделение из общей совокупности (или коллектива), необходимо установить и все остальные размеры, которые необходимы для построения обуви (обхват по середине стопы, ширина в пятке и пучках и т.д.).

Для среднетипичных стоп, как мы уже говорили, эти размеры определяются по уравнениям регрессии, связывающими длину стопы со вторым признаком или поперечные размеры между собой.

Для дополнительных подтипов размеры можно получить, используя уравнения множественной корреляции. Уравнение множественной корреляции

$$y = a + vx_1 + cx_2, \quad (2.19)$$

где  $v$  – коэффициент, показывающий, на какую величину изменяется признак  $y$  при изменении признака  $x_1$  на единицу при постоянном значении признака  $x_2$ ;

$c$  – коэффициент, показывающий, на сколько изменится признак  $y$  при изменении признака  $x_2$  на единицу при постоянном значении  $x_1$ .

Однако этот путь очень сложен. Более простым путем остальные размеры для подтипов стоп можно определить при помощи строевой

сигмы  $\sum_o$ , используя строевые сигмы каждого признака.

Для этого интервал безразличия  $S$  для обхвата в пучках выражают в долях  $\Sigma$ . Например, дополнительные подтипы по ГОСТ будут отличаться по обхвату в пучках от среднего типа на 8 мм. Строевая же сигма по обхвату в пучках для взрослого населения равна в среднем 9 мм. Значит, дополнительные подтипы будут отстоять от среднего типа на  $\frac{8}{9} = 0,89\Sigma$ .

Следовательно, величины всех остальных размеров стоп дополнительных подтипов должны отстоять от средних их значений также на 0,89 их строевых сигм.

В ГОСТе с некоторыми округлениями приняты следующие интервалы по полноте (или между подтипами) в мм.

По ширине стопы в пучках.....3 мм.

По ширине стопы в пятке.....2 мм.

Таким образом, в пределах одного длиннотного размера (номера обуви) необходимо иметь обувь нескольких обхватов (полнот). При выпуске обуви трех полнот (с интервалом между полнотами 8 мм) удовлетворенность населения удобной обувью достигает 81,6 %.

## 2.2 Антропометрия кисти руки

В основу методики антропометрического изучения кистей рук положены те же принципы, что и при изучении стопы, а именно:

- положение каждой антропометрической точки измеряют в трех направлениях – по длине, ширине и высоте;
- поперечные сечения кисти проходят перпендикулярно горизонтальной плоскости, на которой лежит кисть;
- все высотные размеры определяются от плоскости, на которой лежит кисть.

Измерения проводят в положении, когда кисть находится в выпрямленном состоянии. Все размеры снимаются с правой кисти без деформации мягких тканей. При этом необходимо следить за положением кисти и руки. Кисть и предплечье должны быть расположены таким образом, чтобы их продольные оси совпадали как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

### 2.2.1 Основные размерные признаки кисти руки

Основными размерными признаками кисти руки являются (рисунок 2.22):

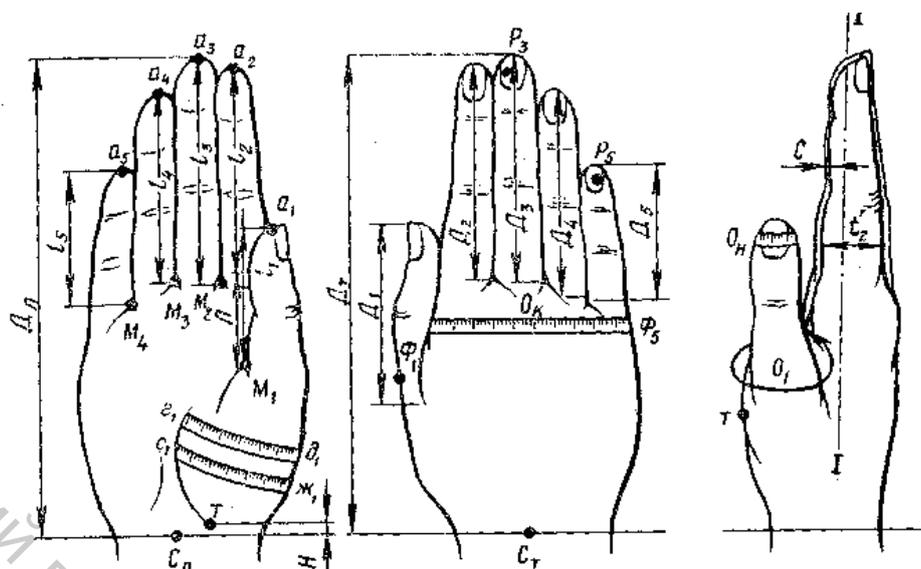


Рисунок 2.22 – Программа обмера кисти

**длина кисти с ладонной стороны** – « $D_n$ » – расстояние от середины основания кисти до наиболее удаленной точки 3-го пальца;

**длина кисти с тыльной стороны** – « $D_m$ » – расстояние от середины основания кисти до наиболее удаленной точки 3-го пальца;

**длина ладони** – « $l$ » – расстояние от основания кисти до самой глубокой точки 4-го межпальцевого промежутка;

**длина пальцев с тыльной стороны:**

- I-го – ( $D_1$ ) – расстояние от I-й межпальцевой точки до наиболее удаленной точки I-го пальца;

- II-го – ( $D_2$ ) – расстояние от II-й межпальцевой точки, спроектированной на ось пальца, до наиболее удаленной точки II-го пальца;

- III-го – ( $D_3$ ) – расстояние от II-й межпальцевой точки, спроектированной на ось пальца, до наиболее удаленной точки III-го пальца;

- IV-го – ( $D_4$ ) – расстояние от III-й межпальцевой точки, спроектированной на ось пальца, до наиболее удаленной точки IV-го пальца;

- V-го – ( $D_5$ ) – расстояние от самой глубокой точки IV-го межпальцевого промежутка, спроектированной на ось пальца, до наиболее удаленной точки V-го пальца;

**длина пальцев с ладонной стороны (флексорная длина):**

- I-го – ( $l_1$ ) – расстояние от I-й межпальцевой точки до наиболее удаленной точки I-го пальца;

- II-го – ( $l_2$ ) – расстояние от II-й межпальцевой точки до наиболее удаленной точки II-го пальца;

- III-го – ( $l_3$ ) – расстояние от II-й межпальцевой точки до наиболее удаленной точки III-го пальца;

- IY-го – ( $l_4$ ) – расстояние от III-й межпальцевой точки до наиболее удаленной точки IY-го пальца;

- Y-го – ( $l_5$ ) – расстояние от IY-го межпальцевого промежутка до наиболее удаленной точки Y-го пальца;

**обхват кисти на уровне головки Y-й пястной кости – « $O_k$ ».** Размер берется перпендикулярно продольной оси кисти, на уровне наиболее выступающей в сторону точки Y-го пястно-фалангового сустава. Кисть лежит ладонью на столе, пальцы выпрямлены, большой палец отведен в сторону;

**обхват пальцев в свободном состоянии (I-го, II-го, III-го, IY-го, Y-го) –  $O_1, O_2, O_3, O_4, O_5$ .** Размер берется перпендикулярно продольной оси пальца;

**ширина кисти на уровне Y-го пястно-фалангового сустава – « $Ш_k$ »** – расстояние от наиболее выступающей в сторону точки Y-го пястно-фалангового сустава до наружного края I-го пальца. Размер определяется при сомкнутых пальцах перпендикулярно продольной оси кисти;

**ширина пальцев (I-го, II-го, III-го, IY-го, Y-го) –  $Ш_1, Ш_2, Ш_3, Ш_4, Ш_5$ ;**

**толщина пальцев на уровне межпальцевой точки (I-го, II-го, III-го, IY-го, Y-го) –  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$ .**

### 2.2.2 Закономерности в распределении размеров и в соотношениях между размерными признаками

Обработка данных, полученных в результате массового обмера кистей рук, методами математической статистики показала, что размеры кистей рук подчиняются тем же закономерностям, что и размеры стоп.

**I-я закономерность:** распределение размерных признаков кистей рук подчиняется закону нормального распределения.

**II-я закономерность:** средние значения поперечных размеров кистей рук связаны с их длиной прямолинейной зависимостью вида:  $y = kx + b$ .

Так, уравнение связи основных длиннотных размерных признаков с поперечными имеют следующий вид:  $O_k = 0,092l_3 + 142,2$ ,  $Ш_k = 0,19D_l + 46,4$ .

**III-я закономерность:** все длиннотные размеры кисти руки пропорциональны ее длине. Особенность в том, что при определении длиннотных размеров на тыле кисти за основу берется ее тыльная длина, а при определении размеров на ладони – ладонная.

**IY-я закономерность:** все поперечные размеры кисти руки связаны между собой пропорциональной зависимостью.

В таблице 2.7 приведены значения коэффициентов пропорциональности связи между размерами кисти.

Таблица 2.7 – Значения коэффициентов пропорциональности связи между размерами кисти

Размерный признак	От длины кисти		Размерный признак	От обхвата или ширины	
	тыльной $D_m$	ладонной $D_l$		$O_k$	$Ш_k$
1	2	3	4	5	6
Длина I-го пальца	0,36	0,28	Обхват I-го пальца	0,30	-
Длина II-го пальца	0,45	0,35	Обхват II-го пальца	0,31	-
Длина III-го пальца	0,51	0,43	Обхват III-го пальца	0,31	-
Длина IV-го пальца	0,48	0,38	Обхват IV-го пальца	0,30	-
Длина V-го пальца	0,38	0,29	Обхват V-го пальца	0,30	-
Длина кисти тыльная	-	0,28	Обхват кисти на уровне I-го плюснефалангового сустава	1,13	-
Длина ладони по V-му лучу	0,95	-	Толщина I-го пальца	0,07	-
			Толщина III-го пальца	0,09	-
			Ширина I-го пальца	-	0,25
			Ширина II-го пальца	-	0,23
			Ширина III-го пальца	-	0,20
			Ширина IV-го пальца	-	0,20
			Ширина V-го пальца	-	0,19
			Ширина кисти	0,41	-

### 2.2.3 Построение размерной типологии кистей рук

Основными исходными данными для выделения типов и подтипов кистей рук являются данные о распределении кистей по двум размерным признакам и наличие связи между основными размерными признаками кисти.

Сочетания размерных признаков кистей рук, аналогично, как и стоп, подчиняется закону двумерного нормального распределения.

При выделении типов и подтипов кистей рук необходимо, прежде всего, выбрать два основных размерных признака, которые больше всего влияют на конструкцию и удобство перчаток. Обычно выбираются размеры, ориентированные относительно разных осей (длина – обхват).

При моделировании перчаток основными характерными конструктивными размерами являются обхват кисти на уровне V-го пястнофалангового сочленения – « $O_k$ » и ладонная (флексорная) длина третьего пальца – « $l_3$ », так как этот признак имеет четкие границы измерения как

на кисти, так и на лекалах перчаток.

Кроме того, величина обхвата кисти определяет номер перчаток, поэтому по обхвату кисти и производится выделение основных типов кистей рук.

По аналогии со стопами, смежные типоразмеры кистей будут отличаться от среднего на величину предела ощущения -  $\lambda$ .

В результате проведенных исследований [29] было установлено, что величина предела ощущения для кистей рук составляет 3 мм, т.е.  $\lambda = 3$  мм.

Следовательно, для кистей рук, имеющих размеры на 3 мм больше, чем среднее значение обхвата, может быть взят один и тот же номер перчаток.

Если же обхват кисти будет на 3 мм меньше среднего, то средний номер перчаток окажется для данных рук велик. Доказано, что перчатки среднего обхвата (номера) будут удовлетворять только людей, у которых обхват кисти руки меньше среднего на 2 мм.

Следовательно, интервал безразличия для обхвата кисти несимметричен и равен  $S_{ок} = 3 + 2 = 5,0$  мм, и к одному типу будут относиться кисти со следующими отклонениями от среднего обхвата:

$$\bar{O}_k - 2\text{мм} \text{ и } \bar{O}_k + 3\text{мм}.$$

На основании приведенного выше рассуждения и производят выделение основных типоразмеров по обхвату кисти.

Размах по обхвату кисти принят  $\pm 2 \sigma$ , что обеспечивает удовлетворенность 95,4 % населения впорными перчатками.

Учитывая особенность конструкции перчаток и рукавиц и свойства материалов, из которых они изготовлены, указанная удовлетворенность считается вполне достаточной.

При этом необходимое число типоразмеров кисти при  $\sigma_{ок} = 9$  мм будет равно

$$n_{ок} = \frac{4\sigma_{ок}}{S_{ок}} = \frac{4 \cdot 9,0}{5} = 7,2 \approx 7,$$

т.е. кроме среднего должно быть выделено по три больших и меньших типоразмера, которые условно названы: особо узкий, узкий II, узкий I, широкий I, широкий II, особо широкий.

На рисунке 2.23 показано выделение основных типов кистей женских рук по данным обмеров в г. Москве и Белоруссии ( $\bar{O}_k = 193$  мм). Учитывая, что в промышленности среднему размеру (N7) перчаток соответствует обхват кисти  $O_k = 189$  мм, для удобства производственных расчетов в качестве среднего обхвата кистей женщин был выбран обхват, равный 190 мм.

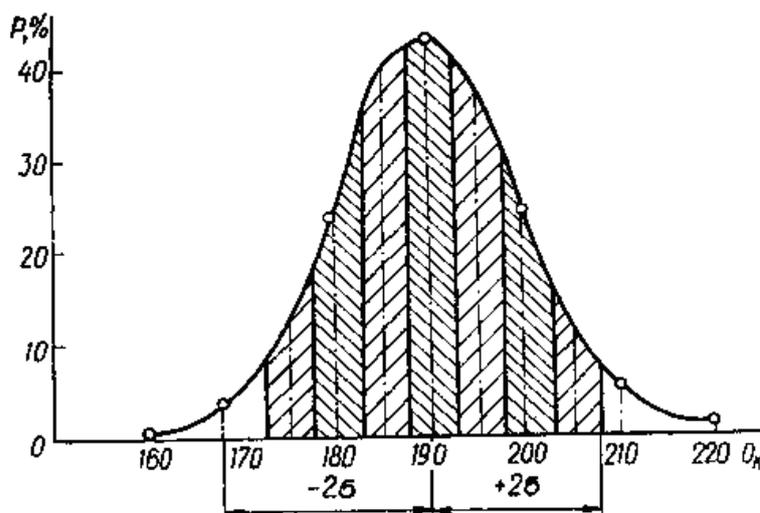


Рисунок 2.23 – Распределение кистей женских рук по обхвату  $O_k$

Однако при одном и том же значении обхвата имеются кисти с различной длиной III-го пальца, характеризующей подтип кисти по длине. На основании данных института Антропологии МГУ интервал безразличия для длины III-го пальца  $S_{l_3}$  принят равным – 5 мм. Приняв этот интервал за исходный, производят выделение дополнительных типов по длине III-го пальца ( $l_3$ ).

Проведенными исследованиями было доказано, что если по длине III-го пальца размах колебания признака принять в пределах  $\pm 1,0\sigma$ , то в этом случае удовлетворенность населения впорными перчатками по длине достигает 68,3 %, что является достаточным, учитывая большую удовлетворенность по обхвату.

В этом случае число подтипов будет равно  $n = \frac{2\sigma}{S} = \frac{2 \cdot 5,0}{5} = 2$  (при  $\sigma \approx \pm 5$  мм), т.е. можно ограничиться двумя дополнительными типами (подтипами) – длинным и коротким по каждому основному типоразмеру.

Однако, учитывая, что размах изменчивости длины третьего пальца  $l_3$  при среднем значении обхвата  $\bar{O}_k$  больше, чем при максимальном и минимальном обхватах ( $R = 25$  мм при среднем  $\bar{O}_k$ ,  $R = 10$  мм – при минимальном  $O_k$  и  $R = 15$  мм при максимальном), для среднего типа было решено выделить три подтипа по длине третьего пальца (длинный, средний и короткий), а для особо узкого и особо широкого типов ограничиться одним дополнительным типом (подтипом), учитывая небольшое количество людей с данными размерами (рисунок 2.24).

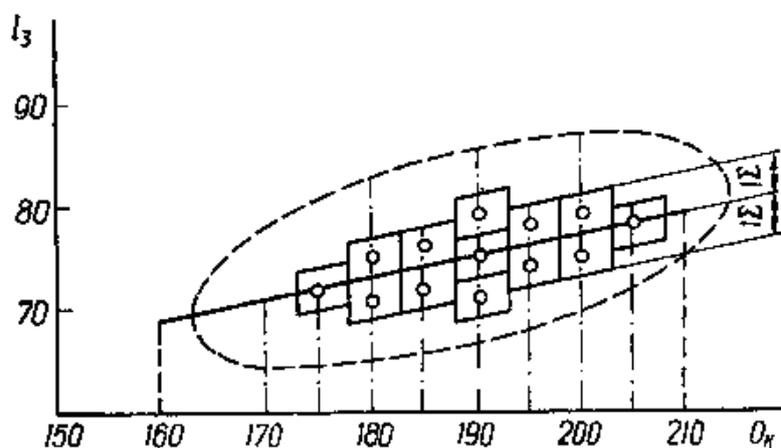


Рисунок 2.24 – Распределение кистей женских рук по длине третьего пальца

### 2.3 Контрольные вопросы

1. Что понимается под генеральной совокупностью? Выборка из генеральной совокупности и ее отличие от генеральной.
2. Назовите основные характеристики вариационного ряда.
3. Основные методы и средства антропометрического изучения стоп.
4. Какое распределение частот признаков называют нормальным распределением? Его основные свойства.
5. Закономерности в распределении стоп по размерам.
6. Закономерность в распределении сочетаний размерных признаков стоп.
7. Как связаны поперечные размеры стопы с ее длиной?
8. Как связаны между собой поперечные размеры стоп и размеры стоп по длине?
9. Что характеризует коэффициент корреляции, в каких пределах он изменяется?
10. Что показывает коэффициент регрессии?
11. Какие размерные признаки получили название ведущих и подчиненных? Как выбирают ведущие признаки?
12. Какие размерные признаки выбраны ведущими при построении размерной типологии стоп и кистей рук?
13. Что такое интервал безразличия? Как его устанавливают и для чего он нужен?
14. Выделение основных типов стоп.
15. Выделение дополнительных типов стоп.
16. Влияние различных факторов на размеры стоп.

### Часть 3. БИОМЕХАНИКА

**Биомеханика** – это раздел физиологии, изучающий движения человека. Она затрагивает очень обширный круг вопросов, касающихся работы как всего человеческого тела при различных его положениях и движениях, так и отдельных его органов.

В биомеханических исследованиях обычно рассматривают основное положение человеческого тела – стояние – и важнейшие его движения – ходьбу и бег. Исходя из этого, мы и будем изучать работу стопы.

#### 3.1 Работа стопы при стоянии

Равновесие тела при стоянии не является абсолютным, о чем свидетельствуют незначительные покачивания его, которые происходят, главным образом, в результате взаимодействия различных групп мышц, стремящихся удержать в вертикальном положении большое количество подвижных друг относительно друга звеньев, входящих в состав тела человека. Таким образом, стояние – тоже акт динамический. Чтобы тело при стоянии находилось в равновесии, необходимо, чтобы центр тяжести его все время находился над площадью опоры. Иначе говоря, вертикаль центра тяжести должна падать внутрь границ площади опоры. Если эта вертикаль выходит за указанные границы, равновесие нарушается, и тело падает.

Площадь опоры при стоянии определяется подошвенной поверхностью стоп и заключенным между ними пространством (рисунок 3.1). При симметричном стоянии вес тела равномерно распределяется на обе стопы так, что вертикаль центра тяжести проходит приблизительно через середину площади опоры между двумя стопами.

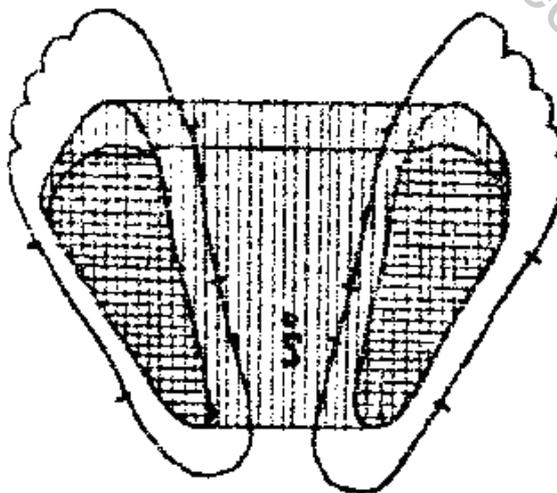


Рисунок 3.1 – Общая и действующая площади опоры при симметричном стоянии человека; S – проекция центра тяжести

Приближение вертикали, отпущенной из центра тяжести на 3 см к краю опорной поверхности стопы, приводит к потере равновесия, то есть так называемая действующая поверхность подошв значительно меньше той поверхности, которая видна на отпечатках стоп. Это объясняется тем, что расположенные по краям стоп мягкие части не могут служить достаточной опорой для тяжести тела. В обуви потеря равновесия наступает при смещении вертикали центра тяжести на расстояние 1,5 см к краю опорной поверхности стопы.

По отношению к общей длине тела центр тяжести располагается несколько выше ее середины на уровне второго крестцового позвонка. Причем у мужчин центр тяжести находится в среднем несколько выше, чем у женщин.

Чем больше площадь опоры, тем устойчивее положение. Поэтому человек раздвигает ноги для устойчивости.

Однако любой вид стоячего положения, в том числе и «устойчивое», требует довольно значительной работы мышц. Некоторые исследователи считают, что затраты энергии при стоянии даже больше, чем при ходьбе.

При стоянии стопа воспринимает вес тела человека от голени и распределяет его через таранную кость между пяткой и передней частью. Отпечаток стопы показывает, что она опирается на землю не отдельными точками, соответствующими нижним поверхностям кистей, которые мы видим на скелете, а целыми поверхностями. Этому способствуют мягкие ткани плантарной стороны стопы, которые содержат значительное количество подкожной жировой клетчатки. Они являются как бы мягкими подушками, которые служат для распределения давления стопы на опору, что делает его безболезненным для стопы. Если в результате сильного исхудания человека мягкие подушки исчезают, то стояние и ходьба становятся болезненными, так как в этом случае давление передается на опору через отдельные выступающие места скелета стопы, имеющие ограниченную опорную поверхность.

Внутренняя форма обуви должна обеспечивать отсутствие сильного давления на какой-либо участок стопы, так как это служит причиной появления болевых ощущений и патологических отклонений.

В настоящее время при разработке рациональной конструкции обуви исходят из того положения, что давление обуви на стопу и стопы на обувь должно распределяться более равномерно по всей поверхности, чтобы не было концентрации давления на каком-либо отдельном участке.

В связи с этим уже давно исследователи стали изучать вопрос о распределении давления стопы на опору. Изучение распределения давления по плантарной поверхности стопы имеет большое значение не только для правильного проектирования колодок, но также и для пони-

мания работы деталей низа обуви и на основе этого правильного их расчета и проектирования.

Рассмотрим основные методы, применяемые для изучения распределения давления стопы при стоянии на плоскости и в обуви, используемые различными исследователями.

Методы исследования распределения давления по подошве стопы с точки зрения способов оценки нагрузки и применяемых для этой цели приборов можно объединить в следующие группы:

1. Анатомо-физиологические, в которых степень нагруженности отдельных участков связывается с анатомо-физиологическими особенностями развития и строения стопы человека.

2. Физико-механические, в которых величина давления оценивается по изменению показателей физических свойств или деформации различных материалов под действием нагрузки.

3. Пневмогидравлические, использующие соответствующие приборы для определения давления стопы на опору.

4. Электрические, основанные на принципе электрического измерения неэлектрических величин (в данном случае давления).

К первой группе относятся такие методы, как исследование распределения давления на основе анатомического или рентгенологического изучения строения стопы; по анемии более нагруженных участков при стоянии испытуемого на прозрачной опоре; по образованию мозолей; отпечаткам стоп и т.д. Например, А.А. Кадьян, проводя исследования на трупах, расчетным путем пришел к выводу, что давление на передний и задний отделы стопы относятся как 1,4 : 4,8.

Существенным недостатком анатомо-физиологических методов является возможность получения только сравнительной оценки распределения давления по подошве стопы и большой субъективизм в оценке полученных результатов.

Ко второй группе относятся методы, в которых наиболее нагруженные участки стопы определялись по отпечаткам на гипсе или влажной земле путем измерения глубины вдавливания под отдельными участками; по диаметрам вдавливания металлических шариков в свинцовую пластинку, на которой стоял испытуемый; по отпечаткам конических выступов специального резинового коврика (методика ихнодинамографии); по свечению участков флюоресцирующего экрана, яркость которых пропорциональна производимому на них давлению, и т.д. В ряде методик давление измерялось с помощью пружинных весов или специальных механических датчиков, принцип работы которых основан на зависимости величины сжатия пружины от величины действующих нагрузок [30-31].

Основным недостатком физико-механических методов является малая точность измерений, зависящая от разной постановки стопы при

исследовании, толщины подкожно-жирового слоя подошвы, от сложности определения исходных линий для замеров и вычислений результатов испытаний.

Третья группа объединяет методы, в которых измерение давления осуществляется с помощью гидравлических или пневматических приборов. Характерным примером может служить прибор, разработанный в биомеханической лаборатории Ленинградского научно-исследовательского института протезирования (ЛНИИП). Прибор состоит из трех воспринимающих давление плоских резиновых «груш», наполненных водой и соединенных с тремя ртутными манометрами. Каждая из «груш» помещена между металлическими площадками и воспринимает давление с определенного отдела стопы – пучков, области свода и пятки (рисунок 3.2).

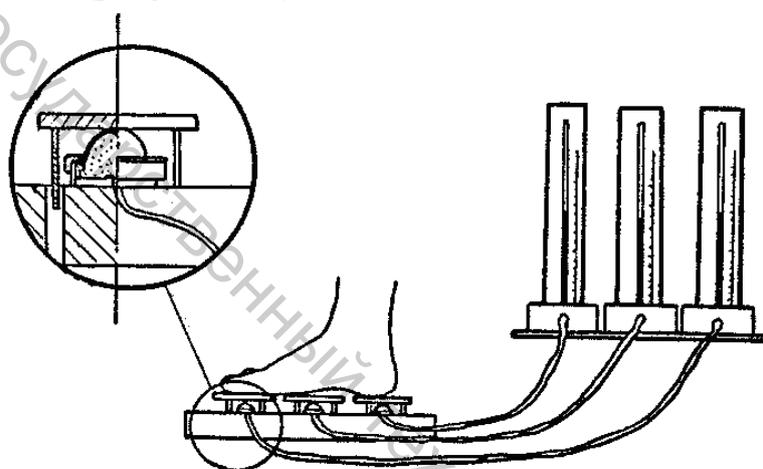


Рисунок 3.2 – Гидравлический прибор измерения давления по отделам стопы

Пневматические и гидравлические приборы, используемые для исследования распределения давления по подошве стопы, обладают большой инерцией и малой чувствительностью. Общим недостатком существующих пневмогидравлических методов является то, что распределение давления определяется только при стоянии человека, т.е. в статике.

Четвертая группа является наиболее обширной и включает все методы, в которых механические нагрузки преобразуются в электрические сигналы, которые затем регистрируются. Для преобразования давления в электрический сигнал применяются различные датчики, в том числе пьезоэлектрические, по типу двойного конденсатора, проволочные тензодатчики, ртутные, магнитофрикционные и т.д.

Наиболее широкое распространение для исследования особенностей распределения нагрузки по подошве стопы получили три методи-

ки: электродинамографическая стелька, опорный динамограф и ртутные датчики.

Электродинамографическая стелька [33] представляет собой стельку толщиной  $\approx 2$  мм, в которой в специальных гнездах расположены двухпорные металлические балочки с наклеенными проволочными тензодатчиками (рисунок 3.3).

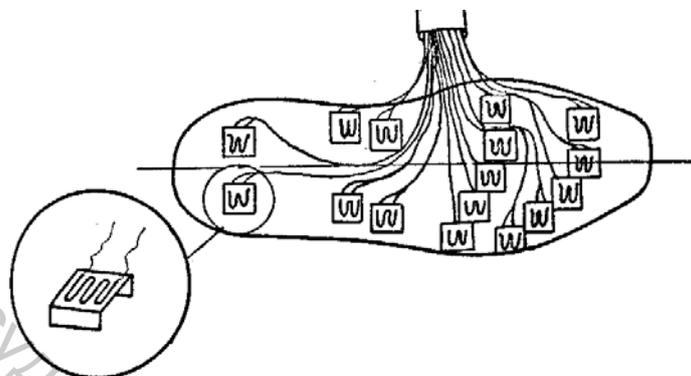


Рисунок 3.3 – Электродинамографическая стелька

Опорный динамограф [34] состоит из четырех опорных плит, под каждой из которых помещены «кольцевые» датчики. Кольцевой датчик представляет собой металлическое кольцо с наклеенными по сторонам двумя проволочными тензодатчиками (рисунок 3.4).

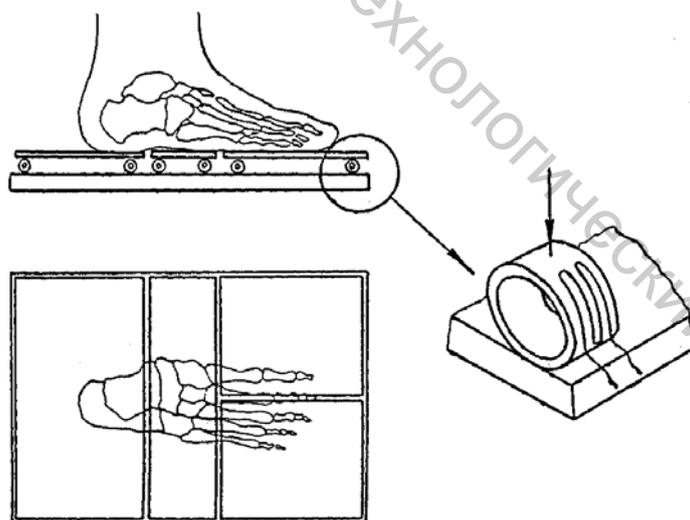


Рисунок 3.4 – Опорный динамограф

На кафедре технологии изделий из кожи Московского технологического института легкой промышленности разработано несколько типов ртутных датчиков для изучения распределения давления по подошве стопы [35]. Основным элементом всех ртутных датчиков давления

является резиновый капилляр, наполненный ртутью. При действии нагрузки на датчик уменьшается размер капилляра, в результате чего изменяется сопротивление датчика (рисунок 3.5).

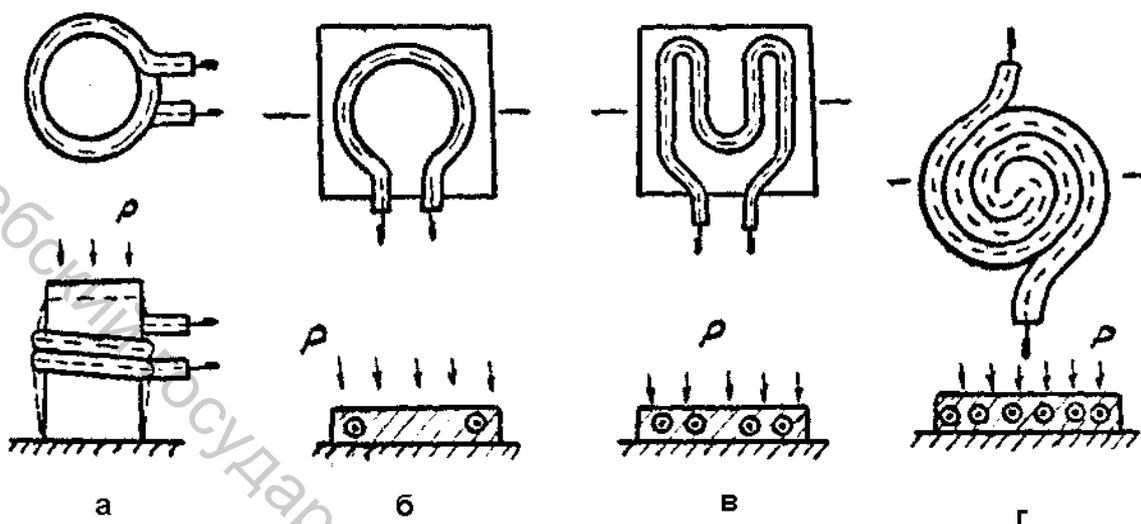


Рисунок 3.5 – Ртутные датчики измерения давления

Каждая из рассмотренных методик исследования распределения давления по опорной поверхности стопы и применяемые для этих целей приборы в отдельности обладают определенными достоинствами и недостатками. Однако по сравнению с другими группами методов исследования давления стопы на опору, описанными выше, электрические методы обладают целым рядом достоинств, основными из которых являются:

- высокая точность полученных результатов;
- возможность регистрации давления как в статике, так и в динамике;
- возможность исследования распределения давления по подошве стопы в обуви.

Большие перспективы в этом плане открывает применение полупроводниковых тензодатчиков. Полупроводниковые датчики работают по тому же принципу, что и проволочные или фольговые, т.е. при механическом напряжении изменяется удельное электрическое сопротивление полупроводникового материала (кремний, германий).

Главными преимуществами полупроводниковых тензодатчиков являются их малые размеры, большой коэффициент тензочувствительности, высокий выходной сигнал, позволяющий исключить дорогие усилители слабых сигналов, практически мгновенная реакция, высокая конструктивная прочность и работа от батареи низкого напряжения.

В последнее время для исследования давлений, возникающих при

взаимодействии стопы с опорой или стопы с обувью, широкое распространение получили компьютеризированные аппаратурно-измерительные системы, такие как EMED (Германия), «ДиаСлед», «Плантоскоп» (Россия), «Касис» (США) и др. [17]

Они предназначены для измерения распределения давления, возникающего между стопой и опорой или стопой и стелькой в обуви, как при стоянии, так и во время ходьбы.

Измерительные системы состоят из измерительной платформы (или стельки) с большим количеством датчиков (до 4000) и компьютера. Программное обеспечение дает возможность вывести на экран монитора изображение пространственной эпюры давлений на плантарной поверхности стопы (рисунок 3.6).

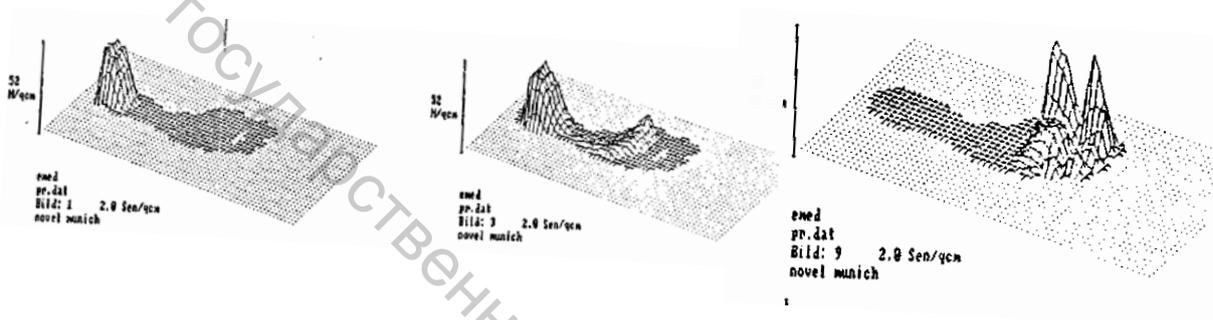


Рисунок 3.6 – Эпюры давлений на плантарной поверхности стопы

Исследование распределения давления стопы на опору при стоянии показало, что картограмма давления имеет характерную картину (рисунок 3.7 а)

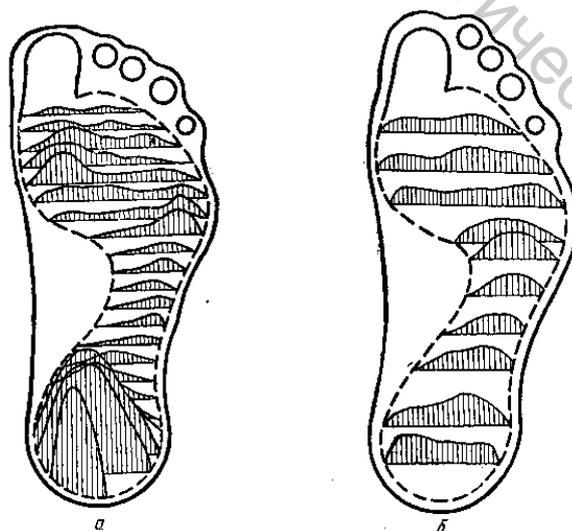


Рисунок 3.7 – Картограммы давления стопы на опору при стоянии:

а – на плоской поверхности; б – на поверхности, соответствующей форме плантарной части стопы

Общим в картограммах является картина сосредоточения наибольшего давления под костными выступами стопы.

Наибольшее давление при стоянии на плоской опоре имеет место в центре пятки. К краям контура стопы давление спадает до нуля.

В плюснефаланговом сочленении картограмма не имеет такой постоянной картины, как в пятке. Это объясняется значительной подвижностью плюсневых костей, а отсюда – индивидуальным характером картограммы.

У большинства людей давление под отростком пятой плюсневой кости имеет значительную величину, хотя у некоторых людей оно почти отсутствует.

Картограмма давления стопы, помещенной в гипсовый слепок, полученный с плантарной поверхности стопы, показывает, что в этом случае давление распределяется более равномерно (рисунок 3.7, б).

При стоянии человека на опоре основная нагрузка (47÷49 %) веса тела человека, приходящегося на одну ногу, падает на пяточную часть. Сравнительно большая нагрузка ( $\approx 13\%$ ) воспринимается геленочной частью, и  $\approx 38\div 39\%$  нагрузки приходится на передний отдел.

При подъеме пятки на каблук распределение давления по отделам стопы в обуви с различной высотой каблука при стоянии человека изменяется. Так, в ряде работ отмечается, что при повышении высоты каблука происходит увеличение нагрузки на передний отдел и уменьшение на задний по сравнению со стоянием без обуви. Например, приводятся данные, что при подъеме пятки на высоту каблука 70 мм нагрузка на передний отдел увеличивается в 5 раз [36].

Однако результаты последних исследований говорят о том, что с увеличением высоты каблука не наблюдается значительного перераспределения давления между отделами стопы (при изменении высоты каблука от 0 до 60 мм нагрузка на передний отдел возрастает  $\approx$  на 8 ÷ 10 %) [14].

Это объясняется тем, что у большинства здоровых людей при подъеме пяточной части происходит рефлекторное смещение общего центра тяжести назад, в результате чего распределение нагрузки по отделам стопы почти не меняется.

### **3.2 Работа стопы при ходьбе и беге**

Ходьба – это сложное циклическое движение, связанное с отталкиванием тела от опорной поверхности и перемещением его в пространстве. Характерным для ходьбы является постоянное сохранение опоры на одну или обе ноги.

Движение человеческого тела является результатом взаимодейст-

вия внешних и внутренних сил.

К **внешним силам** относятся сила тяжести тела, сила притяжения земли, опорные реакции, сопротивление среды (сопротивление воздуха).

**Внутренние силы** возникают внутри тела человека, при взаимодействии отдельных его участков. С точки зрения физиологии их можно разделить на активные и пассивные.

К **активным** внутренним силам относятся силы напряжения мышц, к **пассивным** – сопротивление тканей, костей, связок.

Особую роль играют **инерционные** силы, возникающие в результате взаимодействия с соседними частями.

При ходьбе все эти силы широко используются человеком, что обеспечивает огромную экономию мышечной энергии.

Все движения человека рефлекторны, в основе их лежит рефлекс.

При рассмотрении механизма движения в процессе ходьбы можно видеть, что в начале каждого шага происходит наклон тела вперед для уменьшения площади опоры. Обычно при этом наблюдается некоторое поднимание на носки.

В результате этого движения вертикаль центра тяжести выносится за переднюю границу площади опоры. Если при этом не создать впереди тела площади опоры, выставив ногу или опершись о землю палкой, то тело падает.

При шаге одна нога выдвигается вперед благодаря сокращению мышц, поднимающих бедро и разгибающих голень.

В этот момент опорной является только одна нога, так как другая движется в воздухе над опорной поверхностью. Поэтому в механизме шага принято различать «опорную ногу» и ногу «движущуюся», или «качающуюся».

Качающейся ее называют потому, что движение этой ноги напоминает качание маятника. Однако нога качается не как одно целое, так как она подвижна в коленном суставе: бедро вместе с голенью качается по отношению к тазу, а голень – по отношению к бедру.

Разгибание в коленном суставе к концу переносного периода обычно бывает неполным. Небольшое сгибание колена в начале опорного периода обеспечивает амортизацию (смягчение) толчка, когда выпрямленная нога наталкивается на поверхность опоры.

В момент, когда выдвинутая вперед нога опускается на опору, наступает момент двойной опоры, т.е. тело опирается и «передней» и «задней» ногой. Затем стопа опускается и касается всей подошвенной поверхностью опоры. Вслед за этим происходит движение голени вперед с вращением вокруг голеностопного сустава, в то время как стопа неподвижно стоит на опорной поверхности.

После этого стопа отделяется от опоры, начиная с пятки и кончая

носком. При этом она отталкивается концом носка, увеличивая тем самым скорость поступательного движения всего тела (рисунок 3.8). Таким образом, из опорной эта нога становится движущейся.



Рисунок 3.8 – Схема движения стопы при ходьбе человека

Исходя из механизма движения, при ходьбе различают следующие фазы шага:

- фаза переката через пятку;
- фаза опоры на всю стопу;
- фаза переката через передний отдел;
- переносной период.

Методика исследования фаз ходьбы называется **подографией**.

Для определения длительности отдельных фаз ходьбы используются различные приспособления. Например, одним из вариантов определения фаз ходьбы является следующий: на подошве закрепляются металлические контакты, расположенные под задним отделом стопы, в пучках и в носке. На контакты подается ток малой величины. При ходьбе по металлической дорожке цепь замыкается, а момент и продолжительность замыкания регистрируются осциллографом.

Другой вариант – при помощи контактных датчиков, которые замыкаются при давлении на них.

Обычно длительность отдельных фаз ходьбы выражается в процентах от общей длительности всего шага.

Ниже приводится таблица 3.1 относительной длительности отдельных фаз шага при нормальной ходьбе (в % от общей длительности шага).

Таблица 3.1 – Продолжительность фаз шага

	$\bar{X} \pm \sigma$
Общая длительность шага, с	$1,2 \pm 0,18$
Фаза переката через пятку, %	$8 \pm 1,5$
Фаза опоры на всю стопу, %	$37 \pm 2,9$
Фаза переката через передний отдел, %	$20 \pm 2,7$
Переносной период, %	$35 \pm 1,7$

Для оценки деятельности мышц во время ходьбы используется методика **электромиографии** – методика регистрации электрической

активности возбужденных мышц. Она основана на том, что в мышцах при выполнении ими работы (или, другими словами, при возбуждении) наблюдается повышенный обмен энергии, сопровождаемый электрическими явлениями, т.е. в мышцах возникает ток небольшой силы (тысячные доли вольта) – биоток. Этот ток отводится при помощи поверхностных электродов с той или иной мышцы и после усиления регистрируется на осциллографе, т.е. мы получаем в этом случае электромиограмму.

По электромиограмме можно определить момент включения мышцы в активное состояние и момент прекращения активности, т.е. длительность электрической активности мышцы.

Для количественной характеристики разрываемого мышцей усилия и работы, совершаемой мышцей, по электромиограмме подсчитывают среднюю электрическую активность мышц за тот или иной период шага или за весь шаг, а также суммарную электрическую активность – сумму площадей между нулевой линией и осциллограммой. Часто для этих целей используют интегратор, который записывает импульсы по мере накопления.

Средняя электрическая активность мышцы пропорциональна ее мощности, а суммарная электрическая активность позволяет судить о работе мышцы при ходьбе.

Исследование электрической активности мышц и выяснение степени участия их в тот или иной период шага при ходьбе показало:

– **прямая и двуглавая мышцы бедра**, являющиеся по своему анатомическому положению антагонистами, работают в режиме, близком к одновременной активности. Одновременная активность этих мышц в начале опорного периода обеспечивает устойчивость ноги под нагрузкой путем динамической фиксации коленного и тазобедренного суставов.

Обращает на себя внимание, что основное движение сгибания в коленном и тазобедренном суставах, которое начинается в конце опорного периода и завершается во время переносного, а также разгибание коленного сустава не связаны со сколько-нибудь значительной активностью мышц-сгибателей и разгибателей этих суставов. В этот период сильно действуют инерционные силы. Активность мышц коленного и тазобедренного суставов в это время нужна, главным образом, для коррекции движения и обеспечения его плавности.

– активность **икроножной мышцы** нарастает в течение опорного периода и обнаруживает резкий скачок к концу фазы переката через передний отдел. Механический (силовой) результат этой активности – задний толчок.

– наибольшая активность **передней большеберцовой мышцы** наблюдается в самом начале опорного периода – в фазу переката

через пятку. Этим обеспечивается амортизация опускания стопы на опору, т.е. предотвращается «шлепанье» стопы.

Электрическая активность мышц при нормальной ходьбе (средние величины в течение шага в микровольтах) (таблица 3.2).

Таблица 3.2 - Электрическая активность мышц при нормальной ходьбе

Мышцы	$\bar{X} \pm \sigma$
Прямая мышца бедра	$11 \pm 7,1$
Двуглавая мышца бедра	$17 \pm 11,1$
Передняя большеберцовая мышца	$40 \pm 7,4$
Икроножная мышца	$28 \pm 11,1$

Несмотря на значительную вариацию у разных людей, по средним величинам видно, что **мышцы голени проявляют большую активность в процессе ходьбы, чем мышцы бедра**. Суммарная электрическая активность мышц голени и стопы составляет примерно 60 %, а бедра и таза примерно 40 %.

Работа мышц в среднем за один шаг составляет 280 Дж, причем на опорный период приходится примерно 80 %, а на переносный – 20 %.

Таким образом, при ходьбе наблюдается чередование работы мышц при опоре и отдыха – при переносе, что свидетельствует об оптимальном энергетическом режиме движения.

При произвольном темпе ходьбы устанавливается наиболее экономичный режим деятельности мышц. Это объясняется совпадением частоты собственных и вынужденных колебаний нижних конечностей. Произвольный темп ходьбы примерно равен 45 шагам в мин.

При низких темпах работа мышц возрастает вследствие увеличения времени их действия, а при высоких темпах – в результате значительного повышения развиваемой ими мощности.

Давление стопы на опорную поверхность при движении имеет различный характер. Однако общие закономерности проявляются достаточно четко (рисунок 3.9).

Так, **вертикальная составляющая опорных реакций** имеет в большинстве случаев двухвершинную форму (рисунок 3.9, а). Первая вершина соответствует переднему толчку (начало опоры стопы), вторая – заднему толчку, когда опорная нога отталкивается от поверхности опоры. При нормальной ходьбе задний толчок обычно несколько больше переднего (таблица 3.3).

Средний участок имеет седловидную форму с выпуклостью к оси абсцисс

Таблица 3.3 – Величины опорных реакций в % к весу тела человека

		$\bar{X} \pm \sigma$
Вертикальная составляющая	Передний толчок	$102 \pm 4,2$
	Минимум	$83 \pm 6,2$
	Задний толчок	$107 \pm 6,8$

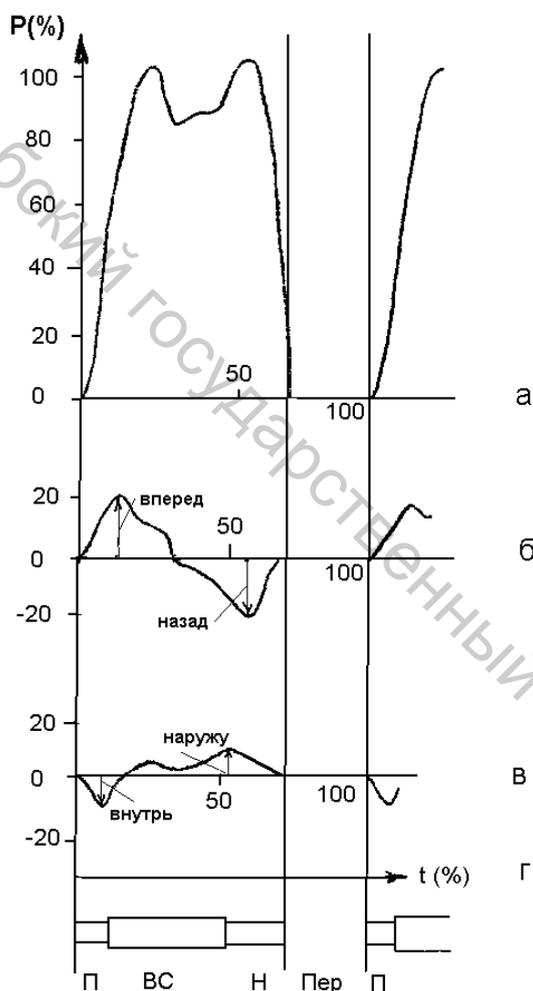


Рисунок 3.9 – Опорные реакции стопы при ходьбе:

по оси абсцисс – время (в % к длительности двойного шага), по оси ординат – сила опорной реакции (в % от веса тела);  
 а – вертикальная составляющая,  
 б – продольная горизонтальная составляющая, в – поперечная горизонтальная составляющая;  
 г – фазы шага (П – перекаат через пятку, ВС – опора на всю стопу; Н – перекаат через передний отдел; Пер – переносный период)

Основной причиной уменьшения опорной реакции в середине опоры на всю стопу является задний толчок другой ноги. Вертикальная составляющая его создает усилие, направленное вверх, что эквивалентно кратковременному уменьшению веса тела.

Кроме вертикальной составляющей опорной реакции возникают также горизонтальные составляющие – продольная и поперечная.

**Продольная составляющая опорной реакции** имеет две волны, направленные в противоположные стороны и соответствующие также переднему и заднему толчку. В начале опоры имеет место сила, направленная по ходу движения, а в конце, при отталкивании, – в обратном направлении. Причем величины продольных составляющих переднего и заднего толчка примерно одинаковы.

**Поперечная составляющая** сначала направлена внутрь, а затем к периферии.

Горизонтально направленные силы вызывают стремление стопы сдвинуться на опорной поверхности. Однако этому препятствует трение между опорной поверхностью и поверхностью стопы.

Давление стопы, передаваемое

мое человеком на опорную поверхность, биомеханики выражают динамическими коэффициентами, представляющими собой отношение давления  $Q$  к весу человека  $P$ :

$$q = \frac{Q}{P}. \quad (3.1)$$

Динамический коэффициент возрастает с увеличением скорости движения. При нормальной ходьбе величина динамического коэффициента колеблется от 1 до 1,23, а иногда и больше – до 1,58.

При движении с грузом динамический коэффициент имеет еще большее значение по отношению к весу человека и груза, так как сам груз участвует в колебаниях и является динамической нагрузкой.

Динамический коэффициент горизонтальных составляющих достигает при ходьбе значений  $0,04 \div 0,4$ .

Исследование давления стопы при ходьбе человека в обуви с различной высотой каблука показало, что при ходьбе давление на все отделы стопы значительно возрастает. Так, на пяточный отдел давление увеличивается примерно в 4 раза по сравнению со статикой, на геленочный примерно в 2 раза, в носочном отделе увеличение давления происходит в 8–10 раз за счет заднего толчка.

С увеличением высоты каблука в обуви происходит уменьшение давления на пяточную и геленочную часть и увеличение на носочную часть. Это объясняется изменением характера переката стопы при увеличении высоты каблука в обуви.

Максимальное давление на геленочную часть обуви при ходьбе стопа оказывает в момент опоры на всю стопу.

**Бег** отличается от ходьбы тем, что при нем момент двойной опоры, имеющий место при ходьбе, заменяется передвижением тела в воздухе без опоры о землю. Отталкивание ногой при беге бывает более энергичным и коротким. Общий наклон туловища при беге больше, чем при ходьбе. В силу этого при нем вертикаль центра тяжести дальше выносится за границу площади опоры. Чем бег быстрее, тем наклон туловища больше, и следовательно, требуется более энергичное движение ног, чтобы предотвратить падение тела вперед.

Кривая вертикальных усилий при беге имеет один максимум. Причем при беге имеются моменты, когда давление на опорную поверхность равно нулю, т.е. с нею не соприкасается ни одна нога.

Вертикальные усилия при беге значительно больше, чем при ходьбе. Динамические коэффициенты достигают в вертикальном направлении значений  $2,4 \div 2,5$ , а в среднем они равны 1,8.

### 3.3 Изгиб стопы

Во время движения стопа изгибается в голеностопном и плюснефаланговом сочленениях.

Такие же явления наблюдаются и при подъеме пяточной части стопы на каблук, при этом происходит небольшой изгиб стопы в межпредплюсневых суставах.

При качании стопы вокруг оси вращения в плюснефаланговом сочленении выпуклости головок плюсневых костей скользят по выемкам оснований первых фаланг. Причем эти выпуклости и вогнутости имеют очень сложное очертание.

Однако, чтобы определить центр качания плюсневых костей, их весьма приближенно принимают за цилиндрические. В этом случае центр качания будет находиться на оси воображаемого цилиндра, т.е. где-то в области центра головок плюсневых костей. Благодаря наличию между головкой плюсневых костей и опорой прокладки из жирового слоя, сухожилий и кожи центр качания будет располагаться на каком-то расстоянии от опорной поверхности.

Необходимо учитывать также, что центр качания каждой из плюсневых костей расположен на разных расстояниях от пятки.

Условно принято считать, со значительным приближением, что перекаты стопы осуществляются по двум осям, направленным поперек стопы. Первая из них (основная ось для первых трех лучей пальцев) проходит через точку 1 на головке плюсневой кости большого пальца, которая находится на расстоянии  $0,73D$  в продольном направлении и  $0,10-0,17D$  (или же  $0,27-0,33Ш_{пуч}$ ) от опоры стопы.

Для наружной стороны стопы (для IV и V-го лучей) ось вращения лежит в области конца мизинца, т.е. на расстоянии  $0,80D_{стопы}$  в продольном направлении и  $0,04-0,07D$  (или  $0,10-0,13Ш_{пуч}$ ) от опоры.

Установив таким образом центры качания плюсневых костей, мы имеем возможность определить кривизну подошвенной поверхности в плюснефаланговом сочленении при изгибе стопы. Так, для средней длины стопы радиус кривизны этого участка примерно равен 20–30 мм при максимальном изгибе стопы. Это вызывает растяжение связок и кожи под сочленением на данном участке в момент опоры на пучки, когда пятка высоко поднята над землей.

В момент изгибания стопы в плюснефаланговом сочленении происходит перемещение тела в направлении движения. На это затрачивается значительная энергия. При ходьбе же в обуви затрачивается дополнительная энергия на изгибание обуви.

В зависимости от жесткости обуви она изгибается при ходьбе на разный угол. При этом сила, необходимая на изгибание жесткой обуви даже на меньший угол, увеличивается примерно в 1,5 раза, а разница в

энергозатратах на ходьбу увеличивается в 2–3 раза. Это связано с затратой мышечной энергии на то, чтобы приспособиться к хождению в жесткой обуви, которая не сгибается на необходимую величину.

Как при ходьбе, так и при подъеме пятки на каблук происходит незначительный изгиб стопы в области предплюсневого сустава, что приводит к некоторому увеличению прогиба свода стопы.

### **3.4 Изменение размеров стопы**

При массовых обмерах стопа изучается при спокойном стоянии человека, когда тяжесть тела равномерно распределяется между обеими стопами.

Однако при изменении величины нагрузки, передаваемой на стопу, а также при движении человека, т.е. при сгибании и разгибании стопы, форма и размеры стопы изменяются.

#### **3.4.1 Влияние нагрузки**

Размеры стопы при ее нагружении изменяются весьма значительно. Так, длина стопы при нагружении массой тела по сравнению с висячим положением увеличивается на 1–5мм, ширина в пучках на 1–7мм, обхват в пучках на 4–12мм.

Значительное изменение размеров стопы при нагружении объясняется в первую очередь тем, что свод стопы способен прогибаться. Также известно, что ближе к пальцам плотность взаимосвязи отдельных костей уменьшается, между костями появляются промежутки, заполненные связками и отчасти мышцами. Благодаря этому плюснефаланговое сочленение стопы может в некоторой степени сжиматься и растягиваться в поперечном направлении.

Известно также, что с подошвенной поверхности стопы имеется довольно толстая жировая подкладка. Она под давлением скелета стопы также сжимается по толщине и раздается в ширину, что, в свою очередь, приводит к изменению размеров стопы.

#### **3.4.2 Влияние подъема пятки при ходьбе**

При различных положениях стопы в процессе ходьбы ее размеры значительно изменяются.

Когда пятка стопы отрывается от опорной поверхности и поднимается, то вся нагрузка передается на головки плюсневых костей и час-

тично на пальцы. В этот момент связки и мышцы сильно напрягаются, вызывая некоторое изменение поперечных размеров отдельных частей стопы. Например, очень сильно натягивается подошвенный апоневроз, что приводит к некоторому выгибанию свода.

При повороте стопы относительно оси вращения в плюснефаланговом сочленении происходит растяжение связок и кожи на данном участке. Кроме того, при опоре на переднюю часть стопы пальцы выпрямляются и плотно прижимаются к опоре, что вызывает увеличение их размеров.

Таким образом, в момент опоры на пучки, когда пятка высоко поднята над землей, происходит некоторое удлинение передней части стопы, в то время как задний отдел укорачивается, что объясняется выгибанием свода стопы.

То же самое происходит, когда пятка стопы поднята на каблук.

Исследования изменения размеров стоп при движении показали, что длина стопы в процессе ходьбы при опоре на пучки в фазу (перекат через передний отдел) увеличивается на 9–12 мм по сравнению с фазой переноса и на 5–6 мм по сравнению с основным антропометрическим положением (равномерная опора на обе ноги). При этом наибольшую длину стопа имеет при опоре на пучки.

Обхват в плюснефаланговом сочленении при ходьбе достигает максимальных размеров в момент переката через пучки и увеличивается по сравнению с висячим положением на 10–13 мм, а по сравнению с размерами при стоянии на 4–6 мм.

Обхват через пятку и сгиб имеет наибольшую величину при опоре на одну ногу, наименьший в фазу «перекат через пятку». Причем изменение обхвата имеет небольшую относительную величину (1,5–2,0 %).

Максимальное увеличение обхвата голени в месте наибольшего развития икроножной мышцы наблюдается в фазу переката через передний отдел и составляет  $\approx 5$ –6 мм.

Мало изменяется обхват над лодыжками.

Ширина стопы в плюснефаланговом сочленении во время ходьбы увеличивается на 8–11 мм по сравнению с висячим положением. По сравнению с опорой на обе ноги эти изменения значительно меньше  $\approx 5$ –6 мм (2 %).

Ширина стопы в пятке уменьшается при опоре на пучки на 4–6 мм по сравнению с ее шириной при стоянии.

Таким образом, большинство основных размеров стопы имеет наименьшую величину при висячем положении, исключение составляют обхваты через пятку и сгиб и ширина пятки. При опоре на обе ноги стопа имеет в основном промежуточные размеры и максимальные размеры при опоре на пучки.

### 3.4.3 Влияние длительной работы стопы

Весьма важное значение имеет тот факт, что размеры стопы не остаются постоянными во время длительных переходов. Под влиянием продолжительного перехода с переносом тяжестей длина стопы изменяется от -1,5 мм до +5,0 мм, а ширина – от -3 мм до +3,4 мм. Объясняется это тем, что для удержания сводов стопы в состоянии, выгодном для опоры, напряжение соответствующей мускулатуры (затяжка сводов) происходит не в соответствии с нарастанием нагрузки, а в несколько большей степени. Эти изменения у разных людей сохраняются в течение различного времени. Через некоторый промежуток времени мышцы утомляются и расслабляются, свод стопы опускается, длина и ширина ее увеличиваются, превышая размеры в нормальном состоянии.

Большое влияние на размеры стопы оказывает занятие спортом, т.е. специфика движений в различных видах спорта.

Сопоставление антропометрических данных показало существенные различия между стопами спортсменов отдельных групп, а также спортсменов по сравнению с не спортсменами.

Например, у футболистов и лыжников, выдерживающих высокие нагрузки на пальцевый и плюснефаланговый участки стоп, наблюдается сравнительно большая высота большого пальца и высота до центра головки I-ой плюсневой кости, высота до точки сгиба стопы. У них отмечено хорошее состояние сводов.

Размерные признаки стоп по длине и ширине у спортсменов больше, чем у не спортсменов. Наибольшие размеры наблюдаются при этом у легкоатлетов- метателей и прыгунов. Это объясняется тем, что систематические нагрузки на определенные участки тела обуславливают гипертрофию (увеличение) той части, которая несет большую нагрузку, т.е. происходит дополнительное развитие отдельных участков скелетной мускулатуры, а иногда и костной системы.

Так, например, особенностью стоп футболистов является мощное развитие мышц наружной стороны стопы, особенно короткого сгибателя V-го пальца, увеличение головки I-й и V-й плюсневых костей.

### 3.5 Контрольные вопросы

1. Какие методы применяются для изучения распределения давления стопы при стоянии на плоскости и в обуви?
2. Как распределяется давление на плантарной поверхности стопы при стоянии на плоскости?
3. Как изменяется распределение давления по отделам стопы в обуви с различной высотой каблука?

4. Какие укрупненные фазы шага выделяют при ходьбе?
5. Какие мышцы проявляют наибольшую активность в различные фазы шага?
6. Какие составляющие опорных реакций выделяют при изучении давления стопы на опору при движении? Характер их изменения по фазам шага.
7. Распределение давления по отделам стопы в обуви с различной высотой каблука при ходьбе.
8. Как изменяются основные размеры стопы при ходьбе?

Витебский государственный технологический университет

#### **Часть 4. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБУВИ В СВЯЗИ С АНАТОМО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ, АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИМИ И БИОМЕХАНИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ СТОПЫ**

Исходя из анатомических и функциональных особенностей стопы человека, к обуви предъявляют следующие требования.

В отношении формы обувь должна соответствовать форме стопы в области как предплюсны, так плюсны и пальцев. Она должна иметь достаточную длину и ширину. Ширина обуви в области головок плюсневых костей должна соответствовать ширине переднего отдела нагруженной босой стопы.

Особое внимание должно быть уделено носку, в области которого пальцы должны иметь достаточный простор для движения. Узкий носок вреден, так как вызывает деформацию переднего отдела стопы и препятствует достаточной вентиляции пальцев. Узкая и острая формы носка обуви могут производиться лишь во внепальцевой части ботинка.

Внутренний край переднего отдела обуви должен быть прямым для предупреждения смещения I-го пальца наружу.

Форма стельки должна соответствовать форме опорной части стопы.

Геленочная часть обуви с каблуком должна быть несколько изогнута соответственно продольному своду стопы и достаточно укреплена, чтобы воспринимать давления, оказываемые наружным краем стопы.

Задний отдел обуви должен быть достаточно прочным, так как достаточная фиксация пятки является одной из гарантий против образования плоскостопия. Однако при этом верхний край задника не должен слишком загibasься кпереди, так как может вызывать постоянное давление на область прикрепления ахиллова сухожилия к пяточному бугру.

Задник должен быть снаружи менее высоким, чем внутри, в связи с тем, что наружная лодыжка расположена ниже внутренней. Он не должен оказывать давления на область стопы под лодыжками, так как в этом месте на стопе проходят кровеносные сосуды и нервы, которые слабо защищены мягкими тканями.

Высота каблука не должна превышать 2–4 см, хотя этот вопрос до сих пор остается спорным. Высокий каблук способствует укорочению икроножных мышц и перенесению тяжести тела на более слабый передний отдел стопы. Передние мышцы голени и тыльные связки стопы при этом растягиваются, а пальцы находятся в чрезмерно разогнутом положении. Высокий каблук также вызывает наклон таза вперед, что способствует некоторому смещению внутренних органов.

Материал, из которого изготавливается обувь, должен быть эла-

стичным, не препятствовать работе стопы, достаточно воздухопроницаемым, чтобы не препятствовать вентиляции стоп, должен иметь малую теплопроводность, быть легким, мягким и т.д.

Особое внимание должно быть уделено детской обуви, так как детская стопа, поставленная обувью в неблагоприятные условия для своего развития, не может развиваться нормально.

При конструировании детской обуви необходимо учитывать, что в возрасте 5–7 лет уже в основном заложена основа костей стопы, но их окостенение находится еще на ранней стадии. Поэтому детская стопа очень податлива к механическим воздействиям и легко деформируема.

Основной особенностью скелета детской стопы является ее радиальная форма. В то время как стопа взрослого шире всего на уровне плюснефаланговых суставов, стопа ребенка наиболее широка на концах пальцев. Отношение задней, пяточной части стопы к ее передней части у детей иное, чем у взрослых. У детей пяточная часть относительно больше, длиннее.

Детская обувь должна быть легкой, эластичной, не скользить. Противопоказаны любые виды детской обуви с открытой пяткой. Пальцы должны иметь свободу движений.

Необходимо учитывать также, что в раннем детском возрасте большая жировая прослойка на подошве стопы маскирует истинную форму сводов, создавая впечатление уплощенности. Однако, по мере роста и развития детей, стопы приобретают нормальную форму и правильно выраженные своды. К семи годам отпечатки детских стоп имеют нормальный характер.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анатомия человека. Т.1 М. Ф. Иваницкий – Москва : Физкультура и спорт, 1985.
2. Конструирование изделий из кожи : учебник для студентов вузов / Ю. П. Зыбин [и др.]. – Москва : Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 264 с.
3. Кочеткова, Т. С. Антропологические и биомеханические основы конструирования изделий из кожи / Т. С. Кочеткова, В. М. Ключникова. – Москва : Легпромбытиздат, 1991. – 192 с.
4. Основы прикладной антропометрии и биомеханики : учебник для студентов вузов / Т. Н. Дунаевская [и др.] ; под ред. Е. Б. Кобляковой. – СПб : Информационно-издательский центр МГУДТ, 2005. – 280 с.
5. Фукин, В. А. Теоретические основы проектирования внутренней формы обуви / В. А. Фукин. – Москва : МГУДТ, 2000. – 188 с.
6. Фукин, В. А. Развитие теории и методологии проектирования внутренней формы обуви / В. А. Фукин, В. Х. Буй. – Москва : МГУДТ, 2006. – 214 с.
7. Комиссаров, А. Г. Современные средства измерения стопы и колодки / А. Г. Комиссаров, А. Л. Голанд, В. Н. Петренко. – М. , 1994. – 43 с.
8. Белгородский, В. С. Усовершенствование способа измерения плантограмм стоп / В. С. Белгородский, А. П. Жихарев, В. А. Фукин // Кожевенно-обувная пром-сть. – 2002. – № 2. – С. 30–31.
9. Ключникова, В. М. Практикум по конструированию изделий из кожи : учеб. пособие для студентов ВУЗов, обуч. по спец. «Конструирование изд. из кожи», «Технология изд. из кожи» / В. М. Ключникова, Т. С. Кочеткова, А. Н. Калита. – Москва : Легпромбытиздат, 1985. – 336 с.
10. Фарниева, О. В. Совершенствование размерной стандартизации и ассортимента обуви / О. В. Фарниева, К. Н. Нургельдиев. – Ашхабад : Ылым, 1982. – 192 с.
11. Фукин, В. А. Проектирование обувных колодок / В. А. Фукин, В. В. Костылева, В. П. Лыба. – Москва : Легпромбытиздат, 1987. – 88 с.
12. Шуляк, И. П. О высоком каблуке нормальной обуви и распределении нагрузок на стопу / И. П. Шуляк // Протезирование и протезостроение. – 1964. – № 5. – С.13–15.
13. Коновал, В.П. Биомеханическое исследование влияния высоты каблука в женской обуви на функциональное состояние мышц голени / В. П. Коновал, В. М. Князева, Ю. П. Зыбин // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. – 1969. № 3. – С. 85–89.

14. Горбачик, В. Е. Исследование распределения давления по плантарной поверхности стопы в обуви / В. Е. Горбачик, К. И. Кульпина, Ю. П. Зыбин // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. – 1970. № 2. – С. 80–81.

15. Аруин, А. С. Эргономическая биомеханика / А. С. Аруин, В. М. Зациорский. – Москва : Машиностроение, 1988. – 256 с.

16. Лыба, В. П. Зависимость давления стопы на след обуви от высоты приподнятости пяточной части / В. П. Лыба, В. И. Бегняк, И. И. Ляпота, В. А. Фукин // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. – 1986. – № 2. – С. 60–64.

17. Александров, С. П. Компьютеризованные системы для исследования взаимодействия стопы с обувью и опорой / С. П. Александров, Е. А. Кузнецова // Кожевенно-обувная пром-сть. – 2006. – № 1. – С. 43–45.

18. Гурова, Л. П. Исследование допустимого сжатия стопы в обуви / Л. П. Гурова, Ю. Т. Пушкарь, Ю. П. Зыбин // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. – 1967. – № 6. – С. 105–108.

19. Гурова, Л. П. Определение допустимой величины сжатия стопы обувью / Л. П. Гурова, Ю. П. Зыбин // Кожевенно-обувная пром-сть. – 1984. – № 6. – С. 45–47.

20. Горбачик, В. Е. Возрастные изменения параметров стоп и голеней у детей / В. Е. Горбачик [и др.] // Техническое регулирование : базовая основа качества материалов, товаров и услуг Междунар. сб. науч. трудов / ГОУ ВПО «Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса». – Шахты : ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2010. – С. 97–100.

21. Marriott A.G., Sykes R.L. – The influence of shoes linings on foot comfort. – «Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists», 1981, v.65, p.11-16.

22. Холева, Э. Основы рационального конструирования колодок и обуви / Э. Холева [и др.]. – Москва, 1981. – 248 с.

23. K. Kossowska, L Kossowski, Uciski stop wywołane przez wierzchy obuwia z materigłow syntety-czych. – «Przegląd Skorzany», 1977, №7, str.209-211.

24. Грязева, И. В. Величина давления верха обуви на стопу как критерий комфортности / И. В. Грязева, В. Ф. Полетаев, К. М. Зурабян // Кожевенно-обувная пром-сть. – 1990. – № 9. – С. 10–13.

25. Лыба, В. П. Исследование влияния вида материала верха на величину давления на стопу / В. П. Лыба, В. С. Фияло, В. Е. Ребрик // Конструирование и технология изделий из кожи: сб. научных трудов МТИЛП. ЦНИИТЭИлегпром. – Москва. – 1990. – С. 132–134.

26. Катамадзе, А. Г. О размерах левой и правой стоп человека / А. Г. Катамадзе // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. – 1977. – № 3. – С. 51–55.

27. Оршанский, Г. И. Методика расчета параметров для разработки полного ассортимента по ширине голенищ женских сапожек / Г. И. Оршанский, М. Н. Иванов, В. А. Фукин // Кожевенно-обувная пром-сть. – 1984. – № 12. – С. 33–34.

28. Медзерян, Д. Е. Исследование интервалов безразличия обуви // Кожевенно-обувная пром-сть. – 1978. – № 7. – С. 45–47.

29. Чумакова, М. П. К установлению стандартных размеров перчаток / М. П. Чумакова, В. М. Ключникова, Ю. П. Зыбин // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. – 1971. – № 4. – С. 100–103.

30. Якобсон, Я. С. Новая методика исследования распределения нагрузки по опорной поверхности стопы (ихнодинамография) / Я. С. Якобсон [и др.] // Информационный бюллетень по протезированию и протезостроению. – ЦНИИПП, 1958. – Выпуск 3.

31. Чернина, Н. П. Распределение нагрузки на стопе при стоянии и ходьбе / Н. П. Чернина, В. П. Давыдова, В. И. Корюкин // Ортопедия, травматология и протезирование. – 1961. – № 7.

32. Рухман, Л. Е. Распределение веса тела на передний, средний и задний отделы стопы в зависимости от степени ее эквинуса / Л. Е. Рухман // Протезирование и протезостроение. – 1959. – Выпуск 1.

33. Якобсон, Я. С. Электродинамографическая стелька / Я. С. Якобсон [и др.] // Протезирование и протезостроение. – 1959. – Выпуск 1.

34. Гурфинкель, В. С. Парциальная опорная динамография (методика измерения распределения давления по различным участкам подошвенной поверхности стопы) / В. С. Гурфинкель, В. П. Давыдова, Я. С. Якобсон // Информационный бюллетень по протезированию и протезостроению : ЦНИИПП, 1958. – Выпуск 3.

35. Зыбин, Ю. П. Датчик давления / Ю. П. Зыбин, Т.С. Кочеткова, В. П. Цуркан // Научные труды МТИЛП, 1960.

36. Конструирование изделий из кожи : учебник для вузов / Ю. П. Зыбин [и др.]. – Москва : Гизлегпром, 1963. – 315 с.

Учебное издание

**Горбачик Владимир Евгеньевич**

**ОСНОВЫ АНАТОМИИ, ФИЗИОЛОГИИ,  
АНТРОПОМЕТРИИ И БИОМЕХАНИКИ**

**Учебное пособие**

Редактор А.И. Линник

Технический редактор А.И. Линник

Корректор М. В. Самкович

Компьютерная верстка Л. А. Бегунова

---

Подписано к печати \_\_\_\_\_ Формат 60x84/16. Бумага офсетная № 1.  
Гарнитура «Таймс». Усл.печ.листов \_\_\_\_\_. Уч./издат.листов \_\_\_\_\_  
Тираж 150 экз. Зак. № \_\_\_\_\_.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет» 210035. г. Витебск, Московский пр-т, 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»**

**В.Е. ГОРБАЧИК**

**ОСНОВЫ АНАТОМИИ,  
ФИЗИОЛОГИИ, АНТРОПОМЕТРИИ  
И БИОМЕХАНИКИ**

**Витебск  
2011**