

**ИСПЫТАНИЕ КОСТНОГО МАТЕРИАЛА НА ПРОЧНОСТЬ.  
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

**К.Ю. Богомолец<sup>1,2</sup>, Р. Э. Абирова<sup>1</sup>, Э.Ш. Алымбаев<sup>1</sup>, Т.Т. Кожошов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Кыргызская Государственная Медицинская Академия им. И.К. Ахунбаева  
Кафедра факультетской педиатрии

<sup>2</sup>Кыргызский Государственный Технический Университет им. И. Раззакова,  
Кыргызско-Германский технический университет  
г. Бишкек, Кыргызская Республика

*E-mail: rainercor@mail.ru*

**Резюме.** Цель: сравнительная оценка прочностных свойств и состава костно-пластических материалов после испытания на сжатие с учетом их анизотропных свойств. Исследовали образцы бедренной кости человека и быка домашнего (коровы). Для сравнительного анализа показателей была взята дополнительно сталь №3 (Ст.3). Испытание проводилось на разрывной машине Р-50. Замеры материалов производились дважды с помощью штангенциркуля. В процессе испытания велось наблюдение за поведением образцов по диаграмме. Прочностные свойства изучали путем сжатия образцов костной ткани с автоматической записью диаграммы деформирования. Из диаграммы сжатия были рассчитаны механические характеристики: предел пропорциональности, предел прочности, относительная деформация до разрушения и модуль Юнга. Изучены изменения морфологии поверхности костных материалов. Все полученные данные заносились в таблицу. Изучение физико-механических свойств образцов бедренной кости позволяет получить представление о влиянии деформирующих факторов на структуру и свойства костной ткани.

**Ключевые слова:** костная ткань, травматизм, сталь, пресс, физико-механические свойства, механика

**СӨӨК МАТЕРИАЛЫНЫН БЕКЕМДИГИН ТЕКШЕРҮҮ.  
БИОМЕХАНИКАЛЫК КӨРСӨТКҮЧТӨРДҮН САЛЫШТЫРМАЛУУ  
МҮНӨЗДӨМӨСҮ**

**К.Ю. Богомолец<sup>1,2</sup>, Р.Э. Абирова<sup>1</sup>, Э.Ш. Алымбаев<sup>1</sup>, Т.Т. Кожошов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>И.К. Ахунбаев атындагы Кыргыз мамлекеттик медициналык академиясы  
Факультеттик педиатрия кафедрасы (м.и.д., проф.Алымбаев Э.Ш.)

<sup>2</sup>Исхак Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университети  
(ф-м.и.к., доцент Кожошов Т.Т.)

Кыргыз-Германия техникалык университети  
Бишкек ш., Кыргыз Республикасы

**Корутунду.** Максат: анизотроптук касиетин эсепке алуу менен тарытуу сыноосунан өткөн пластикалык сөөк курамынын материалдары жана анын бекемдик сапатын салыштырма баалоосу өткөрүлгөн. Адамдын жана уйдун жамбаш сөөгүнүн үлгүсү изилденген. Көрсөткүчтөрдүн салыштырма анализи үчүн № 3 болот металлы да кошумча алынган. Р-50 тытуу машинасында изилдөө жүргүзүлгөн. Материалдарды ченөө (өлчөө) штангенциркуль менен 2 жолу жасалган. Изилдөө процессинде диаграмма боюнча материалдын үлгүлөрүнүн өзгөрүшүнө байкоо жүргүзүлгөн. Сөөктүн бекемдигин автоматикалык жазуулар деформациялоо диаграммасы менен үлгүлөрдү тарытуу аркылуу изилденди. Тарытуу графигинен механикалык мүнөздөмөлөр эсепке алынган: катыштын чеги, бекемдиктин чеги, Юнг модулу жана талкаланганга (жок болгонго) чейинки бузулушу. Сөөк материалдарынын сырткы морфологиялысынын өзгөрүлүшү изилденген. Бардык алынган маалыматтар таблицка киргизилди. Жамбаш сөөктүн физико-механикалык касиеттеринин үлгүлөрүн изилдөөдө бузулуу фактору сөөктүн структурасына жана касиеттерине тийгизген таасирин көрүүгө болот.

**Негизги сөздөр:** сөөк материалы, травматизм, болот, пресс, физико-механикалык касиет, механика

---

**BONE MATERIAL TEST FOR STRENGTH. COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF BIOMECHANICAL INDICATORS****K.Y. Bogomolets<sup>1,2</sup>, R.E. Abirova<sup>1</sup>, E.Sh. Alymbaev<sup>1</sup>, T.T. Kozhoshov**<sup>1</sup> Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev  
Department of Faculty Pediatrics<sup>2</sup> Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov,  
Kyrgyz-German Technical University,  
Department of Mechanics and Industrial Engineering  
Bishkek, the Kyrgyz Republic

**Summary.** Goal: comparative evaluation of strength properties and composition of the osteoplastic materials after putting them to the compression test, with taking into account their anisotropic properties. We studied samples of a human femur and samples of a cow femur. And for the comparative analysis of indicators, there was some steel No. 3 taken in addition. The test was carried out on a tensile testing machine P-50. The measurements of the samples were taken by means of the use of calipers. During the test, the behavior of the samples under stress was monitored by means of a diagram. The strength properties were studied through compressing the bone tissue samples and simultaneous automatic recording a deformation diagram. The mechanical characteristics were calculated by means of a compression diagram, they are: proportionality point, breaking point, relative deformation up to failure and Young's modulus. The changes of the morphology of the surface of bone materials were studied. All received data were tabulated. Studying the physical and mechanical properties of femoral samples provides an idea of the influence of deforming factors on the structure and properties of bone tissue.

**Key words:** bone tissue, injuries, steel, press, physical and mechanical properties, mechanics

**Введение**

Интенсификация жизнедеятельности современного человека приводит к повышенному риску травматизма по всему миру. Частота политравм в крупном промышленном городе составляет в среднем 1 на 1000 населения в год, а летальность при политравме – 23 % [1]. По данным Dinesh Seti (2009) [2] больше всего людей гибнет в регионах стран с низким и средним уровнями доходов.

По данным ВОЗ ежегодно 5 миллионов человек теряют свою жизнь в результате полученных травм. Около 50% смертности, связанной с травматизмом, приходится на молодых людей в возрасте от 15 до 44 лет, тем самым создавая колоссальные человеческие и финансовые издержки [3].

В Кыргызстане на 2017 по причинам смертности травмы стояли на третьем

месте. По данным статистики одной из главных причин травматизма в

Кыргызстане являются дорожно-транспортные происшествия ДТП (рис. 1).

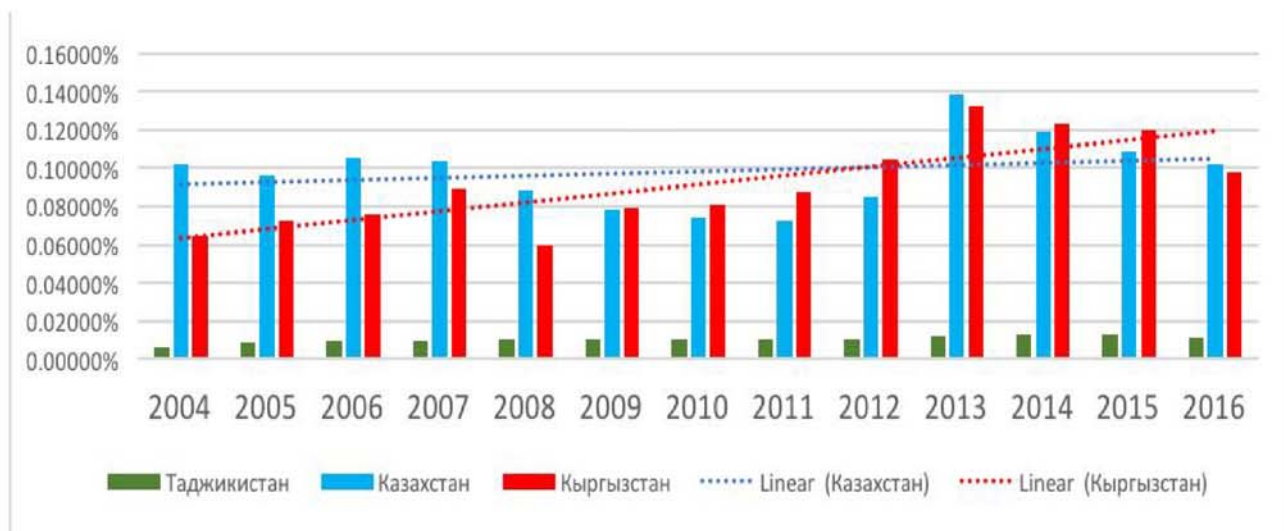


Рис. 1. Процент аварий ДТП на душу населения.

Исходя из данных рис. 1, можно сделать вывод о стабильном ежегодном приросте ДТП в КР и о его лидирующих позициях по данному показателю среди соседних республик. Ежегодно в КР по причине травм госпитализируется более 60 тысяч пациентов, что составляет 1% от общего количества госпитализаций. По данным Республиканского медико-информационного центра в 2011 году травмы нижних конечностей заняли третье место – 14 163 (21,9%). Переломы бедренной кости – 12,1 % от общего количества переломов госпитализированных больных [3].

Для испытания на прочность была взята именно бедренная кость человека (рис. 2) в связи с высокими показателями как ее прочности, так и частоты ее травматизма. Образец был взят на кафедре анатомии КГМА при содействии доц., к.м.н. Абировой Р.Э. Бедренная кость человека является самой крупной трубчатой костью состоит из диафиза и двух эпифизов. Эпифизы представляют собой губчатую костную ткань. Между телом и головкой находится эпифизарный хрящ, обеспечивающий рост кости в длину до 18 – 20 лет [4]. Со стороны биомеханики бедренная кость выполняет опорную и рычаговую функции.

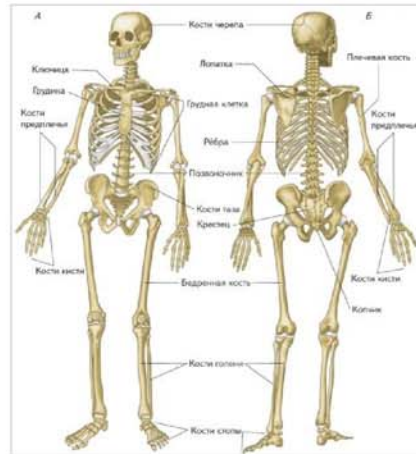


Рис. 2. а) Бедренная кость человека, б) Схема строения скелета человека.

Вторым образцом для испытания на прочность была взята бедренная кость быка домашнего (коровы) (рис. 3). Образец прошел предварительную экспертизу на соответствие требуемым нормам при поступлении целого продукта в пищевое производство. Бедренная кость коровы — типичная длинная трубчатая кость, на

проксимальном эпифизе которой располагается головка шаровидной формы с ямкой для круглой связки. Латерально от головки, отграниченной шейкой, выступает большой вертел, а медио-каудально от головки — малый вертел. Биомеханические и физиологические функции - те же, что и у человека [5].

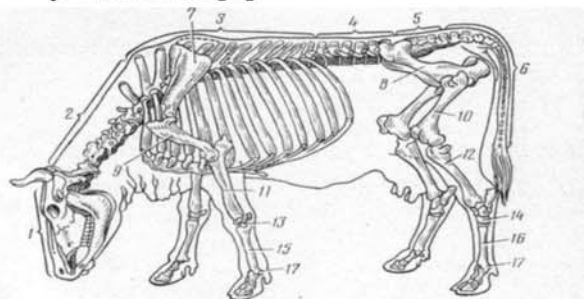


Рис. 7. Скелет коровы:  
1 — череп; 2 — шейный; 3 — грудной; 4 — поясничный и 5 — крестцовый отделы скелета туловища; 6 — скелет хвоста; 7 — плечевой пояс (лопатка); 8 — тазовый пояс; 9 — плечевая кость; 10 — бедренная кость; 11 — кости предплечья; 12 — кости голени; 13 — кости запястья; 14 — кости заплюсны; 15 — кости писти; 16 — кости плюсны; 17 — кости пальцев.

Рис. 3. а) Бедренная кость коровы, б) Схема строения скелета коровы.

Бедренная кость по своей природе является анизотропным материалом. Анизотропные материалы — это материалы, свойства которых неодинаковы по различным направлениям. Волокна в таких материалах имеют определенное направление. Наряду с костной тканью к анизотропным материалам относятся

монокристаллы, волокнистые и пленочные материалы, железобетон, пластмассы со слоистыми наполнителями (текстолиты, углепластики и др.), композиционные материалы, древесина и прочие. В общем случае, механические свойства анизотропных материалов несимметричны относительно любой

плоскости или осей. Конструкции из этих материалов обладают высоким качеством и прочностью (Большой энциклопедический политехнический словарь). Именно это качество объясняет высокую прочность бедренной кости.

Для сравнительной оценки прочностных характеристик и контроля испытания, в работу ввели образец стали (Ст. 3). Сталь – деформируемый сплав железа с углеродом (2%) и другими элементами. По назначению бывают конструкционные, инструментальные и

стали с особыми физическими и химическими свойствами. Качество стали обеспечивается металлургическим процессом (Рис. 4).

Необходимость в исследовании такого рода продиктована тем фактом, что ранее в Кыргызстане не были изучены прочностные характеристики бедренной кости человека, а травматизм остается высоким, как и сложность послеоперационного восстановительного периода.



Рис. 4. Сталь 3.

**Целью исследования** явились: сравнительная оценка прочностных свойств и состава костно-пластических материалов после испытания на сжатие, с учетом их анизотропных свойств, и сравнение показателей прочности и видов деформаций исследуемых объектов.

### **Материалы и методы исследования**

Испытание проводилось в лаборатории КГТУ имени И. Раззакова. На опыте проанализировали значения прочностных характеристик объектов

исследования при сжатии. Образцы костной ткани перед испытанием претерпели обезжиривание и высушивание. Прошли подготовку на шлифовальных станках для выравнивания плоскостей (Рис. 5). Количество образцов бедренной кости человека и коровы составило по 3 единицы каждого вида. В обоих случаях были взяты образцы верхней трети диафиза бедренной кости. Дополнительно был взят стандартный образец для испытаний – Ст.3.



Рис. 5. Подготовка костного материала к испытанию на сжатие.

Определение габаритных размеров (длины, толщины и ширины) образцов осуществляли при помощи штангенциркуля. Замеры проводили в начале и в конце испытаний. Полученные данные заносились в таблицу SPSS 20.0.

Испытание на сжатие проводилось на разрывной машине Р-50. В процессе испытания велось наблюдение за поведением образцов по диаграмме. Испытания проводили при комнатной температуре со скоростью нагружения в среднем 0,5 мм/мин. Прочностные свойства изучали путем сжатия образцов костной ткани и стали с автоматической записью кривых. Из кривых сжатия были рассчитаны механические характеристики: предел пропорциональности ( $\sigma_{пл}$ ), предел прочности ( $\sigma_B$ ), относительная деформация ( $\varepsilon$ ) до разрушения и модуль Юнга ( $E$ ) [6]. Расчеты проводились по соответствующим формулам. На полученных графиках выделяли предел пропорциональности ( $\sigma_{пл}$ ) и предел прочности ( $\sigma_B$ ). Пределом пропорциональности называется максимальное механическое напряжение, при котором выполняется закон Гука, то есть деформация тела

прямо пропорциональна приложенной силе. Предел прочности — механическое напряжение, выше которого происходит разрушение материала. То есть это пороговая величина, превышая которую механическое напряжение разрушит некое тело из конкретного материала. Относительными называют деформации, определяемые отношением изменения размера к соответствующим начальным размерам тела. Относительная деформация рассчитывалась по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l_k - l_0}{l_0},$$

где  $\varepsilon$  - относительная деформация;  $l_0$  — начальная длина образца;  $l_k$  — конечная длина образца после деформации. Модуль Юнга (модуль продольной упругости) — физическая величина, характеризующая способность материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации. Рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{\Delta P \cdot l_0}{\Delta l_{cp} \cdot S_0},$$

где  $E$  — модуль Юнга;  $\Delta P = P - P_0$ ;  $P_0$  — начальное усилие (Н);  $P$  — нагрузка, равная 70 % от предела пропорциональности  $\sigma_{пл}$ ;  $\Delta l = l_k - l_0$  —

удлинение образца, вызванное приложенной нагрузкой  $P$ ;  $\Delta l_{cp}$  — среднее значение удлинения образца при нагружении, которое определяется на упругом участке;  $S_0$  — площадь поперечного сечения исходного образца, измеренная перед испытанием;  $l_0$  — начальная длина образца;  $l_k$  — конечная длина образца после деформации.

**Результаты**

В ходе процесса деформирования образцы имели специфические особенности. Перед испытанием и после него проводили измерение габаритов (длины, толщины и ширины) с помощью штангенциркуля [7]. Для испытания Ст.3 использовали образец цилиндрической формы высотой ( $h$ ) 2,5 см, диаметром ( $d$ ) 1,9 см (Таблица 1). Используя формулу, рассчитали площадь образца:

$$F_0 = \frac{\pi d^2}{4} = 2,83$$

Ст.3 при сжатии проявляла признаки пластичных материалов. В процессе повышения нагрузки образец приобрел форму бочонка. На полученной в ходе исследования диаграмме (рис. 6) имелся прямолинейный участок ОА, свидетельствующий о наличии между нагрузкой  $P$  и укорочением линейной зависимости (Закон Гука), так называемый предел пропорциональности. Пределом пропорциональности называется максимальное механическое напряжение, при котором выполняется закон Гука, то есть деформация тела прямо пропорциональна приложенной силе. Далее следовал участок зоны текучести, характеризующийся продолжающейся деформацией без увеличения нагрузки. Данный материал невозможно было довести до разрушения ввиду его пластических свойств. При нарастающей нагрузке отмечалось лишь непрерывное увеличение ординат.

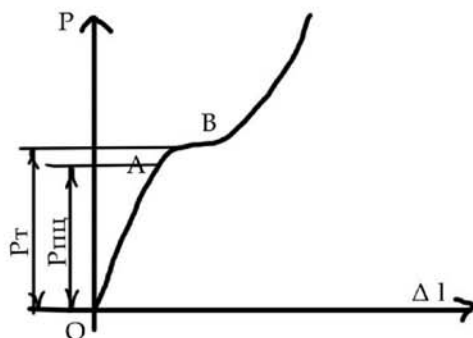


Рис. 6. Испытание Ст.3 на сжатие.

Таблица 1 - Габариты образца стали

Материал	Измеряемая величина	До опыта	После опыта
Сталь №3	Диаметр (см)	$d_0 = 1,9$	$d_1 = 2,3$
	Высота (см)	$h_0 = 2,5$	$h_1 = 1,8$
	Площадь (см <sup>2</sup> )	$F_0 = 1,9$	$F_1 = 4,9$



Нагрузка  $P_T$  (150 кг/см<sup>2</sup>) соответствовала пределу текучести, а нагрузка  $P_{пц}$  (130 кг/см<sup>2</sup>) - пределу пропорциональности. Из полученных данных рассчитали значения предела пропорциональности и текучести по формулам:

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0} \text{ (предел пропорциональности);}$$

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \text{ (предел текучести)}$$

$$\sigma_{пц} = 45,93 \text{ и } \sigma_T = 53,003$$

Количество образцов бедренной кости человека и коровы составило по 3 единицы каждого вида. Габаритные параметры образца бедренной кости

человека: высота (h) – 3,2 см, диаметр наружный (D) – 4,2 см, диаметр внутренний (d) – 2,0 см. Габаритные параметры образца бедренной кости коровы: высота (h) – 5,8 см, диаметр наружный (D) – 5,2 см, диаметр внутренний (d) – 4,0 см.

Площадь рассчитывалась по формулам:

$$F_{0 \text{ нар}} = \frac{\pi D_{н.}^2}{4}; \quad F_{0 \text{ вн}} = \frac{\pi d_{в.}^2}{4};$$

$$F_0 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

Полученные данные заносили в таблицу 2.

Таблица 2 - Габариты образцов бедренных костей

Материал	Измеряемая величина	До опыта
Бедренная кость человека	Диаметр (см)	2,0(вн.) 4,2(нар.)
	Высота (см)	3,2
	Площадь (см <sup>2</sup> )	142,91
Бедренная кость коровы	Диаметр (см)	4,0(вн.) 5,2(нар.)
	Высота (см)	5,8
	Площадь (см <sup>2</sup> )	230,1

По результатам испытания костные образцы имели хрупкий характер разрушения, т.е. имели малую величину степени деформации - менее 3%.

Диаграммы по своей структуре были схожими и соответствовали хрупким материалам, представляли собой слабо искривлённые прямые (рис. 7).

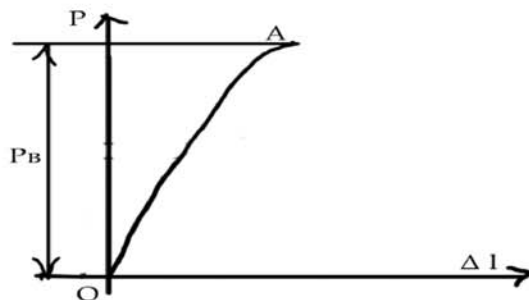


Рис. 7. Испытание костных образцов на сжатие.

При достижении момента разрушения (точка А) происходил скол костного образца. Он возникал из-за развития многочисленных трещин, имеющих ориентацию вдоль линии действия усилий Р.

Нагрузка бедренной кости человека Р<sub>в</sub> (170 кг/см<sup>2</sup>) соответствовала моменту разрушения образца, а нагрузка Р<sub>пц</sub> (150

кг/см<sup>2</sup>) - пределу пропорциональности (рис. 8). Из полученных данных рассчитали значения предела пропорциональности и текучести по формулам:

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0} \text{ (предел пропорциональности);}$$

$$\sigma_{т} = \frac{P_{т}}{F_0} \text{ (предел текучести)}$$

$$\sigma_{пц} = 1,049 \quad \text{и} \quad \sigma_{т} = 1,189$$



Рисунок 8. Испытание на сжатие бедренной кости человека.

Нагрузка бедренной кости коровы Р<sub>в</sub> (145 кг/см<sup>2</sup>) соответствовала моменту разрушения образца, а нагрузка Р<sub>пц</sub> (130 кг/см<sup>2</sup>) - пределу пропорциональности. Из полученных данных рассчитали значения предела пропорциональности и

текучести по формулам:

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0} \text{ (предел пропорциональности);}$$

$$\sigma_{т} = \frac{P_{т}}{F_0} \text{ (предел текучести)}$$

$$\sigma_{пц} = 0,564 \text{ и } \sigma_{т} = 0,63$$



Рис. 9. Костные образцы после эксперимента.

**Выводы:**

1. Бедренная кость человека при

сжатии выдерживает большую нагрузку, чем бедренная кость коровы.

2. Предел прочности бедренной кости человека равен 170 МПа, а предел пропорциональности равен 150 МПа. При анализе габаритных параметров обращает на себя внимание увеличение диаметра всех образцов и соответственно их площади (рис. 9).

3. В данном эксперименте сталь проявила себя как пластичный материал, обладающий всеми необходимыми характеристиками.

### **Заключение**

Костная ткань является

композиционным материалом и обладает анизотропными свойствами. Имеет малую величину деформации. Кость совмещает в себе как признаки твердого, так и хрупкого материалов. Проведенное исследование показывает необходимость понимания механических свойств костей. Полученная информация позволяет спрогнозировать величину приложенной силы и степень возможных лечебных и реабилитационных мер. Данная информация актуальна для врачей ортопедов и травматологов с целью выявления наиболее крепких участков бедренной кости для фиксации.

### **Литература**

1. Бахтеева, Т.Д. Концепция иммунного дистресса в интенсивной терапии критических состояний / Т.Д. Бахтеева, В.П. Шано, А.Н. Нестеренко [и др.] // Биль, знеболюв. і інтенс. тер. - 2002. - №2 (д). - С. 56–59.
2. Dinesh, Sethi. Доклад о профилактике детского травматизма в Европе / Dinesh Sethi, Elizabeth Towner, Joanne Vincenten [и др.] Доклад о профилактике детского травматизма в Европе. 2009. - С. 117. [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/98744/E92049R.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/98744/E92049R.pdf)
3. Анаркулов, Б.С. Хирургическое лечение переломов длинных костей скелета. - Бишкек, 2014. - 217 с.
4. Беков, Д.Б. Изучение индивидуальной анатомической изменчивости – одна из задач современной морфологии / Д.Б. Беков // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. - 1991. - №7. – 85 с.
5. Верхошенцева, Л.Д. Анатомия крупного рогатого скота в схемах, рисунках и таблицах / Л.Д. Верхошенцева. Учебное пособие – Оренбург: ОГАУ, 2004. - 45 с.
6. Аркуша, А. И. Техническая механика. Теоретическая механика и сопротивление материалов. - Москва «Высшая Школа», 1989. – 356 с.
7. Ицковик, Г.М. Сопротивление материалов. – М.: «Высшая Школа», 1986. – 351 с.