

УДК 636.22/.27:591.471

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ
КОНЕЧНОСТЕЙ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА
В СВЯЗИ С ВОЗРАСТОМ И ПОРОДОЙ**

С. С. ТИМОФЕЕВА, Е. А. АРЗУМАНЯН, А. В. НИКОЛАЕВ, В. Н. ЛАЗАРЕНКО
(Кафедра молочного и мясного скотоводства)

В статье представлены данные о возрастных изменениях физико-механических свойств костей конечностей у телок и коров черно-пестрой и симментальской пород в связи с возрастом.

В условиях интенсификации животноводства в связи с большой скученностью поголовья в помещении и ограниченным движением возрастает значение прочности костной ткани животных, поэтому одним из важных технологических признаков, на который должно быть обращено особое внимание, является крепкий, хорошо развитый костяк.

Крепости костяка посвящены работы многих авторов. Установлено, что этот показатель зависит от возраста, породы, пола, упитанности и конституции животных [8]. Одни исследователи указывают на возрастное увеличение прочности пястной кости [1, 2], другие — на ее снижение [5]. Крепость костей у бычков выше, чем у телок [2]. Плотность костей конечностей у крупного рогатого скота зависит от положения кости в звене конечности и соответствует характеру и степени механической нагрузки [9]. В литературе имеются данные о по-

родных различиях и большей крепости пястных костей у помесного молодняка по сравнению с чистопородным [3, 5]. Отмечается, что у животных при беспривязном содержании кости более прочные [4].

Исследование строения и развития скелета на разных стадиях онтогенеза в связи с другими анатомо-физиологическими особенностями организма позволяет получать важные сведения, на основании которых можно судить о состоянии последнего. Повышение продуктивности животных и увеличение срока их хозяйственного использования возможны лишь при наличии крепкого костяка. Нами изучались физико-механические свойства трубчатых костей конечностей коров и телок уральского черно-пестрого и симментальского скота в разные возрастные периоды.

Методика

Для исследований, которые проводили в учебно-опытном хозяйстве Троицкого ветеринарного института, было сформировано 10 групп животных (по 3 гол. в каждой) черно-пестрой породы и 10 групп крупного рогатого скота симментальской породы, аналогов по возрасту, породности, живой массе и состоянию здоровья: телки в возрасте 1, 3, 6, 12, 18, 24 мес и коровы в возрасте 1, 3, 5 и 7 отелов. Подопытные животные в зависимости от возраста находились в одинаковых условиях кормления

и содержания в зимне-стойловый период. Кормление осуществлялось по нормам ВИЖ. Затраты корма на выращивание телок до 24-месячного возраста составили 37,4 ц корм. ед. Рационы были сбалансированы по содержанию всех питательных веществ. На 1 ц прироста живой массы телок затрачено 9,26 корм. ед. Убой телом проводили в 1, 3, 6, 12, 18 и 24-месячном возрасте, коров — после 1, 3, 5, 7-го отела. Полученные результаты обработаны методом вариационной статистики.

Результаты

Установлены возрастные изменения трубчатых костей конечностей скота (табл. 1). Разрушающая нагрузка на сжатие пястных и плюсневых костей с возрастом увеличивается. Плюсневые кости по сравнению с пястными выдерживают большую нагрузку на сжатие. Такая особенность сохраняется во все возрастные периоды. Это объясняется прежде всего положением кости в звене конечности, а также неодинаковой нагрузкой на кости и разными функциями передних и задних конечностей. Наиболее четкие породные различия по способности пястных и плюсневых костей выдерживать большую нагрузку на сжатие отмечены до 6-месячного возраста. В этот период пястные и

Т а б л и ц а 1

Результаты испытания образцов трубчатых костей конечностей на сжатие (кг)

Возраст животных	Симментальская порода		Черно-пестрая порода	
	пястная кость	плюсневая кость	пястная кость	плюсневая кость
Телки				
1 мес	3366,6±65,0*	4416,6±106,0*	2783,3±55,0	3633,3±94,0
3 »	3900,0±52,0*	4675,0±104,0*	3591,6±22,0	3900,0±38,0
6 »	5666,6±50,7	7025,0±130,0	5000,0±46,0	8725,0±72,0
12 »	6825,0±90,1	9025,0±29,0	7641,6±58,0	9166,6±120,0
18 »	8703,3±44,0	9925,0±150,0	9661,6±57,0	9433,3±85,0
24 »	8816,6±250,0	10841,6±93,0	8166,6±410,0	11958,0±130,0
Коровы				
1 отела	9475,0±360,0	11216,6±160,0	8750,0±427,0	10291,6±170,0
3 отелов	10326,7±490,0	12816±190,0*	9525,0±317,0	10658,0±410,0
5 »	10858,0±270,0	12291,6±210,0*	9551,6±504,0	10773,3±58,0
7 »	13700,0±402,0*	14383,3±320,0*	11116,7±260,0	11408,3±420,0

П р и м е ч а н и е . Здесь и в последующих таблицах одной звездочкой обозначена достоверность разности при $P \leq 0,05$, двумя — при $P \leq 0,01$.

плюсневые кости телок симментальской породы выдерживали большую нагрузку на сжатие, нежели у животных черно-пестрой породы. Хотя пястные кости последних выдерживали меньшую разрушающую нагрузку на сжатие, скорость роста данного показателя у них оказалась выше (табл. 2).

Плюсневые кости телок черно-пестрой породы могли выдерживать меньшую нагрузку до 3-месячного возраста, но в связи с быст-

Т а б л и ц а 2

Кратность изменений разрушающей нагрузки на сжатие трубчатых костей конечностей с возрастом

Возраст животных	Симментальская порода		Черно-пестрая порода	
	пястная кость	плюсневая кость	пястная кость	плюсневая кость
1—6 мес	1,68±0,03	1,59±0,06	1,79±0,04	2,40±0,05
6—12 »	1,20±0,02	1,28±0,02**	1,52±0,01	1,05±0,01
12—18 »	1,27±0,01	1,09±0,02	1,26±0,01	1,02±0,01
18—24 »	1,01 ±0,03	1,08±0,01	0,84±0,05	1,26±0,02
24 мес — 1 отела	1,07±0,05	1,03±0,01	1,08±0,10	0,86±0,01
1—3 отелов	1,09±0,08	1,14±0,02	1,08±0,03	1,03±0,04
3—5 »	1,05±0,06	0,95±0,03	1,00±0,04	1,00±0,04
5—7 »	1,26±0,04	1,17±0,04	1,16±0,03	1,06±0,04
1 мес — 7 отелов	4,06±0,05	3,25±0,12	3,99±0,17	3,13±0,07

рым увеличением прочности уже в 6-месячном возрасте этот показатель был выше, чем у симменталов.

От 6 до 12 мес скорость роста разрушающей нагрузки на сжатие пястной и плюсневой костей у телок обеих пород несколько снижалась, но скорость роста разрушающей нагрузки пястной кости оставалась выше у телок черно-пестрой породы, а плюсневой кости — у животных симментальской породы. К 18-месячному возрасту различия по данному показателю трубчатых костей сгладились.

В 12—18 мес пястные кости телок черно-пестрой породы выдерживали большую нагрузку на сжатие, чем у симменталов. Плюсневые кости подопытных животных по этому показателю практически не различались, и лишь в 18-месячном возрасте разрушающая нагрузка на сжатие их была выше у телок симментальской породы, но достоверной разницы между животными обеих пород не установлено.

С возрастом скорость увеличения разрушающей нагрузки на сжатие пястной кости неравномерно снижалась, особенно у 24-месячных телок черно-пестрой породы, что отрицательно сказывалось на способности пястной кости выдерживать повышенную нагрузку на сжатие, т. е. она была менее прочной, чем у сверстниц симментальской породы. Необходимо отметить, что прочность плюсневых костей у первых была значительно выше. К 1-му отелу разрушающая нагрузка на сжатие плюсневых костей у них резко снижалась. У сверстниц симментальской породы прочность как пястной, так и плюсневой кости с возрастом равномерно повышалась. Это можно объяснить тем, что на прочность трубчатых костей конечностей большое влияние оказывают особенности физиологического состояния животных в период стельности. Скелет первотелок черно-пестрой породы более чувствителен к изменению физиологического состояния организма, нежели скелет сверстниц симментальской породы. В дальнейшем скорость увеличения разрушающей нагрузки на сжатие трубчатых костей у животных обеих пород выравнивалась, в итоге этот показатель практически не различался.

Прочность плюсневых костей животных симментальской породы в возрасте 1 отела была выше, чем у черно-пестрых, но разница оказалась несущественной, лишь в возрасте 3—7 отелов разность была достоверной.

Деформирующая нагрузка на изгиб изменялась аналогично разрушающей нагрузке на сжатие, т. е. с возрастом эти показатели увеличивались. Плюсневые кости выдерживали большую деформирующую нагрузку, чем пястные (табл. 3). Разрушающая нагрузка на

Т а б л и ц а 3

Результаты испытания образцов трубчатых костей конечностей на изгиб (кг)

Возраст животных	Симментальская порода		Черно-пестрая порода	
	пястная кость	плюсневая кость	пястная кость	плюсневая кость
1 мес	441,6±9,3*	616,6±22,0	366,6±8,8	483,3±33,0
3 »	483,3±6,0	725,0±29,0	471,6±3,3	600,0±14,0
6 »	658,2±10,9	833,3±30,0	796,6±9,3	875,0±14,0
12 »	843,3±8,2	1300,0±52,0*	890,0±7,6	933,3±8,3
18 »	1583,3±4,4*	1800,0±14,0**	1500,0±8,7	1475,0±14,0
24 »	1683,3±22,0	1883,0±71,2	1600,0±38,0	1691,6±46,0
1 отела	1791,6±30,0	2216,6±50,7	1650,0±38,0	1866,6±67,0
5 отелов	1883,3±36,0*	2300,0±14,0	1676,6±15,0	1983,3±36,0
3 »	1925,0±38,0	1766,6±80,0	1708,3±36,0	1551,6±13,0
7 »	2041,6±44,0	2108,0±96,0	1883,3±102,0	1925,0±52,0

сжатие у трубчатых костей конечностей во все возрастные периоды была выше, чем деформирующая на изгиб. Это свидетельствует о более высокой сопротивляемости трубчатых костей на сжатие, чем на изгиб, что можно объяснить особенностями строения костной ткани: остеоны и в целом гаверсовы системы располагаются вдоль диафи-за, а не поперек.

Анализ данных об изменении деформирующей нагрузки на изгиб в связи с породой и возрастом показал, что прочность трубчатых костей наиболее сильно изменялась до 18-месячного возраста. До 6 мес наибольшее увеличение кратности деформирующей нагрузки на изгиб трубчатых костей характерно для черно-пестрой породы (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Кратность изменений деформирующей нагрузки на изгиб трубчатых костей конечностей с возрастом

Возраст животных	Симментальская порода		Черно-пестрая порода	
	пястная кость	плюсневая кость	пястная кость	плюсневая кость
1—6 мес	1,49±0,01	1,35±0,09	2,17±0,04	1,82±0,09
6—12 »	1,27±0,02*	1,55±0,05*	1,11±0,01	1,06±0,01
12—18 »	1,87±0,02	1,38±0,05	1,68±0,02	1,57±0,03
18—24 »	1,06±0,01	1,04±0,04	1,06±0,03	1,14±0,02
24 мес — 1 отела	1,06±0,03	1,17±0,05	1,02±0,01	1,10±0,07
2—3 отелов	1,05±0,03	1,03±0,02	1,01±0,03	1,06±0,02
3—5 »	1,02±0,04	0,76±0,03	1,01±0,01	0,81±0,04
5—7 »	1,05±0,01	1,19±0,09	1,10±0,06	1,23±0,04
1 мес — 7 отелов	4,62±0,16	3,41±0,09	5,13±0,23	4,02±0,30

До 12-месячного возраста показатели кратности изменений деформирующей нагрузки на изгиб животных обеих пород снижались, но у телок симментальской породы они были достоверно выше. В 12 мес прочность пястной кости на изгиб оказалась значительно выше у телок черно-пестрой породы, а прочность плюсневой кости — у симментальских (табл. 3). До 18 мес деформирующая нагрузка на изгиб трубчатых костей у телок исследуемых пород вновь повышалась, но прочность их была достоверно выше у телок симментальской породы. В последующие возрастные периоды кратность изменений деформиру-

ющей нагрузки на изгиб трубчатых костей равномерно снижалась, а прочность возрастала к 7-му отелу. По показателям прочности пястной кости достоверные породные различия установлены только в возрасте 3 отелов у коров симментальской породы. В остальные возрастные периоды существенных породных различий по показателям прочности трубчатых костей не выявлено.

Таким образом, у животных обеих пород трубчатые кости выдерживают большие механические нагрузки как на сжатие, так и на изгиб. Кроме этого, для трубчатых костей характерен значительный запас прочности, который в разные возрастные периоды неодинаковый.

Если прочность трубчатых костей конечностей с возрастом увеличивается, то запас прочности снижается. В месячном возрасте запас прочности пястных костей на сжатие превышал потребность в поддержании массы тела телок симментальской породы в 64,3 раза, а у черно-пестрых — в 60 раз. К 7-му отелу запас прочности пястных костей у животных превышал потребность в поддержании массы тела в 18—22 раза в зависимости от породы. Породные различия по данному показателю были четко выражены от 12- до 18-месячного возраста. В остальные возрастные периоды запас прочности пястных костей у телок обеих пород снижался в равной мере и существенных породных различий не обнаружено.

Запас прочности плюсневых костей на сжатие (так же, как и прочность) был значительно выше, чем запас прочности пястных костей. В месячном возрасте запас прочности превышал потребность в поддержании массы тела у телок симментальской породы в 84,3 раза, а у черно-пестрых — только в 78,3 раза, но существенных породных различий не установлено. С возрастом запас прочности плюсневых костей снижался и к 7-му отелу превышал потребность в поддержании живой массы тела в 20—25 раз в зависимости от породы. Породные различия по данному показателю проявились в 6, 12 и 24-месячном возрасте. В эти возрастные периоды больший запас прочности наблюдался у телок черно-пестрой породы. У коров симментальской породы этот показатель был достоверно выше в возрасте 5 и 7 отелов.

Трубчатые кости конечностей характеризуются меньшим сопротивлением деформирующей нагрузке на изгиб, что связано с особенностями гистологического строения, и соответственно меньшим запасом прочности на изгиб. При увеличении прочности трубчатых костей запас прочности на изгиб снижался. Если в месячном возрасте запас прочности пястных и плюсневых костей превышал потребность животных в поддержании массы тела соответственно в 7,9—8,4 и 10,4—11,8 раза, то к 7-му отелу — в 3,1—3,5 и 3,3—3,6 раза в зависимости от породы.

Запас прочности трубчатых костей на изгиб был несколько выше у телок симментальской породы до 6-месячного возраста, а с 6 мес. — у сверстниц черно-пестрой породы. К 12-месячному возрасту при дальнейшем снижении запаса прочности трубчатых костей у животных обеих пород запас прочности плюсневых костей был достоверно выше у телок симментальской породы. Затем запас прочности трубчатых костей несколько повысился, но достоверное увеличение этого показателя отмечено у телок симментальской породы в 18-месячном возрасте. В остальные возрастные периоды запас прочности трубчатых костей на изгиб снижался примерно одинаково у всех животных, только в возрасте 3 отелов он был выше у коров симментальской породы.

Наши данные об увеличении абсолютной крепости костей с возрастом согласуются с результатами исследований других авторов [6, 7, 10]. Значения показателей абсолютной крепости костей у животных исследуемых пород оказались близки, меньшей прочностью отличались трубчатые кости животных черно-пестрой породы.

Нагрузка, приходящаяся на трубчатые кости, является важным породным признаком животных, но он не в полной мере характеризу-

Возрастные изменения строения пястной и плюсневой костей

Возраст животных	Симментальская порода		Черно-пестрая порода	
	площадь компакты, см ²	нагрузка на 1 мм ² площади компакты	площадь компакты, см ²	нагрузка на 1 мм ² площади компакты
Пястная кость				
1 мес	2,05±0,14	16,5±1,30	1,86±0,14	15,1±0,92
3 »	2,65±0,15	14,8±1,10	2,30±0,13	15,6±0,94
6 »	3,880,09	14,6±0,27	3,62±0,21	13,9±0,92
12 »	4,51±0,19	15,1±0,47	4,23±0,29	18,2±1,50
18 »	5,87±0,15	14,8±0,37	5,08±0,41	19,2±1,30
24 »	5,44±0,13	16,2±0,14	6,24±0,25	13,6±0,28
1 отела	6,64±0,19	14,2±0,49	6,82±0,25	12,8±0,80
3 отелов	7,64±0,13	13,5±0,48	6,71±0,07	14,2±0,57
5 »	6,95±0,18	15,6±0,36	6,56±0,28	14,5±0,14
7 »	6,99±0,13	19,6±0,45	6,70±0,23	16,6±1,00
Плюсневая кость				
1 мес	2,05±0,04	21,5±0,50	1,92±0,07	19,0±1,20
3 »	2,47±0,13	18,9±0,56	2,50±0,23	15,8± 1,60
6 »	3,94±0,25	17,9±0,96	4,09±0,24	21,5±1,40
12 »	5,18±0,08	17,4±0,21	4,85±0,29	19,0±1,20
18 *	6,40±0,16	15,5±0,58	6,42±0,12	14,7±0,30
24 »	6,46±0,23	16,8±0,47	6,88±0,30	17,4±0,90
1 отела	7,74±0,18	14,5±0,17	7,66±0,20	13,4±0,14
3 отелов	7,23±0,47	17,8±0,91	8,11±0,40	13,1±0,66
5 »	7,29±0,39	16,9±0,60	7,05±0,17	15,2±0,44
7 »	9,00±0,27	15,9±0,25	7,77±0,10	14,7±0,72

ет крепость костной ткани, поэтому мы определили нагрузку в расчете на 1 мм² диафиза (табл. 5).

Если крепость костей без учета площади компактного вещества с возрастом увеличивалась, то в расчете на 1 мм² площади неравномерно уменьшалась к 7-му отелу животных. Однако прочность пястных костей в расчете на 1 мм² площади компакты в данном возрасте резко повышалась. Это объясняется непропорциональным увеличением площади компакты и содержания кальция в костях, причем последний показатель увеличивался медленнее, чем первый.

Соотношение общей площади костной ткани, костно-мозгового канала и компактного вещества было неодинаковым. Независимо от возраста и породы костная ткань занимала большую площадь на поперечных распилах диафизов пясти и особенно плюсны (табл. 5).

Большая площадь костной ткани по сравнению с площадью костно-мозгового канала в процессе постнатального онтогенеза связана с функциями костей пясти и плюсны: они должны выдерживать массу тела при стоянии и высокие нагрузки при движении. Эти важнейшие функции обуславливают размер, форму и строение данных костей. Большая площадь костной ткани в диафизах плюсны объясняется спецификой функции задней конечности. Площадь костно-мозгового канала с возрастом животных неравномерно возрастала.

Площадь костно-мозгового канала у животных обеих пород увеличивается. Коэффициент роста площади костной ткани у скота симментальской и черно-пестрой пород был выше, чем коэффициент роста площади костно-мозговой полости. Кости пясти и плюсны построены по типу цилиндрических трубок. Их важнейшая функция — опорная. Они должны противодействовать прежде всего силам сжатия, совпадающим по направлению с продольной осью кости, и изгибу, когда действующие силы направлены под углом к продольной оси. Влияние разнодействующих сил исключает однонаправленность их воздействия. Вместе с тем нагрузки, связанные с силами тяжести и инерции, преобладают над другими составными элементами. Эта осо-

бенность, естественно, определила размеры и форму костей пясти и плюсны, толщину их стенок и площадь поперечного сечения диафизов.

Для более полной характеристики прочности трубчатых костей животных определяли коэффициент корреляции (табл. 6) между показателями нагрузки на сжатие и площадью костной ткани (r_1), с одной стороны, и показателями нагрузки на сжатие и толщиной костной стенки — с другой (r_2).

Таблица 6

Показатели сопряженности признаков прочности трубчатых костей

Показатель	Симментальская порода		Черно-пестрая порода	
	пясть	плюсна	пясть	плюсна
r_1	0,75±0,06	0,88±0,04	0,91±0,02	0,84±0,06
r_2	0,88±0,02	0,90±0,03	0,91±0,03	0,87±0,03

Установлена высокая положительная корреляция между прочностью трубчатых костей и показателями их строения характерная и для симментальской и для черно-пестрой пород.

Таким образом, предел абсолютной прочности костей при сжатии зависит прежде всего от площади костной ткани на поперечном сечении и толщины стенки кости.

Заключение

Разрушающая нагрузка на сжатие и деформирующая нагрузка на изгиб трубчатых костей конечностей скота изменяются в связи с возрастом и породой. Трубчатые кости конечностей у телок во все возрастные периоды и у коров симментальской породы выдерживают достоверно большую нагрузку как на сжатие, так и на изгиб. Их прочность с возрастом животных увеличивается, но запас прочности и прочность в расчете на единицу площади компакты снижается независимо от породы.

ЛИТЕРАТУРА

- Арзуманян Е. А. Основы интерьера крупного рогатого скота. — М.: Сельхозгиз, 1957, с. 76—79. — 2. Арутюнян П. И. Возрастные и породные механические различия трубчатых костей конечностей у малокавказского скота Армении и его помесей со швейцарской породой. — Тр. Ереван, зоовет. ин-та, 1971, вып. 30, с. 43—45. — 3. Гусейнов Р. А. Особенности трубчатых костей гибридов прибалтийского скота и зебу первого поколения. Тр. Аз. НИИ животноводства, 1976, т. 15, с. 44—51. — 4. Капустин Б. Ф. Морфологические свойства пястных костей чистопородных и помесных бычков. — Тр. Донского СХИ, 1976, т. 11, вып. 2, с. 142—144. — 5. Кириленко О. Ф. Прочность трубчатых костей и копытного рога у молодняка красной степной породы. — Тр. Кубанск. СХИ, 1976, вып. 127, с. 104—108. — 6. Михайлюк П. М. Морфологические показатели пясти и плюсны у коров молочных пород — Тр. Кубанск. СХИ, 1970, вып. 40, ч. 1, с. 190—193. — 7. Слесарева Е. Н. Крепость костей крупного рогатого скота в связи с их строением и химическим составом. — Докл. ТСХА, 1956, вып. 25, с. 293—300. — 8. Ходяновский И. И. Морфологические показатели крепости костяка как одного из признаков конституции животных. — Тр. Курганск. СХИ, 1949, вып. 1, с. 159. — 9. Хрусталева И. В., Криштофорова Б. В. Динамика весового роста скелета крупного рогатого скота при различных условиях содержания и кормления. — Сб. научн. тр. МВА, 1976, т. 85, с. 38—39. — 10. Юдин М. Ф., Лазаренко В. Н., Арзуманян Е. А. и др. Возрастные изменения физико-механических свойств и химического состава костей конечностей и позвонков у чистопородных и помесных бычков. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 2, с. 165—171.

Статья поступила 10 февраля 1988 г.

SUMMARY

The data on age variation in physico-mechanical characters of extremities bones in heifers and cows of black- and- white and Simmentaler breeds are given in the paper.

Tubular extremities bones of Simmentaler stock can bear reliably high compressive load and distorting bending load.

Bone strength depends on the area of bone tissue at the cross section and on bone wall thickness.